

Aleksander Iversen
Oskar Jacobsen
Eirik C. Strand
Emma Tagseth

Effektivisering av energibruk i eksisterende bygninger

Streamlining of energy use in existing buildings

Bacheloroppgave i Elektroingeniør
Veileder: Ola Furuhaug
Medveileder: Tor Erik Næbb, Tonny Øien
Mai 2021

Aleksander Iversen
Oskar Jacobsen
Eirik C. Strand
Emma Tagseth

Effektivisering av energibruk i eksisterende bygninger

Streamlining of energy use in existing buildings

Bacheloroppgave i Elektroingeniør
Veileder: Ola Furuhaug
Medveileder: Tor Erik Næbb, Tonny Øien
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for elkraftteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Effektivisering av energibruk er nødvendig for å nå klima- og bærekraftsmål. Bygninger står for 40 % av den totale energibruken i Norge og er derfor et godt sted å starte med effektivisering. Samtidig er energikostnader en stor del av drift- og leiekostnader i bygninger som ikke er bygget etter nyeste standard.

Formålet med oppgaven er å se om mulige energieffektiviserende tiltak vil være hensiktsmessige å gjennomføre i eksisterende bygninger for å oppnå reduserte energikostnader. For å gjøre oppgaven mulig har Kjeldsberg Eiendomsforvaltning stilt Kraftbygget til disposisjon og Wago EDM er montert i deler av bygget for å måle og analysere energibruken.

Energiforbruk til belysning vil reduseres med ca. 50 % ved utskifting av lysarmaturer til LED-armaturer, tilstedeværelsesstyring vil redusere det samme forbruket med inntil 30-45 % og tiltakene sammen vil oppnå en reduksjon på 60-70 %. Dagslysstyring kan også gi et bidrag og med dimbare lys kan lysstyring bidra til effekttoppreduksjon.

En ikke-optimalisert styring av ventilasjonsanleggene kan gi unødvendig høye energikostnader. Med å optimalisere innluftstemperaturen kan varmeforbruket reduseres med ca. 1,3 Wh per l/s innluft per grad per time (0,3°C og 1250 l/s i 12 h gir 4,5 kWh). For hver fridag ventilasjonsanlegget står i ro vil både varmeforbruket og forbruket til ventilasjon reduseres. Stans i helger vil gi store besparelser.

Ved å bytte mellom fjernvarme gjennom ventilasjon og elektrisk oppvarming kan energikostnader reduseres så lenge effekttoppen på fjernvarmen ikke øker. Optimalt bytte kan gi reduserte effekttopper både på fjernvarme og strøm. Nattsinking kan redusere varmeforbruket med 17-32 % med de forutsetninger som er nevnt i rapporten. Ved å deaktivere nattsinkingen ca. 15 minutter over hel time (f.eks. 05:15) vil det sjelden oppstå økte effekttopper. Optimalisert styring av fjernvarmetilførselen kan redusere 10 % av forbruksleddet.

Solceller vil redusere energikostnader og investeringen vil være lønnsom før den økonomiske levetiden utløper. Bedre solforhold eller høyere strømpriser vil kunne gi bedre lønnsomhet. Installering av varmepumpe vil redusere energikostnadene da varmeforbruket kan reduseres med 10-50 %.

Abstract

Streamlining energy use are necessary to achieve climate and sustainability goals. Buildings account for 40 % of the total energy consumption and are therefore a good place to start with efficiency improvements. At the same time, energy costs are a large part of operating and rental costs in buildings that are not built to the latest standards.

The purpose of the task is to see if possible energy efficiency measures will be appropriate to implement in existing buildings in order to achieve reduced energy costs. To make the task possible, Kjeldsberg Eiendomsforvaltning has made the Kraftbygget available and Wago EDM has been installed in parts of the building to measure and analyze energy use.

Energy consumption for lighting will be reduced by approx. 50 % when replacing light luminaires with LED luminaires, presence control will reduce the same consumption by up to 30-45 % and the measures together will achieve a reduction of 60-70 %. Daylight control can also make a contribution and with dimmable light, light control can contribute to power reduction.

A non-optimized control of the ventilation systems can result in unnecessarily high energy costs. By optimizing the inlet air temperature, the heat consumption can be reduced by approx. 1.3 Wh per l/s indoor air per degree per hour (0.3 °C and 1250 l/s for 12 h gives 4.5 kWh). For each day the ventilation system is at rest, both the heat consumption and the consumption for ventilation will be reduced. Stops on weekends will provide great savings.

By switching between district heating through ventilation and electric heating, energy costs can be reduced as long as the power peak on the district heating does not increase. Optimal switching can provide reduced power peaks on both district heating and electricity. Night setback can reduce heat consumption by 17-32 % with the assumptions mentioned in the report. By deactivating the night setback approx. 15 minutes over a full hour, increased power peaks will rarely occur. Optimized control of the district heating supply can reduce 10 % of the consumption stage.

Solar cells will reduce energy costs and the investment will be profitable before the economic life expires. Better solar conditions or higher electricity prices could lead to better profitability. Installing a heat pump will reduce energy costs as heat consumption can be reduced by 10-50 %.

Forord

Bacheloroppgaven er et avsluttende prosjekt for fire studenter på elektroingeniørstudiet med spesialisering innen elkraftteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Bacheloroppgaven har et estimert omfang på ca. 500 timer per student, som tilsvarer 20 studiepoeng og vil utgjøre den største delen av det siste semesteret i studiet.

Oppgaven er et eksternt prosjekt utarbeidet i samarbeid med Kjeldsberg Eiendomsforvaltning (KEF), Wago Norge og studentene. KEF har et ønske om å utarbeide et måle- og styresystem for energieffektivisering av eksisterende bygg. Rapporten skal inneholde ulike tiltak som er med på å redusere forbruket og energikostnadene for eiendomsforvaltere. KEF har tildelt studentene et eldre kontorbygg som vil benyttes som et forskningsbygg. Vi ønsker å takke Tonny Øien, Kristian Johansen og Thomas Jørgensen i KEF for god veiledning og deres tillit til studentene.

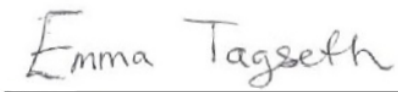
Det rettes også en stor takk til Tor Erik Næbb og Wago support. Deres veiledning og Wago Norges bidrag av moderne utstyr og lisenser har lagt til rette for en god oppgave med mange muligheter.


Gruppen ønsker å takke intern veileder fra NTNU, Ola Furuhaug, for god veiledning med omfang, begrensninger og rapportens struktur. Det har gitt god forståelse i helhetsbilde av en slik rapport. Til slutt vil vi takke bedrifter gruppen har vært i kontakt med, som har vært behjelpelig til å finne og forstå grunnlag til prosjektgjennomføringen.

Samarbeidet og oppgaven er av stor interesse. Utover oppgaven vil mulighetene for å tilegne seg god og relevant arbeidserfaring være stor. Kunnskap om moderne måle- og styresystemer fra Wago, effektivisering og prosjektering vil være relevante egenskaper i fremtidig arbeidsliv.


Aleksander Iversen


Oskar Jacobsen


Emma Tagseth


Eirik C. Strand

Trondheim 20.05.2021
Sted/Dato

Innhold

Sammendrag	ii
Abstract	iv
Forord	vi
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	1
1.3 Omfang og begrensninger	1
1.4 Rapportens oppbygging	2
1.5 Definisjoner og forkortelser	3
2 Kraftbygget	5
2.1 Beskrivelse av bygget	5
2.2 Beskrivelse av bygningsautomasjon	6
2.2.1 Varme og kjøling	6
2.2.2 Ventilasjon	7
2.2.3 Lys	7
2.2.4 Solavskjerming	7
2.3 Fjernvarmeanlegget	8
2.4 BACS Energiytelseklasse	8
2.5 Energiattest	9

3	Teori	10
3.1	Energibruk i bygg	10
3.1.1	Energibruk i kontorbygg	11
3.1.2	Litteratur om potensialet i energieffektivisering av bygg	12
3.1.3	FNs bærekraftsmål	14
3.1.4	Energiledelse	15
3.2	Energibruk i ventilasjonsanlegg	15
3.3	Korreksjon for energimålinger	16
3.4	Energikostnader	16
3.4.1	Nettleie	16
3.4.2	Strømpris	18
3.4.3	Fjernvarme	19
3.5	Lys og lysstyring	21
3.5.1	Lysrørarmaturer	21
3.5.2	LED-armaturer	22
3.5.3	Tilstedeværelsesdeteksjon	22
3.5.4	Dagslysstyring og konstantlysstyring	22
3.6	Solceller	23
3.7	Varmepumper	25
3.7.1	Funksjonsbeskrivelse	25
3.7.2	Energibesparelse med varmpumper	26
3.7.3	De forskjellige varmpumpene	26
4	Utstyr og metode	28
4.1	Valg av målemetoder i Kraftbygget	28
4.1.1	Alternativer for målemetoder	28

4.1.2	Beskrivelse av det elektriske anlegget	30
4.1.3	Montering	31
4.2	Wago Energy Data Management	33
4.2.1	Programvare	33
4.2.2	Maskinvare	34
4.3	Prosessering av historiske data	36
4.4	Måledata ventilasjon	36
4.5	Solceller	37
4.5.1	Beregninger	38
4.6	Nattsinking	40
4.7	Lån	41
5	Resultater	42
5.1	Historiske energidata Kraftbygget	42
5.1.1	Energiforbruk	42
5.1.2	Energikostnader	43
5.1.3	Oppsummert historikk	45
5.2	Dagens energibruk i Kraftbygget	47
5.2.1	Lys	47
5.2.2	Ventilasjon	51
5.2.3	Varme	56
5.3	Solceller	61
6	Analyser og diskusjon	65
6.1	Sammenligning av historiske energidata fra Kraftbygget og lignende bygg	65
6.2	Energieffektiviserende tiltak i belysningsanlegget	66
6.2.1	Nye lys	67

6.2.2	Lysstyring	70
6.2.3	Kombinasjon av nye lys og lysstyring	72
6.3	Energieffektiviserende tiltak i ventilasjonssystemet	73
6.3.1	Av på fridager	73
6.3.2	Av tidligere på dagen	73
6.3.3	Optimalisert styring	74
6.4	Energieffektiviserende tiltak i varmesystemet	76
6.4.1	Nattsenking	76
6.4.2	Tilføre varme gjennom ventilasjon	79
6.4.3	Fjernvarme	81
6.5	Bruk av solceller på eksisterende bygg	84
6.6	Varmepumpe oppsummering	85
7	Konklusjon	86
7.1	Oppsummering av hovedresultatene	86
7.2	Samfunnsnytte	89
7.3	Videre arbeid	90
	Bibliografi	91
	Figurer	96
	Tabeller	99
A	Opphavsrettsnotis fra Standard Norge	101
B	Grafer	102
B.1	Målinger i og i sammenheng med ventilasjon	102
B.2	Nattsenking	103

C	Forbruk og kostnad per kvadratmeter	108
C.1	2020	108
C.2	2019	110
C.3	2015 - 2018	112
D	Reduserte/økte effekttopper	114
E	Fjernvarmetariff Statkraft	117
F	Statkrafts effektiviseringstiltak	118
G	Materiell	119
G.1	Materialsliste	119
G.2	Oversikt over komponenter fra Wago	120
H	Tegninger	122
I	Datablad og beregningsresultater for lys	146
I.1	Datablad lysarmaturer	146
I.2	Lysberegninger EasyCalc	153
J	Matlab	158
J.1	Historiske data	158
J.1.1	Gjennomsnitt strøm	158
J.1.2	Kostnader strøm	162
J.1.3	Fjernvarme	166
J.1.4	Årlig beregning	173
J.2	Lys og varme	177
K	Poster	182

Innledning

1.1 Bakgrunn

For å nå klima- og bærekraftmålene i verden er det nødvendig å redusere energibruken. For at kraftnettet skal handtere det grønne skiftet må det bygges ut samtidig som dagens forbruk må effektiviseres. Når bygninger står for 40 % av det totale energiforbruket i Norge, vil effektivisering av energibruk i eksisterende bygninger være et godt sted å starte. Å effektivisere energibruk vil ofte gi lavere energikostnader.

Energikostnader utgjør en stor andel av driftskostnadene i næringsbygg som ikke er av nyeste årgang. For å kunne gi leietakere bedre vilkår ønsker Kjeldsberg Eiendomsforvaltning i Trondheim å gjøre tiltak som kan redusere energikostnadene. For å gjennomføre effektiviseringstiltak på riktig sted er det også viktig med et detaljert energimålesystem. Et slikt system er utviklet av Wago, og Wago Norge ønsker å ha et demonstrasjonsbygg som kan gi et innblikk i nytten av et slikt system. Med to ulike ønsker som kan oppfylles samtidig, har Kjeldsberg Eiendomsforvaltning og Wago Norge gitt en oppgave til bachelorgruppen for å få hjelp til dette.

1.2 Problemstilling

Med utgangspunkt i ovennevnte bakgrunn har gruppen kommet frem til følgende problemstilling:

Hvilke energieffektiviserende tiltak vil være hensiktsmessige å gjennomføre for å redusere energikostnader i eksisterende bygg lik Kraftbygget?

1.3 Omfang og begrensninger

Med energidata fra WAGO sitt system og bygningen i Sluppenvegen 6 som et forskningsbygg, vil bachelorgruppen se på ulike metoder for å spare energi- og driftskostnader. I rapporten vil ulike energieffektiviserende tiltak vurderes. Målinger, beregninger og analyser vil gjennomføres for å danne et grunnlag for vurderingene.

For å begrense omfanget av oppgaven vil bachelorgruppen hovedsakelig se på den delen av bygget som kalles høyblokka. I kapittel 4.1 gjøres det vurderinger av ulike oppsett av målesystemet som kan gi et godt grunnlag for tiltaksvurderinger, samtidig som oppgaven holdes på et overkommelig omfangsnivå. Tiltak som ikke åpenbart kan inngå i høyblokka vil ikke vurderes, for eksempel vil ikke optimalisert styring av radiatorer tas med i rapporten. Effekten og kostnaden av en fasaderenovering vil heller ikke vurderes siden det betegnes av oppdragsgiver som en stor investering. I tillegg krever en god vurdering av tiltaket mer kompetanse og ressurser enn bachelorgruppen har til rådighet med den prosjektperioden som er satt.

1.4 Rapportens oppbygging

Målgruppen til rapporten er byggforvaltere, 3.-års bachelorstudenter med spesialisering med elkraft og andre som vil være interesserte i effektivisering av eksisterende bygg.

Etter innledningen er bachelorrapporten delt inn i seks hovedkapitler. Kapittel 2 gir en beskrivelse av bygget som er utgangspunktet for prosjektet. I kapittel 3 er det presentert teori som bygger opp under rapporten og dens analyse og diskusjon. Utstyr som er benyttet i forbindelse med prosjektet og metoder som er benyttet i beregninger og behandlinger i prosjektgjennomføringen er beskrevet i kapittel 4. Resultater fra målinger og beregninger er presentert med forklaring av oppbygging av resultatene er plassert i kapittel 5. I kapittel 6 er ulike effektiviseringstiltak analysert og diskutert med resultatene og teorien som grunnlag. Rapporten er oppsummert med en konklusjon, samfunnsnytte og videre arbeid i kapittel 7.

Hvert hovedkapittel er bygd opp med underkapitler. Spesielt i kapittel 5-7 er det forsøkt å dele opp etter de ulike tiltakene. Hensikten med denne inndelingen er at det skal være enkelt å gå fra en del til en annen del for å finne mer informasjon om hvert tiltak. Det blir også referert til andre kapitler og figurer/tabeller i teksten for å hjelpe leseren med å finne tilhørende resultat eller teori. Helt sist i rapporten er det lagt med ulike vedlegg som støtter opp om rapporten.

Rapporten er skrevet i Latex. Latex gir en mulighet til å bruk en rekke hjelpemidler for å referer i teksten. Først og fremst får man muligheten til å bruke verktøy til å organisere kildereferanser, samt å referere til figurer, grafer og tabeller gjennom teksten. Der innhold i hele avsnitt kan knyttes til en kilde er kildereferansen satt etter siste punktum i avsnittet, mens kilden til enkeltsetninger er plassert i setningen. Referanseliste og lister over alle figurer og tabeller er produsert og satt inn etter siste hovedkapittel.

1.5 Definisjoner og forkortelser

Armaturl	Lysarmatur, Luminaire - Kompletl enhet med en eller flere lyskilder
BACS	Building Automation and Control System
Belysningsstyrke	Forholdet mellom mengde lys som treffer en flate og flatearealet - $E = \Phi/A$ [lux]
Besparelse	Energibesparelse - Lavere energiforbruk
Effektfaktor	Forholdet mellom tilført effekt og utnyttet effekt
Effektivisere	Energieffektivisere - Optimalisere energibruk
EN	European Standard, Europäische Norm
ENØK	Energiøkonomisering
FJV	Fjernvarme
HMI	Human-Machine Interface
I/O	Input / Output (Norsk: Inngang / Utgang)
ISO	International Standard Organisation
KEF	Kjeldsberg Eiendomsforvaltning AS
kW	Måleenhet for effekt m/SI-prefiks - W = Watt
kWh	Måleenhet for energi m/SI-prefiks - Wh = Watttime
kWp	Måleenhet for energi produsert av solceller m/SI-prefiks - Wp = Watt peak
LED	Lysemitterende diode - Lyskilde

Livsløpsanalyse	Helhetlig analyse som ser på miljøregnskapet til produktet fra det lages til det blir avfall
Lyskilde	Objekt som sender ut synlig lys
Lysutbytte	Lumen/Watt - Forholdet mellom lysstrøm fra lyset og tilført effekt
Modbus	Protokoll for industriell kommunikasjon
Månedsmiddel	Gjennomsnittsverdi for alle verdier gjennom en måned
NS	Norsk Standard
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
PLS	Programmerbar Logisk Styring
Settpunkt	Innstilt ønsket verdi, "skal-verdi"
SSB	Statistisk sentralbyrå
TEK	Byggteknisk forskrift - Forskrift om tekniske krav til byggverk
Wago EDM	Wago Energy Data Management - System som registrerer og handterer energidata [1]

Kraftbygget

2.1 Beskrivelse av bygget

Kontorbygget i Sluppenvegen 6 eies av R. Kjeldsberg, og driftes av en av bacheloroppgavens oppdragsgivere; Kjeldsberg Eiendomsforvaltning. Bygningen har tidligere vært administrasjonsbygget til Trondheim Energiverk, og er derfor kjent som *Kraftbygget*.

Figur 2.1 er et bilde av Kraftbygget som er på en høyde på Sluppen i Trondheim. Bygget består av en lavblokk fra 1974, som sees til venstre i bildet 2.2, og en høyblokk fra 1978 som er til høyre i bildet. Det totale arealet er 8480 m².



Figur 2.1: Kraftbygget [2]



Figur 2.2: Kraftbygget med lavblokka til venstre og høyblokka til høyre i bildet [3]

I perioden 2005-2010 ble det gjort rehabiliteringer av bygget, deler er som opprinnelig og deler av bygget er oppgradert. I dag brukes bygget hovedsakelig som kontorlokale, men det finnes også en lab i bygget. Det er energibruken i høyblokka som skal analyseres grundig og optimaliseres i denne oppgaven.

Lavblokka varmes opp med fjernvarme og høyblokka med elektrisitet, dette er en av grunnene til at Kjeldsberg Eiendomsforvaltning ønsket å se nærmere på energibruken til høyblokka. Oppvarmet bruksareal i hver etasje i høyblokka er ca. 820 m².

2.2 Beskrivelse av bygningsautomasjon

2.2.1 Varme og kjøling

Høyblokka varmes opp med elektrisk energi av panelovner, der hver enkelt panelovn styres av en egen termostat som justeres manuelt. Vannbårent varmebatteri med fjernvarme, samt roterende varmegjenvinner i ventilasjonsaggregatene, dekker ventilasjonstapene. På varme dager benytter ventilasjonsanlegget elektrisk energi til å kjøle ned bygget. Varmeovnene kan stå på samtidig som kjølingen pågår, altså er det ingen forrigling mellom varme og kjøling.

2.2.2 Ventilasjon

Ventilasjonen er tidsstyrt på sentralt nivå, og skrur på automatisk klokka 6 og av automatisk klokka 18 alle dager. På lørdager og søndager er ventilasjonen avslått. De to første timene etter oppstart og de to siste før stans, får anleggene et lav-fart-signal, mens de skal kjøre på høy fart resten av driftstiden. Hva som er lav og høy fart reguleres manuelt på anlegget. I bygningen er det fire separate ventilasjonsanlegg, der ett dekker fjerde etasje, ett dekker kantina og to dekker de resterende arealene på hver av de to fasadene.

Ventilasjonen har avtrekkskompensert tilluftstemperatur, der settpunkt kan reguleres manuelt etter behov. Det er ingen luftkvalitetsmåling eller -regulering i form av for eksempel karbondioksidmålere eller fuktmålere, og ingen mulighet for sone- eller rombasert styring av ventilasjonen.

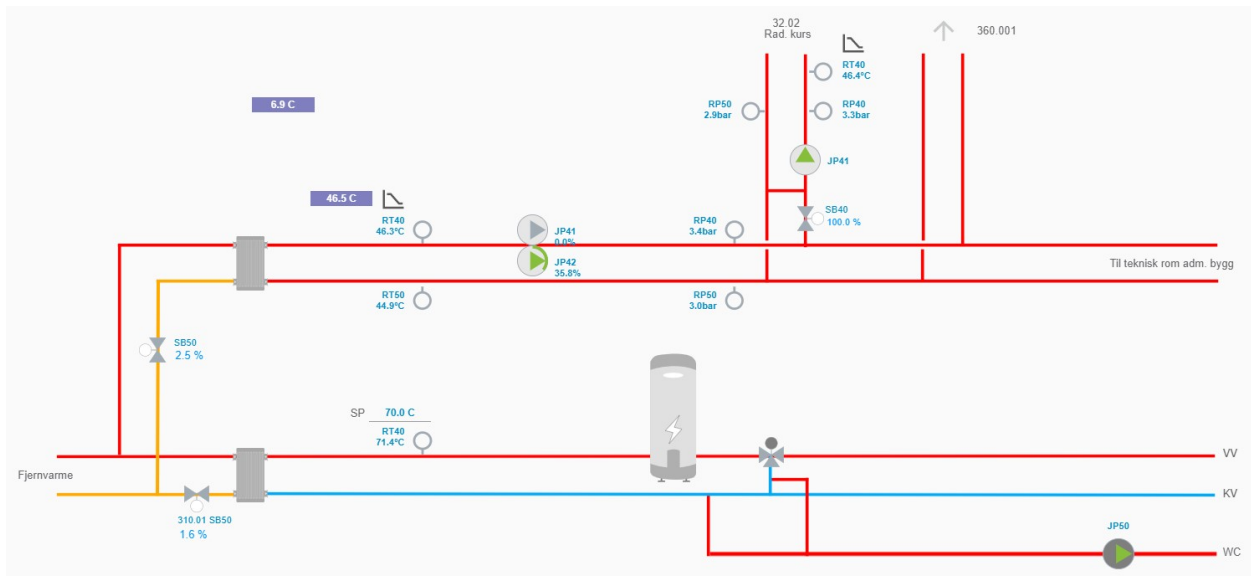
2.2.3 Lys

Det er bevegelsessensorer som automatisk styrer lyset av og på. Enkelte steder i bygget styres lyset på romnivå, andre steder på sonenivå. Noen steder i høyblokka, som andre etasje, styres lyset i hele etasjen med av/på-bryter ved heisen. Det er ulike løsninger i bygget, men det er hovedsakelig ikke mulig å dimme armaturene.

2.2.4 Solavskjerming

Utvendige rullegardiner skjerner lokalene for sol. Enkelte leietakere må betjene solavskjermingen manuelt, og andre leietakere har manuell motorstyring som heiser rullegardinen opp og ned. I deler av bygget styres rullegardinene hver for seg, og i noen deler av bygget styres en hel fasade samtidig.

2.3 Fjernvarmeanlegget



Figur 2.3: Fjernvarmeanlegget i Kraftbygget, hentet fra Kjeldsberg Cloud

I Kraftbygget er fjernvarme en bidragsyter til oppvarmingen av bygget. Anlegget tilfører varme til varmebatteriene i ventilasjonsanleggene, oppvarming av tappevann og tradisjonell bruk av radiatorer. Radiatorene eksisterer kun i lavblokka. I figur 2.3 vises tegning av fjernvarmesløyvene i bygget. Tegningen viser i hovedsak tre sløyfer. En sløyfe på inntaket fra fjernvarmenettet som tilfører bygget varmt vann. Denne sløyfen gir fra seg varme til byggsløyfen via en varmeveksler og blir deretter distribuert rundt om i bygget ved hjelp av en pumpe. Vannet gir fra seg varme rundt om i bygget før det returnerer til varmeveksleren og på ny tar opp varme igjen. På den siste sløyfen som er plassert nederst i figuren kan en se at fjernvarmen i kombinasjon med en elektrisk varmtvannsbereder står for oppvarmingen av tappevann.

2.4 BACS Energiytelseklasse

Veilederen til “NS-EN 15232 - Bygningsautomatisering” beskriver de ulike gradene av bygningsautomatikk, og har som formål å gi innsikt i hvordan, og hvor mye automatisering kan bedre energiytelsen i bygg. Det beskrives hva som må være til stede av bygningsautomasjon for å oppnå BACS Energiytelsesklassene A, B, C og D, i henhold til standarden NS-EN 15232. [4]

Gruppen tolker ut ifra nevnte veileder, at Kraftbygget har byggautomasjonsfunksjonene til BACS Energiytelsesklasse C på noen områder, men at de fleste funksjoner går under klasse D. Dersom bygget skal oppnå en bedre energiklasse, er det hovedsakelig flere sensorer, større bruk av sone- eller rominndeling, og flere styresystemer som må bli installert i bygget. [4]

2.5 Energiattest

Energiattester gir bygget et energimerke ut ifra energikarakter og oppvarmingskarakter, beskriver byggets tekniske tilstand, bygningsautomasjon, energiforbruk, og inneholder tilpassende forslag til oppgraderinger. Energikarakterskalaen går fra F som er dårligst, til A som er best. Skalaen for oppvarmingskarakter har fem fargesteg, der rød er dårligst, gul middels og grønn best. Denne klassifiseringen er nærmere beskrevet i avsnitt “Energiattest” i kapittel 3.1.2. [5]

Energiattesten til Kraftbygget ble utarbeidet i 2011 av Entro AS. Bygget fikk da energikarakteren D, og oppvarmingskarakteren gul. Beregnet spesifikk levert energi ved normalisert klima er 171,5 kWh/m² per år, totalt 1 729 226 kWh/år for hele bygget. Målt energiforbruk er 2 036 073 kWh/år. I energiattesten er oppgitt areal 10154 m², dette gir et spesifikk målt energibruk på 200,7 kWh/m² per år. Kjeldsberg Eiendomsforvaltning som drifter bygget, oppgir et areal på 8480 m², utregnet spesifikk energibruk ut ifra dette er 240,1 kWh/ m² per år. [6]

Målingene som energiattesten har tatt utgangspunkt i, viser at tilnærmet 8 % av Kraftbyggets totale energiforbruk er fjernvarme, og resten er elektrisitet. anbefalte tiltak er behovsstyring av ventilasjon, varmepumpe som henter varme fra ventilasjonsluft, montere termostatstyrte radiatorventiler, og installere varmepumpe. [6]

Teori

3.1 Energibruk i bygg

40 % av Norges totale energiforbruk til bygninger [7]. Figur 3.1 viser energibruk for ulike typer bygg. Her fremkommer det at kultur- og forskningsbygninger bruker minst energi per kvadratmeter, og helsebygninger som sykehus bruker mest energi per kvadratmeter. Statistisk Sentralbyrå forklarer at sykehus bruker mest energi på grunn av mengden energikrevende teknisk utstyr og stor tidsbruk. [8]

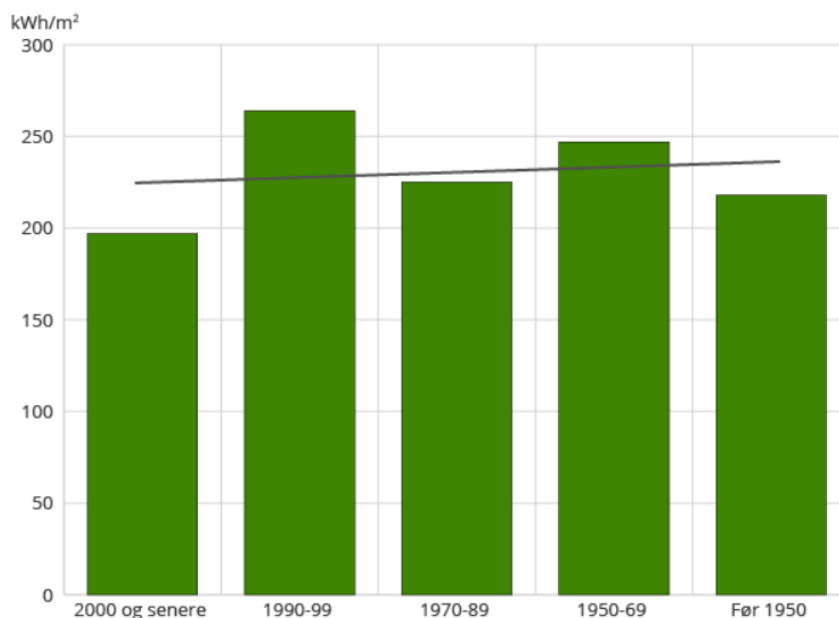
Energibruk etter bygningstype og energiprodukt. kWh/m ² ¹				
	2011			
	I alt	Elektrisitet	Fjernvarme	Annet
	kWh/m ²	Prosentandel		
I alt	230	77,1	18,1	4,8
3 Kontor- og forretningsbygning	228	80,7	16,4	2,9
5 Hotell- og restaurantbygning	242	76,9	16,6	6,5
6 Kultur- og forskningsbygning	190	76,1	17,1	6,8
7 Helsebygning	313	71,4	23,2	5,3
8 Fengsel, beredskapsbygning mv.	207	79,9	12,3	7,8

¹ Bygningstypene er klassifisert etter Norsk standard, NS 3457, for bygningstyper (Matrikkelen).

Figur 3.1: Energibruk etter bygningstype og energiprodukt hentet fra SSB [8]

3.1.1 Energibruk i kontorbygg

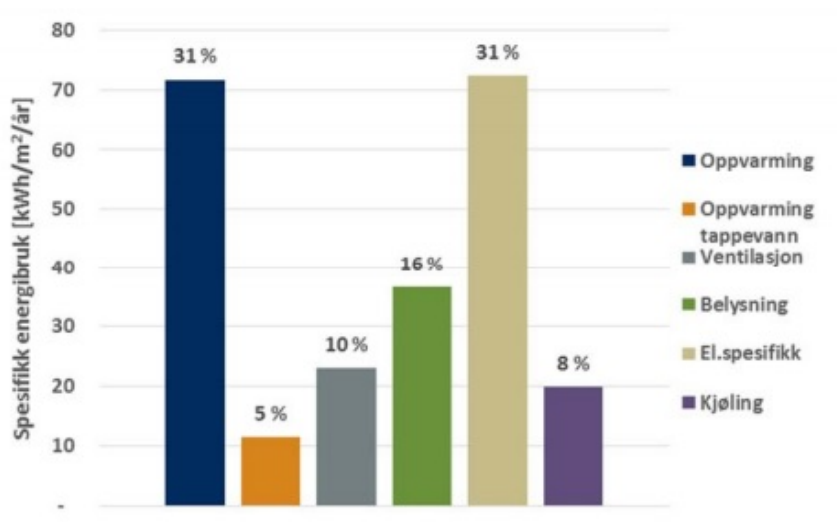
Figur 3.2 viser oversikt over energibruk per areal for kontorbygg fra ulike byggeår. Her fremkommer det at gjennomsnittlig energibruken synker desto nyere bygget er, men trenden er ikke lineær.



Figur 3.2: Energibruk i kontorbygg etter byggeår (2011). Hentet fra SSB [8]

Energiforbruket i bygg påvirkes av kvaliteten på bygningsmassen, ifølge Norges vassdrags- og energidirektorat. Godt isolerte vegger og vindu bidrar til mindre varmetap. TEK setter krav til bygningsmassens kvalitet. NVEs rapport sier: “Kravene blir stadig strammere inn, sist fra 01.01.2016. TEK er av stor betydning for energibruken i nye bygg, og innstrammingene har ført til at nye bygg bruker stadig mindre energi”. Energibruk i bygg påvirkes også av faktorer som valg av oppvarmingskilde, hvor stor grad av smart styring, og rehabiliteringsgrad. Detaljert kunnskap om byggets energibruk og energimålinger over tid, bidrar til at de som drifter bygget kan iverksette tilpassede energieffektiviseringstiltak. [9]

Ifølge NVE bruker typiske kontorbygg i Norge mest energi på oppvarming og el.spesifikk (datamaskiner, printere, kaffemaskiner, oppvaskmaskiner, og diverse variable strømuttak). Av Norges totale direkte klimagassutslipp går 1,9 % til oppvarming av bygg. Disse utslippene har hatt en kraftig nedgang på 65 % siden 1990, som hovedsakelig skyldes overgang fra oppvarming med gass, olje og parafin til fjernvarme eller strøm. [9]



Figur 3.3: Representativt formålsdelt energibruk i kontorbygg, hentet fra NVE-rapport [9]

3.1.2 Litteratur om potensialet i energieffektivisering av bygg

SINTEF om hva som er mest miljøvennlig av nybygg og rehabilitering

Rapporten “Grønt er ikke bare en farge: Bærekraftige bygninger eksisterer allerede” fra 2020 er utarbeidet av SINTEF på oppdrag fra Riksantikvaren. Hensikten var å undersøke potensialet for gjenbruk av eksisterende bygninger. Studien bygger på et bredt spekter nasjonale og internasjonale publikasjoner om livssyklusanalyser i bygg. [10]

SINTEF konkluderer med at rehabilitering, effektivisering eller gjenbruk av eksisterende bygg, er mer miljøvennlig enn å bygge nytt. Dette begrunnes med store utslipp i forbindelse med utvinning og transport av råvarer og byggeprosess. Det går mange tiår før et nybygg potensielt oppnår å ha produsert mer energi enn det som ble brukt i for å lage bygningen. [10]

Thema Consulting om potensialet til energieffektivisering av bygg

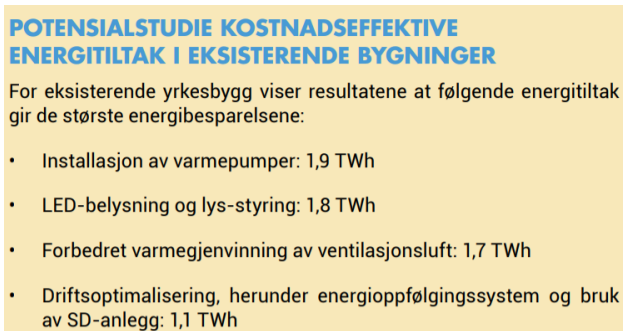
På oppdrag fra Interessegruppen for energieffektivisering, som er et samarbeid mellom Elektroforeningen (EFO) og Nelfo, utarbeidet Thema Consulting rapporten “Grønn rehabiliteringsbølge i Norge” i 2021. Rapporten handler om potensialet for energieffektivisering av bygg, og hvordan det kan legges bedre til rette for å utnytte dette potensialet. Den tar utgangspunkt i både EUs mål om energieffektivisering for bygg, og NVEs mål for dette i Norge. Disse målene omhandler å kutte det årlige forbruket med 8-13 TWh innen 2030. I rapporten er denne mengden energi illustrert: “En energibesparelse på 8 TWh tilsvarer en reduksjon på 10 prosent av energibruken i bygg i dag, og 90 prosent av produksjonen fra norske vindkraftverk i 2020.” [11]

Det trekkes også frem ringvirkningene dette kan ha for samfunnet, både økt sysselsetting og verdiskaping. En utfordring som trekkes frem, er at samfunnsøkonomisk lønnsomme tiltak ikke alltid er økonomisk lønnsomme for de som eier eller drifter byggene. Det må sørges for at økonomiske tiltak treffer slik at energieffektiviseringstiltak i større grad blir gjennomført. [11]

For få fortgang i denne prosessen, foreslås det å både å bruke offentlige bygg som forbilder, og å utvide bruk av energimerkeordningen; både minstekrav til energimerke og krav om hyppigere utarbeidelser av energiattester. [11]

ZERO om virkemidler for å nå målene om energieffektivisering av bygg

Miljøstiftelsen ZERO utarbeidet en rapport i 2017: “Slik kutter vi energibruken i bygg - Virkemidler som tar oss til 10 TWh.”. Rapporten inneholder oversikt over hvilke tiltak som kan kutte mest energiforbruk i ulike bygg. ZERO vurderer også gjennomførbarheten av potensielle virkemidler, og om de bidrar til ringvirkninger som kompetanseheving eller teknologiutvikling. Figur 3.4 viser tiltakene som har størst potensiale for næringsbygg. Tiltaket som vurderes som mest effektivt er å øke kompetansen til de som drifter byggene. For å få til dette foreslås det å satse på etterutdanning, og sørge for at flere har kvalifikasjoner som fagbrev og relevante kurs. Som vist i figur 3.4, kan store kutt i energiforbruk oppnås med energioppfølgingssystem og sentralt driftsanlegg. For å utnytte denne muligheten er kompetanse hos de som drifter helt avgjørende. [12]



Figur 3.4: Potensiell effekt av ulike tiltak, figur fra ZERO [12]

Her trekkes også mer omfattende bruk av energimerkeordninger frem som et viktig tiltak. Det beskrives at dette kan være i form av hyppigere og mer detaljerte vurderinger, og at mulig lønnsomhet i tiltak kan inkluderes i energiattesten. I rapporten foreslås det også at Enova burde dekke en større prosentandel av prislappen til energieffektiviseringstiltak. [12]

Energiattest

I både rapporten fra Thema Consulting og rapporten fra ZERO, trekkes mer omfattende bruk av energiattest frem som et avgjørende tiltak for å lykkes i prosessen med å kutte energiforbruk i bygninger. I dag er reglene slik at eier av bygninger som skal selges eller leies ut, og yrkesbygg over 1000 m², har ansvar for at bygget skal ha gyldig energiattest. En energiattest er gyldig i ti år etter den er laget, eller til en ny er laget for samme bygg. Dersom det gjøres betydelig oppussing, rehabilitering eller andre endringer på bygget, kreves ny og oppdatert energiattest. [5]

NVE har ansvaret for energimerkeordningen som utarbeides i samsvar med standarden SN-NSPEK 3031:2020; "Bygningers energiytelse. Beregning av energibehov og energiforsyning". Energiattesten gir bygget et energimerke ut ifra karakter på både energi og oppvarming. Den beskriver også byggets tekniske tilstand, byggets energibruk, og inneholder skreddersydde forslag til oppgraderinger. [5]

I 2017 og 2018 utførte NVE tilsyn av bygg og gjennomgang av energiattester. Her fant de flere attester med feil, og at kun halvparten av de kontrollerte yrkesbyggene hadde den pålagte energiattesten. NVE undersøkte også om energiattesten ble benyttet i forbindelse med markedsføring av bygget til potensielle kjøpere eller leietakere. Funnet var at dette ikke alltid skjedde, og da fikk ikke kjøperen eller leietaker informasjonen de hadde krav på. På bakgrunn av disse funnene, konkluderte NVE med at det i dag er "Lav bevissthet rundt energimerking av yrkesbygg". [13]

3.1.3 FNs bærekraftsmål

FNs bærekraftsmål består av 17 mål og 169 delmål, og er verdenslandenes felles plan for å bekjempe fattigdom, bidra til rettferdig fordeling av ressurser og stanse klimaendringene. Energieffektivisering av bygninger bidrar til å oppnå mål 7 om ren energi til alle, mål 8 om anstendig arbeid og økonomisk vekst, mål 9 om industri, innovasjon og infrastruktur og mål 13 om å stoppe klimaendringene. [14]

Målene om å stoppe klimaendringene og ren energi til alle, handler om kutte CO₂-utslipp, bruke mer fornybar energi og effektivisere energibruk. Hele 40 % av Norges klimautslipp kommer fra bygninger, og derfor kan energieffektivisering av bygninger kan være betydelig for å nå disse målene. [7] [14]

Mål 8 og 9 beskriver klare ambisjoner om å oppheve koblingen mellom økonomisk vekst og miljøødeleggelser, og fremme utvikling av bærekraftig energi. Anvendelse og utvikling av produkter for å måle og styre energibruk, kan bidra til dette. [14]

3.1.4 Energiledelse

Den internasjonale standarden “Energiledelsessystemer - Krav med brukerveiledning”, NS-EN ISO 50001:2018, er utviklet for å hjelpe virksomheter med å få i gang og videreføre god energiledelse. Standarden inneholder krav til oppstart og fortsettelse av energiledelse, og et tillegg med brukerveiledning for å forhindre feiltolkning. Det er ingen krav til at virksomheter skal ha energiledelse. [15]

Energikartlegging, hovedsakelig i form av energimålinger, trekkes frem som en forutsetning for å klare å tilpassede energimål og energidelmål til virksomheten. Det anbefales, både i oppstartsfasen og underveis i prosessen, å ha fokus på å analysere data, se etter trender og mønstre, detektere avvik og ut ifra dette velge forbedringstiltak. [15]

3.2 Energibruk i ventilasjonsanlegg

Et ventilasjonsanlegg krever hovedsakelig energi for å kjøre viftene som drar luften inn og ut i tillegg til varme-/kuldeenergien som tilføres innluften gjennom et varmebatteri. I alle nye ventilasjonsanlegg er det en varmeveksler som overfører varmeenergi fra utluften som kommer fra bygget til innluften som skal inn i bygget. Dette reduserer behovet for varmeenergi som skal dekke ventilasjonstapet. Det kan også tilføres varmeenergi til innluften for å varme opp bygninger som erstatning eller supplement til varmekilder rundt i bygget.

For å beregne varmeenergibehovet, Q , til varmebatteriet benyttes en formel som tar inn følgende variabler:

- V - Luftmengde innluft [m^3]
- ΔT - Temperaturforskjell [$^{\circ}C$]
 - T_{inn} - Temperatur på innluft [$^{\circ}C$]
 - T_{ute} - Årsgjennomsnittlig utetemperatur [$^{\circ}C$]
- t_{drift} - Driftstid per år [timer]
- C - Varmekoeffisient
- η - Virkningsgrad for varmeveksler

Formelen har bachelorgruppen satt sammen ut fra tidligere beregnede data oppgitt av KEF, og kan uttrykkes slik:

$$Q = \frac{V \cdot \Delta T \cdot t_{drift} \cdot C \cdot (1 - \eta)}{1000} \quad (3.1)$$

3.3 Korreksjon for energimålinger

For å bedre kunne sammenligne målinger for varmeenergi fra ulike perioder i året kan målingene temperaturkorrigeres. Metoder for temperaturkorrigering er beskrevet i SN/TR 3069:2019, pkt. 7.2. Temperaturkorreksjonsmetodene tar for seg normaliserte utetemperaturer $T_{ute,normal,i}$, basistemperatur for bygget $T_{ute,basis}$ og målte utetemperaturer $T_{ute,målt,i}$. Basistemperatur er den minste utetemperaturen oppvarming ikke kreves lengre, og kan finnes i SN/TR 3069:2019, pkt. 7.2.2, tabell 4. [16]

For å finne temperaturkorrigert energiforbruk ved bruk av temperaturkorreksjonsfaktoren $f_{T,i}$ viser standarden [16] formelen

$$E_{tempkorrigeret,i} = f_{T,i} \cdot E_{målt,i} \quad (3.2)$$

Korreksjonsfaktoren kan finnes slik: [16]

$$f_{T,i} = \frac{T_{ute,basis} - T_{ute,normal,i}}{T_{ute,basis} - T_{ute,målt,i}} \quad (3.3)$$

Ut ifra om en bruker døgnkorreksjon eller månedskorreksjon er utregningene for henholdsvis dag i eller måned i. [16]

For å få en mer nøyaktig analyse kan metoden for full værkorreksjon brukes. SN/TR 3069:2019, pkt. 7.4 inviterer til bruk av den fulle metoden og henviser til NS-EN 15603:2008, pkt. 7.4, men NS-EN 15603 er erstattet av NS-EN ISO 5200-1:2017 og metoden er derfor å finne her.

Værdata kan hentes fra Norsk klimaservicesenter. For temperaturkorrigering er det *middeltemperatur* og *middeltemperatur, avvik fra normalen 1991-2020* som er aktuelle. Middeltemperaturen er $T_{ute,målt,i}$, mens nøyaktig $T_{ute,normal,i}$ kan finnes ved å trekke avvik fra normalen fra $T_{ute,målt,i}$. [17]

3.4 Energikostnader

3.4.1 Nettleie

Alle som er tilknyttet strømmettet i Norge må betale en nettleie til netteier. Nettleien skal dekke kostnadene netteier har til drift, vedlikehold og utvikling av strømmettet [18]. Nettleien vil variere fra nettselskap til nettselskap ut fra hvordan klima topografi og alder på nettet er, forhold knyttet til regionalnett og hvordan energiproduksjonen er tilknyttet nettet, om det er mye lokal og/eller regional produksjon [19]. Hvert enkelt nettselskap kan også variere nettleien ut fra hvilken kundegruppe som knytter seg på nettet, om det er fritidsbolig, husholdning eller næring [19].

Denne rapporten fokuserer på et konkret kontorbygg i Trondheim, derfor er det tatt utgangspunkt i prisene som er gjeldende der. Netteier i Trøndelag er Tensio. Tensio er oppdelt i to konsesjonsområder, Nord- og Sør-Trøndelag, etter den gamle fylkesinndelingen. Tensio deler nettleien i to hoveddeler, nettleie for bedrift og nettleie for privat. Nettleie for bedrift blir igjen delt opp ut fra størrelsen på hovedsikringen der hovedsikring større enn 125 A ved 230 V eller 80 A ved 400 V er effektmålt, mens hovedsikring lavere enn nevnte verdier er energimålt. Effektmålt blir igjen delt opp etter om anlegget forsynes med høyspenning eller lavspenning. [20]

Kraftbygget følger avtalen “NMT Effekt lavspent - alle lavspentprodukter” og prisene som gjelder for dette bygget i 2021 er derfor som presentert i tabell 3.1.

Fastbeløp	8 800 kr/år
Energipris	5,0 øre/kWh
Forbruksavgift	16,69 øre/kWh
Effektpris vinter (nov-apr):	
0 - 99 kW	59 kr/kW/mnd
100 - 399 kW	49 kr/kW/mnd
400+ kW	39 kr/kW/mnd
Effektpris sommer (mai - okt):	
0 - 99 kW	39 kr/kW/mnd
100 - 399 kW	33 kr/kW/mnd
400+ kW	27 kr/kW/mnd

Tabell 3.1: Nettleie 2021, NMT Effekt lavspent [20]

Effekttoppen som effektprisen regnes ut fra finnes ved å se på den timen i måneden som har høyest energiforbruk. Effekttoppen er da lik dette forbruket siden $Effekt = \frac{Energi}{Tid}$, eller: $1kW = \frac{1kWh}{1h}$. For bedre forståelse av hvordan nettleien beregnes for en måned, kan den eksemplifiseres med et tilfeldig totalt månedsforbruk på 150 000 kWh og 560 kWh som høyeste timesforbruk (effekttopp) i en juni måned:

$$\begin{aligned}
Fastbeløp &= 8800 \frac{kr}{r} \cdot \frac{30}{365} = \underline{723,3kr} \\
Energipris &= 150000kWh \cdot 5,0 \frac{\text{øre}}{kWh} = \underline{7500kr} \\
Forbruksavgift &= 150000kWh \cdot 16,69 \frac{\text{øre}}{kWh} = \underline{25035kr} \\
Effektpris &= (560kW - 399kW) \cdot 27 \frac{kr}{kW} + 300kW \cdot 33 \frac{kr}{kW} \\
&\quad + 99kW \cdot 39 \frac{kr}{kW} = \underline{18108kr} \\
Nettleie &= Fastbeløp + energipris + forbruksavgift \\
&\quad + effektpris = \underline{\underline{51366,3kr}}
\end{aligned} \tag{3.4}$$

I tillegg til ovennevnte nettleie for Trøndelag Sør kan det i andre konsesjonsområder være et ledd som tar hensyn til reaktive effekter. Etter revisjon av nettleiemodellen kan det i fremtiden også komme en økning på nettleiens energiledd i perioder hvor effektuttaket fra nettet er høyt [21].

3.4.2 Strømpris

I tillegg til å betale for nettleie må alle som bruker strøm betale for den elektriske energien de bruker, som andre produserer. Den elektriske energien kjøper små og mellomstore sluttbrukere fra en kraftleverandør som i sin tur kjøper energien på engrosmarkedet. Engrosmarkedet består av *Day-aheadmarked*, *kontinuerlig intradagmarked* og *balansemarked*. Balansemarkedet driftes av Statnett som sikrer balanse i kraftnettet. Day-ahead- og intradaghandel danner sammen det som kalles kraftbørsen hvor kraftleverandørene handler. [22]

De mest vanlige avtalene en sluttbruker kan inngå med en kraftleverandør er *spotpris*, *fastpris* og *variabel pris*. Spotprisavtalen innebærer at en betaler prisen kraftleverandøren har kjøpt energien for pluss et påslag som går til leverandøren. En fastprisavtale innebærer at sluttbrukeren betaler et fast beløp, gjerne per kWh, som leverandøren og sluttbrukeren er enig om. Denne avtalen er ofte dyrere da leverandøren tar på seg risikoen for prisøkning. Variabel pris er en blanding mellom fastpris og spotpris der prisen varierer over året, men uten de store svingningene spotprisen har. [23]

Prisen kraftleverandøren betaler for energien kalles innkjøpspris. Innkjøpsprisen blir fastsatt ut fra en systempris og en områdepris, begge beregnet av Nord Pool. Systemprisen blir beregnet ut fra tilbud fra kraftprodusentene og etterspørsel fra sluttbrukerne og er felles for hele det nordiske kraftmarkedet. Områdeprisen tar hensyn til hvor kraften produseres og hvor den forbrukes, og eventuelle flaskehalsen mellom disse i transmisjonsnettet, slik at balansen mellom kjøp og salg opprettholdes. [22]

Norge er i dag delt opp i fem ulike prisområder, NO1, NO2, NO3, NO4 og NO5 der Trondheim havner i prisområde NO3. Da rapporten utelater alle påslag til kraftleverandøren, siden påslagene varierer fra leverandør til leverandør, vil innkjøpsprisen videre i rapporten kun benevnes som *spotpris*. Spotprisen varierer fra time til time og kan oppgis som timesverdi eller som dags-, ukes-, måneds- eller årsmiddel. Fullstendig oversikt over spotpriser er å finne på Nord Pool sine nettsider [24].

3.4.3 Fjernvarme

Fjernvarme har i mange tiår bidratt til oppvarming av næringsbygg og offentlige bygg. Et fjernvarmeanlegg er i praksis et sentralvarmeanlegg som forsyner bygg med varmt vann til oppvarming. Et slikt anlegg benytter seg av ulike energikilder, alt fra spillvarme fra industri til avfallsforbrenning. Fjernvarme har derfor et stort potensial til å frigjøre store mengder elektrisk energi fra oppvarmingssektoren.

Fjernvarmen i Kraftbygget leveres av Statkraft og prisen derfor bestemt av Statkraft, men regulert i energiloven. Hvert sted har ulike priser samtidig som det er fire forskjellige generelle prismodeller, en for privatkunder, en for borettslag og to for bedrifter (en med volumledd og en uten). Grunnen til at hvert sted har ulike priser er at fjernvarmeprisene er direkte avhengig av strømpriser og nettleie. [25] [26]

For bedrifter i Trondheim er nettleiedelen bygd opp likt som vist i tabell 3.1. I tillegg kommer et påslag inkluder elsertifikat med 2,75 øre/kWh, et energiledd med et påslag og den månedsmiddle spotprisen. Med avtale med volumledd, som er gjeldende for Kraftbygget, er det siste nevnte påslaget 24,44 øre/kWh fra mars til oktober og 18,44 øre/kWh fra november til februar.

Volumledd er aktuelt å regne med fra november til februar. Disse månedene trekkes det først fra 6 øre/kWh før det legges til et volumledd på 3,13 kr/m³. Volumleddet skal fungere som et insentiv for å at varmen som tas inn i bygget skal brukes og unngå å ta inn unødvendige mengder varme. Alle nevnte priser er gjeldende fra 01.01.2021 og endres årlig. Oversikt over pris i tabellform er vedlagt i vedlegg E. [26]

Volumtariffen

Som nevnt ovenfor er volumleddet i fjernvarmeprisen å regne med fra november til februar. Her kommer formel og forklaring av volumtariffen.

$$Q = M \cdot C \cdot \Delta T \quad (3.5)$$

- Q - Energiuttak [kWh]
- M - Masse i volum [m^3]
- ΔT - Temperaturdifferanse mellom tur og returledning [$^{\circ}C$]
- C - Varmekapasitet til vann. Denne varierer med temperaturnivå, men settes som en konstant for enklere beregning, kundemåler regner med korrekt varmekapasitet.
 $C = 1,16 \left[\frac{kWh}{m^3} \right]$

Energiuttaket, Q , i kWh fra $1 m^3$ gjennom varmeveksleren med en ΔT på $45^{\circ}C$ blir da:

$$\begin{aligned} Q &= 1m^3 \cdot 1,16 \frac{kWh}{m^3 \cdot ^{\circ}C} \cdot 45^{\circ}C \\ Q &= \underline{\underline{52,2kWh}} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Volumtariffen ble bygd opp med en ønsket rabatt på $6 \frac{\text{Øre}}{kWh}$. Denne verdien er satt på det nivået for at den skulle utgjøre størrelsesorden 10 % av resulterende energipris.

I eksempelet 3.6 om energiuttaket i kundesentralen, ser vi at det forventes at kunden tar ut 52,2 kWh for hver kubikk fjernvarme som passerer varmeveksleren.

Med en $\Delta T = 45^{\circ}C$ blir regnestykket slik for å beregne pris per m^3 volum:

$$\begin{aligned} \text{Volumpris} &= 52,2 \frac{kWh}{m^3} \cdot 0,06 \frac{kr}{kWh} = 3,132 \frac{kr}{m^3} \\ &\approx \underline{\underline{3,13 \frac{kr}{m^3}}} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Det er denne volumprisen som står oppført i fjernvarmetariffen, vedlegg E, ved en $\Delta T = 45^{\circ}C$. Volumprisen kan kunden selv påvirke ved å sørge for best mulig avkjøling på anlegget. Med god avkjøling brukes det mindre vann og man får en lavere fjernvarmepris. I tabellen under vises det hvilken priskonsekvens man får ved ulike ΔT .

Kundens ΔT [$^{\circ}C$]	Tillegg/fratrekk i FJV pris [$\frac{\text{Øre}}{\text{kWh}}$]
25	4,8
30	3
35	1,7
40	0,7
45	0
50	-0,6
55	-1,1
60	-1,5
65	-1,8

Tabell 3.2: Priskonsekvens ved ulik ΔT

3.5 Lys og lysstyring

3.5.1 Lysrørarmaturer

Lysrørarmaturer består hovedsakelig av en eller flere lyskilder (lysstoffrør), en eller flere forkoblinger og reflektor(er). Lyskilden kan variere i størrelse og utforming, men oftest som rette rør av typen T8 eller T5. T8 er den eldre typen og er litt tykkere og mindre effektiv enn T5-rør. Reflektorene er optimalisert for å spre lyset der det er tenkt å bruke det, fremfor å la det absorberes før det kan utnyttes. I den elektriske kretsen er det en såkalt forkobling foran lysrørene. Forkoblingen kan være elektromagnetisk eller elektronisk.

Den elektromagnetiske forkoblingen består av en spole (drossel) og en tenner. I tillegg er det koblet opp en kondensator for å kompensere for den reaktive spolen. Denne forkoblingen utvikler også varme som kan betegnes som energitap og kan utgjøre ca. 27 % av effekten til lyskilden [27]. Om lysene skal dimmes må forkoblingen også ha en transformator som opprettholder en glødespenning over elektrodene på røret. [28]

Den elektroniske forkoblingen er sammensatt av ulike elektronikk og har samme funksjon som spolen og tennen i den magnetiske forkoblingen. I tillegg stopper forkoblingen tenningen om lysrøret er utbrukt. Energitapet i en elektronisk forkobling er betraktelig lavere enn i en magnetisk, men det er ikke ubetydelig. Mange utgaver av den elektroniske forkoblingen er utstyrt med dimming, enten med 0-10 V, DALI eller andre systemer.

3.5.2 LED-armaturer

Et LED-armatur er bygget opp av flere lysdioder, en forkobling og eventuelt optikk. Et LED-armatur sender lyset i en retning om det ikke er bygget for å sende i flere retninger. Optikk kan brukes for å samle lysstrålingen enda mere og belyse akkurat hvor det er nødvendig. Forkoblingen har energitap også på LED-armaturer, men det tapet er medregnet når produsenten oppgir sin effekt til lyset, og trenger derfor ikke medregnes på samme måte som med lysrør uten kjent produktinformasjon til armaturet. Tapet er i nærheten av størrelsen på tapet til den elektroniske forkoblingen i lysrørmaturer.

Når ulike LED-armaturer skal sammenlignes er det lysutbyttet som kan fortelle hvilket armatur som er mest energieffektivt. Alt etter type LED og forkobling det er i armaturen kan LED-lys ha mange muligheter for lysstyring. Blant annet kan fargen skiftes og lyset dimmes.

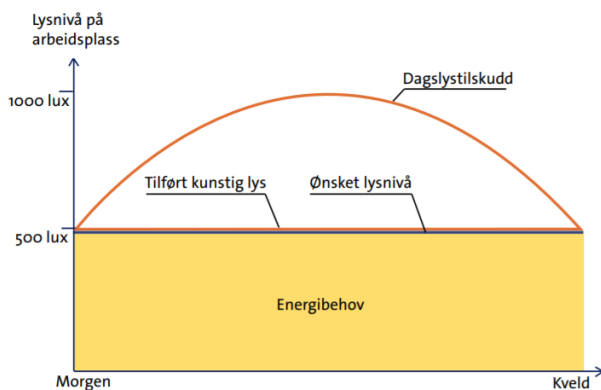
3.5.3 Tilstedeværelsesdeteksjon

Ved å montere utstyr som detekterer tilstedeværelse og slår av lysene når det ikke er folk til stede, skal det være mulig å redusere energibruken til belysning. Når det skal styres etter tilstedeværelse er det viktig å tenke på soneinndeling og tidsinnstilling. Om mange lys styres av en eller flere sensorer samtidig vil det være unødvendig mye lys som står på om det kun er en person som er til stede. Om det skaper ubehag med mørke rundt personen er det mulig med trinnregulert styring såfremt lysarmaturene er dimbare.

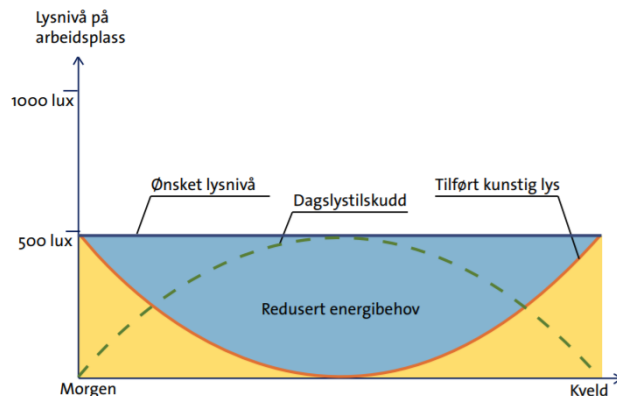
Neddimmet på-tid kan også være aktuelt i rom hvor det er gjennomgang, men ikke oppholdsrom. Hurtig av/på gir redusert levetid for lyskilder, spesielt lysrør, samtidig som lang på-tid gir økt energibruk. Med trinnregulert styring kan da lysene slås på når første går forbi, dimmes ned etter ca. tre minutter og slås helt av etter ca. 10 minutter. Slik styring vil redusere energibruk samtidig som levetiden på lyskildene opprettholdes. [28]

3.5.4 Dagslysstyring og konstantlysstyring

Rom med god dagslystilgang vil ofte ha høyere belysningsstyrke enn nødvendig siden den kunstige belysningen projekteres etter mørke og vil bidra like mye i mørke som i dagslys. Figur 3.5 viser hvordan bidraget fra dagslyset legges på belysningsstyrken fra den kunstige belysningen, mens figur 3.6 viser hvordan dagslysstyring med dimming gir en konstant ønsket belysningsstyrke.



Figur 3.5: Belysningsstyrke uten dagslysstyring [29]



Figur 3.6: Belysningsstyrke med dagslysstyring [29]

Dagslysstyring kan gjøres med å slå av/på lyset når det blir lyst eller mørkt nok, eller det kan gjøres med å dimme ned lysene når det blir lysere og dimme opp når det blir mørkere slik at belysningsstyrken holdes konstant (konstantlysstyring) [28]. Av/på kan gi større ubehag for brukere av bygget samtidig som energisparingen blir mindre siden dagslyset må dekke hele bidraget fra den kunstige belysningen før armaturene kan slukkes [28]. Av/på-funksjonen er ofte integrert i bevegelsesdetektorer og kan derfor enkelt kombineres med tilstedeværelsesdeteksjon uten ekstra kostnader. [29]

Siden belysningen prosjekteres etter minste vedlikeholde belysningsstyrke vil belysningsstyrken være høyere når armaturene er ny og reduseres etter hvert som de eldes. Dette krever ekstra energibruk som i utgangspunktet er unødvendig i starten. Med konstantlysstyring kan denne energibruken reduseres. Dagslysstyring vil fungere som en slik konstantlysstyring og vil derfor være ekstra energibesparende når lysarmaturene er ny. [28]

3.6 Solceller

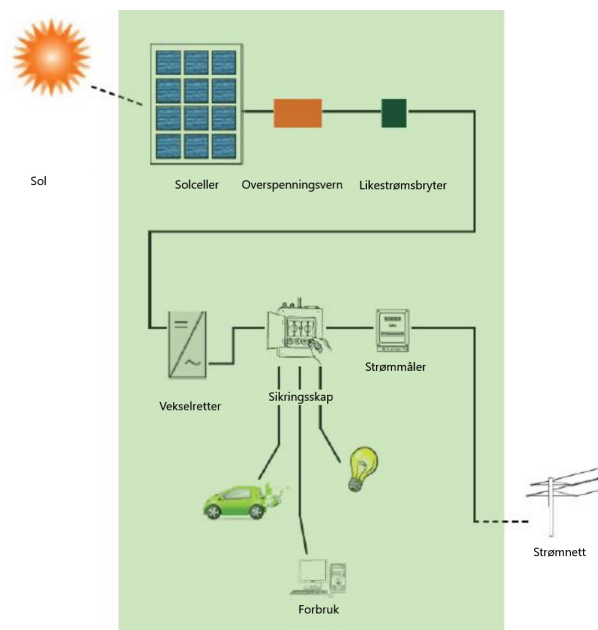
Solceller er fotosensitive halvlederdiodeer som omdanner energi i fotoner til elektrisk energi. Denne energien kan bli tatt i bruk i alt fra boliger til industri. Den elektriske energien kan lagres i batterier, vanligvis blyakkumulator-batterier. Den vanligste halvlederen som blir brukt er krystallinsk silisium [30]. En solcelle oppnår maksimal effekt, kWp, under ideelle forhold. Hvis solcellen er merket med 1 kWp betyr det at den produserer 1 kW per time. Ideelle forhold omtales ofte som, klar himmel, få partikler som dekker panelet og panelet er montert med en vinkel som gir mest sollys per kvadrat.

En av måtene man kan kutte ned energikostnadene til et bygg er å benytte seg av solceller. Vanligvis er det hensiktsmessig og beregne solceller ut fra flere faktorer. Disse faktorene kan være plass, tilbakebetalingstid, investeringskostnader og eventuelt utbytte.

Solcellene blir seriekoblet i rader. Hver rad blir koblet på en vekselretter som gjør spenningen om til AC. Oppkoblingen er vist i figur 3.7. Samtidig må man tenke på at det må være mulighet til å komme til solcellepanelene, slik at det kan utføres nødvendig vedlikehold. Det blir antatt at taket klarer å holde vekten av alt utstyret som blir montert.

Fusen, som er en aktør innenfor solcelleanlegg, skriver om forventet levetid på solcelleanlegg. Solcelleanlegg er forventet at de skal leverer opp til 80 % effekt 25 år etter det er satt i drift [31].

Enova investerer i ny energi og klimatiltak som kan gi flere nye teknologiske muligheter. Støtteordning for installasjon av solcelleanlegg er kun for private kunder, altså boliger og fritidsboliger.



Figur 3.7: Oppbygningen på et solcelleanlegg uten batteri [32]

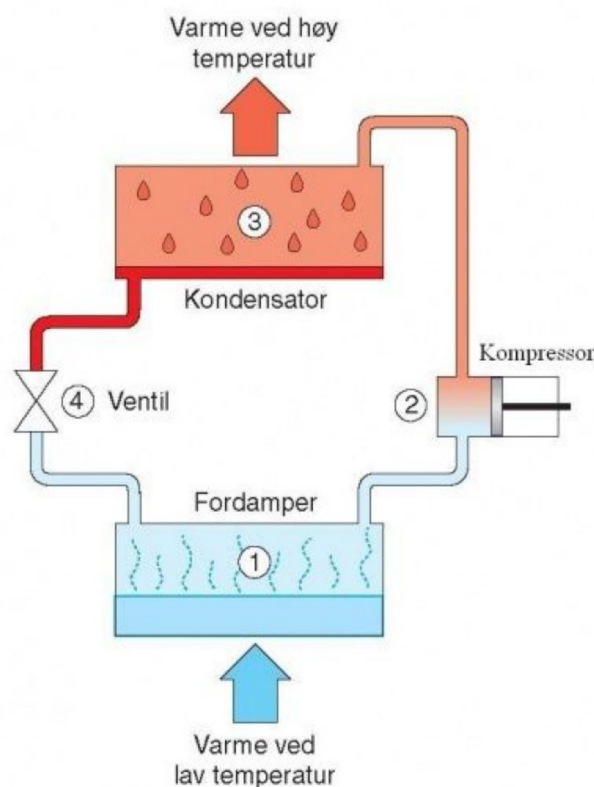
3.7 Varmepumper

3.7.1 Funksjonsbeskrivelse

Varmepumpen fungerer som vist i figur 3.8. Kompressoren trykker sammen en gass kalt arbeidsmediet, slik at mediet blir varmere. Arbeidsmediet går da til en radiator hvor varmen slippes ut fra arbeidsmediet og omgivelsen rundt mediet blir varmere. Mediet går så gjennom en strupeventil hvor det blir kjøligere og til en blanding av gass og væske. Mediet ender nå opp i fordamperen, fordamperen avkjøler omgivelsene og mediet blir til en gass igjen [33].

Varmepumpen bruker elektrisk energi for å gi varmeenergi. Den elektriske energien som går inn i varmpumpen brukes på å drive mekaniske deler, blant annet kompressoren. Lavere temperatur krever at kompressoren må jobbe mer. Derfor bestemmer temperaturforskjellen inne og ute varmpumpens effektfaktor [33].

Varmefaktoren, *Coefficient of Performance (COP)*, beskrives av $COP = \frac{Q_k}{(Q_k - Q_o)}$. Q_o er varme gitt i joule mens Q_k er varme som blir levert av prosessen.



Figur 3.8: Varmepumpe prinsippsskisse [33]

3.7.2 Energibesparelse med varmepumper

Enova har en liste over ti tiltak de anbefaler som energisparende tiltak i næringsbygg, som kontorbygning går under. Disse tiltakene har bedrifter hatt gode erfaringer med, og Enova mener disse tiltakene er av den enklere sorten, og kan ha stor effekt hver for seg. Å installere varmepumpe er et av tiltakene på denne listen, Enova anslår at installasjon av varmepumpe kan spare 10-50 % av energien som brukes til oppvarming. [34]

3.7.3 De forskjellige varmepumpene

Luft til luft-varmepumper

Ifølge Enova er luft til luft-varmepumper den mest utbredte typen varmepumpe i Norge. Denne typen varmepumpe henter ut varmen i uteluften, og varmer opp inneluften med denne varmen. Enova trekker frem følgende fordeler med denne typen varmepumpe: Lett å installere i eksisterende bygninger, bidrar til bedre inn klima med å filtrere ut støv, pollen og forurensning, er termostatstyrt og kan brukes til kjøling på årets varme dager. [35]

Norsk varmepumpeforening beskriver fordeler og ulemper med denne typen på deres nettsted. De peker på de samme fordelene som Enova, og understreker at denne typen kan være et smart valg fordi den kun krever små inngrep i bygget, og har lett tilgjengelig uteluft som varmekilde. Den største ulempen som trekkes frem er at varmepumpen ikke klarer å dekke varmebehovet på de kaldeste dagene, og derfor må bygning også ha en annen oppvarmingskilde. Andre ulemper er at fuktig og eller salt klima kan forkorte levetiden på varmepumpa, og at varmepumpen lager støy. [36]

Luft til vann-varmepumper

Luft til vann-varmepumper henter ut varme fra utelufta, og varmer opp vann inne i bygningen, dette kan være både tappevann og varmtvann til radiatorer. Det er også mulighet for å bruke disse varmepumpene til kjøling dersom det installeres viftekonvektorer. [37]

Norsk varmepumpeforening trekker frem at den kan dekke store deler av bygningens varmtvannsbehov, og dersom det allerede er vannbåren varme i gulv eller radiatorer, trengs det kun små inngrep i bygget for å montere. Ulempene som trekkes frem er de samme som nevnes i avsnittet om luft-luft-varmepumper. [37]

Berg- og jordvarmepumper

Berg- og jordvarmepumper fanger opp varme fra grunnen som pumpes inn til varmepumpen og forsyner bygningen med varme til vannbåren varme eller viftekonvektorer for kjøling. Dette gjøres med installasjoner i bakken fylt med frostvæske. Varmepumpen er lik for begge typer. Bergvarmepumper krever boring i grunnen for å lage energibrønner med 80 til 350 meter dype væskefylte kollektorer. Jordvarmepumper krever installasjoner i bakken med væskefylte kollektorer, Norsk varmepumpeforening anslår at det trengs 250 til 600 grunnareal for å forsyne en bolig med jordvarme. Et stort kontorbygg vil kreve mye større grunnareal. [38]

I motsetning til luftbaserte varmepumper, har varmekilden til jord- og bergvarmepumper omtrent stabil temperatur hele året. Dette gjør at de klarer å forsyne bygget med tilstrekkelig varme også i de kaldeste periodene av året. Denne typen varmepumper er svært driftssikre og har lang levetid. Energibrønnene som bygges ut har levetid på flere hundre år og kan gjenbrukes. Den lager lite eller ingen lyd. Ulempen med denne typen varmepumper er store investeringskostnader, og at det trengs omfattende grunnarbeid på tomten. Dette hever terskelen for å velge denne typen. [38]

Utstyr og metode

4.1 Valg av målemetoder i Kraftbygget

Hensikten med å benytte Wago Energy Data Management er å undersøke hva energien i bygget brukes til, ut ifra målingene velge tiltak for å redusere energikostnadene, og sammenligne energibruk før og etter tiltak er iverksatt. For å eliminere flest mulige feilkilder hadde det mest ideelle vært å målt to etasjer eller to fløyer som var adskilte og identiske med tanke på areal, solinnstråling, og brukt av like mange kontoransatte på lik måte. Som beskrevet i rapportens innledning er deler av bygget rehabilitert i varierende grad, ulik alder og kvalitet på vinduer, og det varierer hvor mye effekt lastene trekker. For eksempel er det ulike system for belysning, det er ulikt hvor nøyaktig soneinndelinga på tilstedeværelsesdeteksjon er og det varierer om lyskildene er LED-lys eller lysrør som forbruker mer effekt.

4.1.1 Alternativer for målemetoder

Tre ulike alternativer for oppkobling av målinger er vurdert under. Felles for alle alternativene er målinger i hele fjerde etasje. Dette er ønskelig fordi kun fjerde etasje har eget ventilasjonsanlegg.

Alternativ 1

Beskrivelse:

- Måle lyskursene, varmekursene og stigeablene i de to tavlene i fjerde etasje.
- Styre den ene fløyen og bruke den andre fløyen for å sammenligne effekten av tiltak i samme tidsperiode.

Fordeler:

- Dette kan skje i samme tidsperiode og da blir målingene blir tatt ved like temperaturer.
- Krever færre komponenter enn om flere etasjer skal måles.

Ulemper:

- Fløyene vender mot ulik himmelretning, og kan i ulik grad bli varmet opp av solinnstråling.
- Fløyene har litt ulik arealinndeling, og rom for ulike bruksområder.
- Fløyene ikke er helt adskilt. Noen åpne kontorlandskap, gang- og kjøkkenareal ligger delvis i begge fløyer. Her kan varme flyte mellom den styrte og ustyrte siden. Dette gir en stor feilkilde.
- Dersom bare en etasje blir målt, gir det ikke svar på om effektforbruket i etasjen er representativt for bygget.

Alternativ 2

Beskrivelse:

- Måle lyskursene, varmekursene og stigeakslene i to tavler i fjerde, og en eller to tavler i andre etasje.
- Styre fjerde etasje, og bruke andre etasje som referanse for å sammenligne effekten i samme tidsperiode.

Fordeler:

- Dette kan skje i samme tidsperiode og da blir målingene tatt ved like temperaturer.
- Målinger fra to etasjer gir et bedre innblikk i hva som er representativt strømforbruk for hele bygget.

Ulemper:

- Andre og fjerde etasje har ulik arealinndeling. I andre etasje er det kun cellekontor og møterom, i fjerde etasje er det også noen åpne kontorlandskap.
- Hele fjerde etasje leies ut til en bedrift. Andre etasje leies ut til ulike (startup-)bedrifter.
- Fjerde etasje er øverst i bygget og andre et midt i. Tredje etasje er ikke i bruk. Etagens kan ha ulike varmetap gjennom tak og vegger, særlig mot tak.
- I fjerde etasje styres lyssonene av og på etter tilstedeværelsesdeteksjon. I andre etasje styres lyset for hele etasjen med brytere plassert ved heisen. Effektforbruket er da betydelig ulikt i etasjene og da må eventuelle konklusjoner bli tatt på usikkert grunnlag.

Alternativ 3

Beskrivelse:

- Måle lyskursene, varmekursene og stigkablene i begge tavler i fjerde etasje.
- Måle en eller to stigekabler i andre etasje for å bruke som referanse når tiltak blir gjennomført.
- Styre fjerde etasje.
- Måle fjerde etasje med og uten tiltak i tidsintervall på en uke, noen dager eller én dag.

Fordeler:

- Målinger fra to etasjer gir et bedre innblikk i hva som er representativt strømforbruk for hele bygget.

Ulemper:

- Målingene er tatt på ulik tid, og da kan både vær og temperaturer være ulike for periodene, men bygget kan også bli brukt ulikt og av ulikt antall personer. Dersom syklusen med å måle uten tiltak en periode, også med tiltak en periode, repeteres flere ganger vil målingene bli sikrere fordi sjansen for å måle det som er vanlig forbruk, og ikke en annerledes dag eller uke øker.

Alternativ 3 velges etter dialog med oppdragsgivere og veileder.

4.1.2 Beskrivelse av det elektriske anlegget

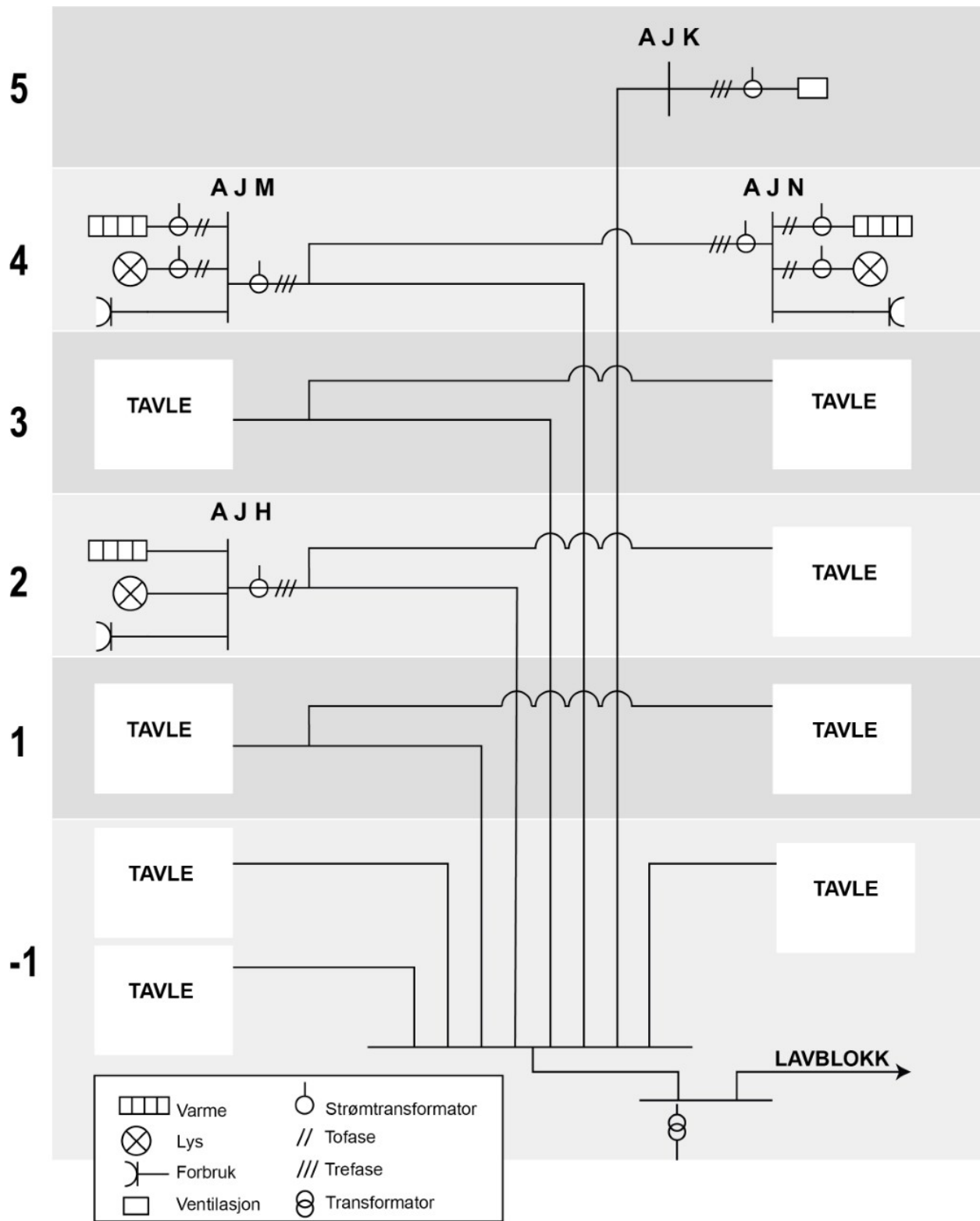
Figur 4.1 viser er en oversikt over hvordan det elektriske anlegget i høyblokka i Kraftbygget er oppbygd. Strømmen kommer inn i til hovedfordelinga i underetasjen, -1 på tegningen, og herfra bygningen forsynt med strøm med en kabel til hver etasje. Kabelen til etasjen forgreines til to kabler, og forsyner hver av de to tavlene i hver etasje. Hver tavle forsyner hovedsakelig en av bygningens to langsider. Kursene i tavlene har funksjonell oppdeling, som betyr at de er oppdelte etter type last: lys, varme og forbruk. AJK, AJM, AJN og AJH er identifikasjonsnavnene til tavlene.

4.1.3 Montering

Figur 4.1 viser hvor gruppen har montert strømtransformatorer for å måle tofase effektforbruk på lyskursene og varmekursene i fjerde etasje, og trefasemåling av effektforbruk på stigerene til de to tavlene i fjerde etasje og en av tavlene i andre etasje.

Det ble valgt å måle stigerene inn til tavlene i stedet for forbrukskursene fordi det var enklere å montere og krevde mindre utstyr. Grunnen til at tavla mot sørøst i andre etasje ble valgt, og ikke begge tavler eller kun den andre, er at det bare er denne fløyen som er tilnærmet lik fløyene i fjerde etasje.

Beskrivelse av utstyret som er brukt er beskrevet i avsnittet “Oppkobling” i kapittel 4.2.2.



Figur 4.1: Elskjema

4.2 Wago Energy Data Management

For å få bedre oversikt over energiforbruket er det tatt i bruk et system som leveres av Wago. Wago EDM er et system som registrerer og håndterer energidata og vil være en del av energiledelsen for et bygg. Med slike målinger har bedrifter et stort potensiale til å redusere energikostnader.

For aktører som ønsker å se på mulighetene for energibesparelser, men ikke ønsker å investere store summer er Wago EDM et alternativ. Wago EDM er et system som er enkelt å implementere i eksisterende bygg, det er en relativ lav økonomisk investering og behandlingen av målt energidata logges og kan fremstilles uten store programmerings kunnskaper. [1]

4.2.1 Programvare

Programvaren for Wago EDM består av et hovedprogram og et visualiseringsprogram. Programvaren er webbasert og overføres til PLSen fra PCen og åpnes i nettleseren på PCen.

EDM

Når maskinvaren er konfigurert og programvaren installert dukker alle komponentene opp i EDM. Da må innstillinger gjøres for å få ut riktige måleverdier. Disse innstillingene kan gjøres i EDM eller i Wago IO-check. Når alle nødvendige innstillinger er gjort velges de ulike verdiene som skal logges. Loggen kan lagres i en lokal database, CSV-fil, MySQL eller influxDB.

Med effektmålemoduler er det i utgangspunktet kun spenning og strøm som måles på hver av fasene, men ut fra disse målingene beregner EDM verdier for aktiv, reaktiv og tilsynelatende effekt og energi, effektfaktor. Effekt og effektfaktor beregnes både totalt og per fase. I tillegg til verdiene som kommer fra I/O-modulene er det ulike virtuelle objekter som tar inn måleverdier og gjør ulike matematiske beregninger som også kan logges.

De av verdiene som er ønskelig å beholde kan logges i det intervallet som ønskes og lagres i PLSen eller på SD-kort. Loggfilene kan videresendes via Modbus TCP/IP eller som CSV-fil via FTPS. [1]

Visualisering

Når måleverdiene er logget kan disse visualiseres grafisk. Til dette formålet har Wago utviklet et visualiseringsverktøy i EDM. Her kan verdiene presenteres med linjediagram, sektordiagram, søylediagram, arealdiagram eller "bare verdi". Hvert diagram kan inneholde verdier fra kun ett objekt/modul, eller fra flere objekter samlet. Data fra diagrammene kan skrives til en CSV, JPG eller SVG-fil.

4.2.2 Maskinvare

For maskinvaresiden av prosjektet er det i all hovedsak benyttet 750-serien fra Wago sitt sortiment. Dette I/O-systemet kombinert med en PFC200-kontroller og en skjerm utgjør grunnlaget for maskinvaren. Systemet baserer seg på MODBUS-protokollen for rask kommunikasjon mellom enhetene. Som forklart i 4.1 er vårt anlegg basert på master/slave-arkitekturen. Masteren står i 5.etasje og blir tilkoblet flere slaver fra de andre etasjene. For å opprette kommunikasjon kreves det at enhetene er i samme IP-adresseområde og deretter kan ekstra innstillinger gjøres i enhetens egne adresse.

På slave nivå har det blitt benyttet en feltbusskobling for kommunikasjon med PFC200-kontrolleren. En slik feltbusskobler er igjen seriekoblet med ønsket mengde I/O-moduler. Ettersom prosjektets fokus er energi og forbruk er det blitt tatt i bruk 3-fasede effektmålemoduler og en digital utgangsmodul for mulighet til styring. [1]

For en enklere forståelse og visualisering av hvordan de ulike komponentene er montert og koblet, er det i vedlegg H laget oversiktlige tegninger. Tegningene viser nettverkstopologi, arrangementstegninger og I/O-modulenes koblingsskjema for både spenning- og strømmåling.

I vedlegg G.2 fremstilles noe av Wago sitt sortiment. Dette er komponenter som er blitt montert og brukt i oppgaven, derfor vises de frem med bilde og en tilhørende forklarende tekst. Full oversikt over utstyr som er koblet opp finnes i tabell under vedlegg G.1.

Oppkobling

I andre etasje er det montert en I/O-slave, en målemodul og tre 400:1 A strømtransformatorer på stigeren til tavlen samtidig som spenningsmåling er tilkoblet modulen. I fjerde etasje er det i hver av de to tavlene montert en I/O-slave, målemoduler nok til å måle stigerne, lyskursene og varmekursene, 400:1 A strømtransformatorer på stigerne og 64:1 A strømtransformatorer på kursene.

På teknisk rom er det montert en I/O-slave, en målemodul og tre 400:1 A strømtransformatorer i tavlen for å måle ventilasjonsanlegget. I tillegg er det her montert en kontroller der Wago EDM er installert, en skjerm for å kunne utvide systemet med andre funksjoner og en ruter som fungerer som grensesnitt til VPN-aksess. Alle målemodulene er tilkoblet 230 V for spenningsmåling.

Måleverdier

De viktigste innstillingene som må gjøres for å få riktige måleverdier i dette prosjektet er:

- Nettopologi: Artificial starpoint (3-fase) / 4-wire wye, 2-phase (2-fase)
Systemet er designet for TN-nett, men i Kraftbygget er det IT-nett. Med et tenkt nullpunkt kan trefase spenningsmålinger blir riktig også på IT-nett.
- Ratio: 400:1 / 64:1
Strømtransformatorene har et omsetningsforhold som systemet må vite om. For tofasemålinger MÅ den fasen uten måling ha ratio = 1:1 for å unngå å måle en strøm som ikke er der.
- Scaling factor for energy measurement: 1 Wh / 1000 Wh
Om skaleringsfaktoren ikke justeres må en være oppmerksom på hvilken gain som skal legges inn for loggede verdier.

Da strømkostnadene kun er avhengige av aktiv effekt og energi er det disse to verdiene som er valgt å logge. Effekten logges hvert minutt, mens energien logges hver time for alle modulene.

4.3 Prosessering av historiske data

Bachelorgruppen har tilgjengelig månedlige måledata fra hovedmålerne for strøm og fjernvarme i Kraftbygget, og for hver time siden AMS-måler ble montert i februar 2019. For å bearbeide dataene er de tatt inn i Excel og timesdataene er fordelt månedsvis, mens månedsverdiene allerede var oppdelt i år. Priser for nettleie er hentet fra Tensio TS nettsider [20], spotpriser er hentet fra Nord Pools nettsider [24] og priser for fjernvarme er hentet fra Statkrafts nettsider [26].

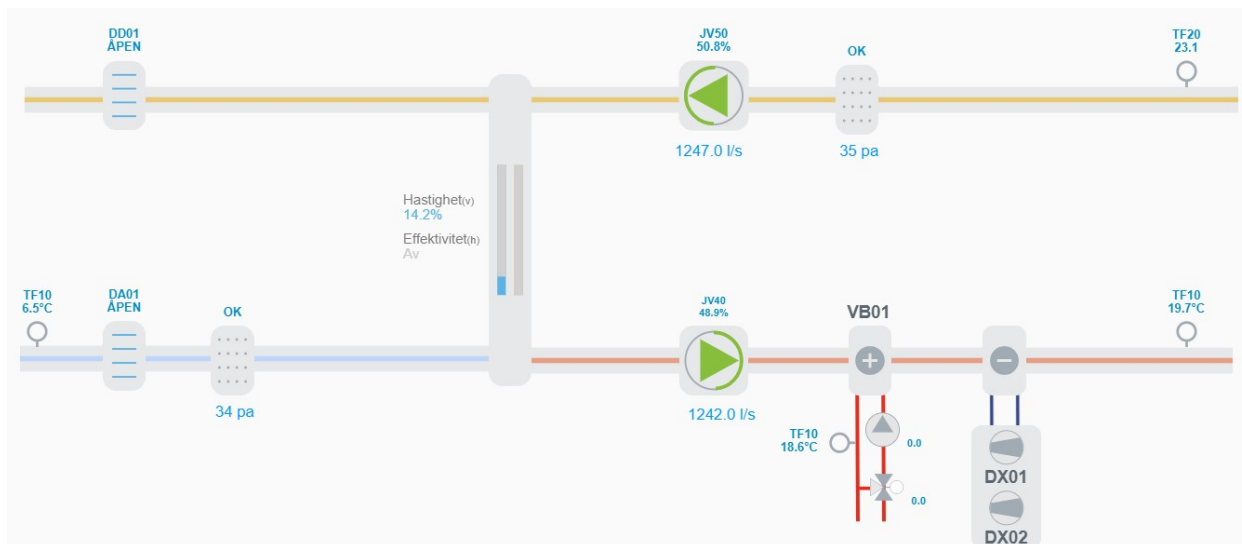
For å bedre kunne bearbeide dataene er Matlab tatt i bruk for å gjøre beregninger og oppdelinger. Kodene som er skrevet i Matlab tar inn måleverdiene for strøm og fjernvarme samt spotpriser. Nettleieprisene som også er listet opp i tabell 3.1, er skrevet direkte inn i koden og beregnes som vist i formel 3.4 med forbruket hentet fra Excel. De ulike Matlab-kodene beregner og skriver ut verdier for gjennomsnitt hver time i døgnet alle dager i måneden, gjennomsnitt for hvor time i døgnet alle hverdager, gjennomsnitt for hver time på de ulike dagene i uken i hver måned samt strømkostnader og fjernvarmekostnader og beregningsgrunnlaget for disse. Kodene er vedlagt i vedlegg J.

For å unngå å bruke tid på å sette seg inn i flere databehandlingsprogrammer her bachelorgruppen bestemt at målinger fra Wago EDM blir skrevet til en csv.-fil, for å kunne utføre en detaljert behandling med hjelp av Matlab og Excel. Det er utført ulike beregninger i Excel alt etter hva som skal analyseres, men først er dataene kjørt gjennom Matlab. Disse Matlab-kodene ligger også i vedlegg J.

4.4 Måledata ventilasjon

I tillegg til Wago EDM har bachelorgruppen fått tilgang til å hente ut data fra ventilasjonsanleggene i Kraftbygget fra en sky-løsning som tilhører KEF. Data som kan hentes ut er blant annet temperaturer i aggregatet, prosentvis pådrag på viftene, luftstrøm, prosentvis pådrag på den roterende varmeveksleren og fjernvarmeventilens pådrag til varmebatteriet. Når grafer med data fra ventilasjonsanlegget presenteres senere i rapporten, er grafene laget i direkte i skyen og klipt ut til rapporten.

Figur 4.2 er et oversiktsbilde fra Kjeldsberg Cloud av ventilasjonsaggregat 36.04 som ventilerer fjerde etasje, og viser hvor de ulike målepunktene er plassert i aggregatet. Venstre side av bildet er ut og høyre side er inn i bygget. Med andre ord går innluften i den nederste kanalen mot høyre og utluft går i den øverste kanalen mot venstre. Varmeveksleren er det grå feltet som forbinder kanalene og varmebatteriet er den boksen med en + og merket VB01.



Figur 4.2: Oversiktsbilde av ventilasjonsaggregat 36.04, hentet fra Kjeldsberg Cloud

4.5 Solceller

Både økonomiske beregninger og dimensjoneringen av solcelleanlegget er estimater gjort av studentene og trenger derfor ikke å være nøyaktige. Innhentet data vil bli lagt frem og framgangsmåte blir forklart.

Dimensjoneringen gjort i denne oppgaven går ut på hvor mange kWh kan vi klare å produsere med det takarealet vi har tilgjengelig. Med hjelp fra Getek har gruppen fått mer innsikt i hvordan man erfaringsvis gjør en estimert beregning av solcelleanlegg [39].

Etter konsultasjon med Getek ble det anbefalt å bruke øst-vest-orienterte solceller. Disse monteres etter takets orientering. På flate tak er det mest vanlig å montere slike anlegg. Fordelen her er at det blir mindre skygger, og mer jevn produksjon over dagen.

Andre alternativer for solceller kunne vært sydvendte og fasademonterte solcelleanlegg. Øst-vest-orienterte ble valgt framfor syd-orienterte. Fasademonterte ble ikke tatt med fordi det medfører en endring på fasade som kan være søknadspliktig og medføre merarbeid og -kostnad.

Taket blir målt opp med kartverktøy fra Gulesider [40]. Det blir så trukket fra to meter med sikkerhetsavstand fra alle kanter på taket, og opp til to meter fra vegger. sikkerhetsavstanden er til for at man skal kunne jobbe på taket uten bruk av sikkerhetsseler, mens avstand fra vegger er for man skal komme til med vedlikehold. Med å se på andre sammenlignbare anlegg som nylig er montert ser man at det er vanlig å ikke monter solcelleanlegg hvor det kan bli kastet skygger.

Taket deles så opp i områder, områdene nummereres for enkelhets skyld, og fargelagt etter hvor godt egnet de blir antatt å være. Oversikt over de vurderte områdene er tegnet inn på bildet i figur 5.20.

Områdene blir vurdert på grunnlag av hvor mye skygge man kan se for seg at det er der. Ser man på figur 5.20 er område tre svært utsatt for skygge. Område to er litt mindre, men fortsatt nok utsatt til at området blir nedprioritert. Område fire har samme problem som område to. Område fem står veldig bra til, men det er plass til få solceller der kontra andre områder. Område seks vil være litt utsatt for skygge, men ikke nok til at det burde bli helt avskrevet. Område syv vil som område to være utsatt for nok skygge til at det er antatt uegnet.

Siden det ikke blir en profesjonell vurdering av solcelleanlegget, blir resultatet delt opp i tre scenario:

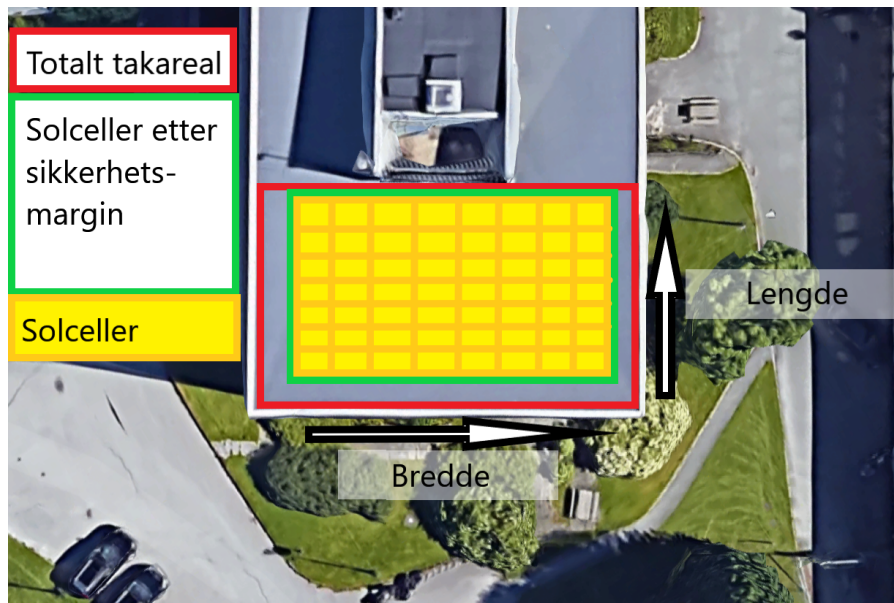
- Scenario 1: Alle områdene. Vises i tabell 5.13.
- Scenario 2: Område én, fem og seks. Vises i tabell 5.14.
- Scenario 3: Område én. Vises i tabell 5.15.

4.5.1 Beregninger

For å få vite hvor mange solceller man får inn på hvert område følger gruppen følgende fremgangsmåte.

- Først antar man at hver enkelte ferdigmonterte solcellepanel har en dimensjon på 1,75 m · 1,1 m.
- Så deler man opp taket i firkantete områder og måler dem opp, her er område én 10 m · 18 m.
- Så trekker man fra 2 m fra hver ytterkant av taket, og ender opp med 14 m bredt og 8 m langt.
- Bruker man formelen $\frac{\text{Takbredde}}{\text{Lengde solcelle}}$ og runder ned, finner man hvor mange solceller man får plass til i bredden.
- Bruk så $\frac{\text{Taklengde}}{\text{Bredde solcelle}}$ og rund ned, da finner man antall solceller i lengden.
- Multipliserer man antall solceller i lengden og i bredden får man totalt antall solceller på ett område.

Her velger vi å runde ned for å ikke dimensjonerer ut over sikkerhetsavstanden som er satt på to meter fra kantene på taket. Resultatet av utregningen er visst i tabell 5.13, 5.14 og 5.15.



Figur 4.3: Figuren viser fremgangsmåten som er beskrevet ovenfor

Den elektriske produksjonen blir bestemt ut ifra erfaringstall. Vanligvis når man beregner slike anlegg bruker man datautstyr for å beregne solinnstråling på arealet man skal montere solceller på. Samt kan man beregne effekttap i solcellepaneler, kabler og omformere. Erfaringstallet som brukes i utregningene i denne oppgaven er 650 [39].

Det brukes følgende fremgangsmåte for å finne kWp og produsert effekt over et år:

1. $\text{kWp} = \text{Antall panel} \cdot \text{kW per panel}$
2. $\text{kWh over et år} = \text{kWp} \cdot \text{erfaringstall}$

For å finne ut hvor mye anlegget vil koste antar vi at hver installerte kWp koster 7500 kr. Fortsetter vi på tidligere eksempel får vi følgende: $\text{kWp} \cdot 7500 \text{ kr} = \text{kostnad}$.

For å finne investeringskostnad bruker vi metoden beskrevet i kapittel 4.7. Investeringskostnadene i denne oppgaven er den totale summen en må betale for anlegget.

Når man har investeringskostnaden og produsert effekt over ett år, finner vi ut hvor mye anlegget blir å koste over en lengre periode. I denne oppgaven regner vi med en periode på 15 og 25 år. Man bruker følgende metode:

1. kWh over en periode = kWh per år · periode

2. Øre/kWh = $100 \cdot \frac{\text{investeringskostnad}}{\text{kWh over en periode}}$



Figur 4.4: Viser et vanlig øst-vest-orientert oppsett [41]

4.6 Nattsenking

Den internasjonale standarden NS-EN 15232 fastsetter grenser av energistyring for de ulike BAC energiytelsesklassene [42]. I dag står varmen på hele døgnet og havner derfor i den laveste energiytelsesklassen D. Operasjonstida på varmeanlegget for et kontorbygg i energiytelsesklasse C er 05:00-21:00. Bachelorgruppen vurderer det også som gunstig å øke temperaturen igjen før ventilasjonsanleggene starter klokken 06:00, for å unngå at effekttoppene fra oppvarmingen ikke vil legge seg oppå forbruket fra ventilasjonen. Med utgangspunkt i dette velges det å prøve nattsenking i åtte timer, fra kl 21:00 til 05:00.

I Kraftbygget er det i dag et eldre anlegg for nattsenking. Dette systemet består av et lite varmeelement som øker temperaturen noen grader i termostaten og “lurer” termostaten til å senke temperaturen i rommet. Varmeelementet styres av kontaktorer som er montert i fordelingene. Styringen til disse kontaktorene var frakoblet, men i fjerde etasje er den nå tilkoblet reléer styrt av digitale utganger, som vist i figur G.4, i tilknytning til Wago EDM. Wago EDM har ingen ur-funksjon, men ved hjelp av e!COCKPIT kan det legges inn funksjoner som sender signaler til EDM via Modbus og styrer utgangsenhetene i fordelingene.

For å begrense oppgaven har bachelorgruppen valgt å ikke sette seg inn i e!COCKPIT, men styre utgangene manuelt for å gjøre målinger med nattsenking. Målingene som er spesielt interessante er reduksjon av energiforbruk til oppvarming og størrelsen på effekttoppene som oppstår når romtemperaturen skal øke.

4.7 Lån

I forbindelse med investeringskostnader for solceller er det brukt annuitetslån. For å regne på et slikt lån bruker man formelen

$$A = \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} P_0 \quad (4.1)$$

Hvor A er terminbeløpet, hva som betales inn hver måned. i er den månedlige rentefronten. Antall terminer er n og P_0 er lånets hovedstol, altså det originale lånebeløpet.

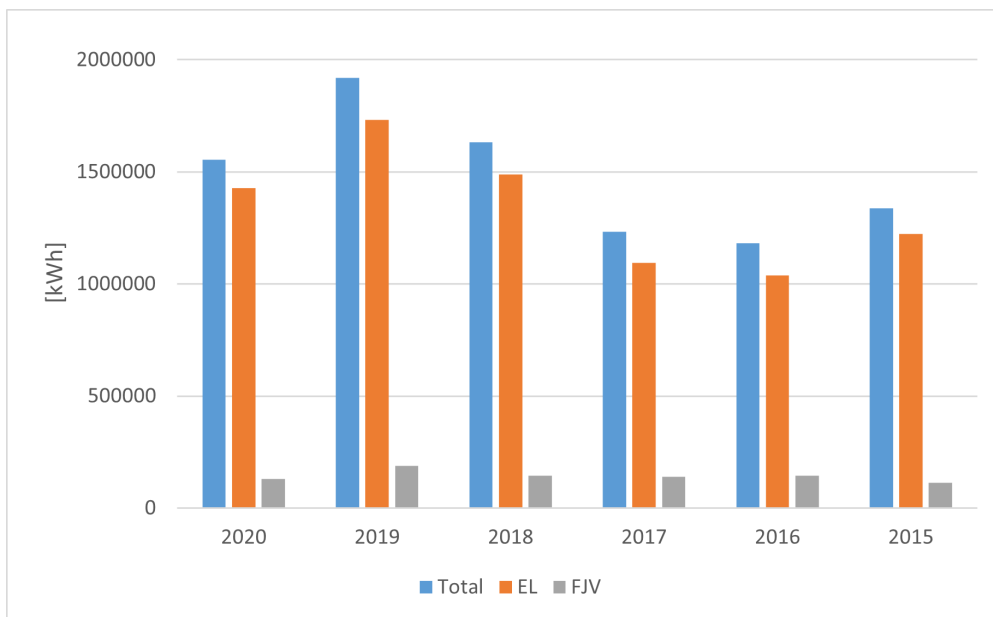
I lånene gruppen ser på i tabell 5.13, 5.14 og 5.15 er det satt en rente på 2.2 %, en løpetid på 15 år, 12 terminer, termingebyr på 50 kr og etableringsgebyr på 1500 kr. Lånets hovedstol er det punktet i tabellene under sammendrag som heter kostnad.

Resultater

5.1 Historiske energidata Kraftbygget

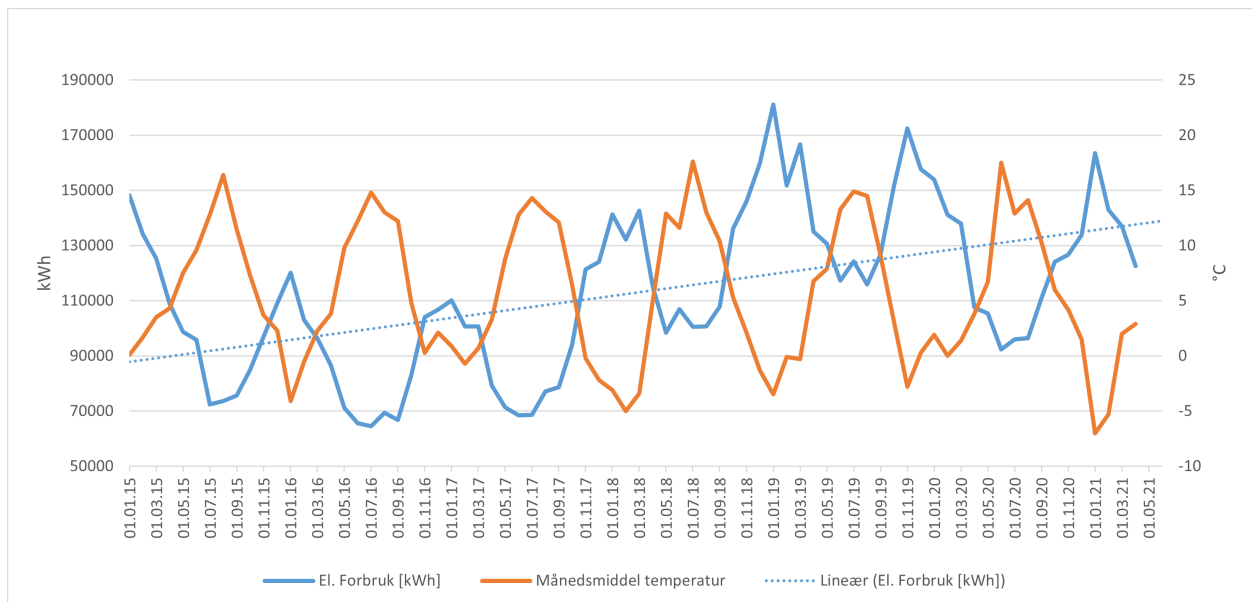
5.1.1 Energiforbruk

Figur 5.1 viser det årlige energiforbruket i Kraftbygget målt på hovedmålerne for elektrisk energi og fjernvarme fra 2015 til 2020. De blå søylene er totalforbruket som tilsvarer den oransje pluss den grå. Forbruk måned for måned og per kvadratmeter ligger i tabellform i vedlegg C. Strømforbruket kan ikke temperaturkorrigeres siden det ikke er kjent hvor stor andel som går til oppvarming og kjøling i hele bygget. Derfor er heller ikke fjernvarmeforbruket og totalforbruket temperaturkorrigert.



Figur 5.1: Årlig energiforbruk fra el., fjernvarme og begge samlet, for 2015-2020

Figur 5.2 viser månedlig totalt elektrisk energiforbruk for Kraftbygget og månedsmiddel temperatur fra januar 2015 til april 2021. Den blå stiplinjen er trendlinjen for energiforbruket over perioden. Figuren viser at det elektriske forbruket øker betydelig i de kalde månedene av året.



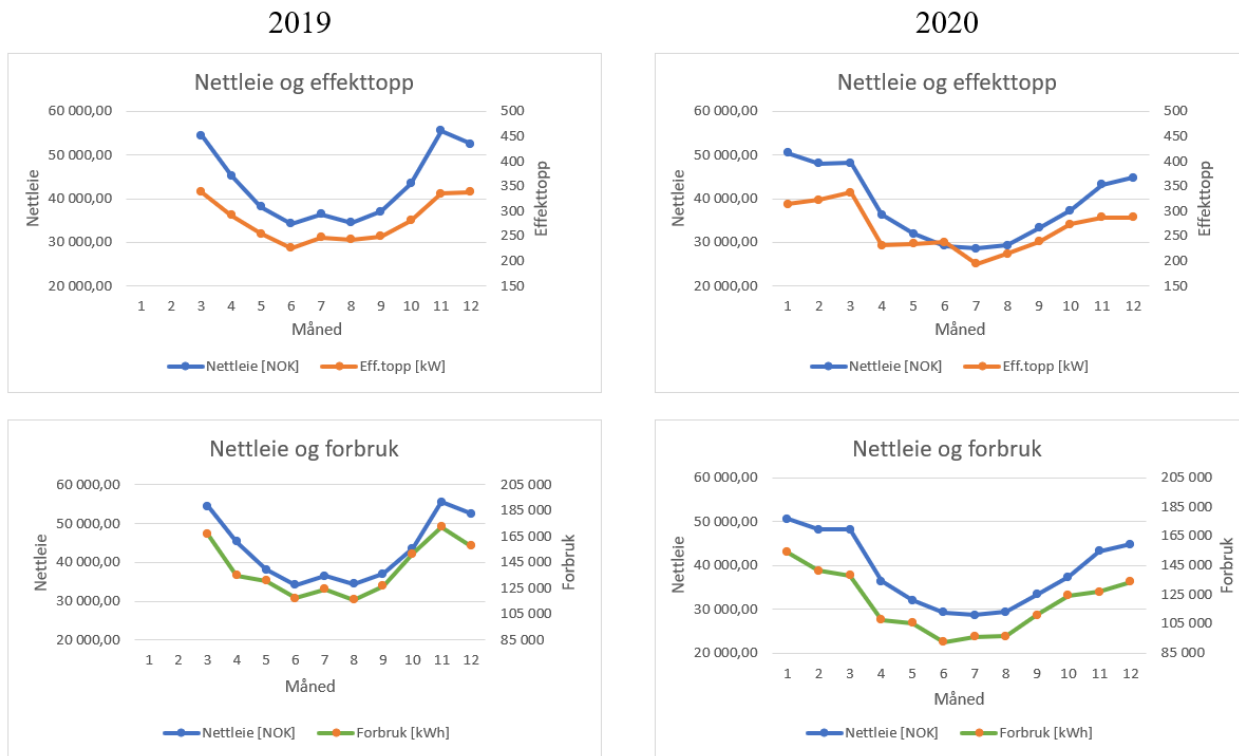
Figur 5.2: Totalt månedlig el.forbruk og temperatur fra jan. 2015 til apr. 2021

5.1.2 Energikostnader

Nettleie

I beregningene som er gjort for å få presentert resultater, er prisene for nettleien som er gjeldende fra januar 2021 brukt på alle årene. Dette er gjort for å ha et bedre grunnlag for å se sammenhenger.

Grafene i figur 5.3 viser sammenhengen mellom nettleien og forbruk og effekttopper, der nettleie og effekttopper er presentert i de øverste grafene, mens nettleie og forbruk er presentert i de nederste grafene. De to grafene til venstre er beregnet med måleverdier fra 2019 og de to til venstre med verdier fra 2020. Nettleien er oppgitt i NOK på venstre akse, forbruket og effekttopper er oppgitt på høyre y-akse i henholdsvis kWh og kW. X-aksen til alle grafene er månedene i året, der 1 er januar og 12 blir desember.

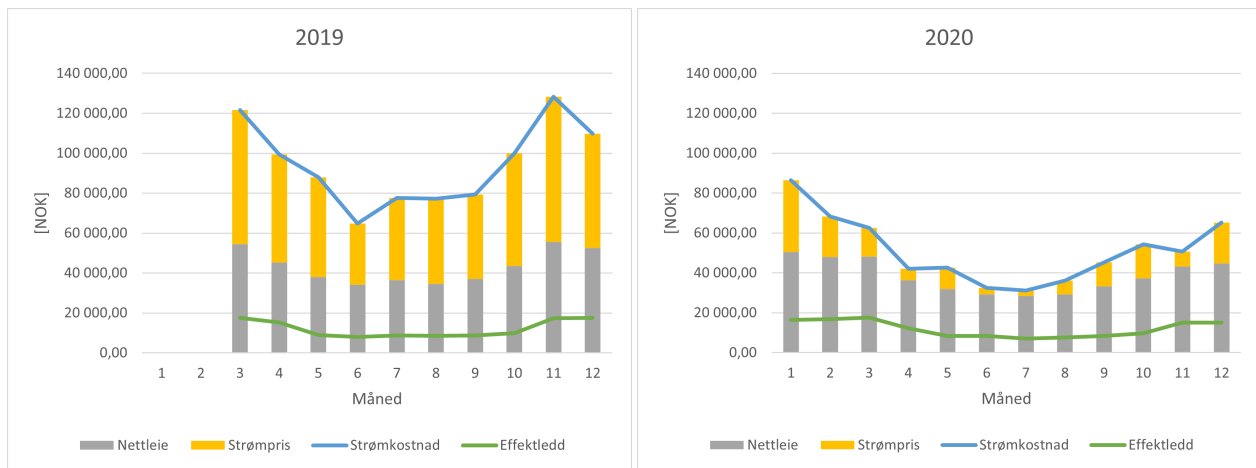


Figur 5.3: Grafer som viser sammenhengen mellom forbruk, effekttopper og nettleie

Grafene i figur 5.3 viser at nettleien påvirkes omtrent like mye av effekttopp og forbruk. Høye effekttopper trekker nettleien opp og lavt forbruk trekker nettleien ned, og omvendt. Juni 2020 er et godt eksempel på lavt forbruk, men effekttoppen er såpass høy at nettleien ikke går like mye ned som forbruket.

Strømkostnad

Figur 5.4 viser en oversikt over forholdet mellom strømpris, nettleie og effektleddet i nettleien opp mot den totale strømkostnaden for 2019 og 2020. Strømpris og nettleie er søyler som er satt oppå hverandre og gir den totale strømkostnaden, mens effektleddet er en del av nettleien og er derfor tegnet inn som en linje for å vise hvor stor andel av nettleien som kommer fra effekttoppen.



Figur 5.4: Effektledd, nettleie og strømpris som andel av strømkostnad i 2019 og 2020

Fra grafene i figur 5.4 kan en se at energileddet i nettleien er konstant i forhold til forbruket, men strømprisen varierer. Den store variasjonen kommer av at spotprisen er en faktor i strømprisen, og spotprisen varierer mye. Spotprisen er ikke noe en enkelt forbruker kan gjøre noe med, men den totale kostnaden kan reduseres med å redusere forbruket og effekttoppene. Effekttoppene vil reduseres om det totale forbruket hver time blir redusert.

5.1.3 Oppsummert historikk

En oppsummering av den månedsvise energibruken og -kostnadene for fjernvarme og elektrisitet i 2019 og 2020 er samlet i tabellene 5.1 - 5.4. For både elektrisitet og fjernvarme viser tabellene effekttoppen for hver måned i kW, det månedlige forbruket i kWh, total månedlig kostnad i NOK og kostnaden i øre per kWh. I tillegg er nettleien og spotprisen presentert i NOK for el.forsyningen, og effektleddet, energileddet og volumleddet til fjernvarmen er vist i NOK. Energikostnader per kvadratmeter ligger i vedlegg C.

Måned	Eff.topp [kW]	Forbruk [kWh]	Nettleie [NOK]	Spotpris [NOK]	Strømkost. [NOK]	Str.kost. [øre/kWh]
Mars	338	166 715	54 458,88	67 112,82	121 571,69	72,92
April	292	134 999	45 302,57	54 045,09	99 347,66	73,59
Mai	255	130 601	38 083,75	49 817,70	87 901,45	67,31
Juni	226	117 270	34 211,15	30 547,88	64 759,03	55,22
Juli	247	124 307	36 454,59	41 229,19	77 683,78	62,49
August	243	115 950	34 509,95	42 773,14	77 283,10	66,65
September	249	126 895	37 057,81	42 344,24	79 402,06	62,57
Oktober	281	151 591	43 494,49	56 465,63	99 960,12	65,94
November	335	172 542	55 552,65	72 780,23	128 332,88	74,38
Desember	338	157 717	52 508,21	57 244,56	109 752,77	69,59
Sum 2019	2 804	1 398 587	431 634,05	514 360,47	945 994,52	670,67

Tabell 5.1: Elektrisk energibruk og kostnader i 2019

Måned	Eff.topp [kW]	Forbruk [kWh]	Nettleie [NOK]	Spotpris [NOK]	Strømkost. [NOK]	Str.kost. [øre/kWh]
Januar	314	153 951	50 515,37	35 974,65	86 490,02	56,18
Februar	322	141 207	48 094,98	20 263,87	68 358,85	48,41
Mars	337	137 978	48 176,82	14 371,95	62 548,77	45,33
April	231	107 461	36 340,58	5 647,95	41 988,53	39,07
Mai	235	105 428	31 963,73	10 661,43	42 625,16	40,43
Juni	238	92 344	29 200,70	3 366,02	32 566,73	35,27
Juli	194	96 041	28 574,69	2 612,42	31 187,11	32,47
August	214	96 399	29 312,34	6 757,89	36 070,23	37,42
September	239	110 944	33 268,04	11 976,01	45 244,05	40,78
Oktober	274	124 155	37 312,62	16 935,98	54 248,60	43,69
November	287	126 718	43 261,42	7 365,18	50 626,60	39,95
Desember	287	133 725	44 804,35	20 357,52	65 161,86	48,73
Sum 2020	3 172	1 426 351	460 825,63	156 290,86	617 116,49	507,74

Tabell 5.2: Elektrisk energibruk og kostnader i 2020

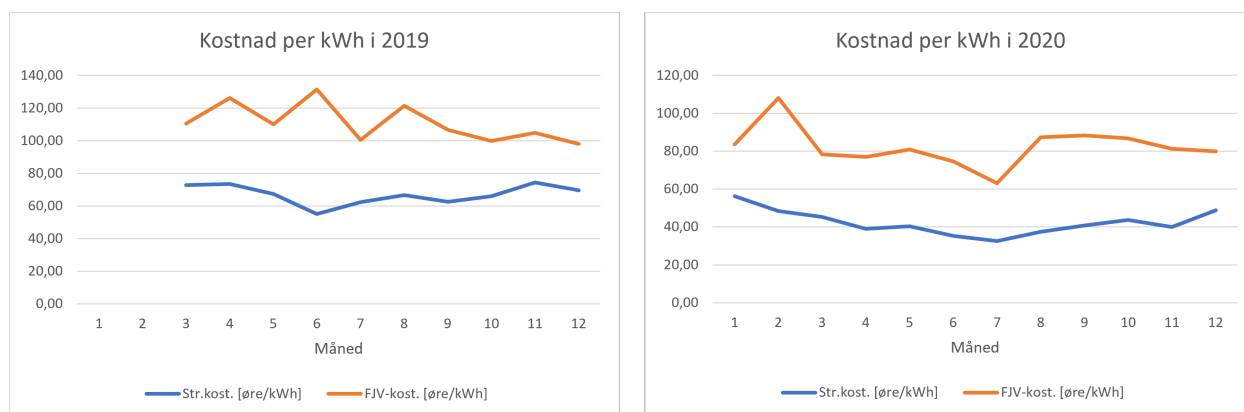
Måned	Eff.topp [kW]	Forbruk [kWh]	Effektledd [NOK]	Energiledd [NOK]	Volumledd [NOK]	FJV-kost. [NOK]	FJV-kost. [øre/kWh]
Mars	109	22 982	6 331,00	19 041,97	0,00	25 372,97	110,40
April	86	11 659	5 074,00	9 635,11	0,00	14 709,11	126,16
Mai	61	10 234	2 379,00	8 871,75	0,00	11 250,75	109,94
Juni	32	2 183	1 248,00	1 620,00	0,00	2 868,00	131,38
Juli	37	5 152	1 443,00	3 736,07	0,00	5 179,07	100,53
August	38	4 113	1 482,00	3 511,68	0,00	4 993,68	121,41
September	56	8 866	2 184,00	7 268,70	0,00	9 452,70	106,62
Oktober	78	21 716	3 042,00	18 649,48	0,00	21 691,48	99,89
November	120	33 310	6 870,00	28 197,58	-169,21	34 898,37	104,77
Desember	107	31 099	6 233,00	24 454,39	-225,16	30 462,22	97,95
Sum 2019	724	151 314	36 286,00	124 986,74	-394,37	160 878,37	1 109,04

Tabell 5.3: Energibruk og kostnader til fjernvarme i 2019

Måned	Eff.topp [kW]	Forbruk [kWh]	Effektledd [NOK]	Energiledd [NOK]	Volumledd [NOK]	FJV-kost. [NOK]	FJV-kost. [øre/kWh]
Januar	71	22 831	4 189,00	15 107,96	-201,93	19 095,03	83,64
Februar	112	15 661	6 478,00	8 899,21	1 548,72	16 925,93	108,08
Mars	59	13 741	3 481,00	7 269,40	0,00	10 750,40	78,24
April	63	12 898	3 717,00	6 212,32	0,00	9 929,32	76,98
Mai	50	8 681	1 950,00	5 076,65	0,00	7 026,65	80,94
Juni	14	2 438	546,00	1 274,03	0,00	1 820,03	74,65
Juli	25	4 892	975,00	2 114,60	0,00	3 089,60	63,16
August	30	3 691	1 170,00	2 054,96	0,00	3 224,96	87,37
September	31	4 205	1 209,00	2 505,51	0,00	3 714,51	88,34
Oktober	62	9 792	2 418,00	6 068,00	0,00	8 486,00	86,66
November	69	12 209	4 071,00	5 923,20	-80,12	9 914,07	81,20
Desember	76	17 698	4 484,00	9 775,84	-108,95	14 150,89	79,96
Sum 2020	662	128 737	34 688,00	72 281,68	1 157,72	108 127,39	989,22

Tabell 5.4: Energibruk og kostnader til fjernvarme i 2020

I figur 5.5 er den månedlige kostnaden for elektrisk energi og fjernvarme presentert grafisk med øre/kWh som enhet på y-aksen.



Figur 5.5: Energikostnad i øre/kWh for 2019 og 2020

Som nevnt i kapittel 3.4.2 er det kun spotprisen som er tatt med i beregningene som er gjort for å se på kostnaden som går til kraftleverandøren. Det påslaget som går til kraftleverandørene og til elsertifikater kan multipliseres inn med forbruket for den gitte perioden og legges til spotprisen som er beregnet i dette prosjektet. Der rapporten oppgir strømkostnader i øre/kWh kan nevnte påslag legges direkte på denne prisen da påslaget skal betales per brukte kWh. Dette påslaget kan ligge på rundt 2 øre/kWh for bedriftskunder.

5.2 Dagens energibruk i Kraftbygget

5.2.1 Lys

I fjerde etasje, hvor det er detaljerte målinger, er lysene fra cirka 2010-2011, styrt med tilstedeværelsesdeteksjon og består hovedsakelig av lysrørarmaturer med elektronisk forkobling og dimbare LED-lys enkelte steder. Dataene for energibruken til lyskursene er hentet fra EDM.

Det maksimale effektuttaket i løpet av en dag for lyskursene i fordeling AJN er registrert som 4,3 kW, mens det er 2,8 kW i fordelingen AJM. Totalt antatt installert effekt i fjerde etasje blir da 8,7 W/m². Den gjennomsnittlige tiden lysene slår seg på om morgenen er ca. klokken 06:45, enkelte dager før 06:00. Tiden lysene slår seg av på ettermiddagene varierer mellom 16:00 og 22:30, noen dager helt til 02:30. I et tenkt scenario der alle lys slås på av den første som kommer om morgenen og slås av av den siste som drar, vil det totale energiforbruket i fjerde etasje kunne finnes slik:

$$E_{lys,AJN} = P_{lys,AJN} \cdot t = 4,3kW \cdot 9 - 16,5h = \underline{39 - 71kWh}$$

$$E_{lys,AJM} = P_{lys,AJM} \cdot t = 2,8kW \cdot 9 - 16,5h = \underline{25,2 - 46,2kWh} \quad (5.1)$$

$$E_{lys,4etg} = E_{lys,AJN} + E_{lys,AJM} = \underline{65 - 118kWh}$$

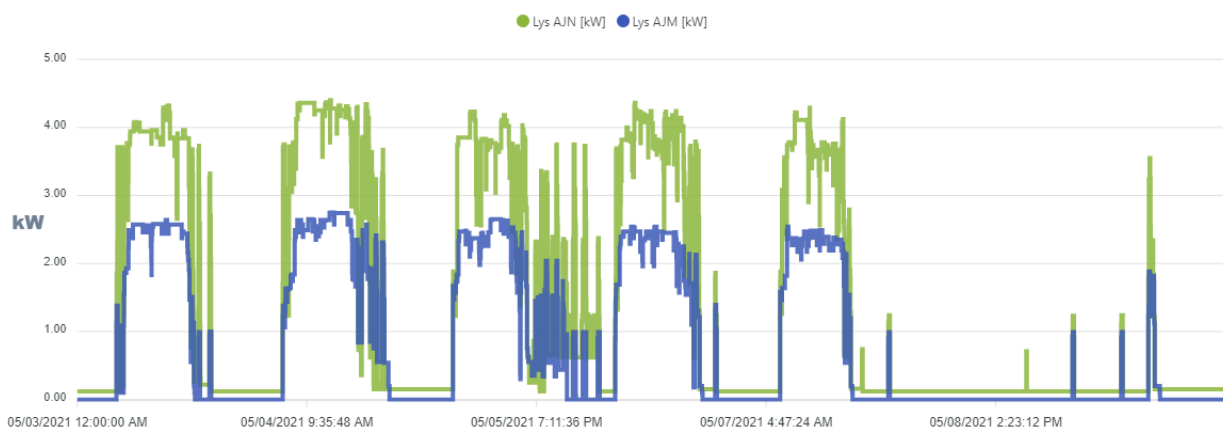
I andre etasje er det i dag eldre lysrørarmaturer og halogenspotter som slås på om morgenen og av om ettermiddagen. Tirsdag 09. mars klokken 14 ble de syv tofase lyskursene i fordeling AJH målt med tangamperemeter til å trekke totalt 18A med spenning lik 232V. Observasjon av målingene på stigeren i fordelingen viser at effektfaktoren varierer fra 0,9 til 0,96. Med nevnte observasjon og målt løft på mellom 3 og 4kW effektuttak på morgenen, antas effektfaktoren på lysene til 0,92 og samlet effekt til lysene i sørfløyen i andre etasje blir

$$P_{lys,AJH} = U \cdot I \cdot \cos(\phi) = 232V \cdot 18A \cdot 0,92 = \underline{3,8kW} \quad (5.2)$$

Med utgangspunkt i forholdet mellom effektuttaket til lys i AJM og AJN, og antakelsen om at AJM og AJH dekker like store arealer vil 3,8 kW tilsvare 11,5 W/m². Med å bruke samme av/på-tid som i beregningene for fjerde etasje vil energibruken til lys i halve andre etasje være

$$E_{lys,AJH} = 3,8kW \cdot 9 - 16,5h = \underline{34,2 - 62,7kWh} \quad (5.3)$$

Figur 5.6 viser strømforbruket til belysning i fjerde etasje en tilfeldig uke. Målingene i kW er logget hvert minutt der den blå grafen viser målingene i fordeling AJN og den grønne viser målingene fra AJM.



Figur 5.6: Lysforbruket i 4.etg. i uke 18

Denne uken var det totale forbruket målt til 385 kWh med registrert total på-tid på 75 timer. Med den tidligere funnet installert effekt på 7,1 kW tilsvare forbruket 532,5 kWh uten tilstedeværelsesdeteksjon. Total besparelse blir da 147,5 kWh på en uke, eller opp mot 30 kWh per ukedag.

På grunn av en feil i lysmålingene som ikke ble oppdaget og rettet opp før slutten av april er det ikke datagrunnlag for å gjøre beregninger over hele måleperioden, men tidene lysene er på er gjeldende gjennom hele perioden. Med det som utgangspunkt er det hentet ut data for lysmåling i fjerde etasje i Kraftbygget fra hverdagene etter feilretting og regnet gjennomsnittsforkbruk time for time (åtte relativt representative dager). Den andre kolonnen, merket "Målt [kWh]", i tabell 5.5 viser disse gjennomsnittsverdiene.

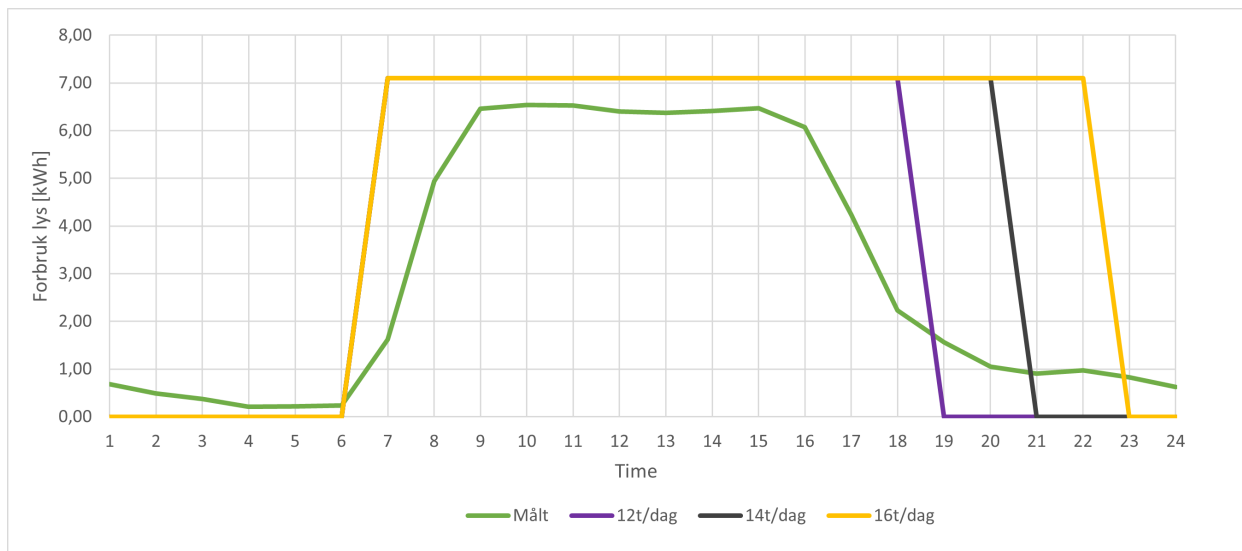
For å sammenligne energiforkbruk til lys med og uten tilstedeværelsesstyring er den effekten som er funnet ovenfor for installert effekt til lys i fjerde etasje (7,1 kW), plassert i nye kolonner i tabell 5.5 med ulike antall timer hvor lysene er tenkt manuelt påslått. I de tre kolonnene lengst til venstre står det en null hvor lysene er tenkt avslått og 7,1 der lysene er tenkt påslått. Hver rad er for den timen som står i første kolonne, altså er 1 fra klokken 00:01 til 01:00 og så videre.

I den nederste delen av tabellen er det oppgitt en differanse mellom de tre kolonnene tallene er skrevet i, og kolonnen med gjennomsnittsverdier. kWh/dag er funnet ved å summere alle kolonnene og trekke den "målte" kolonnen fra de andre summene. kWh/uke er lik (kWh/dag) · 5. For å gjøre tallene sammenlignbare er de gjort om til "per m²" ved å dividere på arealet i fjerde etasje som er ca. 820 m².

Time	Målt [kWh]	12t/dag	15t/dag	17t/dag
1	0,68	0	0	0
2	0,48	0	0	0
3	0,37	0	0	0
4	0,21	0	0	0
5	0,22	0	0	0
6	0,23	0	0	0
7	1,62	7,1	7,1	7,1
8	4,94	7,1	7,1	7,1
9	6,46	7,1	7,1	7,1
10	6,54	7,1	7,1	7,1
11	6,53	7,1	7,1	7,1
12	6,41	7,1	7,1	7,1
13	6,37	7,1	7,1	7,1
14	6,41	7,1	7,1	7,1
15	6,47	7,1	7,1	7,1
16	6,07	7,1	7,1	7,1
17	4,23	7,1	7,1	7,1
18	2,23	7,1	7,1	7,1
19	1,56	0	7,1	7,1
20	1,04	0	7,1	7,1
21	0,91	0	7,1	7,1
22	0,98	0	0	7,1
23	0,83	0	0	7,1
24	0,63	0	0	0
Energibesparelse m/tilstedeværelse i forhold til gitt antall på-timer				
kWh/dag		12,8	34,1	48,3
kWh/uke		63,8	170,3	241,3
Wh/dag/m ²		15,6	41,5	58,9
Wh/uke/m ²		77,9	207,7	294,3
kWh/år/m ²		4,0	10,8	15,3

Tabell 5.5: Energibruk til lys med og uten tilstedeværelse

Hele den øverste delen av tabellen er grafisk fremstilt i figur 5.7. Denne grafen viser timer på x-aksen og forbruk i kWh på y-aksen. Den grønne grafen viser det ovennevnte gjennomsnittlige timesforbruket per dag med tilstedeværelsesdeteksjon, mens den lilla, sorte og gule grafen viser teoretisk forbruk med manuell på/av med henholdsvis 12, 15 og 17 timer på-tid. Alle på-tidene er representative for hva som er normalt i fjerde etasje i Kraftbygget. Den gjennomsnittlige på-tiden de dagene den grønne grafen er laget fra er 15 timer, så den sorte grafen skal tilsvare det gjennomsnittlige forbruket med manuell styring. Differansen mellom de rette grafene og den grønne grafen gir besparelsen for tilstedeværelsesstyring.



Figur 5.7: Energibruk til lys med og uten tilstedeværelse

Gjennomsnittlig forbruk per dag er målt til 72,4 kWh over åtte representative dager.

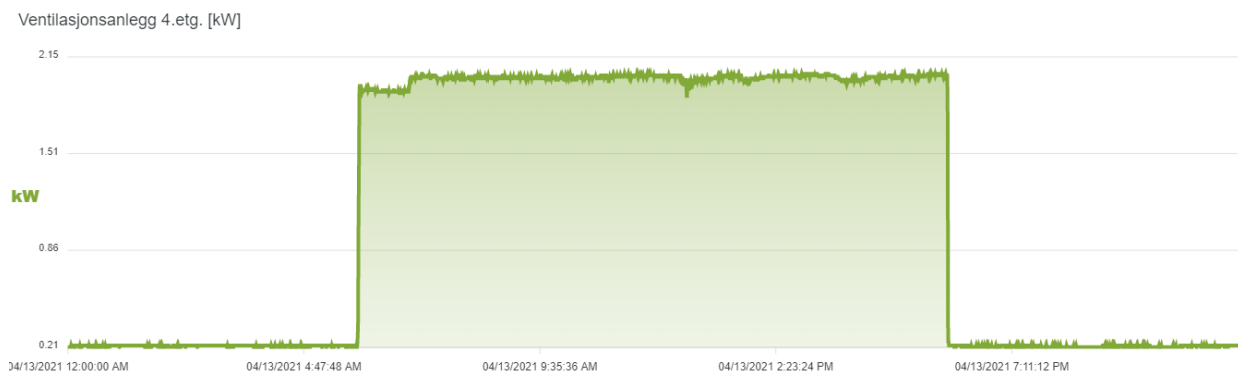
Gjennomsnittlig på-tid var 15 timer, som gir gjennomsnittlig forbruk uten tilstedeværelsesstyring på $7,1 \text{ kW} \cdot 15 \text{ h} = 106,5 \text{ kWh}$.

5.2.2 Ventilasjon

Elektrisk energibruk

De elektriske energimålingene som gjøres med Wago EDM på ventilasjonsanlegget som dekker fjerde etasje viser en omtrent konstant effekt på ca. 2,1 kW når anlegget er på fra 06:00 til 18:00 alle hverdager. Dette gir et energiforbruk på ca. 25,2 kWh alle hverdager, eller 504-580 kWh i måneden. Med et areal i 4. etasje på ca. 820 m² blir det månedlige forbruket 0,61-0,71 kWh/m² og årlig ca. 8,1 kWh/m², eller 0,78 kWh/m² årlig i forhold til det totale arealet i bygget.

Det elektriske forbruket til ventilasjonsaggregatet for fjerde etasje er plottet i figur 5.8 over et døgn. Denne grafen er representativ for alle hverdager med normal drift. Grafen viser at det er en liten økning i pådrag klokken 7 om morgenen. Dette hoppet har en sammenheng med oppstart av andre ventilasjonsanlegg i bygget. I måledataene fra skyen til KEF kommer det frem at volumstrømmen på aggregat 36.04 er den samme under hele på-tiden, men pådraget øker fra 46 % til 49 % når de resterende aggregatene starter opp.



Figur 5.8: Elektrisk effektuttak til ventilasjon i 4.etg. én dag

Varmeenergi tilført fra fjernvarme






Med en gjennomsnittlig årsmiddeltemperatur på 6°C , settpunkt for innluftstemperatur på 19°C , driftstid for ventilasjon på 12 timer per dag, gjennomsnittlig luftstrøm på 1250 l/s og virkningsgrad for varmeveksler på 0,85 beregnes gjennomsnittlig daglig varmebehov til å dekke ventilasjonstap fra formel 3.1:

$$Q = \frac{4500\text{m}^3 \cdot (19^{\circ}\text{C} - 6^{\circ}\text{C}) \cdot 12\text{h} \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,85)}{1000} = \underline{36,9\text{kWh}} \quad (5.4)$$

Sammenheng med elektrisk oppvarming

Når det refereres til “målinger i ventilasjonsaggregatet” i sammenheng med elektrisk oppvarming er det ikke snakk om målinger gjort i Wago EDM, men loggede verdier som er hentet ut fra sky-løsningen til KEF som forklart i kapittel 4.4. Er det snakk om energimålinger gjort med Wago EDM i forbindelse med ventilasjon er det beskrevet som “målinger på ventilasjonsanlegget” og/eller spesifisert som målinger fra Wago EDM eller bare EDM.

Fargekoden for grafene som presenterer disse dataene kan vises slik:

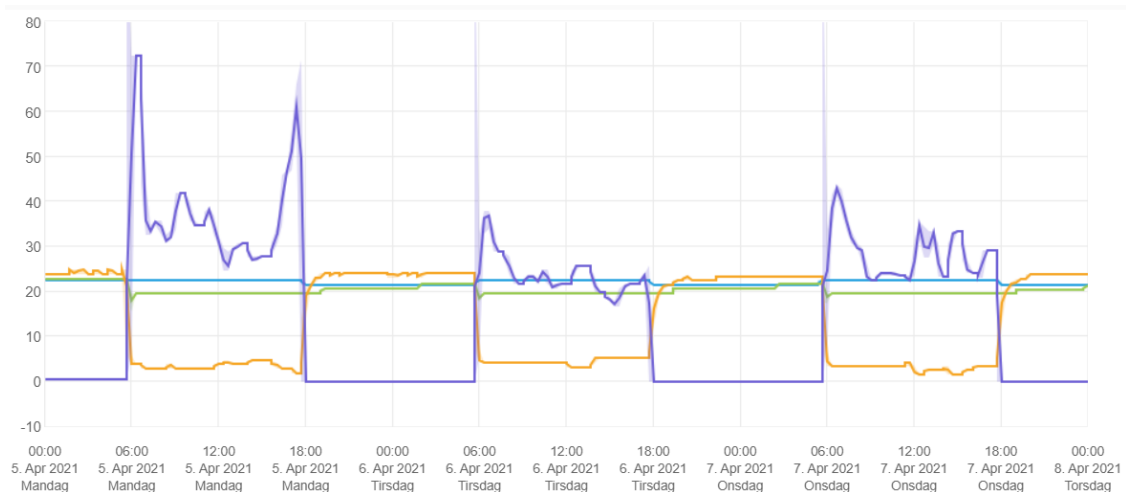
	Utluft-/romtemperatur
	Innluftstemperatur
	Utendørstemperatur i aggregatet
	Nivå roterende varmeveksler
	Oppvarmingsnivå FJV

Om en starter øverst i fargelisten er målingene som blir presentert utlufts-/romtemperatur, innluftstemperatur, utendørstemperatur i ventilasjonsaggregatet, fartsnivå for roterende varmeveksler i prosent og oppvarmingsnivå. Oppvarmingsnivået angir hvor mye ventilen på fjernvarmetilførselen til varmebatteriet er åpnet og kan finnes i grafene som er presentert i vedlegg B.1. Utetemperaturen i ventilasjonsaggregatet vil ha et lite avvik fra den virkelige utetemperatur, men er den temperaturen ventilasjonsaggregatet “ser”.

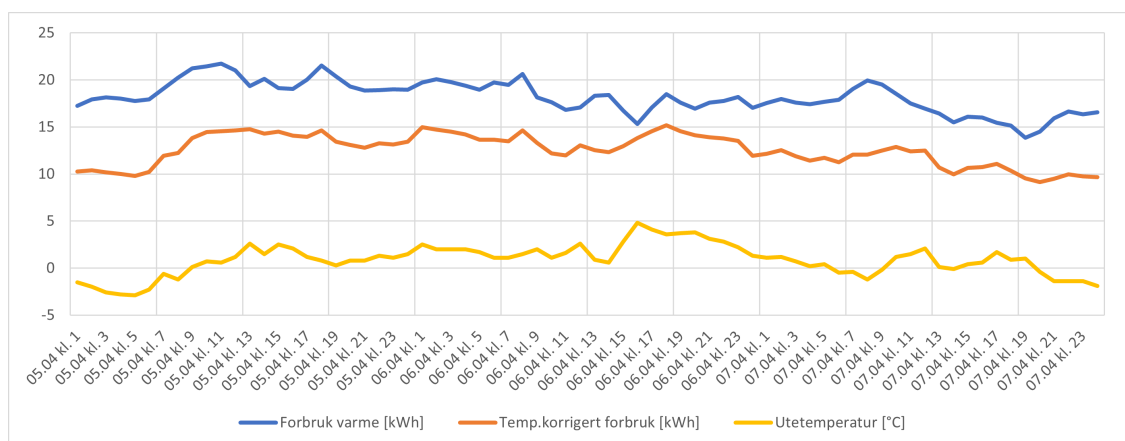
Grafene under viser sammenhengen mellom farten til varmeveksleren, innluftstemperatur, utluftstemperatur, utetemperatur og energiforbruk til elektrisk oppvarming i fjerde etasje.

Målinger fra ventilasjonsaggregatet er presentert grafisk i figurene 5.9, 5.11 og 5.13.

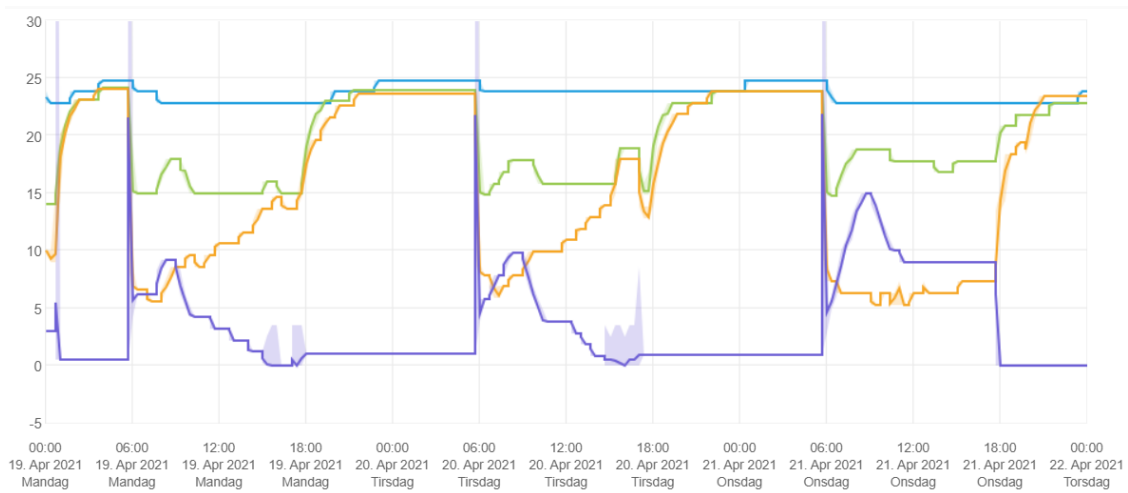
Utetemperatur og elektrisk varmeforbruk er vist i figurene 5.10, 5.12 og 5.14. Målingene er henholdsvis fra 5.-7., 19.-21. og 26.-30. april. Figur 5.13 starter den 27. april på grunn av unormaliteter med loggingen på morgenen den 26.



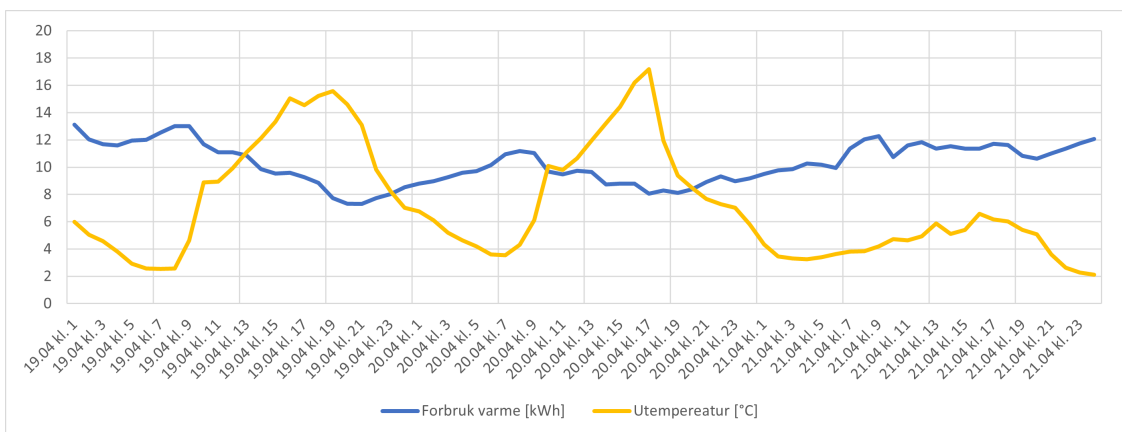
Figur 5.9: Temperaturer og varmevekslernivå i ventilasjonsaggregat 36.04 fra 5. til 7. april



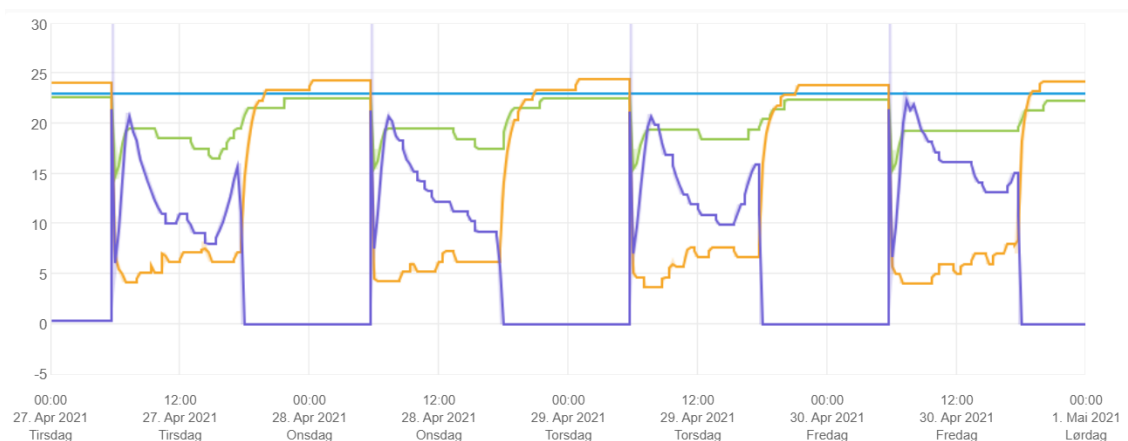
Figur 5.10: Forbruk til varme i 4.etg., temperaturkorrigert forbruk og utetemperatur fra 5. til 7. april



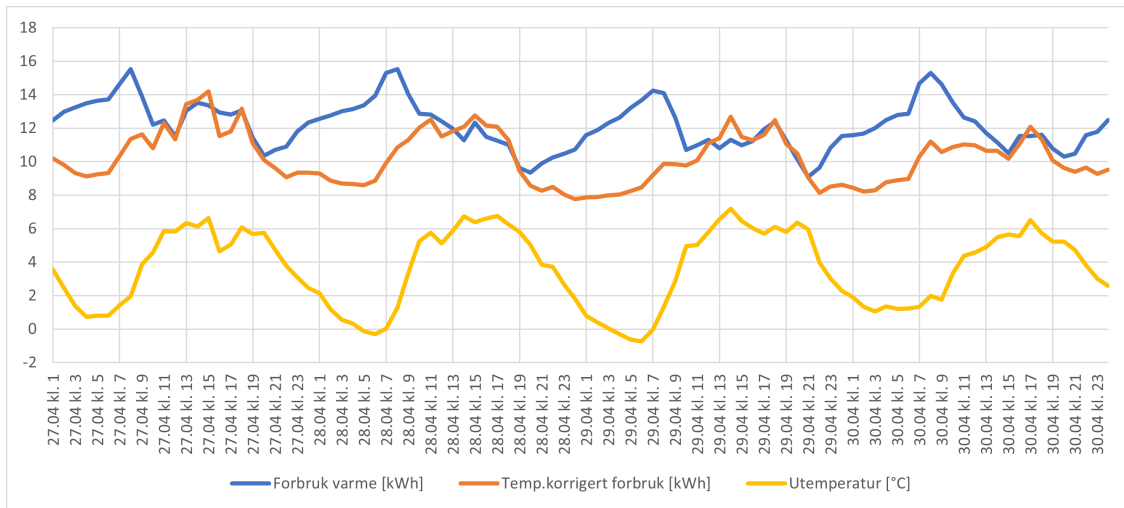
Figur 5.11: Temperaturer og varmevekslernivå i ventilasjonsaggregat 36.04 fra 19. til 21. april



Figur 5.12: Forbruk til varme i 4.etg., temperaturkorrigert forbruk og utetemperatur fra 19. til 21. april

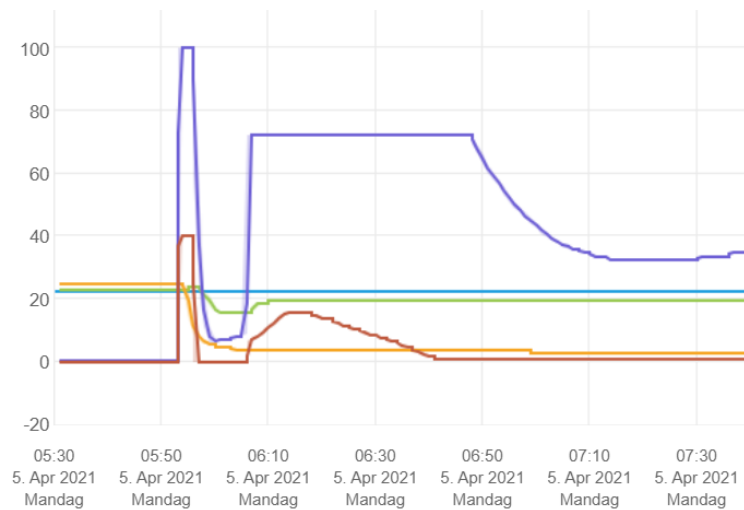


Figur 5.13: Temperaturer og varmevekslernivå i ventilasjonsaggregat 36.04 fra 27. til 30. april

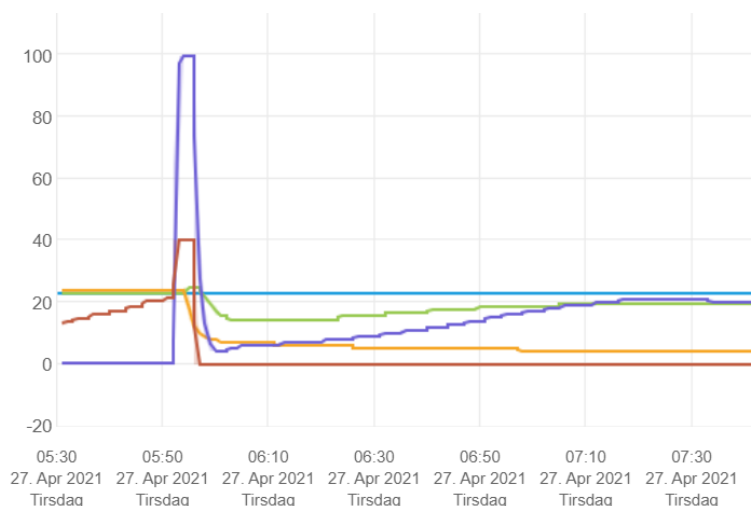


Figur 5.14: Forbruk til varme i 4.etg., temperaturkorrigert forbruk og utetemperatur fra 27. til 30. april

Figur 5.15 er et utsnitt av den første oppsvingen i figur 5.9, mens figur 5.16 er et utsnitt fra figur 5.13. Disse oppstartsbildene viser et nærbilde av hvordan varmeveksleren oppfører seg ved oppstart av ventilasjonsaggregatene. Under selve oppstarten kjører varmeveksleren på fullt, men når viftene er dratt i gang oppfatter anlegget at innluftstemperaturen er for høy og slås derfor nesten helt av til innluftstemperaturen nærmer seg 15°C, før den drar på igjen i varierende grad.



Figur 5.15: Temperaturer og varmevekslernivå like før, under og like etter oppstart av ventilasjonsaggregat 36.04 den 5. april

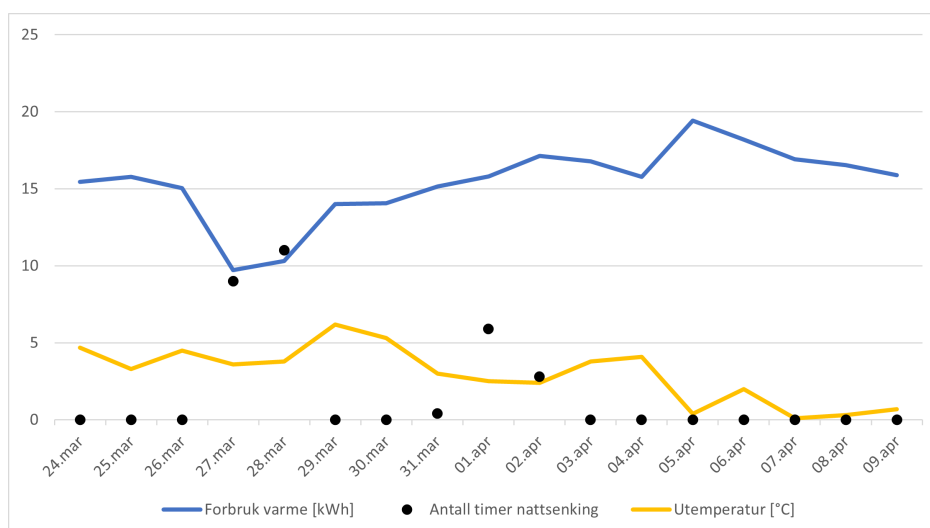


Figur 5.16: Temperaturer og varmevekslernivå like før, under og like etter oppstart av ventilasjonsaggregat 36.04 den 27. april

5.2.3 Varme

Nattsenking

Figur 5.17 gir en grafisk fremstilling av gjennomsnittlig målt forbruk per døgn til elektrisk oppvarming i fjerde etasje, utetemperatur og antall timer nattsenking har vært innkoblet den gitte dagen. En lik graf som inkluderer temperaturkorrigert forbruk er presentert i figur B.4 i vedlegg B.2. Tiden nattsenkingen har vært innkoblet er ikke helt representativ for en reell nattsenking, men det gir et innblikk i hvordan forbruket kan oppføre seg når nattsenking aktiveres.

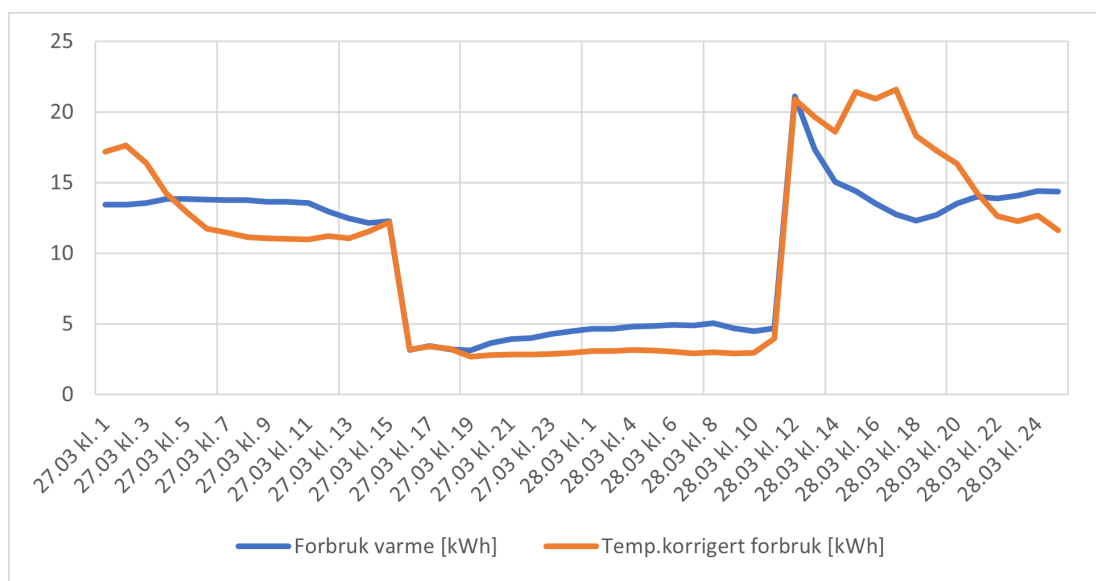


Figur 5.17: Gjennomsnittlig varmeforbruk, utetemperatur og antall timer nattsenking fra 24.03. til 09.04.

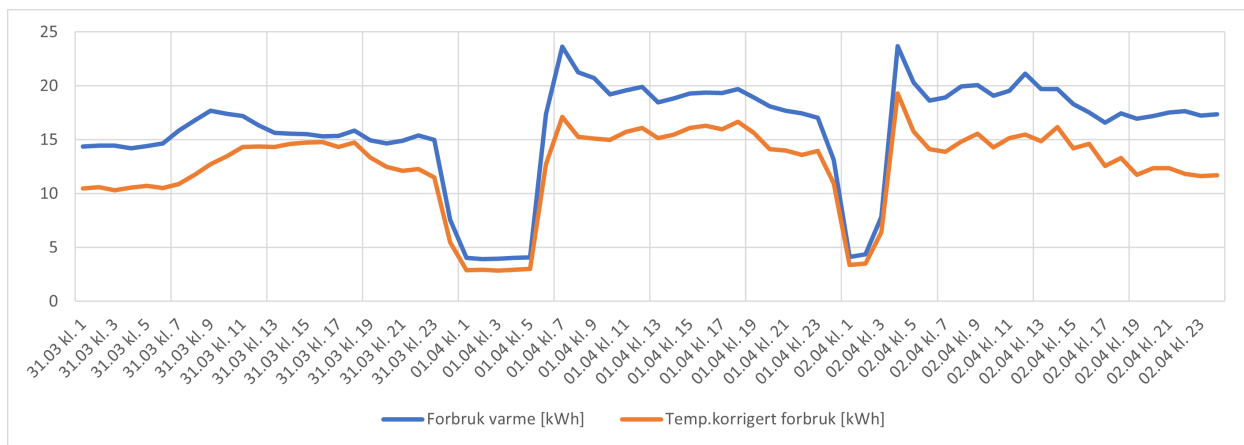
Figur 5.18 og 5.19 viser målt og temperaturkorrigert forbruk for varme i fjerde etasje henholdsvis fra 27. til 28. mars og fra 31. mars til 2. april. Korreksjonen er gjort til gjennomsnittlig årsmiddeltemperatur på 6°C. Grafene viser tydelig at forbruket faller når nattsenking aktiveres og økes når nattsenkingen deaktiveres.

Figurene B.5 og B.6 i vedlegg B.2 gir et større bilde over forbruket i en litt lengre periode enn figurene 5.18 og 5.19 strekker seg. Figurene B.7, B.8 og B.9 gir et mer detaljert bilde av hver periode med nattsenking, da intervallet er 15 minutter.

Den 1. og 2. april var ventilasjonsanlegget i gang, som gir en ulikhet mot målingene den 28. mars. Hvor stor påvirkning det har hatt er vanskelig å svare på, siden sky-løsningen som målinger i ventilasjonsanlegget er hentet fra ikke viser data fra denne uken. At ventilasjonsanlegget var i drift kan bekreftes fra energimålingene i EDM.



Figur 5.18: Forbruk og temp.korrigert forbruk for varme i 4. etg. fra 27. til 28. mars



Figur 5.19: Forbruk og temp.korrigert forbruk for varme i 4. etg. fra 31.03. til 02.04.

Figurene over viser at det oppstår en effekttopp når nattsenkningen deaktiveres. Som forklart i kapittel 3.4.1 finnes effekttoppen som det skal betales for ved å se på timesforbruket. Forbruket er delt opp i intervaller på 15 minutter og så samlet til timesintervaller med ulik starttid. Dette er for å finne det optimale tidspunktet for å deaktivere nattsenkningen, med tanke på effekttopp.

Tabellene 5.6, 5.7 og 5.8 viser de ulike timesforbrukene med de ulike tidspunktene det er forsøkt og “tenkt” å slå av nattsenkningen. Forbruket er oppgitt i kWh og er i utgangspunktet det samme som er visualisert i figurene over. Hver rad har en effekttopp, og for å tydeliggjøre resultatene er den laveste og den høyeste effekttoppen i hver tabell merket med farger slik:

	Laveste effekttopp
	Høyeste effekttopp

Den raden som er merket “**Målt:**” viser det tidspunktet nattsenkningen faktisk er deaktivert og det faktiske forbruket de gitte timene. Dette forbruket er nøyaktig tilsvarende grafene i figur 5.18 og 5.19. I de radene det er oppgitt et nytt tidspunkt er forbruket flyttet tilsvarende oppgitt intervall. Det vil si at når det i tabell 5.6 er oppgitt “Start 15min senere” er forbruket mellom klokken 10 og 11 det forbruket som faktisk er målt mellom 09:45 og 10:45. Når det er oppgitt “Start 30min før” er forbruket mellom 10 og 11 det forbruket som er målt mellom 10:30 og 11:30.

28.03.2021	kl. 10 - 11	kl. 11 - 12	kl. 12 - 13	Nattsenk av kl.
Start 15min senere:	4,38	17,96	18,13	11:14
Målt:	4,81	21,04	17,38	10:59
Start 15min før:	10,08	19,58	16,75	10:44
Start 30min før:	14,05	18,98	15,94	10:29

Tabell 5.6: Timesforbruk rundt deaktivering av nattsenkning 28.03.

01.04.2021	kl. 04 - 05	kl. 05 - 06	kl. 06 - 07	Nattsenk av kl.
Start 15min senere:	4,10	12,52	23,98	05:39
Målt:	4,09	17,48	23,60	05:24
Start 15min før:	4,11	23,04	22,95	05:09
Start 30min før:	6,93	25,14	22,23	04:54

Tabell 5.7: Timesforbruk rundt deaktivering av nattsenkning 01.04.

02.04.2021	kl. 02 - 03	kl. 03 - 04	kl. 04 - 05	Nattsenk av kl.
Start 15min senere:	4,26	23,08	20,70	03:05
Målt:	7,95	23,69	20,28	02:50
Start 15min før:	12,91	22,44	19,89	02:32
Start 30min før:	17,92	21,61	18,77	02:20

Tabell 5.8: Timesforbruk rundt deaktivering av nattsinking 02.04.

Etter tabellene ovenfor ble laget er det gjort to nye forsøk på nattsinking for å forsøke å gjenskape samme resultater. Grafer med varmeforbruket disse to nettene er lagt ved i vedlegg B.2. Med lik oppbygning som tabellene ovenfor er resultatene fra de nye målingene presentert i tabell 5.9 og 5.10:

01.05.2021	kl. 07 - 08	kl. 08 - 09	kl. 09 - 10	Nattsenk av kl.
Start 15min senere:	3,90	14,05	18,47	08:30
Målt:	3,96	18,67	17,11	08:15
Start 15min før:	4,37	22,10	16,20	08:00
Start 30min før:	9,62	19,91	15,26	07:45

Tabell 5.9: Timesforbruk rundt deaktivering av nattsinking 01.05.

02.05.2021	kl. 07 - 08	kl. 08 - 09	kl. 09 - 10	Nattsenk av kl.
Start 15min senere:	3,38	11,25	14,87	08:30
Målt:	3,30	14,33	14,50	08:15
Start 15min før:	3,63	17,05	13,70	08:00
Start 30min før:	7,82	15,65	12,90	07:45

Tabell 5.10: Timesforbruk rundt deaktivering av nattsinking 02.05.

Fjernvarme eller elektrisk varme

For å analysere lønnsomheten ved å benytte fjernvarme foran elektrisk oppvarming, er forbruket i de timene det er registrert effekttopper i mars og desember 2019 hentet ut fra oversikten over forbruk og pris. Denne oversikten er oppsummert i tabellene 5.1 og 5.3. Foruten effektprisene som er beskrevet i kapittel 3.4.1 er alle tallene som er brukt i analysen vedlagt i vedlegg D, der tabellene 5.11 og 5.12, som er presentert nedenfor, også er en del av vedlegget.

For hver effekttopp er det forsøkt redusert forbruk fra den energikilden som har effekttopp, og økt forbruket tilsvarende reduksjonen på den andre kilden. For eksempel om det var fjernvarmen som hadde effekttopp en time, er det redusert 30 / 60 kW på fjernvarmen og økt 30 / 60 kW på strøm. Det er også byttet om på reduksjon og økning slik at den kilden som hadde effekttopp fikk en høyere effekttopp.

Tabell 5.11 viser prisdifferansen ved reduksjon av de største effekttoppene på el. og fjernvarme. Tabell 5.12 viser prisdifferansen ved økning av de største effekttoppene. Differansen er funnet ved å beregne de nye effektprisene etter reduksjon eller økning samt energiprisen for det reduserte/økte forbruket, før de nye verdiene er trukket fra den reelle prisen.

		Prisdiff (30)	Prisdiff (60)
El - / FJV +	07.03.2019 11:00	kr 298,01	kr 646,03
El + / FJV -	06.03.2019 08:00	-kr 198,02	-kr 496,03
El - / FJV +	02.12.2019 10:00	kr 297,69	kr 595,38
El + / FJV -	24.12.2019 06:00	-kr 220,53	-kr 521,07

Tabell 5.11: Prisdifferanse ved reduserte effekttopper

		Prisdiff (30)	Prisdiff (60)
El + / FJV -	07.03.2019 11:00	-kr 298,01	kr 653,97
El - / FJV +	06.03.2019 08:00	kr 398,02	kr 696,03
El + / FJV -	02.12.2019 10:00	-kr 297,69	-kr 595,38
El - / FJV +	24.12.2019 06:00	kr 380,53	kr 681,07

Tabell 5.12: Prisdifferanse ved økte effekttopper

5.3 Solceller

Figur 5.20 viser de sju områdene som et solcelleanlegg kan bli montert på. Områdene er fargekodet etter hvor egnet de er. Grønn er mest egnet, oransje litt mindre egnet og rød uegnet.

Figur 5.20 og tabell 5.13, 5.15 og 5.14 henger sammen. Tabellene viser til de nummererte områdene på figuren. Kolonnene i tabell 5.13 under "Område en, fem og seks" viser fra venstre til høyre følgende:

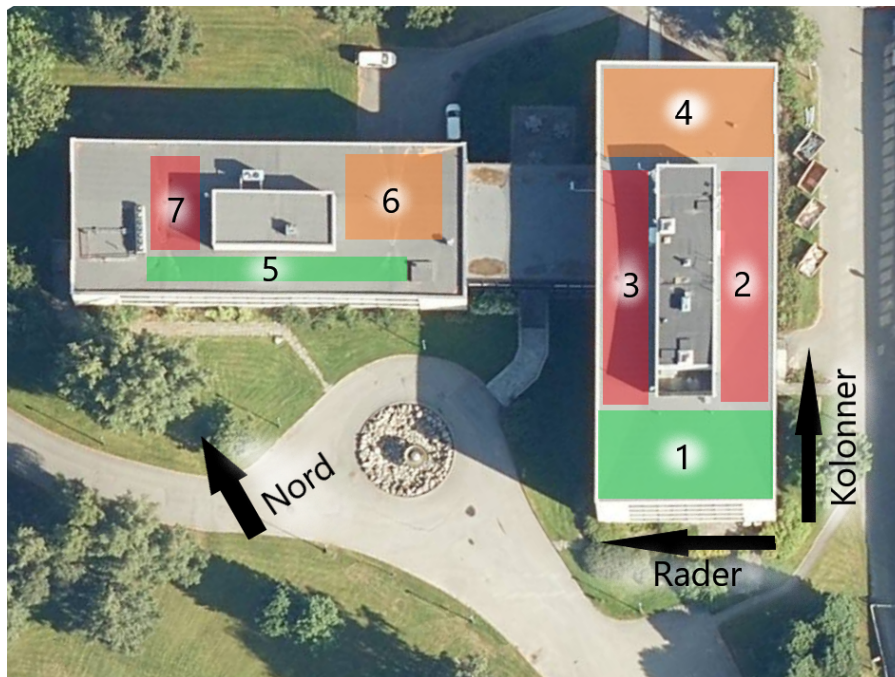
1. Hvilket område det er snakk om.
2. Hvor stort areal området dekker.
3. Hvor mange paneler blir plassert i området.
4. Antall rader med solceller.
5. Antall rekker med solceller.

Under "Sammendrag" viser radene fra øverst til nederst følgende:

1. Totale antall solceller som blir plassert på områdene.
2. Totalt installert kWp over alle områdene.
3. Total kWh produksjon over ett år.
4. Total kWh produksjon over 15 år.
5. Total kWh produksjon over 25 år.
6. Total kostnad for solceller, omformere, kabler og timesbruk for hele anlegget.
7. Kostnaden etter et annuitetslån over 15 år.
8. Hvor mye det koster per kilowatt time i løpet av 15 år.
9. Hvor mye det koster per kilowatt time i løpet av 25 år.

Tabell 5.16 viser investeringskostnaden i øre per produserte kWh etter x-antall år etter at solcelleanlegget er satt i drift. Første kolonne er driftsår, andre, tredje og fjerde er til de forskjellige scenarioene.

Grafen i figur 5.21 visualiserer resultatet til en utvidet versjon av tabell 5.16. Fargene representerer følgende: Blå er scenario 1, oransje er scenario 2 og grå er scenario 3.



Figur 5.20: Områder for solceller, takbredde er horisontalt og taklengde er vertikalt.
Bilde uten tegning er hentet fra Gulesider [40]

Scenario 1				
Område	Areal [m^2]	Antall panel [stk]	Rader	Kolonner
1	112,0	56	7	8
2	51,2	23	23	1
3	51,2	23	23	1
4	112,0	56	7	8
5	57,0	16	1	16
6	71,2	32	8	4
7	28,0	12	6	2
Sammendrag				
Antall panel [stk]			218	
kWp			78,48	
kWh/år			51012	
kWh/15år			765180	
kWh/25år			1275300	
Kostnad [NOK]			588600	
Investeringskostnad [NOK]			702351	
Øre/kWh over 15 år			91,79	
Øre/kWh over 25 år			55,07	

Tabell 5.13: Effekt og energi fra solceller i alle områdene i figur 5.20

Scenario 2				
Område	Areal [m^2]	Antall panel [stk]	Rader	Kolonner
1	112	56	7	8
5	57	16	1	16
6	71,2	32	8	4
Sammendrag				
Antall panel [stk]			104	
kWp			37,44	
kWh/år			24336	
kWh/15år			365040	
kWh/25 år			608400	
Kostnad [NOK]			280800	
Investeringskostnad [NOK]			340740	
Øre/kWh over 15 år			93,34	
Øre/kWh over 25 år			56,01	

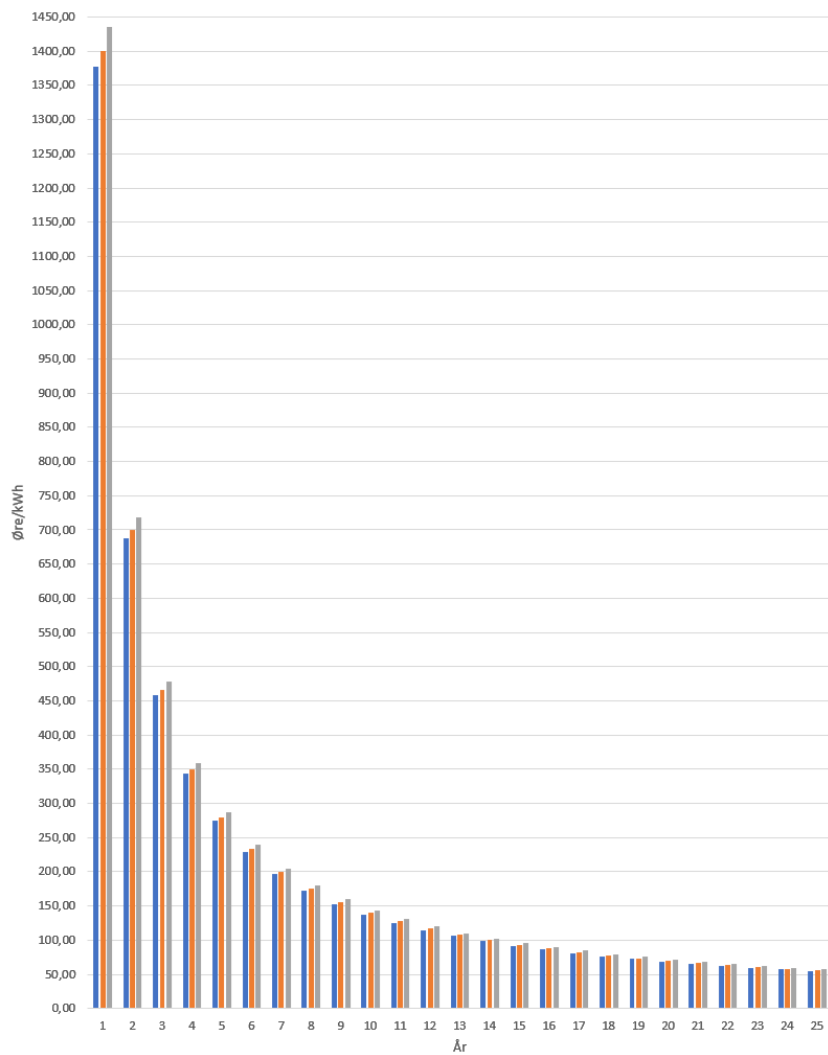
Tabell 5.14: Effekt og energi fra solceller i tre av områdene i figur 5.20

Scenario 3				
Område	Areal [m^2]	Antall panel [stk]	Rader	Kolonner
1	112,0	56	4	11
Sammendrag				
kWp			20,16	
kWh/år			13104	
kWh/15år			196560	
kWh/25 år			327600	
Kostnad [NOK]			151200	
Investeringskostnad [NOK]			188105	
Øre/kWh over 15 år			95,70	
Øre/kWh over 25 år			57,42	

Tabell 5.15: Effekt og energi fra solceller i det beste området i figur 5.20

År	Scenario		
	1	2	3
1	1376,83	1400,15	1435,48
3	458,94	466,72	478,49
6	229,47	233,36	239,25
9	152,98	155,57	159,50
12	114,74	116,68	119,62
15	91,79	93,34	95,70
18	76,49	77,79	79,75
21	65,56	66,67	68,36
24	57,37	58,34	59,81
25	55,07	56,01	57,42

Tabell 5.16: Investeringskostnad i øre/kWh etter antall driftsår



Figur 5.21: Investeringskostnad i øre/kWh etter antall driftsår

Analyser og diskusjon

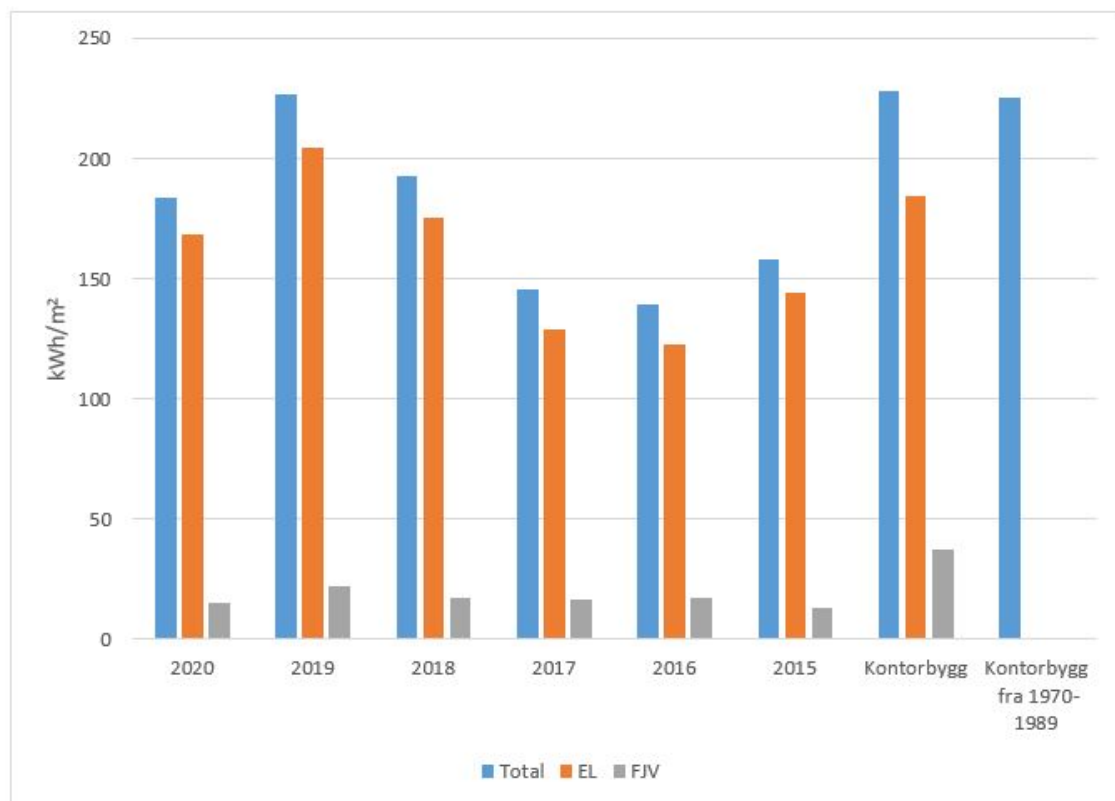
6.1 Sammenligning av historiske energidata fra Kraftbygget og lignende bygg

Figur 6.1 viser energibruk de siste seks årene for både gjennomsnittlig energibruk i norske kontorbygg og for norske kontorbygg bygd i perioden 1970-1989 [8]. De årlige søylene er beregnet ut ifra måleverdier fra KEF, mens de to søylene lengst til høyre er verdier hentet fra SSB. Avsnitt 3.1 i teoridelen utdyper disse verdiene fra SSB. I figur 6.1 representerer blå søyle totalt energiforbruk, oransje søyle strømforbruk og grå søyle fjernvarmeforbruk. Totalt energiforbruk er strømforbruk og fjernvarmeforbruk summert. Alle verdiene er oppgitt i kWh per kvadratmeter.

I forhold til totalt årlig energiforbruk observeres det at Kraftbygget har en lavere andel fjernvarmeforbruk, og høyere andel strømforbruk enn gjennomsnittlige kontorbygg i Norge. Dette kan forklares med at Kraftbygget har elektrisk oppvarming i høyblokka og fjernvarme som varmekilde i lavblokka, der høyblokka har størst samlet areal.

Økt energiforbruk er en klar trend de siste årene med unntak av 2020. Energiforbruket sank betydelig i 2020 fra 2019-nivået, sannsynligvis på grunn av økt bruk av hjemmekontor. 2019 er det eneste av de siste seks årene energiforbruket i bygget er på nivå med gjennomsnittlig energiforbruk i kontorbygg. I de andre fem årene det finnes data fra, ligger energiforbruket betydelig lavere.

Hva kan være årsaken til økt energiforbruk de siste årene? Grafen i figur 5.2 i kapittel 5.1.1 viser totalt månedlig elektrisk forbruk og temperatur fra januar 2015 til april 2021. En observasjon fra grafen er at energiforbruket har en tydelig økende trendlinje, og temperaturen varierer fra år til år, men endres ikke betydelig. Økt energiforbruk kan derfor ikke forklares ut fra større behov for varme i kaldere perioder. Mulige årsaker til økt forbruk kan være en eller flere av disse faktorene: utvidet brukstid, flere personer per kvadrat og endring i bruk av elektrisk utstyr.



Figur 6.1: Spesifikk energibruk fra hovedmålere på Kraftbygget og gjennomsnittsverdier for lignende bygg fra SSB [10]

6.2 Energieffektiviserende tiltak i belysningsanlegget

Erfaring tilsier at å bytte ut gamle lysrørarmaturer med nye LED-armaturer kan gi en energibesparelse på 50 % [43]. Med å installere styring som tilstedeværelsesdeteksjon og/eller dagslysstyring/konstantlysstyring i tillegg til armaturbytte kan det spares inntil 80 % av energibruken til lys [43]. Rapporten “Grønn rehabiliteringsbølge i Norge” [11] viser til data som sier at kostnaden for å rehabilitere og oppgradere belysningen vil koste mellom 2,5 og 4,5 kroner per kWh årlig besparelse.

Når energibruken til belysning reduseres, vil også tilførsel av varme fra lys reduseres. En følge av dette er at varmeanlegget i bygget må kompensere for dette på vinterstid, men energibruken til kjøleanlegg vil reduseres sommerstid. En bedre styring og optimalisering av varme- og kjølesystemene vil være enklere å gjennomføre når det ikke tilføres ekstra varme fra ukjente kilder.

6.2.1 Nye lys

Produktkatalogene for LED-lys kan være innholdsrik, men det er ikke nødvendigvis alle alternativene som gir like god innsparing. Et alternativ er å bytte ut dagens lysstoffrør med LED-rør. Dette alternativet kan ha en relativt lav investeringskostnad, men forkoblingen som står i armaturet vil redusere utbyttet av effektiviseringen. Også tilsmussede og/eller ineffektive reflektorer vil redusere lysutbyttet fra slike lysrør i tillegg til at kvaliteten på LED-rørene kan være så som så.

Armaturene som blant annet står i enkelte korridorer i Kraftbygget er et eksempel på hvor lysutbyttet ikke er spesielt godt. Figur 6.2 viser et tilnærmet likt lysarmatur. Når dette armaturet uten reflektorer er plassert over et plastdeksel i himlingen, vil mye av lyset absorberes over himling fremfor å gå ned i korridoren hvor det er tenkt. Et slikt lystap gjør at lysutbyttet blir lite effektivt og mulighetene for effektivisering er derfor gode, men lysutbyttet vil fortsatt være lavt om det kun byttes til LED-rør i dagens armaturer fremfor å montere nye armaturer.



Figur 6.2: Eksempel på lysarmatur uten reflektor

Når nye LED-armaturer skal vurderes er det flere tekniske egenskaper som bør vurderes. Fargen på lyset, fargegjengivelsen fra lyset, lysutbytte fra armaturen, lystilbakegang og levetid er noen viktige elementer som bør vektlegges i tillegg til armaturkostnad. Alle disse elementene er blitt bedre de siste årene for LED-armaturer, men det er fortsatt grunn til å være kritisk ved innkjøp. Et armatur med dårlig fargegjengivelse eller uvøren farge kan gi ubehag blant brukerne av bygget, og redusere deres forutsetning for å gjøre et godt arbeid. Lysutbytte og lystilbakegang har betydning for hvor mange armaturer som må monteres for å opprettholde god belysningsstyrke, samtidig som effektforbruket holdes nede.

For å eksemplifisere en sammenligning av ulike armaturer er det tatt utgangspunkt i et rom på 6 x 10 m, der lysene er montert 2,7 m over gulvet og arbeidsplanet er 0,75 m over gulvet. De ulike armaturene som er valgt å sammenligne er:

- Et eldre tenkt armatur med 2x58W T8 lysrør og magnetisk forkobling
- Et armatur med 4x14W T5 lysrør og elektronisk forkobling
 - Glamox C10-R600 414HF 830 CP2 LL

- To LED-armaturer i ulik prisklasse
 - Glamox C25-R600x600 LED 4000 DALI 840 MP
 - Glamox C90-R600x600 LED 5000 DALI 840 LI MP

Datablad for armaturene fra Glamox som er brukt i sammenligningen ligger vedlagt i vedlegg I.1

Det tenkte T8-armaturet er beregnet med virkningsfaktormetoden som gir formelen for minste vedlikeholdte belyningsstyrke:

$$E_{mv} = \frac{N \cdot \Phi_0 \cdot \eta \cdot v}{A} \quad (6.1)$$

Φ_0 er funnet fra Glamox lyskildedata fra 2013 [44]. η for armaturen er funnet fra eksemplet for virkningsfaktortabell, tabell 7.3, i “Lys og energibruk, 2.utgave” [27], hvor reflektansene er de samme som er brukt i beregningene i EasyCalc for de resterende armaturtypene og k-faktoren er beregnet med formelen fra virkningsfaktormetoden:

$$k = \frac{l \cdot b}{h_m \cdot (l + b)} \quad (6.2)$$

Den totale effekten til T8-armaturen er funnet ved å legge sammen effekten til lysrørene og multiplisere med 1,27 for å ta hensyn til tap i forkoblingen. 27 % tap i magnetisk forkobling er hentet fra opplysningene som kommer frem i kapittel 7.4.3 i “Lys og energibruk, 2.utgave” [27]. Denne tapsfaktoren er ikke verifisert av bachelorgruppen, men velger å benytte den i mangel på eksakte tekniske data for eldre armaturer. I beregningene er det valgt å benytte to ulike vedlikeholdsfaktorer for T8-armaturen, $v = 0,85$ og $0,67$, for å finne verdier som tilsvarer eldre belyningsanlegg og samtidig finne verdier som er direkte sammenlignbare med dagens prosjekteringer.

For de resterende armaturtypene er det benyttet programvare på Glamox sine nettsider, *EasyCalc* [45], for å finne spesifikk effektbelastning (W/m^2). Programvaren bygger på samme vedlikeholdsfaktormetode som er beskrevet ovenfor. I EasyCalc er vedlikeholdsfaktor $v = 0,67$ default og er derfor verdien som er benyttet i beregningene. C90-R-armaturen har liten lystilbakegang som gjør at muligheten for økt vedlikeholdsfaktor kan vurderes. Derfor er det også gjort beregninger med $v = 0,8$ for C90-R-armaturen.

I tabell 6.1 er enkelte tekniske data og resultatet fra beregningene som er beskrevet ovenfor presentert. Den oppgitte belyningsstyrken er den som er benyttet i utregningen og er det kravet som stilles for kontorer i Lyskulturs luxtabell. Beregningene fra EasyCalc er vedlagt i vedlegg I.2.

Beregningene i tabell 6.1 er gjort med utgangspunkt i et tenkt rom og resultatene vil variere etter reflektansene i rommet og formene på rommet. I tillegg er prosjektert belysningsstyrke på de eksisterende lysende ukjent samtidig som armaturstørrelser og -typer varierer, så de beregninger som er gjort på tenkt eksisterende lys er ikke nødvendigvis det som er installert i dag, men de gir en pekepinn på forholdet mellom eldre og nyere belysning. Belysningsstyrken vil også variere mellom for eksempel 500 lux på arbeidsplass og 200 lux i korridor, så spesifikk effektbelastning kan ikke direkte multipliseres opp med det totale arealet i bygget, men den prosentvise besparelsen vil være rimelig lik for det totale belysningsanlegget.

Armatortype	2x58W	2x58W	C10-R	C25-R	C90-R	C90-R
Lyskilde	T8 lysrør	T8 lysrør	T5 lysrør	LED	LED	LED
Armatureffekt	147,3 W	147,3 W	62 W	41 W	35 W	35 W
Lysutbytte	49 lm/W	49 lm/W	77 lm/W	112 lm/W	146 lm/W	146 lm/W
Belysningsstyrke	500 lux	500 lux	500 lux	500 lux	500 lux	500 lux
Vedlikeholdsfaktor	0,85	0,67	0,67	0,67	0,67	0,80
Antall armaturer	6	9	14	12	10	8
Effekt pr. kvm	14,7 W/m ²	22 W/m ²	14,5 W/m ²	8,2 W/m ²	5,8 W/m ²	4,7 W/m ²
Årsforbruk (LENI _{sub})	44 $\frac{kWh}{m^2 \text{ år}}$	66 $\frac{kWh}{m^2 \text{ år}}$	44 $\frac{kWh}{m^2 \text{ år}}$	25 $\frac{kWh}{m^2 \text{ år}}$	17 $\frac{kWh}{m^2 \text{ år}}$	14 $\frac{kWh}{m^2 \text{ år}}$
Besparelse		-50 %	1,4 %	44 %	61 %	68 %

Tabell 6.1: Tekniske og beregnede data for ulike lysarmaturer

Med utgangspunkt i at det armaturet lengst til venstre i tabell 6.1 er nærmest dagens løsning i eldre bygg, samtidig som C10-armaturen tilsvarer det som er brukt i relativt nye installasjoner, viser resultatene i tabellen at det vil være mulig å redusere energibruken til belysning med 40-70 % med å bytte til LED-armaturer. Hvor mye som er mulig å spare avhenger av dagens løsning og hvilken løsning en velger å gå for.

C90-armaturen ligger i et høyere prissjikt enn C25-armaturen gjør. En viktig forskjell på disse to er levetiden som er 100 000 timer for C90 og 50 000 timer for C25, som betyr at C25-armaturen må byttes for andre gang når C90-armaturen må byttes første gang. I tillegg har C90 lavere lystilbakegang (15 % på 50 000 timer mot 30 % for C25) og høyere lysutbytte. Høyere lysutbytte gjør at det kreves mindre installert effekt for å oppnå samme belysningsstyrke. I eksempeltilfellet fører det til at det kreves færre C90-armaturer enn C25-armaturer, som igjen viser at det totale bildet må vurderes før total investeringskostnad kan avgjøres.

I tabell 6.1 kommer det frem at nødvendig antall armaturer reduseres når vedlikeholdsfaktoren økes. Med liten lystilbakegang kan det vurderes om vedlikeholdsfaktoren kan økes og dermed redusere installert effekt og energiforbruk. Om vedlikeholdsfaktoren skal økes er det spesielt nødvendig å innføre gode renholdsrutiner for å opprettholde belysningsstyrken over tid. Renhold vil også være enklere å gjennomføre på LED-armaturer enn lysrørramaturer da det kun er en enkel flate som må rengjøres på lyset. Med enklere renhold vil vedlikeholdskostnadene også reduseres. Dette vil gjelde både for C25 og for C90, altså uavhengig av prisklasse.

Økodesignforskriften, der § 12-14 samt § 10 gjelder belysning/lyskilder, setter krav til energirelaterte produkter og deres miljømessige utforming. Denne forskriften gir i dag retningslinjer som gjør blant annet at glødepærer ikke kan omsettes i Norge i dag. Ny EU-forordning trådte i kraft fra desember 2019 og vil bli behandlet i EØS-komiteen for vurdering av innlemmelse i EØS-avtalen som krever en innføring i norsk rett. [46]

Denne nye forordningen gir retningslinjer som gjør at T8-lysrør med lengdene 1500 mm, 1200 mm og 600 mm, tilsvarende henholdsvis 58 W, 36 W og 18 W, skal fases ut med virkning fra september 2023 og T5-lysrør noe senere (dato er ikke fastsatt). Forskriften som er gjeldende i norsk rett i dag har også krav som trådte i kraft i april 2017, som har ført til utfasing av elektromagnetiske forkoblinger. I tillegg til det nye økodesign-direktivet vurderer også RoHS å innføre et forbud mot lyskilder som inneholder kvikksølv (bl.a. lysstoffrør). [46]

Ved innføring av det nye EU-direktivet i Norge vil det ikke være mulig å skifte utbrukne lysrør i dagens armaturer uten å benytte LED-rør. Siden magnetiske forkoblinger allerede er utfaset vil det gi utfordringer ved vedlikehold av eldre armaturer når forkoblingen ryker. Med dette som utgangspunkt kan armaturbytte vurderes som et vedlikeholdstiltak i tillegg til energieffektiviseringstiltak.

I Lyskulturs publikasjon “19 Lys og energibruk” [47] er det utført livssyklus kostnadsanalyser (LCC-analyser) ved hjelp av programvare fra Fagerhult Belysning AS. “Fagerhult Life Cycle Cost calculator” er tilgjengelig for nedlasting på nettsidene til Fagerhult. Programvaren er ikke benyttet i dette prosjektet, men vil være naturlig å benytte i et neste steg hvor eksakte kostnader ved lysbytte skal vurderes.

6.2.2 Lysstyring

Ved å styre belysningsanlegget vil energiforbruket kunne reduseres. De tre vanligste formene for lysstyring er tids-, tilstedeværelses- og dagslystyring, og er de formene som vil være mest aktuelle for energibesparelse. Tidsstyring brukes om det er spesielle tider lyset kan styres etter, men det er dagslys og tilstedeværelse som er de mest aktuelle styringsprinsippene for innendørs belysning i Kraftbygget og er de som vil bli vurdert her.

I figur 5.7 og tabell 5.5 kommer det tydelig frem at tilstedeværelsesdeteksjon er et energibesparende tiltak. Den grafen er et gjennomsnitt av flere dager, mens de andre grafene i figur 5.7 er ekstremitetene av manuell styring med ulike på-tider. Med å kalle det for en ekstremitet menes at alle lysene er maksimalt påslått hele på-tiden. Med ulike av/på-soner vil det trolig ikke være realistisk at alle lys står så mye på i alle bygg, men det gir det tydeligste eksempelet på energibesparelse ved tilstedeværelsesstyring kontra manuell av/på-styring.

Fra resultatene kan en se at det er de periodene hvor det er færre folk på jobb at det vil være mest hensiktsmessig med tilstedeværelsesstyring. Fra tabell 5.5 kan en se at det for eksempel vil være mulig å spare 5,5 kWh, eller 6,7 Wh/m², i gjennomsnitt den første timen hver morgen. Samme størrelsesorden gjelder senere på dagen. At denne observasjonen skal være gjeldende forutsetter omtrent samme oppmøteforhold som er tilfellet i denne etasjen. For hver time det er folk til stede utenfor kjernetid vil besparelsene bli større med tilstedeværelsesstyring.

Om installert effekt er større enn i Kraftbygget vil energibesparelsene bli større, og mindre om effekten er mindre, men prosentvist forhold vil være omtrent likt så lenge tilstedeværelsen er lik. Når gjennomsnittlig målt energibruk er 72,4 kWh på en dag og gjennomsnittlig på-tid er 15 timer med 7,1 kW lyseffekt, vil det prosentvise forholdet her bli 32 % besparelse på energiforbruk til lys. I det mest ekstreme eksempelet som kommer frem i figur 5.6 gir tilstedeværelsesstyring en besparelse på 69 kWh, eller 45 % på én dag.

Som figur 5.6 viser, kommer det store sprang i effektforbruket flere ganger når det er lite folk på kontoret. Hva dette kommer av blir mest spekulasjon siden bachelorgruppen ikke har satt seg nøyte inn i hvordan soneinndelingen for tilstedeværelsesstyringene er, men antakelsen er at store deler av korridoren styres av samme sone som gjør at mye lys kommer på ved en liten bevegelse. Med denne antakelsen som grunnlag fastslår gruppen at mindre soner vil gi mindre utslag når det er få personer i bygget, som gir lavere forbruk over tid. Om det er LED-lys i bygget vil hurtigheten mellom av/på-slåing heller ikke være av betydning, da LED ikke svekkes av antall av/på slik lysrør vil gjøre.

I boka "Lysteknikk" fra 2006 [28] og i Lyskulturs publikasjon "24 Lysstyring" fra 2004 [48] refererer forfatteren til et fullskalaforsøk som er gjort med dagslysstyring i datidens eldre og nyere bygg (ca. 40 kontorer over 2-3 år). Resultatene viste da at dagslysstyring kan spare 0-30 % energi i normal kontortid med av/på-systemer og 0-50 % med dimmesystemer, totalt ca. 15 % der brukerne benytter solavskjerming. Samme forsøk viste at tilstedeværelsesdeteksjon har større sparepotensiale enn dagslysstyring, da gjennomsnittlig tilstedeværelse var 50 % på kontorene, med variasjon fra 0 % til 80-90 %. [48]

I forbindelse med sin masteroppgave, “Planleggingskriterier for lysstyring basert på dagslystilgang i bygninger” [49], har Ane Solem Knutsen gjort energimålinger på lys i tredje etasje i Abels hus. Lysene som er målt, er LED-armaturer styrt av Philips Actilume D-sensor hvor default konstantlys er 600 lux. Oppgaven konkluderte med at dagslysstyringen ga en energibesparelse på 16,9 % (best mot nord), tilstedeværelsesstyringen ga en besparelse på 41 % og samlet 58,2 %. Problematikken rundt dagslysstyring er også berørt i større grad i nevnte masteroppgave enn i denne bachelorrapporten. [49]

Lys kan dimmes ned 10 % uten at det gir betydelig ubehag for brukerne, og kan derfor bidra til å redusere effekttopper [28]. Når lys utgjør 15-40 % av det totale energiforbruket og dette reduseres med 10 % vil ikke effekttoppene kunne reduseres med mer enn 1,5-4 %. I oktober 2020 tilsvarer 1,5-4 % av effekttoppen 4-10 kW, eller 200-500 kr, i Kraftbygget. Å redusere effekttoppen med 200 kr i måneden vil ikke være et godt argument alene for å investere i utstyr for dimming, men om investeringen gjøres for å redusere det totale energiforbruket vil innsparing fra effekttoppreduksjonen bidra til å redusere energikostnadene over tid.

6.2.3 Kombinasjon av nye lys og lysstyring

I starten av kapittel 6.2 ble det påstått at kombinasjonen av armaturbytte og lysstyring ville redusere energibruken til lys med opptil 80 %. For å bekrefte dette kan tilstedeværelsesstyring og armaturbytte forsøkes kombineres. I kapittel 6.2.1 antok bachelorgruppen at C10-R armaturen tilsvarer dagens belysning i fjerde etasje i Kraftbygget. Tabell 6.1 bruker 500 lux på hele rommet og antar derfor $8,7 \text{ W/m}^2$ som fornuftig reell verdi med samme armatur. Eksempelet med C90-R-armatur og vedlikeholdsfaktor lik 0,67 fra tabellen gir en besparelse på 56,6 % fra C10-R-armaturet.

Ved å redusere den gjennomsnittlige målte verdien fra tabell 5.5 med 56,6 % betrakter vi lysrørarmaturene byttet til LED-armaturer og får et nytt forbruk på 40,9 kWh på en dag. I forhold til dagens armaturer med 15 timer på-tid vil det tilsvare en reduksjon på 62 %. Med samme nye forbruk og dagens beregnede forbruk fra andre etasje i kraftbygget hvor belysningen består av eldre lysrørarmaturer, ender reduksjonen opp på 71 %. Med utstyr for dagslysdimming og effekttoppreduksjon anser bachelorgruppen det som sannsynlig å oppnå en reduksjon av energikostnader til belysning på opp mot 80 %.

6.3 Energieffektiviserende tiltak i ventilasjonssystemet

6.3.1 Av på fridager

Ventilasjonsanleggene er i dag på fra 06:00 til 18:00 mandag til fredag alle uker i året. Dette gjør at de også står på dager som for eksempel juledager som ikke havner på lørdag eller søndag, der bygget normalt er tomt. Energi til å kjøre ventilasjonen og til å dekke ventilasjonstap vil da brukes unødvendig disse dagene.

Som nevnt i kapittel 5.2.2 bruker ventilasjonen i fjerde etasje 24kWh til elektrisk drift hver dag. Med å anta at de andre ventilasjonsaggregatene har like stort forbruk per kvadratmeter tilsvarer det totale daglige forbruket til ventilasjon i Kraftbygget $\frac{24kWh}{820m^2} \cdot 8480m^2 = 248kWh$. Om muligheten for å la ventilasjonen være avslått på alle fridager legges inn, vil det være mulig å spare $248kWh \cdot 8 - 15 \text{ dager} = 1984 - 3720kWh$ elektrisk energi. Dette vil tilsvare ca. 1500-4000 kr i året og vil ikke gi betydelig besparelse alene. For bygg som ikke har ukesur vil det være mulig å få en besparelse på $3kWh/m^2$ i året med å installere muligheten for å slå av anlegget på lørdager og søndager.

Når ventilasjonsanleggene er avslått er det ikke nødvendig å dekke ventilasjonstap. Med beregningene som er gjort i kapittel 5.2.2, formel 5.4, og samme antall dager som er brukt ovenfor kan gjennomsnittlig spart energibruk til varme i ventilasjon sies å være 295-554 kWh, eller 360-675 Wh/m², ved stans 8-15 fridager. I tillegg vil frostsikringen som står på når ventilasjonen er avslått redusere besparelsen noe. Hvor mye energi frostsikringen krever er det ikke gjort noen beregninger på i dette prosjektet på grunn av manglende data på volumstrøm.

Oppsummert vil teoretisk gjennomsnittlig energibesparelse i ventilasjonsanlegget i fjerde etasje i Kraftbygget være ca. 0,45-0,8 kWh/m² ved stans av ventilasjonsanlegget alle offentlige fridager. For hver dag aggregatene står i ro kan det være mulig å spare opp mot 74 Wh/m², ikke medregnet frostsikring.

6.3.2 Av tidligere på dagen

For å redusere energibruk til ventilasjon er det gjennomført en vurdering av muligheten for å slå av ventilasjonsanlegget tidligere på dagen når alle er dratt hjem. I dag slår ventilasjonsanleggene seg av klokken 18:00, og etter logging av målinger startet er det observert at lysene ofte er på til 17 og 18, men gjerne til både 20 og 24. Når det er folk i bygget ut dagens driftstid vil det ikke være hensiktsmessig å slå av ventilasjonen tidligere om inneklimatekvaliteten skal opprettholdes.

Med å registrere når på dagen det er lite folk i bygget kan det vurderes å redusere luftmengden disse tidene om det kan opprettholdes god kvalitet på inneklimate samtidig. Med å installere CO₂-sensor kan det være mulig å automatisk regulere luftmengden i ventilasjonen. Reduseres luftmengden vil varmebehovet for å dekke ventilasjonstap reduseres.

6.3.3 Optimalisert styring

Rapporten “Bruk av roterende gjenvinnere i skoler” fra Erichsen & Horgen [50] viser til at den mest energiøkonomiske temperaturen for innluft er mellom 18 og 20°C. Om temperaturen blir høyere eller lavere vil bygningens totale energibruk øke. Disse resultatene er teoretisk beregnet i henhold til NS 3031:2007 og tar utgangspunkt i faste settpunkttemperaturer. [50]

En annen påpekning i rapporten er at energibruken øker om luftstrømmen ut og inn av bygget ikke er lik. Målingene av luftstrømmene må gjøres på en måte som gjør at en tar hensyn til eventuelle strømninger gjennom varmeveksleren. Grunnen til at energibruken blir høyere er at virkningsgraden på varmeveksleren går ned om luftstrømmene på hver side er ulik. Ved å kontrollere trykkforskjellen mellom innluftsiden og utluftsiden kan en kontrollere utilsiktede luftstrømmer over klimaskjermen i veksleren. [50]

I avsnittet “Sammenheng med elektrisk oppvarming” i kapittel 5.2.2 er det presentert flere grafer som antyder en sammenheng mellom ventilasjon og elektrisk oppvarming. Det er jo ikke noe ukjent fenomen at det er en direkte sammenheng med tanke på ventilasjonstap. Det grafene kan fortelle oss er at det elektriske energibehovet til oppvarming øker når innluftstemperaturen er lav.

Med å sammenligne figur 5.9 og 5.10 kan en se at både innluftstemperaturen (grønn graf) og varmeforbruk er rimelig stabil gjennom dagen foruten under oppstarten på morgenen. Energiforbruket til varme følger hovedsakelig svingningene til utetemperaturen, men det løftes litt opp når ventilasjonsanlegget starter opp. I figur 5.15 er det tydeligere at innluftstemperaturen ramler ned mot 15°C når ventilasjonen starter opp, og dette fallet dytter trolig forbruksgrafen litt oppover.

De dagene utetemperaturen går over 5°C bruker ventilasjonsanlegget lengre tid på å innregulere innluftstemperaturen. Fortsetter utetemperaturen å ligge over 5°C vil innluftstemperaturen synke igjen. Figur 5.11 og 5.12 viser eksempler på dager hvor utetemperaturen er lav på morgenen før den stiger utover dagen. Når innluftstemperaturen synker på morgenen øker varmeforbruket tilsvarende, men når utetemperaturen øker og innluftstemperaturen synker synker varmeforbruket også siden infiltrasjonstap i bygget er mindre. Om innluftstemperaturen hadde vært stabil rundt 19°C ville varmeforbruket trolig gått lengre ned.

Figurene 5.13 og 5.14 viser eksempler på dager hvor utetemperaturen ligger rundt 5°C store deler av dagen, og ned mot 0°C på natten. Disse dagene skulle innluftstemperaturen ha holdt seg mere stabilt rundt 19°C, men grafene viser et temperaturfall og at varmeforbruket stiger, eller synker mindre, med temperaturfallet. Også disse dagene er det tydelig dropp på innluftstemperaturen om morgenen med tilhørende topp i varmeforbruket. Figur 5.16 viser tydeligere hvor lang tid det tar før varmeveksleren klarer å regulere innluftstemperaturen.

Fra observasjonene som er beskrevet ovenfor kan det enkelt fastslås at bedre regulering av varmeveksleren vil gi lavere energibruk og muligheter for lavere effekttopper. Ved å la varmeveksleren holde et nivå på minst 50 % i 5-10 minutter og så regulere den rolig nedover til ønsket nivå på innluftstemperatur er oppnådd, vil den toppen på varmeforbruket som oppstår hver morgen kunne reduseres. Hvor mye energi som kan spares med denne optimaliseringen er ikke gjort nøyaktige beregninger på, men med utgangspunkt i grafene som er beskrevet ovenfor er det naturlig å anta en besparelse på minst 1-2 kWh i en til to timer hver dag. Det vil si ca. 300-1000 kWh årlig for fjerde etasje i Kraftbygget.

Med å optimalisere reguleringen av varmeveksleren resten av dagen, det vil si holde innluftstemperaturen konstant mellom 19 og 20°C under hele driftstiden, vil det være mulig å spare enda mer. Når varmekapasiteten til luft er 1,305 J/l·K og 1 J er 1 Ws, kreves det 1,63 kWh for å varme opp 1250 l/s 1°C i en time. Det vil si at for hver grad innluftstemperaturen er lavere enn 19°C i en time, kreves det opp mot 1,6 kWh ekstra fra den elektriske oppvarmingen for å opprettholde komforttemperatur i fjerde etasje i Kraftbygget.

Innluftstemperaturen den 27. april i figur 5.13 ligger samlet 10,9°C lavere enn 19°C i løpet av en time. Dette gir et ekstra energibehov på 17,4 kWh denne dagen, eller 725 Wh i snitt per time gjennom døgnet. Når varmeforbruket hadde et snittforbruk på 12,75 kWh per time, tilsvarer det ekstra forbruket 5,7 % av totalt varmeforbruk i fjerde etasje den ene dagen. Som figur 5.9 viser, er det urealistisk å tenke at det er mulig å spare like mye hver dag hele året. Derfor kan det ikke argumenteres for at det totale varmeforbruket kan reduseres med over 5 % med dette tiltaket, men 5 % besparelse enkelte dager gir et godt bidrag over tid. Når tiltaket ikke krever mer enn bedre programmering om bygget har muligheter for det, vil det være fornuftig å gjennomføre tiltaket.

Som figurene B.1-B.3 viser, brukes det fjernvarme om natten i varmebatteriet. Grunnen til dette er frostsikring. I dag er vanntemperaturen til varmebatteriet satt til 25°C når ventilasjonsaggregatet står i ro. Fra "Retningslinjer og krav: Automasjon og SD-anlegg" for Bergen kommune fra 2017 finner bachelorgruppen at frostsikringstemperaturen i byggene til Bergen kommune skal være 30°C når aggregatene er avslått. Med bakgrunn i dette antar bachelorgruppen det som nødvendig med minimum 25°C og vil derfor ikke gi noen anbefalinger for å redusere denne temperaturen uten videre.

Det som kan vurderes er noe tregere regulering, men det vil trolig ikke gi noen utslag på energibruken. Sintef byggforsk har utgitt en publikasjon som tar for seg behovstilpasset ventilasjon. Denne publikasjonen anbefaler temperaturstyrt sirkulasjonspumpe for vannbårne varmebatterier [51]. Om dette gir mulighet for reduksjon av frostsikringstemperaturen har ikke bachelorgruppen funnet noen informasjon om, men om så er tilfelle er det ikke snakk om virkelig store energibesparelser.

Den største fordelen med å kunne redusere frostsikringstemperaturen er å gi varmeveksleren mulighet for en enklere regulering. Et annet tiltak som kan gi bedre regulering er å måle utetemperaturen og romtemperaturen og beregne nødvendig nivå på varmeveksleren ved oppstart. For eksempel viser figur 5.9 at nivået på varmeveksleren må ligge rundt 40 % for å opprettholde 19°C innlufttemperatur ved ca. 0°C utetemperatur. Om utetemperaturen da er 0°C ved oppstart om morgenen kan varmeveksleren starte på 40 % i noen minutter til ventilasjonssystemet har tilpasset seg driftstemperatur. Nøyaktige verdier må baseres på erfaringstall og eventuelle beregninger. Dette tiltaket er en videre utvikling av tiltaket som er nevnt ovenfor med varmevekslernivå på minimum 50 % i 5-10 minutter etter oppstart.

6.4 Energieffektiviserende tiltak i varmesystemet

6.4.1 Nattsinking

Ved å redusere temperaturen i bygget når det ikke er folk til stede vil energibruken kunne reduseres. I kapittel 4.6 er det forklart hvordan nattsinkingen fungerer i Kraftbygget og hvordan styringen er koblet opp mot Wago EDM. Fra energimålingene fra lyskursene er det observert folk i bygget fra tidlig morgen til sendt på kveld/natt, også i helger. Samtidig er det ikke prioritert å bruke tid på å koble opp temperaturmåler som logger temperaturen i lokalene. For å unngå å redusere komforten for brukerne har bachelorgruppen derfor begrenset omfanget av antall forsøk med nattsinking, med den konsekvensen at målingene gir et litt tynt grunnlag for å trekke bunnsolide konklusjoner. Nattsinkingen gjøres som nevnt med panelovner og tallene i denne rapporten vil derfor ikke være representativ for nedstøpte varmesystemer.

Forbruk

Fra figurene som er gitt i kapittel 5.2.3 kan en se at nattsenket forbruk ligger ned mot 2,5 kWh den første timen etter nattsinking er aktivert og opp mot 5 kWh etter hvert som temperaturen ser ut til å stabilisere seg. Dette er ved de utetemperaturene som var gjeldende de gitte dagene. Korrigert til 6°C ligger forbruket stabilt rundt 3 kWh i nattsenkingsperioden.

Når forbruket på like dager uten nattsenkning ligger mellom 13 og 20 kWh kommer det veldig tydelig frem at energibruken reduseres. Med en besparelse på mellom 10 og 20 kWh i 7-10 timer vil en natt gi en total besparelse på 70-200 kWh, eller 50-140 kroner (beregnet med 0,7 kr/kWh). Den blå grafen i figur 5.17 viser at variasjon i antall timer med nattsenkning gir stor variasjon i gjennomsnittlig forbruk. Dette har en veldig naturlig forklaring siden færre timer med lavere energibruk gir mindre besparelse. Men om en sammenligner de dagene med tre og seks timer senking, med dager uten aktivert nattsenkning kan en se at det ikke gir så stort utslag.

Den oransje grafen i figur B.4, som gir forbruk temperaturkorrigert til 6°C, viser også at enkelte dager uten nattsenkning kommer bedre ut enn den 1. og 2. april. Noe av grunnen til dette kan være at den toppen som kommer etter nattsenkningen er deaktivert er så stor over så lang tid at den nærmer seg like stor som besparelsen. I tillegg vil ventilasjon, vær og vind ha sitt å si. At det gjennomsnittlige forbruket er lavere den 27. enn den 28. mars til tross for kortere tid med nattsenkning, kan enkelt forklares med at nattsenkningen ble aktivert den 27. og deaktivert den 28. med da tilhørende effekttopp den 28.

Fra grafene i figur B.5 og B.6 kan det se ut som at forbruket roer seg raskere etter nattsenkning når ventilasjonsanlegget ikke kjører, spesielt siden forbruket reduseres mer når ventilasjonsanlegget stopper klokken 18. Men det kan også forklares med varmere utetemperatur og mer sol den 28. mars enn den 1. og 2. april.

Effekttopper

I tabellene 5.6 til 5.8 er det en klar antydning om at registrerte effekttopper er høyest når nattsenkningen blir deaktivert i løpet av de siste ti minuttene i en time. Motsatt er det en klar antydning om at effekttoppene blir lavest når nattsenkningen blir deaktivert rundt kvart over. Det kan forklares med at den besparelsen som oppnås på ett kvarter utligner toppen som oppstår de neste 45 minuttene. Fra figurene B.7, B.8 og B.9 kan en antyde at det er de 3-5 første kvarterene etter nattsenkningen er aktivert som har høyest forbruk. Dette bekrefter også at 15 minutter med lavt forbruk og 45 minutter med høyt forbruk kan komme bedre ut enn de 60 minuttene som kommer etter 30 minutter etter deaktivering, som tilsvarende det målte tilfellet i tabell 5.7.

Det som også må tas med i betraktningen av deaktiveringstidspunkt for nattsenkning når effekttopper skal begrenses, er forbruk fra den resterende installasjonen i bygget. Summen av alt forbruk i hver time er det som skal betales for. Med å se på det siste tidsrommet i tabellene 5.6 til 5.8 og samtidig ha tidligere nevnte resultater i mente, vil det være mest naturlig å anbefale en deaktiveringstid mellom 15 og 30 minutter inn i en time. Tabellene antyder at det er dette tidsrommet som gir lavest effektforsøking fra varme den neste timen. Dette gir mulighet for idriftsettelse av resterende installasjon den neste timen uten at nattsenkningen legger ekstra varmeforbruk oppå resterende forbruk.

For å dekke eventuelle ekstra kostnader ved effekttoppøkning må energibesparelsen være på 70 kWh for hver kW økning i effekttopp (ved energikost på 70 øre/kWh og 49 kr/kWh). Om effekttoppen er høyere enn 399 kW vil energibesparelsen være mindre, og høyere om effekttoppen er under 100 kW, jamfør kapittel 3.4.1. For å vite eksakt nødvendig energibesparelse for å dekke økt effekttoppkostnad vil følgende beregning gi svaret:

$$\Delta E = \Delta P \cdot \frac{\text{kr/kW}}{\text{kr/kWh}} = (\text{Ny effekttopp} - \text{gammel effekttopp}) \cdot \frac{\text{Kostnad per kW}}{\text{Kostnad per kWh}}$$

Effekttoppkostnaden (kostnad per kW) varierer med årstiden og størrelsen på effekttoppen og forbrukskostnaden (kostnad per kWh) varierer med spotpris, nettleie og påslag til kraftleverandør. For eksempel kan effekttoppkostnaden være 33 kr/kW i og forbruksprisen 60 øre/kWh i august 2019, som gir en nødvendig energibesparelse på 55 kWh/kW eller 6,9 kWh/kW i 8 timer.

Om nattsenkingen er aktivert 8 timer hver natt i 30 dager vil en effekttoppøkning på 5kW i eksempel måneden over, kreve en effektreduksjon på $\frac{55 \text{ kWh/kW} \cdot 5 \text{ kW}}{8 \text{ h} \cdot 30} = 1,15 \text{ kWh}$ hver time hver natt for å gå i null. Er nødvendig energibesparelse lik 100 kWh/kW og effekttoppøkningen 10 kW vil det være nødvendig med en effektreduksjon på 4,2 kW hver time hver natt. Alle grafene i vedlegg B.2 viser at 4,2 kWh nødvendig besparelse er godt innfridd hver time nattsenkingen har vært aktivert i fjerde etasje i Kraftbygget.

Bekreftende forsøk

For å prøve å bekrefte observasjonene fra forsøkene med nattsenking i månedsskiftet mars/april besluttet bachelorgruppen å gjennomføre to nye perioder med nattsenking aktivert. Disse ble gjort natt til lørdag 1. mai og natt til søndag 2. mai. Forsøkene er presentert grafisk i figurene B.10 til B.13 i vedlegg B.2. Tabellene 5.9 og 5.10 presenterer effekttoppberegningene fra de siste forsøkene på samme måte som tabellene før viser toppene som er diskutert ovenfor.

Fra begge ovennevnte tabeller kan det bekreftes at det er deaktivering hel time, eller i løpet av kvarteret før, som har de effekttoppene som kommer dårligst ut. Tabell 5.10 bekrefter, som diskutert over, at den laveste effekttoppen vil komme om nattsenkingen deaktiveres 15 minutter over hel time. Tabell 5.9 viser at den laveste effekttoppen ville inntruffet om nattsenkingen ble deaktivert halv. Samtidig er forskjellen mellom 08:15 og 08:30 relativt liten som også støtter opp om tidligere nevnte påstand at kvarteret mellom 15 og 30 minutter etter hel time vil gi lavest effekttopp. Både for timen nattsenkingen deaktiveres i og for timen som følger etter.

I disse siste forsøkene er også forbruket redusert til tilnærmet normal etter en til to timer, som tilsvarer de innsvingningstiden i de tre første forsøkene. Dette kan antyde at temperaturen har kommet opp til komforttemperatur etter en god time. En temperaturmåler vil bekrefte eller avkrefte det, og tidspunktet for deaktivering av nattsenkning må fastsettes etter forsøk med temperaturmåling for å unngå ubehag for brukerne. Temperaturøkningstiden vil variere fra bygg til bygg da den termiske tregheten vil variere mellom byggematerialer. Denne tregheten vil også avgjøre når nattsenkningen kan aktiveres. Med lang temperaturendringstid vil aktiveringen kunne skje før de siste brukerne har forlatt bygget.

Oppsummering av nattsenkning

Etter fem ulike perioder med nattsenkning og like mange beregninger for forbruk rundt deaktiveringstidspunkt kan det oppsummeres med at nattsenkning vil gi en god besparelse forbruksmessig om senkeperioden er over en litt lengre periode. Den eventuelle økte effekttoppkostnaden kan også begrenses eller unngås ved å sette deaktiveringstiden 15-25 minutter etter en hel time.

Når høyeste effekttopp for varme utenom nattsenkning i april 2021 er målt til 21,7 kW og høyeste beregnede nødvendige effekttopp ved nattsenkning er målt til 23 kW tilsvarer det en økning på 1,3 kW. Månedsmiddel spotpris i april 2021 var 27,76 øre/kWh og gir en forbrukskostnad på ca. 52 øre/kWh inkludert nettleie. Dette gir en nødvendig besparelse på 122,5 kWh, eller 0,5 kW/h i 8 timer per natt, for å gå i null. Om gjennomsnittlig besparelse er 8 kW per time vil økt kostnad være inntjent på to netter med åtte timer nattsenkning hver natt. Da er ikke økt forbruk etter nattsenkning medregnet, men kun økt effekttoppkostnad.

Med en differanse på 2-4 kWh gjennomsnittlig forbruk per time på dager uten nattsenkning og med 8 timer nattsenkning slik som i figur B.10, vil energiforbruket kunne reduseres med 1440-2880 kWh i fjerde etasje på en måned. Det tilsvarer 17-32 % reduksjon av energibruk til oppvarming. Av det totale forbruket i fjerde etasje inkludert ventilasjonsanlegget tilsvarer besparelsen 11-23 % av gjennomsnittlig forbruk. 20 % av det elektriske forbruket i 2020 tilsvarer 285 MWh.

6.4.2 Tilføre varme gjennom ventilasjon

Ved å regulere opp settpunkt for temperaturen på innluften i ventilasjonsanlegget vil energiforbruket fra fjernvarme øke, mens varmebehovet fra panelovnene reduseres når innluften er varmere. I kapittel 5.2.3 og vedlegg D er det presentert data fra en enkel hva-skjer-hvis-analyse der effekttopper er redusert og økt for å se lønnsomhetstendenser.

Fra tabellene 5.11 og 5.12 kan det sees at det vil være lønnsomt å redusere effekttoppene fra fjernvarmen og øke de elektriske effekttoppene. Det gjelder uavhengig om det er dagens elektriske effekttopper som økes eller om det er den effekten som er brukt den timen fjernvarmen er høyest. I de beregningene som er gjort her er det ikke tatt hensyn til at elektrisiteten og fjernvarmen har effekttopp på ulike tidspunkter i måneden. Om dette tas med i betraktningen vil kostnadsbesparelsen kunne bli høyere om effekttoppene på fjernvarmen kan reduseres samtidig som økningen av det elektriske forbruket ikke gjør at effekttoppen blir høyere enn den høyeste effekttoppen den måneden.

Dette kan forklares bedre med å se på mars 2019 hvor den elektriske effekttoppen er 338 kW klokken 11 den 07.03. og effekttoppen til fjernvarmen er 109 kW klokken 08 den 06.03. Disse effekttoppene inntreffer ikke samtidig, som gjør at fjernvarmeforbruket kan reduseres tilsvarende differansen mellom 338 kWh og det elektriske forbruket den 06.03. klokken 08 (294 kWh) uten at det påvirker effektprisen for elektrisitet. Det vil si at en reduksjon på 30 kW på effekttoppen til fjernvarmen gir en besparelse på 1670 kr før differansen mellom energipriser er medregnet.

Motsatt vil det også være mulig å redusere effektprisen til elektrisitet ved å øke fjernvarmeforbruket uten å overgå den høyeste effekttoppen for fjernvarme den måneden. I tillegg til å redusere effektprisen vil det også være mulig å redusere energileddet med å gjøre som sist nevnt. Dette er mulig da ventilasjonen er i gang mens forbruket er høyest og spotprisen er høyest. Fjernvarmen beregnes ut ifra månedsmiddel spotpris, dermed vil energileddet for elektrisitet være høyere enn for fjernvarme når spotprisen per time er høyere enn månedsmiddelen.

Figur 5.9 viser at varmeveksleren utnyttes under 50 % store deler av driftstiden samtidig som figur 5.10 viser at det samtidig brukes mye elektrisk energi på oppvarming av bygget. I utgangspunktet skal varmeveksleren og fjernvarmen sammen dekke ventilasjonstapet, men når settpunktet på inntemperaturen kun er 19°C vil panelovnene være nødt til å holde temperaturen oppe. Ved å øke utnyttelsen av varmeveksleren vil inntemperaturen kunne økes uten å bruke store mengder energi og panelovnene vil få hjelp til å holde temperaturen oppe fra ventilasjonsanlegget. For å øke utnyttelsen av varmeveksleren må settpunkttemperaturen på innluften reguleres opp når det er mulig å hente ut mer varme fra utluften gjennom varmeveksleren uten at fjernvarmen må hjelpe til med å holde innluftstemperaturen oppe.

Den største ulempen med å øke temperaturen på innluften er at luftkvaliteten kan bli dårligere. Varm luft stiger opp mens kald luft synker ned. Når da innluften er varmere enn romluften vil den friske luften legge seg med taket og ikke komme ned til personene som sitter i rommet, samtidig som den friske luften blir med på retur uten at den "oppbrakte" luften blir dratt ut. I tillegg kan luften oppleves tørr. Dette er noe av grunnene til at Norges Astma- og Allergiforbund og blant annet Entro anbefaler 18-19-20°C som maksimal innluftstemperatur.

6.4.3 Fjernvarme

I avsnitt 3.4.3 beskrives det hvordan fjernvarmeprisen kalkuleres, både energiledet og volumleddet. I nyere tid har Statkraft tatt et skritt videre ved å begynne å måle vannmengden som går gjennom sentralen hos hver kunde. Vannmengden henger direkte sammen med forskjellen i temperaturen på vannet inn i bygget og ut av bygget. Dersom denne temperaturforskjellen er stor, vil mindre vann sirkulere gjennom kundesentralen. På bakgrunn av dette har Statkraft innført en ny prismodell høsten 2018. Denne prismodellen gir mulighet for kunder og selv påvirke fjernvarmeprisen ved hjelp av å forbedre returtemperaturen av vannet. [52]

Returtemperatur

Sirkulert vannmengde er et godt mål på hvor effektivt et fjernvarmeanlegg er. Den viser hvor god eller dårlig utnyttelse bygget har av varmen som blir sendt inn. Jo lavere returtemperatur som sendes tilbake desto bedre effektivitet i anlegget. Returtemperaturen er da den temperaturen som vannet har etter det har gitt fra seg varmen i bygget og returnerer til fjernvarmenettet.

For å vite hvor mye temperaturforskjellen er inn og ut av bygget monteres det temperaturmålere på inntaket. Ved å måle denne differansen på vannet inn og ut av bygget får vi informasjon om hvor mye varme som er overført til bygget. Denne differansen kalles Delta T (ΔT). Et godt regulert anlegg med god effektivitet, bruker lite vann og har stor forskjell mellom inn og ut temperatur. Med en ΔT på rundt 45°C vil dette regnes som et middels godt anlegg. [52]

Ved lave returtemperaturer betyr det at fjernvarmen er blitt utnyttet effektivt og dette fører til at både kunder og fjernvarmeleverandør får lavere kostnader. Det er to hovedpunkter som gir disse besparelsene. [53]

1. **Spare pumpekraft:** Hvis effektiviteten er høy og bygget tar godt vare på varmen som sirkulerer, er det ikke nødvendig å pumpe like store mengder vann. Ved å spare pumpekraft vil det gi merkbare besparelser i elektrisk energi.
2. **Lavere varmetap:** Med en lavere temperatur på vannet som sirkulerer i fjernvarmesystemet minskes varmetapet. Selv om vannrør er godt isolerte vil dette føre til at det mistes mindre varme under transport.

Den nye prismodellen

Siden returtemperaturen har så stor påvirkning på effektiviteten i fjernvarmesystemet, vil den også ha innvirkning på prisen. Frem til den nye prismodellen kom ut i 2018 har ikke returtemperaturen blitt tatt hensyn til i prissettingen av fjernvarmeprisen. Det vil si at uansett om du har hatt høy eller lav returtemperatur så har kunden betalt cirka samme beløp.

Den nye prismodellen har som mål å gi kundene større mulighet til å påvirke sin egen fjernvarmepris. Den skal gi kunder som har eller satser på bedre energiutnyttelse mer gunstige prisbetingelser. Statkraft har som mål at flest mulig tenker på energieffektivisering, slik at penger spares og at det kommer miljøet til gode. [53]

Fjernvarmeprisen påvirkes av tre forhold og den nye prismodellen ser slik ut

1. Forbruket

Kundens energiforbruk beskriver hvor mye varme som nyttiggjøres i bygget. Med en oversikt over forbruket kan forsyningsanlegget kartlegge hvor mye varme som trengs å produsere for å dekke behovet. Kundens energiforbruk (kWh) multipliseres med en varierende energipris. Dette vil igjen fratrekkes 6 øre/kWh, som tilsvarer volumleddet ved oppfylt returtemperatur krav. [53]

2. Effekten

Effekten beskriver hvordan kunden forbruker varmen. Har kunden et jevnt effektuttak vil dette koste mindre, og er uttaket ujevnt vil det koste mer. Det er fordi effektuttaket vil være med på å bestemme hvilken produksjonsberedskap Statkraft må opprettholde. Kundens maksimaleffekt (kW) det siste året multipliseres med effektprisen. [53]

3. Effektiviteten

Effektiviteten beskriver hvor godt kunden bruker varmen som blir tilsendt bygget. Effektiviteten er direkte tilknyttet returtemperaturen, og påvirker dermed hvor stor mengde vann som må sendes til bygget. Dette volumleddet tilsvarer mengden vann (m^3) som blir sendt gjennom kundesentralen, multiplisert med en volumpris (kr/m^3). Volumleddet beregnes slik at dersom kravet på $\Delta T = 45^\circ C$ er oppfylt, vil prisen bli lik null. Som nevnt tidligere vil det bli trukket fra en varierende kostnad på forbruksprisen for å kompensere for volumleddet. Denne kostnaden varierer ut fra returtemperaturen (ΔT) som vist i tabell 3.2. [53]

For å forklare hvordan fjernvarmeprisen regnes ut er det laget et simplifisert regnestykke under. Regnestykket tar for seg forklaringen i punktene 1, 2 og 3, og summerer disse.

$$\begin{aligned} &1. \text{ Forbruk} \cdot \text{Energipris} \\ &+ \\ &2. \text{ Anleggets makseffekt} \cdot \text{Effektpris} \\ &+ \\ &3. \text{ Sirkulert vannmengde} \cdot \text{Volumpris} \end{aligned} \tag{6.3}$$

Tiltak for bedre returvarme

Etter flere år med volumledd på fakturaen blir det konkludert med at det faktisk fungerer. Det å bedre returtemperaturen minker sirkulert vannmengde, og det gjør at flere bygg kan kobles på fjernvarmeanlegget. Med et slikt energieffektiviserings tiltak vil det spares mye varme og kunder får en lavere kostnad for sin fjernvarme.

Statkraft har laget egne punkter om hvordan det er mulig å få et mer effektivt fjernvarmeanlegg. Disse er for deg som kunde for at du skal selv ha mulighet til å forbedre ditt eget anlegg. Statkraft sine punkter er oppgitt i vedlegg F. [52]

Kraftbygget

Som nevnt tidligere i kapittel 6.4.3 belyses det hvordan returvarmen har innvirkning på fjernvarmeprisen. At det faktisk er lurt å etterstrebe en så god ΔT som mulig. Gruppen har gjennom KEF fått tilgang på informasjon fra kundesentralen i bygget. Fra kundesentralen blir det logget hvor mye effekt, vannmengde og hvor stor ΔT det er hver time. Med denne informasjonen har det blitt kalkulert at Kraftbygget, gjennom hele 2019 har hatt en gjennomsnittlig ΔT på 45°C . Med en 45 graders forskjell på inn- og ut temperatur vil dette si at anlegget er et middels godt anlegg.

Med en ΔT lik 45°C og et middels godt anlegg betyr det at det er et forbedringspotensial i bygget. Ved å benytte seg av ulike tiltak fra Statkrafts liste over effektiviseringstiltak i vedlegg F vil det være mulig å forbedre denne. I tabell 3.2 ser vi hvilken priskonsekvens ΔT har over fjernvarmeprisen. I Kraftbygget sitt ståsted ser vi at ved en ΔT lik 45°C vil ikke dette ha noen konsekvens eller gevinst på prisen. Fjernvarmeanlegget vil derimot oppnå «minstekravet» for returvarme og opprettholde et prisfratrekk på 6 øre/kWh.

Ved å benytte seg av ulike effektiviseringstiltak og øke byggets ΔT ser vi i tabell 3.2 at prisfratrekket øker. Hvis gruppen ser på mulighetene ved å øke ΔT med 10°C , vil dette gi en temperaturforskjell på 55°C . En ΔT på 55°C vil øke fratrekke på volumleddet og gi forbruksavgiften et resulterende fratrekk på 7,1 øre/kWh. Det vil si at i perioden fra november til februar er det muligheter til å spare ca. 10 % av forbruksavgiften ved å øke ΔT 10°C . Ved å gå ut fra tabell 5.3 og 5.4, med en ΔT på 55°C , i perioden fra november til februar, vil det være mulig å oppnå besparelser opp til ti tusen kroner.

6.5 Bruk av solceller på eksisterende bygg

Figur 5.20 tar for seg åpne områder på taket til bygget på Kraftbygget. Hvordan områdene ble vurdert er beskrevet i kapittel 4.5. Siden vurderingene ikke er gjort av fagpersonell er det satt sammen tre tabeller med tre forskjellige sammensetninger av områder. Tabell 5.13 viser at alle områdene er benyttet. Den totale produksjonen er 51012 kWh og er 28 % av det totale forbruket. Tabell 5.14 viser de områdene som har blitt vurdert til å være mest egnet. Tabellen viser 24336 kWh produksjon som er 14 % av totalforbruket. Tabell 5.15 viser det antatt mest egnete området alene. I den tabellen ser vi en 13104 kWh produksjon som er 7 % av det årlige forbruket.

Tabell 5.16 viser hvor lenge man må ha solcelleanlegg før de skal bli lønnsomme. Siden solcelleanlegg, i denne oppgaven, er en engangs investering vil ikke prisen endre seg med tiden. Over flere år vil anlegget ha produsert mer strøm, som beskrevet i 3.6 er levetiden på 25 år, derfor stopper tabell 5.16 ved 25 år. Grafen i figur 5.21 visualiserer en utvidet versjon av tabell 5.16

Tabellen i figur 5.5 viser at strømprisen er ca 75 øre/kWh for Kraftbygget. Denne prisen er gjennomsnittet for 2019, og ikke gjennomsnittet over flere år. Sammenligner man prisen fra forrige tabell med tallene fra tabell 5.16 ser vi at de forskjellige scenariene blir lønnsomme etter 19 driftsår. Da har anlegget 6 år igjen med antatt levetid. Selv om scenario 3 er det minste solcelleanlegget, er det likevel nesten like lønnsomt som scenario 1 etter 19 driftsår. Ser vi på grafen i figur 5.21 er kilowattprisen for hvert enkelt scenario lik gjennom årene.

Under beregningene i kapittel 4.5.1, er det brukt erfaringstall for hvor mange kWh som blir produsert for hver installerte kWp. Hvis man velger et mer optimistisk tall, fra 750 til 800, for solinnstråling vil også anlegget bli mer lønnsomt. Det andre erfaringstallet, 7500 kr påvirker også kostnadene. Jo lavere kostnaden er for montering og investering, jo billigere blir kWh kostnaden.

Reduksjon av effekttopper med hjelp av solceller er ikke utført i beregningen utført i denne oppgaven. Denne reduksjonen er noe som også vil gjøre solcelleanlegget raskere lønnsomt. For hver kilowatt toppene reduseres med, vil effektprisene som står i tabell 3.1 trekkes fra i strømregningen. Denne effektprisen varierer med årstid og størrelse på effekttoppen.

Bruken av batterier i tilknytning solcelleanlegget er utelatt fra oppgaven. Det å kunne spare på energien å bruke den når det trengs mest kan være verdifullt. Ser vi på hvor mye energi som blir produsert er det enkelt å anta at all energien som blir produsert vil bli brukt med en gang.

Kapittel 4.7 tar for seg en metode for beregning av lån. Lånet er det som bestemmer den totale kostnaden for anlegget. Hvis lånet betales ned over en annen periode enn den som er brukt i beregningene, eller om renten justeres vil det ha mye å si på solcelleanleggets lønnsomhet. Hvis nedbetalingsperioden blir kortere vil lånet bli billigere, hvis renta går opp blir lånet dyrere. Når lånets kostnad går opp blir øre/kWh høyere, og lavere når lånets kostnad går ned.

6.6 Varmepumpe oppsummering

Fordelen med luft til luft varmpumper er at det er lett å montere på et eksisterende bygg og de kan brukes til kjøling. Luften kan sendes inn til bygget gjennom innluften, da slipper bygget å bruke elektrisitet eller fjernvarme for å varme opp den kalde innluften. Uteluften kan riktignok ikke bli for kald før varmpumpen slutter å fungere optimalt, som forklart i kapittel 3.7.

Luft til vann varmpumper møter på samme utfordringen som luft til luft varmpumpene, men måten bygget blir varmet opp på endrer seg. Man varmer opp vann i en sløyfe, som er uavhengig fra eksisterende fjernvarmesløyfe. Bruken av viftekonvektorer gjør det mulig å kjøle ned bygget på varme dager. Siden det er elektrisk oppvarming i høyblokka, må det legges opp nytt anlegg om varmpumpen skal benyttes til romoppvarming utenom gjennom ventilasjon. Dette vil gi en stor installasjonskostnad.

Som nevnt i kapittel 6.4.3 er det ikke ønskelig med høy returtemperatur på fjernvarmen. Derfor må luft-til-vann-varmpumpen kobles på en varmekrets uavhengig av fjernvarmen, så lenge det ikke lages gode styresystemer som kan utnytte varmpumpe og fjernvarme optimalt i samme krets uten at ΔT på fjernvarmen blir mindre enn 45°C .

Arbeid på kvikkleire, spesielt boring, kan føre til leirskred [54]. Berg- og jordvarmpumper er avhengig av boring, som forklart i kapittel 3.7.3, og er derfor uaktuelt i Kraftbygget som er bygd på kvikkleire.

Konklusjon

7.1 Oppsummering av hovedresultatene

Rapporten har undersøkt og drøftet ulike tiltak som kan gjennomføres i eksisterende bygg med utgangspunkt i Kraftbygget. Hensikten med tiltakene er at de skal redusere energikostnadene. Reduserte energikostnader kan oppnås ved å redusere den totale energien som hentes fra strøm- eller fjernvarmenettet. Ved å redusere det høyeste forbruket i løpet av en time i hver måned vil beløpet fra effekttariffen i nettleien også reduseres. Dermed vil det å redusere forbruk i hver enkelt time redusere energikostnadene.

Energieffektiviserende tiltak i belysningsanlegg

Av tiltak i belysningsanlegget er det vurdert bytte av lysarmaturer og styring av belysning. Rapporten presenterer tall fra Thema (fra Glamox og Enova) som sier at kostanden for å oppgradere belysningsanlegget vil komme på mellom 2,5 og 4,5 kr per årlig sparte kWh [11]. Virkningen av tiltakene vil avhenge av allerede installert belysningssystem, men av resultatene fra Kraftbygget kan det konkluderes med følgende:

- Å bytte lysrørarmaturer til LED-armaturer vil gi en besparelse av energibruk til belysning på rundt 50 %. I tillegg til å gi en god energibesparelse vil armaturbytte øke standarden på lokalene og gi brukerne en bedre opplevelse av å være i bygget.
- Tilstedeværelsesstyring kan redusere energibruken til belysning med opp mot 30-45 %. Hvor mye som er mulig å spare vil avhenge av dagens styring og tilstedeværelsen i bygget. Sammen med armaturbytte kan tilstedeværelsesstyring redusere forbruket til belysning med 60-70 %.
- Dagslysstyring er ikke undersøkt spesifikt for Kraftbygget, men andre undersøkelser viser at det kan bidra til å redusere energiforbruket. Dagslysstyring med dimming krever dimbare lys og muliggjør effektoppreduksjon som vil bidra til reduserte energikostnader.

Energieffektiviserende tiltak i ventilasjonssystemet

For å redusere energibruken i fra bruk av ventilasjonsanlegg er det undersøkt og drøftet tiltak som optimaliserer drift og driftstid av ventilasjonsanlegget. Fra rapportens resultater og analyser kan det for Kraftbygget konkluderes med følgende:

- Med den hastigheten som kjøres på ventilasjonsanlegget i fjerde etasje i dag, vil det være mulig å spare opp mot 74 Wh/m^2 av energibruken i aggregatet hver dag anlegget er avslått. Om det er 15 dager i et år at bygget står tomt vil det tilsvare 0,4 % av det totale årlige forbruket. Med andre ord er det minimalt å spare på dette tiltaket såfremt det ikke er fellesferie som vil gi flere fridager. Anlegg som ikke stopper på lørdag og søndag når bygget ikke er i bruk vil ha en besparelse på ca. 4 % ved å innføre ukesur. I dette resultatet er det ikke medregnet frostsikring og andre varmetap/-gevinster.
- Etter observasjoner fra lysmålingene med tilstedeværelsesstyring er det fastslått at bygget er i bruk stort sett hele driftstiden til ventilasjonsanlegget i fjerde etasje. Dette gjør at tidligere avstilling ikke kan gjennomføres. I enkelte perioder er det mindre folk i bygget, som gjør at behovstyrt ventilasjon muligens kan gi en energibesparelse.
- På dager med oppvarmingsbehov vil det være lønnsomt å holde innluftstemperaturen stabilt på settpunkttemperatur ved hjelp av varmeveksler. For hver grad innluften er under settpunkt må romoppvarmingen bruke ca. 1,3 W ekstra for hver liter luft som tilføres hvert sekund. Eksempeldagen som analyseres i kapittel 6.3.3 viser at varmeforbruket kunne vært redusert med 5 % den dagen om varmeveksleren var styrt optimalt. Optimalisert styring av varmeveksler vil derfor gi et godt bidrag til lavere energikostnader, uten ekstra investeringskostnader om varmeveksler er installert og regulerbar.

Energieffektiviserende tiltak i varmesystemet

Varmesystemet som er vurdert i dette prosjektet består av elektriske panelovner som romoppvarming og fjernvarme fra Statkraft Varme til ventilasjonsanlegget. I tillegg er det fjernvarme til radiatorer i lavblokken som ikke er vurdert i rapporten. Av tiltak i varmesystemet som er vurdert i rapporten har bachelorgruppen kommet frem til følgende:

- Å senke romtemperaturen i bygget når det ikke er i bruk vil kunne gi store energibesparelser. Prosjektet har ikke tatt med temperaturmåling og kan derfor ikke si noe om $\text{kWh}/^\circ\text{C}$, men med den nattsenkingsfunksjonen som er på panelovnene i Kraftbygget finner prosjektet at det kan være mulig å spare 17-32 % av energibruk til oppvarming ved 8 timer nattsinking. Nattsinking i kombinasjon med helgesinking vil gi større besparelse.

Analyser viser at ca. 15 minutter over hel time (f.eks 05:15) vil være det optimale tidspunktet å deaktivere nattsenkingen på for å unngå høye effekttopper. Tidspunkt for aktivering og deaktivering av nattsenking må bestemmes etter analyser av hvert enkelt bygg sin termiske treghet og driftstid.

- Ved å tilføre varme gjennom ventilasjonen fra fjernvarme kan det elektriske forbruket reduseres, og omvendt. Analyser viser at det vil være lønnsomt å øke fjernvarmeforbruket i timer hvor timesspotprisen er høyere enn månedsmiddelen, så lenge elektrisiteten betales etter timesspot. Motsatt vil det være lønnsomt å øke det elektriske forbruket når månedsmiddelen er høyest. Dette er kun gjeldende så lenge fjernvarmen ikke får høyere effekttopp når den er på et lavere ledd i tariffen enn elektrisiteten. Å flytte energibruk fra elektrisk oppvarming til fjernvarme vil derfor ofte kunne hjelpe med å redusere effekttopper uten å endre energibehovet. Det som begrenser bruksmuligheten for tiltaket, er driftstiden til ventilasjonsanlegget og anbefalt maksimal innluftstemperatur som er rundt 20°C.
- For å redusere fjernvarmekostnadene kan ΔT økes. Dette tiltaket kan enkelt gjennomføres ved å optimalisere styringen på fjernvarmeinntaket. Forbruksavgiften kan reduseres opp mot 10 % med optimaliseringen og vil derfor være et fornuftig tiltak for å redusere energikostnadene uten større investeringskostnader.

Solceller

- Siden solceller produserer elektrisk energi er det egentlig ikke et energibesparende tiltak, men det hjelper ofte til å kutte ned strømregningen. Under diskusjonene ser vi at solceller er et innsparingsprosjekt. Over solcelleanleggets levetid vil til og med scenario 3, oppgavens minste anlegg, være lønnsomt.

Varmepumpe

- Varmepumper har en høy virkningsgrad. Dette gjør at potensialet for å redusere energikostnadene kan bli store. Andre fordeler er at man kan få høyere energimerke på bygget sitt. Nøyaktig hvor mye Kraftbygget vil gå opp i energimerke er uvisst. Moderne varmpumper er vanligvis merket på A eller høyere [36]. Investeringskostnadene er den største ulempen med varmpumper. Ekstra vedlikehold er også en utgiftspost, men vinningspotensialet er mye større.

Energibesparende tiltak oppsummert

Alle tiltakene som gir en reduksjon i energiforbruk, er oppsummert i tabell 7.1. Tabellen gir en oversikt over tiltakenes besparelse per areal per dag og per år, samt prosentvis andel av det totale forbruket i Kraftbygget. Tiltakene som fokuserer på reduksjon i effekttopp eller energikostnad uten å redusere forbruk er ikke tatt med i tabellen.

I to av radene i tabellen er besparelsene summert opp. De største summene, spesielt den siste, er egentlig usannsynlig høye siden flere tiltak sammen vil redusere effekten av den totale innsparingen. For eksempel vil effekten av nattsenkning i forhold til totalt forbruk reduseres når varmpumpe installeres, på grunn av at det totale varmeforbruket reduseres.

	Tiltak	Daglig besparelse [Wh/m ² /dag]	Årlig besparelse [kWh/m ² /år]	Besparelse av totalt forbruk ¹⁾ [%]
Ventilasjon:	Av på fridager	74	0,45-0,8	0,25-0,4
	Av tidligere på dagen	—	—	—
	Regulere oppstart varmeveksler	1,2-1,4	0,3-1,2	0,17-0,67
	Regulere varmeveksler hele dagen	0-25	0-6	0-3,3
Varme:	Nattsenkning	58-117	21-42	11,4-22,8
Lys:	Bytte lysarmaturer ²⁾	33,6-103	8,7-27	4,8-15
	Tilstedeværelsesdeteksjon ³⁾	0-50	0-10	0-5,5
	Dagslysstyring ⁴⁾	0-16,5	1-4,3	0,6-2,4
Solcelle:	56-218 paneler		1,55-6,02	0,9-3,3
	Sum u/varmepumpe		33-97	18-54
Varmepumpe:	5)		10,8-54	ca. 6-30
	Sum m/varmepumpe		43,8-141	24-78

1) Beregnet ut fra 180kWh/m²/år, 2) Beregnet med driftstiden 12/5/52, 3) Beregnet med målt forbruk og "på-timer" i uke 18, 4) Utgangspunkt i ca. 16% fra andre rapporter, 5) Med utgangspunkt i tall fra Enova og at ca. 65% av totalt forbruk er varme

Tabell 7.1: Energibesparelsen fra de ulike tiltakene drøftet i rapporten

7.2 Samfunnsnytte

For å redusere energikostnadene i et bygg er utgangspunktet å redusere både energiforbruk og effekttopper. Når hvert enkelt bygg optimaliserer sin energibruk, vil samfunnet oppnå større tilgang til elektrisk energi for å gjennomføre det grønne skiftet. Ved å redusere og produsere energi i bygninger vil det frigjøres kapasitet i kraftnettet til elektrifisering av dagens fossile energiforbruk, uten at kraftnett og kraftverk må bygges ut.

Det er ikke alle effektiviseringstiltak som vil vurderes som lønnsomme av byggeiere, men det kan være samfunnsøkonomisk lønnsomt å gjennomføre disse. Gjennomføring av tiltak gir sysselsetting av arbeidere, omsetning av verdier og reduserte kostnader for kraftutbygging.

For hvert energibesparende tiltak som gjennomføres, eller for hver solcelle som monteres, vil kapasitet på kraftnettet frigis. For hver grad fjernvarmenettet effektiviseres må det produseres mindre varmeenergi for å dekke tap og energibruk til pumpekraft går ned. Hvert minste bidrag gir samfunnet bedre forutsetninger til å ha nok fornybar energi til å drive både biler, båter og annet som skal elektrifiseres.

7.3 Videre arbeid

- Fasederenovering er ikke vurdert i dette prosjektet, men er et tiltak som også bør utredes for eldre bygg som Kraftbygget.
- Skjermen som er montert i Kraftbygget i forbindelse med Wago EDM gjør mulighetene for videreutvikling av systemet stort. Her kan det installeres e!COCKPIT og andre programvarer som for eksempel kan ta inn strømpriser og gjøre vurderinger opp mot nå-verdien på forbruket. Det er også muligheter for å integrere ventilasjonsanlegget i systemet via Modbus.
- Før nattsinking kan tas i bruk må den optimaliseres bedre. For å styre den kan e!COCKPIT fra Wago benyttes. Temperaturmålere fra EnOcean kan trådløst tilkobles en modul som plasseres på I/O-slavene som er plassert i tavlene i bygget. Med å logge og analysere disse temperaturmålingene kan av/på-tidspunkt optimaliseres.
- Batteribanker kan være en mulighet for å redusere effekttopper. Batteribanker kan benyttes i kombinasjon med solceller for å få utnyttet den solcelleproduserte strømmen når effekttoppene er høyest.
- Denne rapporten har fokusert på innendørs belysningsanlegg, men det vil også være muligheter for å spare energi på utebelysning. Dimmesystemer og mer avanserte tidsstyringer enn normalt vil trolig hjelpe til å redusere energikostnader og lysforurensninger.

Bibliografi

- [1] WAGO. Målesystem med tilleggsverdi [Internett], 2018. URL <https://www.wago.com/no/energymanagement/energy-data-management>. [Hentet 27.02.21].
- [2] R. Kjeldsberg. Bilde Kjeldsberg Kraftbygget, 2021. URL https://www.kjeldsberg.no/?eiendomsutvikling=kraftbygget&fbclid=IwAR2DEjd1Jzf5AGAj5DSsxhSmn_RuXlVpPZenZfTqGIV9ZnHEY07MBsWVCvA. [Hentet: 13.05.21].
- [3] Google Maps. Bilde Google Maps [Internett], 2021. URL <https://www.google.no/maps/@63.3979864,10.4039203,82a,35y,258.4h,65.69t/data=!3m1!1e3>. [Hentet: 13.05.21].
- [4] Standard Norge. *Innvirkning ved bruk av bygningsautomatisering på energiytelsen i bygninger - Veiledning til NS-EN 15232:2012*. Standard Norge, April 2015.
- [5] NVE. *Veileder til forskrift om energivurdering av tekniske anlegg og energimerking av bygninger*. Norges vassdrags- og energidirektorat, Juli 2012.
- [6] Entro AS v/Geir Tore Hansen. *Energiattest Sluppenvegen 6*. Norges vassdrags- og energidirektorat, Mars 2011.
- [7] Energifakta Norge. Bærekraftige bygg [Internett], 2019. URL <https://energifaktanorge.no/et-baerekraftig-og-sikkert-energisystem/baerekraftige-bygg/>. [Hentet: 19.03.21].
- [8] Statistisk sentralbyrå. *Energibruk i tjenesteytende næringer (opphørt), 2011, endelige tall* [Internett], 2013. URL <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/entjeneste/hvert-3-aar-endelige/2013-06-04>. [Hentet 03.03.21].
- [9] NVE. *Analyse av energibruk i yrkesbygg*. Norges vassdrags- og energidirektorat, Februar 2016. URL http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_24.pdf. [Hentet: 04.03.21].
- [10] Christoffer Venås Selamawit Mamo Fufa, Cecilie Flyen. *Grønt er ikke bare en farge: Bærekraftige bygninger eksisterer allerede*. SINTEF FAG, 202. [Hentet: 07.04.21].
- [11] THEMA Consulting group. *Grønn rehabiliteringsbølge i Norge, 2021*.

- [12] ZERO (Zero Emission Recourse Organisation). Slik kutter vi energibruken i bygg - Virkemidler for energieffektivisering som tar oss til 10 TWh, 2017.
- [13] Norsk vassdrags-og energidirektorat. Lav bevissthet rundt energimerking av yrkesbygg[Internett], 2019. URL <https://www.nve.no/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energimerking-av-bolig-og-bygg/nyheter-om-energimerking-av-bygg/lav-bevissthet-rundt-energimerking-av-yrkesbygg/>. [Hentet: 04.05.21].
- [14] FN. Fns bærekraftmål [Internett], 2020. URL <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>. [Hentet: 19.03.21].
- [15] Standard Norge. Energiledelsessystemer - krav med brukerveiledning, ns-en iso 50001:2018, 2018.
- [16] Standard Norge. SN/TR 3069 - Formålsdelt etterprøving av bygningers energibruk, 2019.
- [17] Norsk klimaservicesenter. Observasjoner og værstatistikk [Internett], u.å. URL <https://seklima.met.no/observations/>.
- [18] NVE. Nettleie [Internett], 2019. URL <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/stromkunde/nettleie/>. [Hentet 03.03.21].
- [19] NVE. Om forskjeller i nettleie [Internett], 31.03. 2020. URL <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nettjenester/nettleie/nettleie-for-forbruk/om-forskjeller-i-nettleie/>. [Hentet: 03.03.21].
- [20] Tensio. Nettleie, priser og avtaler [Internett], 2021. URL <https://ts.tensio.no/kunde/nettleie-priser-og-avtaler>. [Hentet 03.03.21].
- [21] NVE. NVE-RME legger fram forslag til ny nettleiemodell [Internett], 2020. URL <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nytt-fra-rme/nyheter-reguleringsmyndigheten-for-energi/nve-rme-legger-fram-forslag-til-ny-nettleiemodell/>. [Hentet: 22.03.21].
- [22] Olje og energidepartementet. Kraftmarkedet [Internett], Oppdatert: 02.03.2021. URL <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftmarkedet/#sluttbrukermarked-og-strompris>. [Hentet 04.03.21].
- [23] Strøm.no. Strøm til bedrift [Internett], u.å. URL <https://str\T1\om.no/bedrift>. [Hentet 04.03.21].
- [24] Nord Pool AS. Historical market data [Internett], u.å.. URL <https://www.nordpoolgroup.com/historical-market-data/>. [Hentet: 18.02.21 og 04.05.21].

- [25] Statkraft. Prismodell [Internett], u.å.. URL <https://www.statkraftvarme.no/produkter-og-tjenester/prismodell/>. [Hentet: 04.03.21].
- [26] Statkraft. Fjernvarmetariff BT1V til næringskunder i Trondheim, u.å.. URL <https://www.statkraftvarme.no/globalassets/0/statkraft-varme/produkter-og-tjenester/prisark/jan-2021/trondheim-bedrift-med-volumledd-bt1v.pdf>. [Hentet: 04.03.21].
- [27] Hilde Hauge Johannesen. Lys og energibruk. Stabekk: Lyskultur, 2001. Publikasjon nr. 19, 2. utg.
- [28] Eilif Hugo Hansen og Hans-Henrik Bjørset. *Lysteknikk*. Classica forlag AS, 2006.
- [29] Enova SF. Energieffektiv belysning i yrkesbygg, 2008.
- [30] Lars Mæhlum. Solceller [Internett], 2020. URL <https://snl.no/solceller>. [Hentet: 22.03.21].
- [31] Fusen. Forventet levetid for solcellepaneler [Internett], 2018. URL <https://blogg.fusen.no/forventet-levetid-solcellepaneler>. [Hentet: 12.05.21].
- [32] Peter Bernhard. Konseptutredning el fornebu - ws3 energi og effekt. Utnyttelse av solenergi på fornebu. [Internett], 2017. URL <https://docplayer.me/139956323-Konseptutredning-el-fornebu-ws3-energi-og-effekt-utnyttelse-av-solenergi-pa-fornebu-peter-bernhard-asplan-viak-as.html>. [Hentet: 11.05.21].
- [33] Arnfinn Christensen. Se hvordan varmepumpa virker [Internett], 2006. URL <https://forskning.no/bakgrunn-energi-fysikk/se-hvordan-varmepumpa-virker/1022294>. [Hentet: 06.04.21].
- [34] Enova. Næringsbygg [Internett], u.å.. URL <https://www.enova.no/kunnskap/naringsbygg/>. [Hentet: 14.04.21].
- [35] Enova. Luft-til-luft-varmepumpe [Internett], u.å.. URL <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/varmepumper/luft-til-luft-varmepumpe/>. [Hentet: 14.04.21].
- [36] Norsk Varmepumpeforening. Photovoltaic geographical information system [Internett], 2021. URL <https://www.varmepumpeinfo.no/varmepumpetyper/luft-til-luft-varmepumpe>. [Hentet: 15.04.21].
- [37] Norsk Varmepumpeforening. Photovoltaic geographical information system [Internett], 2020. URL

- <https://www.varmepumpeinfo.no/varmepumpetyper/vaske-til-vann-varmepumpe>. [Hentet: 15.04.21].
- [38] Norsk Varmepumpeforening. Photovoltaic geographical information system [Internett], 2019. URL <https://www.varmepumpeinfo.no/varmepumpetyper/bergvarmepumpe-og-jordvarmepumpe>. [Hentet: 15.04.21].
- [39] April 2021. *Telefonsamtale med Martin Brunstad Høydal, Getek*.
- [40] Gule sider, 2021. URL <https://kart.gulesider.no/>. [Hentet: 12.04.21].
- [41] Dr.Ing. Bjørn Thorud. Solenergi i Norge – endelig take off? [Internett], 2017. URL <https://n-e-f.no/wp-content/uploads/2017/10/NEF-Solenergi-og-Bygg-m%C3%B8te-11102017.pdf>. [Hentet: 11.05.21].
- [42] Standard Norge. *NS-EN 15232:2017 - Bygningers energiytelse*. Standard Norge, August, 2017.
- [43] Mars 2021. *Mailkorrespondanse Glamox AS, ved Anders Bru*.
- [44] Glamox AS. Lyskildedata, 2013. URL https://glamox.com/upload/2013/02/21/lyskildedata_2013_no.pdf. [Hentet: 14.04.21].
- [45] Glamox AS. Easycalc, u.å.. URL <https://glamox.com/no/easycalc>. [Hentet: 14.04.21].
- [46] April 2021. *Mailkorrespondanse NVE, ved Una Kyrkjebø*.
- [47] Lyskultur. Lys og energibruk. Lysaker: Lyskultur, 2010. Publikasjon nr. 19, 3. utg.
- [48] Eilif Hugo Hansen. Lysstyring, 2004.
- [49] Ane Solem Knutsen. Planleggingskriterier for lysstyring basert på dagslystilgang i bygninger [Masteroppgave]. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, 2018.
- [50] A.J. Petersen, I.H. Bryn, P.G. Schild, E.N. Haugen, G. Nilson, K. Høydahl. *Bruk av roterende gjenvinnere i skoler*. Erichsen & Horgen A/S, 2009.
- [51] Mads Mysen og Peter G. Schild. Sintef. Behovsstyrt ventilasjon, DCV – krav og overlevering, 2013.
- [52] Statkraft. Returvarme og volum, u.å.. URL <https://www.statkraftvarme.no/produkter-og-tjenester/prismodell/returtemperatur-og-volum/>. [Hentet: 12.04.21].

- [53] Statkraft. Den nye prismodellen, u.å.. URL https://www.statkraft.com/globalassets/old-contains-the-old-folder-structure/documents/nyprismodell_tcm84-28710.pdf. [Hentet: 12.04.21].
- [54] Nils Spjeldnæs. Kvikkleire [Internett], 2021. URL <https://snl.no/kvikkleire>. [Hentet: 05.05.21].
- [55] WAGO. PFC200-kontroller [Internett], u.å.. URL <https://www.wago.com/no/controller/kontroller-pfc200/p/750-8212>. [Hentet: 01.03.21].
- [56] WAGO. 750-352 feltbuskobler [Internett], u.å.. URL https://www.wago.com/no/io-systemer/feltbuskobling-ethernet/p/750-352_000-001. [Hentet: 01.03.21].
- [57] WAGO. 750-495 effektmålingsmodul [Internett], u.å.. URL <https://www.wago.com/no/io-systemer/3-fase-strommaling/p/750-495>. [Hentet: 01.03.21].
- [58] WAGO. 750-530 digital utgang [Internett], u.å.. URL <https://www.wago.com/no/io-systemer/8-kanals-digital-utgang/p/750-530>. [Hentet: 01.03.21].
- [59] WAGO. 855-2701 måletrafo [Internett], u.å.. URL https://www.wago.com/no/stromtransformatorer-og-spenningsavledere/plug-in-current-transformer/p/855-2701_064-001. [Hentet: 02.03.21].
- [60] WAGO. 855-401 måletrafo [Internett], u.å.. URL https://www.wago.com/no/stromtransformatorer-og-spenningsavledere/plug-in-current-transformer/p/855-401_400-501. [Hentet: 02.03.21].
- [61] WAGO. 762-4305 touch panel [Internett], u.å.. URL https://www.wago.com/no/touch-panel/touch-panel-600/p/762-4305_8000-002. [Hentet: 02.03.21].
- [62] Glamox AS. C10-R600 414HF 830 CP2 LL, u.å.. URL <https://glamox.com/no/produkter/nogroup/items/c10055143>. [Hentet: 14.04.21].

Figurer

2.1	Kraftbygget [2]	5
2.2	Kraftbygget med lavblokka til venstre og høyblokka til høyre i bildet [3]	6
2.3	Fjernvarmeanlegget i Kraftbygget, hentet fra Kjeldsberg Cloud	8
3.1	Energibruk etter bygningstype og energiprodukt hentet fra SSB [8]	10
3.2	Energibruk i kontorbygg etter byggeår (2011). Hentet fra SSB [8]	11
3.3	Representativt formålsdelt energibruk i kontorbygg, hentet fra NVE-rapport [9]	12
3.4	Potensiell effekt av ulike tiltak, figur fra ZERO [12]	13
3.5	Belysningsstyrke uten dagslysstyring [29]	23
3.6	Belysningsstyrke med dagslysstyring [29]	23
3.7	Oppbygningen på et solcelleanlegg uten batteri [32]	24
3.8	Varmepumpe prinsippskisse [33]	25
4.1	Elskjema	32
4.2	Oversiktsbilde av ventilasjonsaggregat 36.04, hentet fra Kjeldsberg Cloud	37
4.3	Figuren viser fremgangsmåten som er beskrevet ovenfor	39
4.4	Viser et vanlig øst-vest-orientert oppsett [41]	40
5.1	Årlig energiforbruk fra el., fjernvarme og begge samlet, for 2015-2020	42
5.2	Totalt månedlig el.forbruk og temperatur fra jan. 2015 til apr. 2021	43
5.3	Grafer som viser sammenhengen mellom forbruk, effekttopper og nettleie	44
5.4	Effektledd, nettleie og strømpris som andel av strømkostnad i 2019 og 2020	45
5.5	Energikostnad i øre/kWh for 2019 og 2020	47
5.6	Lysforbruket i 4.etg. i uke 18	48

5.7	Energibruk til lys med og uten tilstedeværelse	51
5.8	Elektrisk effektuttak til ventilasjon i 4.etg. én dag	52
5.9	Temperaturer og varmevekslernivå i ventilasjonsaggregat 36.04 fra 5. til 7. april	53
5.10	Forbruk til varme i 4.etg., temperaturkorrigert forbruk og utetemperatur fra 5. til 7. april	53
5.11	Temperaturer og varmevekslernivå i ventilasjonsaggregat 36.04 fra 19. til 21. april	54
5.12	Forbruk til varme i 4.etg., temperaturkorrigert forbruk og utetemperatur fra 19. til 21. april	54
5.13	Temperaturer og varmevekslernivå i ventilasjonsaggregat 36.04 fra 27. til 30. april	54
5.14	Forbruk til varme i 4.etg., temperaturkorrigert forbruk og utetemperatur fra 27. til 30. april	55
5.15	Temperaturer og varmevekslernivå like før, under og like etter oppstart av ventilasjonsaggregat 36.04 den 5. april	55
5.16	Temperaturer og varmevekslernivå like før, under og like etter oppstart av ventilasjonsaggregat 36.04 den 27. april	56
5.17	Gjennomsnittlig varmeforbruk, utetemperatur og antall timer nattsenkning fra 24.03. til 09.04.	56
5.18	Forbruk og temp.korrigert forbruk for varme i 4. etg. fra 27. til 28. mars	57
5.19	Forbruk og temp.korrigert forbruk for varme i 4. etg. fra 31.03. til 02.04.	57
5.20	Områder for solceller, takbredde er horisontalt og taklengde er vertikalt. Bilde uten tegning er hentet fra Gulesider [40]	62
5.21	Investeringskostnad i øre/kWh etter antall driftsår	64
6.1	Spesifikk energibruk fra hovedmålere på Kraftbygget og gjennomsnittsverdier for lignende bygg fra SSB [10]	66
6.2	Eksempel på lysarmatur uten reflektor	67
B.1	Nivå for roterende varmeveksler og innlufttemperatur 21. april	102
B.2	Nivå for roterende varmeveksler og innlufttemperatur 21. april	102
B.3	Nivå for roterende varmeveksler og innlufttemperatur 21. april	103

B.4	Gjennomsnittlig varmeforbruk, temp.korrigert forbruk, utetemperatur og antall timer nattsinking fra 24.03. til 09.04.	103
B.5	Forbruk og temp.korrigert forbruk i 4.etg fra 24.03. til 01.04.	104
B.6	Forbruk og temp.korrigert forbruk i 4.etg fra 01.04. til 09.04.	104
B.7	Gjennomsnittlig effekt for varme i 4.etg. med 15min. intervaller fra 27.03. til 28.03.	104
B.8	Gjennomsnittlig effekt for varme i 4.etg. med 15min. intervaller fra 31.03. til 01.04.	105
B.9	Gjennomsnittlig effekt for varme i 4.etg. med 15min. intervaller fra 01.04. til 02.04.	105
B.10	Gjennomsnittlig varmeforbruk, temp.korrigert forbruk, utetemperatur og antall timer nattsinking fra 27.04. til 03.05.	106
B.11	Forbruk og temp.korrigert forbruk i 4.etg fra 30.04. til 03.05.	106
B.12	Gjennomsnittlig effekt for varme i 4.etg. med 15min. intervaller fra 30.04. til 01.05.	107
B.13	Gjennomsnittlig effekt for varme i 4.etg. med 15min. intervaller fra 01.05. til 02.05.	107
G.1	Wago PFC200-kontroller [55]	120
G.2	Wago Feltbuskobling [56]	120
G.3	Wago Effektmålingsmodul [57]	120
G.4	Wago Digital utgangsmodule [58]	121
G.5	Wago Måletrafo [59]	121
G.6	Wago Måletrafo [60]	121
G.7	Wago Skjerm [61]	121

Tabeller

3.1	Nettleie 2021, NMT Effekt lavspent [20]	17
3.2	Priskonsekvens ved ulik ΔT	21
5.1	Elektrisk energibruk og kostnader i 2019	45
5.2	Elektrisk energibruk og kostnader i 2020	46
5.3	Energibruk og kostnader til fjernvarme i 2019	46
5.4	Energibruk og kostnader til fjernvarme i 2020	46
5.5	Energibruk til lys med og uten tilstedeværelse	50
5.6	Timesforbruk rundt deaktivering av nattsinking 28.03.	58
5.7	Timesforbruk rundt deaktivering av nattsinking 01.04.	58
5.8	Timesforbruk rundt deaktivering av nattsinking 02.04.	59
5.9	Timesforbruk rundt deaktivering av nattsinking 01.05.	59
5.10	Timesforbruk rundt deaktivering av nattsinking 02.05.	59
5.11	Prisdifferanse ved reduserte effekttopper	60
5.12	Prisdifferanse ved økte effekttopper	60
5.13	Effekt og energi fra solceller i alle områdene i figur 5.20	62
5.14	Effekt og energi fra solceller i tre av områdene i figur 5.20	63
5.15	Effekt og energi fra solceller i det beste området i figur 5.20	63
5.16	Investeringskostnad i øre/kWh etter antall driftsår	64
6.1	Tekniske og beregnede data for ulike lysarmaturer	69
7.1	Energibesparelsen fra de ulike tiltakene drøftet i rapporten	89

C.1	Elektrisk energiforbruk per kvm i 2020	108
C.2	Energi til fjernvarme per kvm i 2020	109
C.3	Totalt energiforbruk per kvm i 2020	109
C.4	Elektrisk energiforbruk per kvm i 2019	110
C.5	Energi til fjernvarme per kvm i 2019	110
C.6	Totalt energiforbruk per kvm i 2019	111
C.7	Energiforbruk per kvm i 2015	112
C.8	Energiforbruk per kvm i 2016	112
C.9	Energiforbruk per kvm i 2017	113
C.10	Energiforbruk per kvm i 2018	113

Vedlegg A

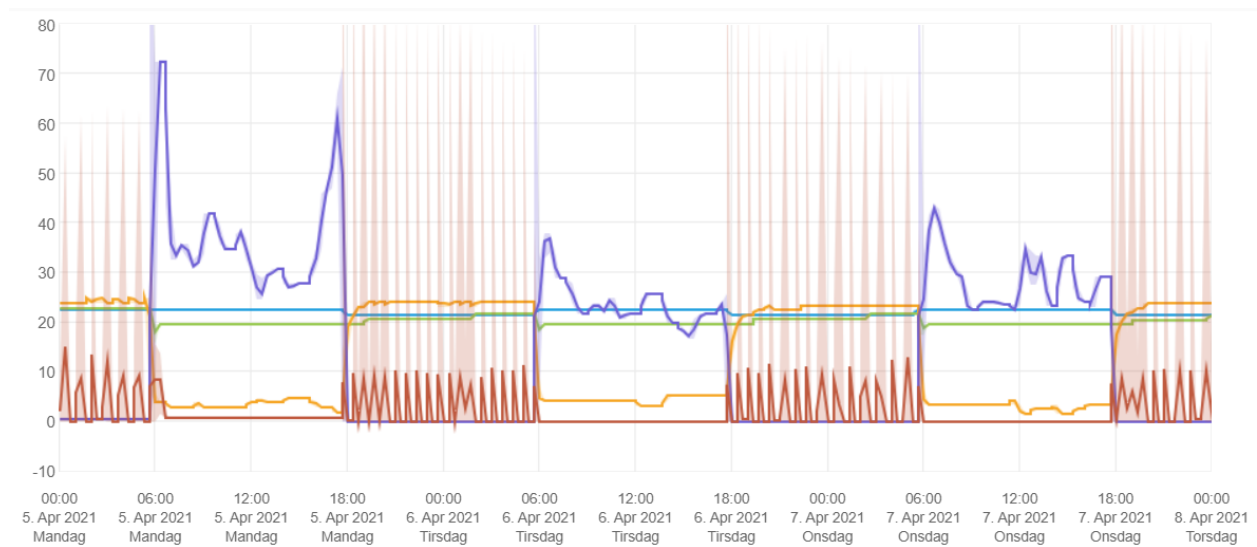
Opphavsrettsnotis fra Standard Norge

Informasjonen og formelen fra SN/TR 3069:2019, NS-EN ISO 50001:2018, NS-EN 15232 og Veiledning til NS-EN 15232 er gjengitt av Aleksander Iversen, Oskar Jacobsen, Eirik C. Strand og Emma Tagseth til bruk i oppgaven “Effektivisering av energibruk i eksisterende bygninger” med tillatelse fra Standard Online AS i mai 2021.

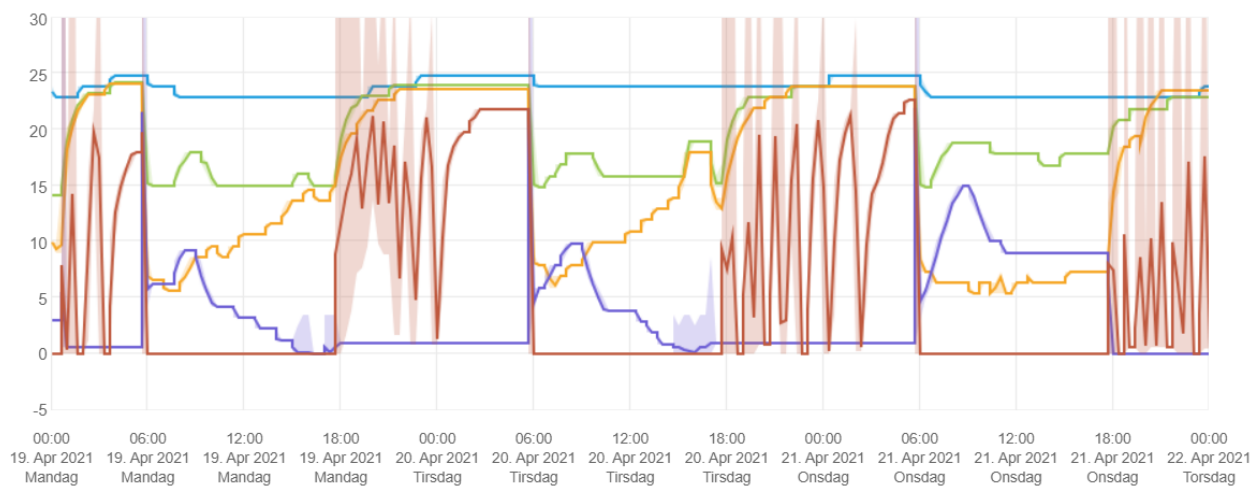
Vedlegg B

Grafer

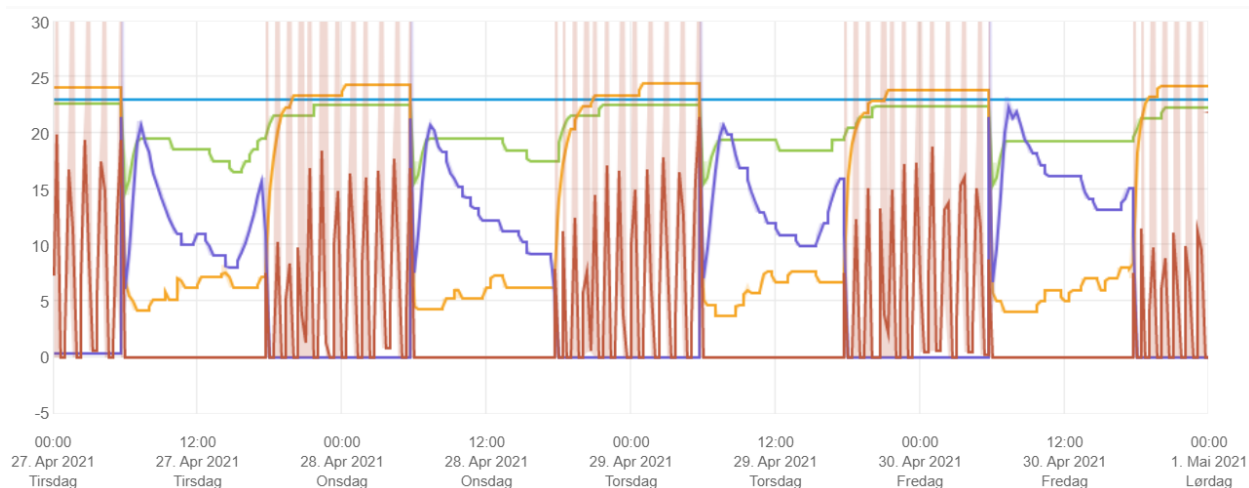
B.1 Målinger i og i sammenheng med ventilasjon



Figur B.1: Nivå for roterende varmeveksler og innlufttemperatur 21. april



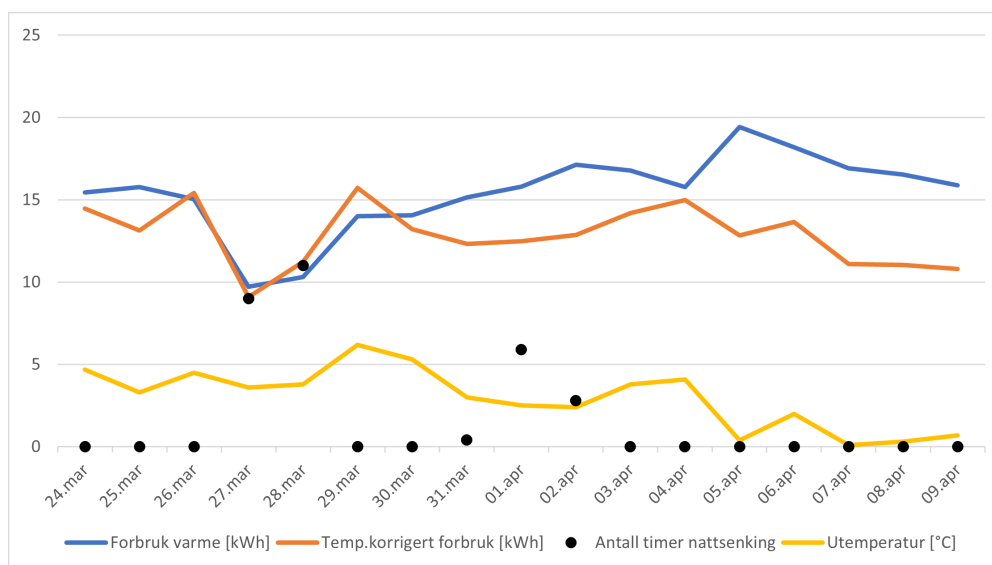
Figur B.2: Nivå for roterende varmeveksler og innlufttemperatur 21. april



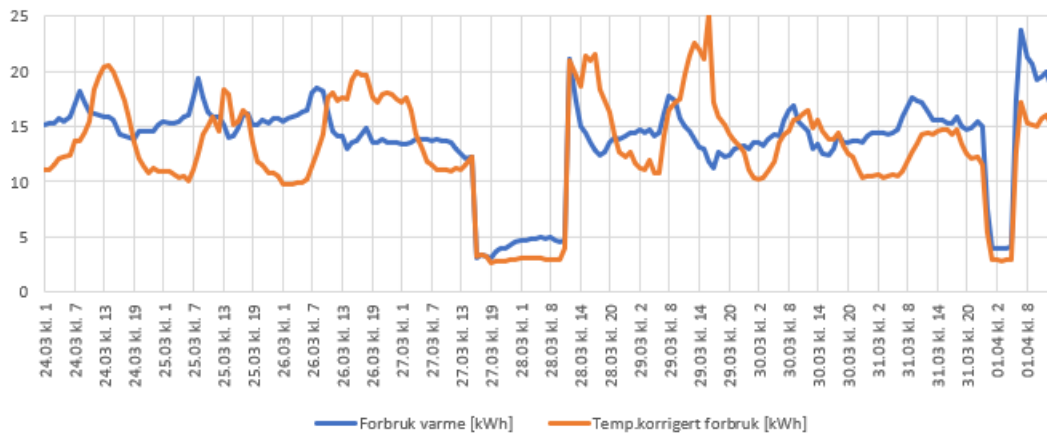
Figur B.3: Nivå for roterende varmeveksler og innlufttemperatur 21. april

B.2 Nattsinking

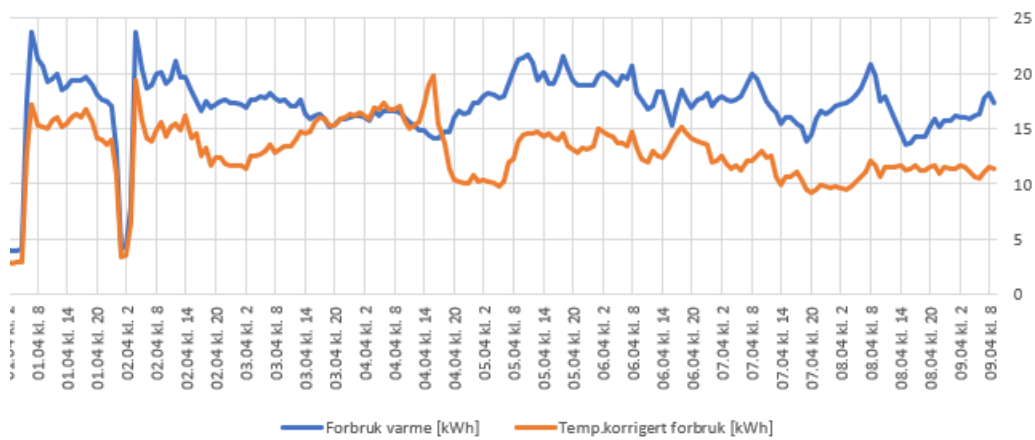
Grafer for tre ulike forsøk med nattsinking, som beskrevet i kapittel 5.2.3, følger under.



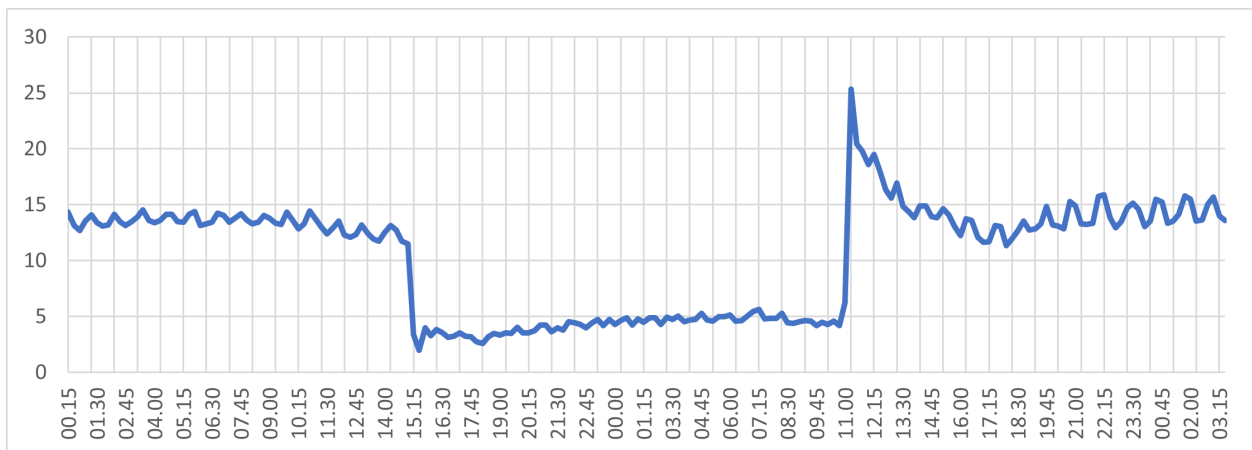
Figur B.4: Gjennomsnittlig varmeforbruk, temp.korrigert forbruk, utetemperatur og antall timer nattsinking fra 24.03. til 09.04.



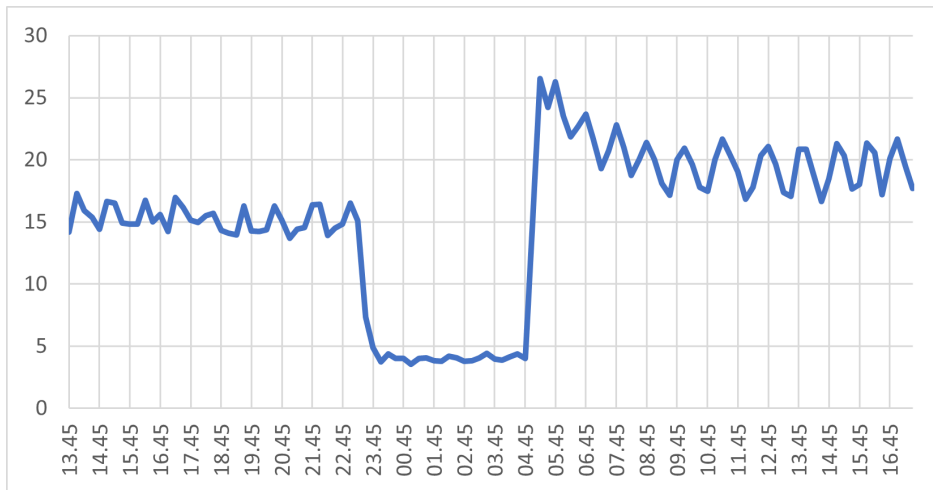
Figur B.5: Forbruk og temp.korrigert forbruk i 4.etg fra 24.03. til 01.04.



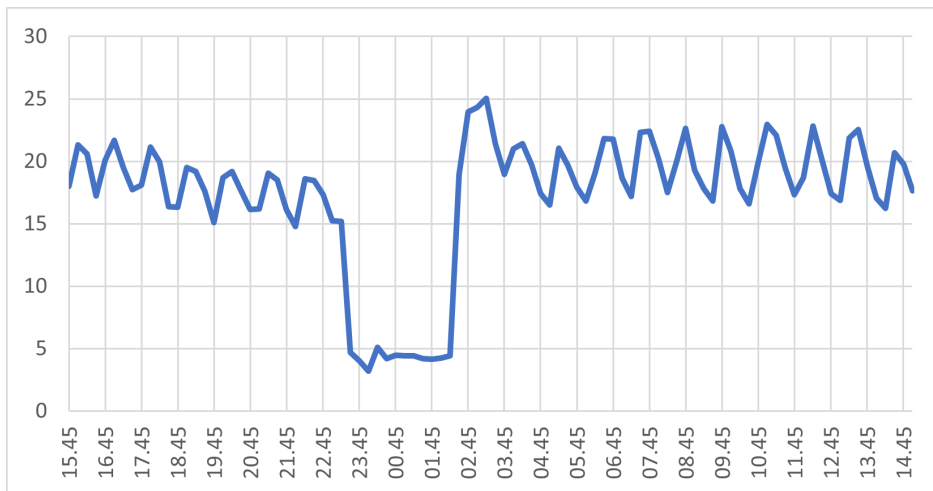
Figur B.6: Forbruk og temp.korrigert forbruk i 4.etg fra 01.04. til 09.04.



Figur B.7: Gjennomsnittlig effekt for varme i 4.etg. med 15min. intervaller fra 27.03. til 28.03.

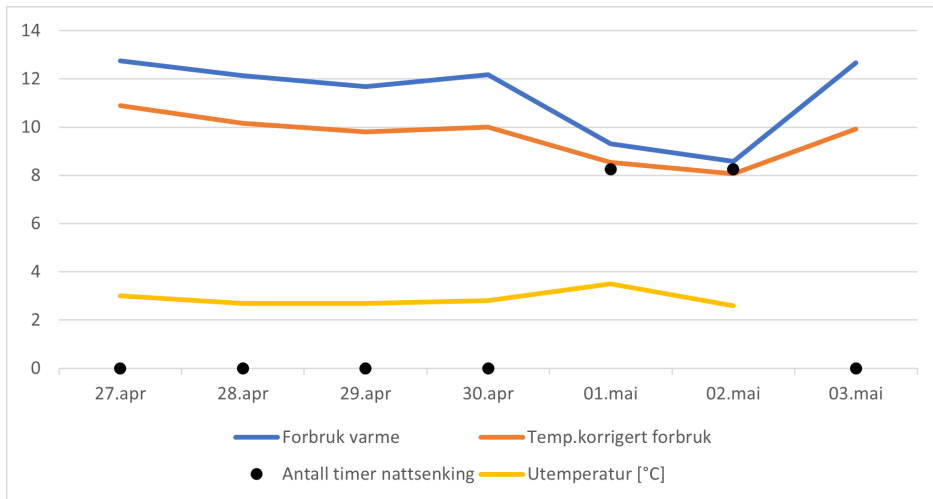


Figur B.8: Gjennomsnittlig effekt for varme i 4.etg. med 15min. intervaller fra 31.03. til 01.04.

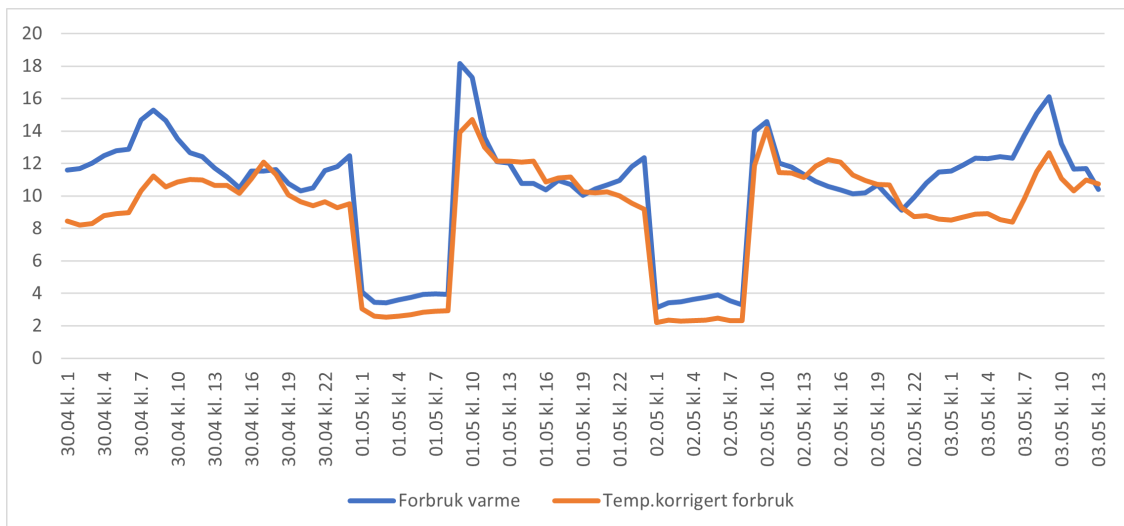


Figur B.9: Gjennomsnittlig effekt for varme i 4.etg. med 15min. intervaller fra 01.04. til 02.04.

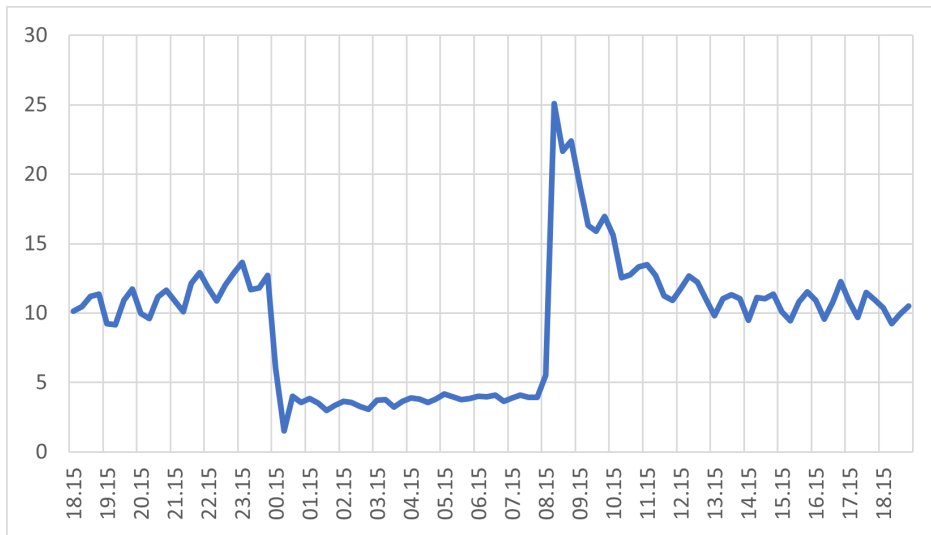
Grafer for varmeforbruket rundt de to siste forsøkene med nattsenkning, som nevnt i kapittel 5.2.3 følger under.



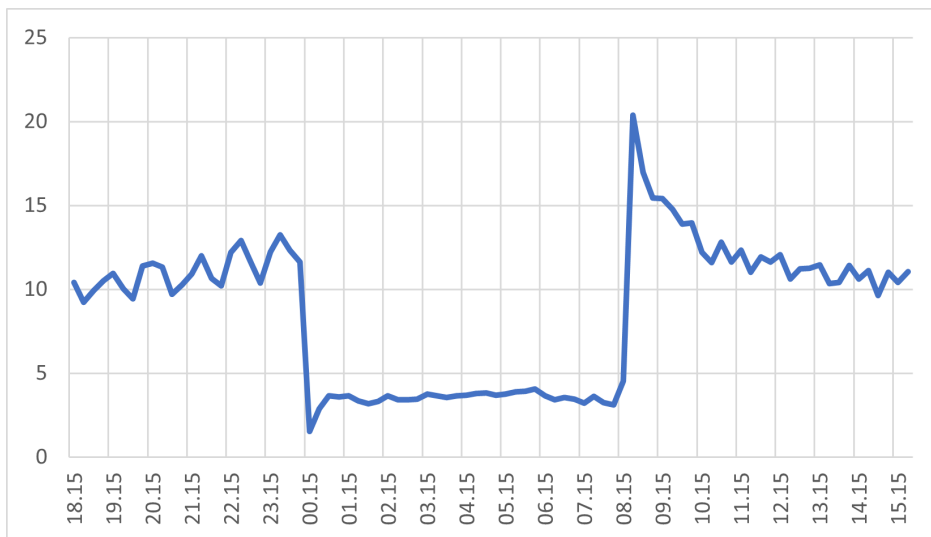
Figur B.10: Gjennomsnittlig varmeforbruk, temp.korrigert forbruk, utetemperatur og antall timer nattsenkning fra 27.04. til 03.05.



Figur B.11: Forbruk og temp.korrigert forbruk i 4.etg fra 30.04. til 03.05.



Figur B.12: Gjennomsnittlig effekt for varme i 4.etg. med 15min. intervaller fra 30.04. til 01.05.



Figur B.13: Gjennomsnittlig effekt for varme i 4.etg. med 15min. intervaller fra 01.05. til 02.05.

Vedlegg C

Forbruk og kostnad per kvadratmeter

Tabellene i vedlegg C presenterer årlig og månedsvis energiforbruk fra 2015 til 2020. For 2019 og 2020 er energikostnadene og effekttoppene tatt med. Forbruk og kostnad er også presentert som henholdsvis kWh/m² og NOK/m² i tillegg til kWh og NOK.

C.1 2020

Måned	Eff.topp [kW]	Forbruk [kWh]	[kWh/m ²]	Strømkost. [NOK]	[NOK/m ²]
Januar	314	153 951	18,15	86 490,02	10,20
Februar	322	141 207	16,65	68 358,85	8,06
Mars	337	137 978	16,27	62 548,77	7,38
April	231	107 461	12,67	41 988,53	4,95
Mai	235	105 428	12,43	42 625,16	5,03
Juni	238	92 344	10,89	32 566,73	3,84
Juli	194	96 041	11,33	31 187,11	3,68
August	214	96 399	11,37	36 070,23	4,25
September	239	110 944	13,08	45 244,05	5,34
Oktober	274	124 155	14,64	54 248,60	6,40
November	287	126 718	14,94	50 626,60	5,97
Desember	287	133 725	15,77	65 161,86	7,68
Sum 2020	3 172	1 426 351	168,20	617 116,49	72,77

Tabell C.1: Elektrisk energiforbruk per kvm i 2020

Måned	Eff.topp [kW]	Forbruk [kWh]	[kWh/m ²]	FJV-kost. [NOK]	[NOK/m ²]
Januar	71	22 831	2,69	27 020,00	3,19
Februar	112	15 661	1,85	22 139,00	2,61
Mars	59	13 741	1,62	17 222,00	2,03
April	63	12 898	1,52	16 615,00	1,96
Mai	50	8 681	1,02	10 631,00	1,25
Juni	14	2 438	0,29	2 984,00	0,35
Juli	25	4 892	0,58	5 867,00	0,69
August	30	3 691	0,44	4 861,00	0,57
September	31	4 205	0,50	5 414,00	0,64
Oktober	62	9 792	1,15	12 210,00	1,44
November	69	12 209	1,44	16 280,00	1,92
Desember	76	17 698	2,09	22 182,00	2,62
Sum 2020	662	128 737	15,18	163 425,00	19,27

Tabell C.2: Energi til fjernvarme per kvm i 2020

Måned	Eff.topp [kW]	Forbruk [kWh]	[kWh/m ²]	Energikost. [NOK]	[NOK/m ²]
Januar	385	176 782	20,85	113 510,02	13,39
Februar	434	156 868	18,50	90 497,85	10,67
Mars	396	151 719	17,89	79 770,77	9,41
April	294	120 359	14,19	58 603,53	6,91
Mai	285	114 109	13,46	53 256,16	6,28
Juni	252	94 782	11,18	35 550,73	4,19
Juli	219	100 933	11,90	37 054,11	4,37
August	244	100 090	11,80	40 931,23	4,83
September	270	115 149	13,58	50 658,05	5,97
Oktober	336	133 947	15,80	66 458,60	7,84
November	356	138 927	16,38	66 906,60	7,89
Desember	363	151 423	17,86	87 343,86	10,30
Sum 2020	3 834	1 555 088	183,38	780 541,49	92,04

Tabell C.3: Totalt energiforbruk per kvm i 2020

C.2 2019

Måned	Eff.topp [kW]	Forbruk [kWh]	[kWh/m ²]	Strømkost. [NOK]	[NOK/m ²]
Januar		181 080	21,35		-
Februar		151 738	17,89		-
Mars	338	166 715	19,66	121 571,69	14,34
April	292	134 999	15,92	99 347,66	11,72
Mai	255	130 601	15,40	87 901,45	10,37
Juni	226	117 270	13,83	64 759,03	7,64
Juli	247	124 307	14,66	77 683,78	9,16
August	243	115 950	13,67	77 283,10	9,11
September	249	126 895	14,96	79 402,06	9,36
Oktober	281	151 591	17,88	99 960,12	11,79
November	335	172 542	20,35	128 332,88	15,13
Desember	338	157 717	18,60	109 752,77	12,94
Sum 2019	2 804	1 731 405	204,18	945 994,52	111,56

Tabell C.4: Elektrisk energiforbruk per kvm i 2019

Måned	Eff.topp [kW]	Forbruk [kWh]	[kWh/m ²]	FJV-kost. [NOK]	[NOK/m ²]
Januar		21 976	2,59	24 393,36	2,88
Februar		14 128	1,67	15 682,08	1,85
Mars	109	22 982	2,71	25 372,97	2,99
April	86	11 659	1,37	14 709,11	1,73
Mai	61	10 234	1,21	11 250,75	1,33
Juni	32	2 183	0,26	2 868,00	0,34
Juli	37	5 152	0,61	5 179,07	0,61
August	38	4 113	0,49	4 993,68	0,59
September	56	8 866	1,05	9 452,70	1,11
Oktober	78	21 716	2,56	21 691,48	2,56
November	120	33 310	3,93	34 898,37	4,12
Desember	107	31 099	3,67	30 462,22	3,59
Sum 2019	724	187 418	22,10	200 953,81	23,70

Tabell C.5: Energi til fjernvarme per kvm i 2019

Måned	Eff.topp [kW]	Forbruk [kWh]	[kWh/m ²]	Energikost. [NOK]	[NOK/m ²]
Januar		203 056	23,95		-
Februar		165 866	19,56		-
Mars	447	189 697	22,37	146 944,66	17,33
April	378	146 658	17,29	114 056,77	13,45
Mai	316	140 835	16,61	99 152,20	11,69
Juni	258	119 453	14,09	67 627,03	7,97
Juli	284	129 459	15,27	82 862,85	9,77
August	281	120 063	14,16	82 276,78	9,70
September	305	135 761	16,01	88 854,76	10,48
Oktober	359	173 307	20,44	121 651,60	14,35
November	455	205 852	24,28	163 231,25	19,25
Desember	445	188 816	22,27	140 215,00	16,53
Sum 2019	3 528	1 918 823	226,28	1 106 872,89	130,53

Tabell C.6: Totalt energiforbruk per kvm i 2019

C.3 2015 - 2018

Måned	EL måler 1		FJV måler 1		Totalt energiforbruk	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
31.01.15	148344	17,49	19399	2,29	167743	19,78
28.02.15	134094	15,81	11785	1,39	145879	17,20
31.03.15	125298	14,78	10261	1,21	135559	15,99
30.04.15	108930	12,85	8460	1,00	117390	13,84
31.05.15	98802	11,65	4339	0,51	103141	12,16
30.06.15	95844	11,30	3179	0,37	99023	11,68
31.07.15	72450	8,54	1814	0,21	74264	8,76
31.08.15	73596	8,68	1411	0,17	75007	8,85
30.09.15	75576	8,91	2751	0,32	78327	9,24
31.10.15	84936	10,02	10370	1,22	95306	11,24
30.11.15	96924	11,43	17115	2,02	114039	13,45
31.12.15	109098	12,87	22229	2,62	131327	15,49
Sum	1223892	144,33	113113	13,34	1337005	157,67

Tabell C.7: Energiforbruk per kvm i 2015

Måned	EL måler 1		FJV måler 1		Totalt energiforbruk	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
31.01.16	120192	14,17	34960	4,12	155152	18,30
29.02.16	102996	12,15	24120	2,84	127116	14,99
31.03.16	96342	11,36	17397	2,05	113739	13,41
30.04.16	86520	10,20	11916	1,41	98436	11,61
31.05.16	71256	8,40	3786	0,45	75042	8,85
30.06.16	65568	7,73	1856	0,22	67424	7,95
31.07.16	64452	7,60	1340	0,16	65792	7,76
31.08.16	69450	8,19	2103	0,25	71553	8,44
30.09.16	66762	7,87	2958	0,35	69720	8,22
31.10.16	83124	9,80	10509	1,24	93633	11,04
30.11.16	104034	12,27	17303	2,04	121337	14,31
31.12.16	106836	12,60	16020	1,89	122856	14,49
Sum	1037532	122,35	144268	17,01	1181800	139,36

Tabell C.8: Energiforbruk per kvm i 2016

Måned	EL måler 1		FJV måler 1		Totalt energiforbruk	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
31.01.17	110166	12,99	18693	2,20	128859	15,20
28.02.17	100776	11,88	17976	2,12	118752	14,00
31.03.17	100776	11,88	20272	2,39	121048	14,27
30.04.17	79290	9,35	14369	1,69	93659	11,04
31.05.17	71292	8,41	6535	0,77	77827	9,18
30.06.17	68454	8,07	3806	0,45	72260	8,52
31.07.17	68604	8,09	2856	0,34	71460	8,43
31.08.17	77148	9,10	2903	0,34	80051	9,44
30.09.17	78618	9,27	3439	0,41	82057	9,68
31.10.17	94098	11,10	8050	0,95	102148	12,05
30.11.17	121332	14,31	16487	1,94	137819	16,25
31.12.17	124056	14,63	23563	2,78	147619	17,41
Sum	1094610	129,08	138949	16,39	1233559	145,47

Tabell C.9: Energiforbruk per kvm i 2017

Måned	EL måler 1		FJV måler 1		Totalt energiforbruk	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
31.01.18	141300	16,66	26522	3,13	167822	19,79
28.02.18	132130	15,58	24383	2,88	156513	18,46
31.03.18	142688	16,83	23368	2,76	166056	19,58
30.04.18	115285	13,59	9978	1,18	125263	14,77
31.05.18	98396	11,60	3079	0,36	101475	11,97
30.06.18	106951	12,61	3620	0,43	110571	13,04
31.07.18	100548	11,86	1936	0,23	102484	12,09
31.08.18	100752	11,88	2727	0,32	103479	12,20
30.09.18	107843	12,72	5297	0,62	113140	13,34
31.10.18	136106	16,05	11036	1,30	147142	17,35
30.11.18	146001	17,22	13169	1,55	159170	18,77
31.12.18	159880	18,85	19909	2,35	179789	21,20
Sum	1487880	175,46	145024	17,10	1632904	192,56

Tabell C.10: Energiforbruk per kvm i 2018

Vedlegg D

Reduserte/økte effekttopper

Som forklart i kapittel 6.4.2 inneholder dette vedlegget tallene fra analyse av energiflytting fra fjernvarme til el. og motsatt med å reduksjon eller økning av effekttoppene. På den første siden er det de største effekttoppene i mars og desember som blir redusert, mens de største effekttoppene økes på den andre siden.

Målt:	EI		FJV		SUM	
	Effekttopp [kW]	Eff.pris [NOK]	Effekttopp [kW]	Eff.pris [NOK]	Eff.pris [NOK]	
07.03.2019 11:00	338	17552	34	2006	19558	
06.03.2019 08:00	294	15396	109	6331	21727	
02.12.2019 10:00	338	17552	35	2065	19617	
24.12.2019 06:00	193	10447	107	6233	16680	
Ny (+/-30):	EI		FJV		SUM	
	Effekttopp [kW]	Eff.pris [NOK]	Effekttopp [kW]	Eff.pris [NOK]	Eff.pris [NOK]	
EI - / FJV +	07.03.2019 11:00	308	16082	64	3776	19858
EI + / FJV -	06.03.2019 08:00	324	16866	79	4661	21527
EI - / FJV +	02.12.2019 10:00	308	16082	65	3835	19917
EI + / FJV -	24.12.2019 06:00	223	11917	77	4543	16460
Ny (+/-60):	EI		FJV		SUM	
	Effekttopp [kW]	Eff.pris [NOK]	Effekttopp [kW]	Eff.pris [NOK]	Eff.pris [NOK]	
EI - / FJV +	07.03.2019 11:00	278	14612	94	5596	20208
EI + / FJV -	06.03.2019 08:00	354	18336	49	2891	21227
EI - / FJV +	02.12.2019 10:00	278	14612	95	5605	20217
EI + / FJV -	24.12.2019 06:00	253	13387	47	2773	16160

Effekt:	Målt:	Effprisdiff (30)	Ny (+/-30):	Effprisdiff (60)	Ny (+/-60):		
EI - / FJV +	07.03.2019 11:00	kr 19 558,00	kr 300,00	kr 19 858,00	kr 650,00		
EI + / FJV -	06.03.2019 08:00	kr 21 727,00	-kr 200,00	kr 21 527,00	-kr 500,00		
EI - / FJV +	02.12.2019 10:00	kr 19 617,00	kr 300,00	kr 19 917,00	kr 600,00		
EI + / FJV -	24.12.2019 06:00	kr 16 680,00	-kr 220,00	kr 16 460,00	-kr 520,00		
Forbruk:	Spot pr/time	Energ.pris EL (30)	Energ.pris EL (60)	Spot månedsmiddel	Energ.pris FJV (30)	Energ.pris FJV (60)	
EI - / FJV +	07.03.2019 11:00	46,599	-kr 13,98	-kr 27,96	39,976	kr 11,99	kr 23,99
EI + / FJV -	06.03.2019 08:00	46,588	kr 13,98	kr 27,95	39,976	-kr 11,99	-kr 23,99
EI - / FJV +	02.12.2019 10:00	43,446	-kr 13,03	-kr 26,07	35,750	kr 10,73	kr 21,45
EI + / FJV -	24.12.2019 06:00	33,973	kr 10,19	kr 20,38	35,750	-kr 10,73	-kr 21,45
	Energ.pris (30)	Energ.pris (60)					
EI - / FJV +	07.03.2019 11:00	-kr 1,99	-kr 3,97				
EI + / FJV -	06.03.2019 08:00	kr 1,98	kr 3,97				
EI - / FJV +	02.12.2019 10:00	-kr 2,31	-kr 4,62				
EI + / FJV -	24.12.2019 06:00	-kr 0,53	-kr 1,07				
Totalt:	Prisdifff (30)	Prisdifff (60)					
EI - / FJV +	07.03.2019 11:00	kr 298,01	kr 646,03				
EI + / FJV -	06.03.2019 08:00	-kr 198,02	-kr 496,03				
EI - / FJV +	02.12.2019 10:00	kr 297,69	kr 595,38				
EI + / FJV -	24.12.2019 06:00	-kr 220,53	-kr 521,07				

Målt:	EI		FJV		SUM	
	Effekttopp [kW]	Eff.pris [NOK]	Effekttopp [kW]	Eff.pris [NOK]	Eff.pris [NOK]	
07.03.2019 11:00	338	17552	34	2006	19558	
06.03.2019 08:00	294	15396	109	6331	21727	
02.12.2019 10:00	338	17552	35	2065	19617	
24.12.2019 06:00	193	10447	107	6233	16680	
Ny (+/-30):	EI		FJV		SUM	
	Effekttopp [kW]	Eff.pris [NOK]	Effekttopp [kW]	Eff.pris [NOK]	Eff.pris [NOK]	
EI + / FJV -	07.03.2019 11:00	368	19022	4	236	19258
EI - / FJV +	06.03.2019 08:00	264	13926	139	8201	22127
EI + / FJV -	02.12.2019 10:00	368	19022	5	295	19317
EI - / FJV +	24.12.2019 06:00	163	8977	137	8083	17060
Ny (+/-60):	EI		FJV		SUM	
	Effekttopp [kW]	Eff.pris [NOK]	Effekttopp [kW]	Eff.pris [NOK]	Eff.pris [NOK]	
EI + / FJV -	07.03.2019 11:00	368	20492	-26	-284	20208
EI - / FJV +	06.03.2019 08:00	234	12456	169	9971	22427
EI + / FJV -	02.12.2019 10:00	368	20492	-25	-1475	19017
EI - / FJV +	24.12.2019 06:00	133	7507	167	9853	17360

Effekt:	Målt:	Effprisdiff (30)	Ny (+/-30):	Effprisdiff (60)	Ny (+/-60):	
EI + / FJV -	07.03.2019 11:00	kr 19 558,00	-kr 300,00	kr 19 258,00	kr 20 208,00	
EI - / FJV +	06.03.2019 08:00	kr 21 727,00	kr 400,00	kr 22 127,00	kr 700,00	
EI + / FJV -	02.12.2019 10:00	kr 19 617,00	-kr 300,00	kr 19 317,00	kr 19 017,00	
EI - / FJV +	24.12.2019 06:00	kr 16 680,00	kr 380,00	kr 17 060,00	kr 17 360,00	
Forbruk:	Spot pr/time	Energ.pris EL (30)	Energ.pris EL (60)	Spot månedsmiddel	Energ.pris FJV (30)	Energ.pris FJV (60)
EI + / FJV -	07.03.2019 11:00	46,599	kr 13,98	kr 27,96	39,976	-kr 11,99
EI - / FJV +	06.03.2019 08:00	46,588	-kr 13,98	-kr 27,95	39,976	kr 11,99
EI + / FJV -	02.12.2019 10:00	43,446	kr 13,03	kr 26,07	35,750	-kr 10,73
EI - / FJV +	24.12.2019 06:00	33,973	-kr 10,19	-kr 20,38	35,750	kr 10,73
	Energ.prisdiff (30)	Energ.prisdiff (60)				
EI + / FJV -	07.03.2019 11:00	kr 1,99	kr 3,97			
EI - / FJV +	06.03.2019 08:00	-kr 1,98	-kr 3,97			
EI + / FJV -	02.12.2019 10:00	kr 2,31	kr 4,62			
EI - / FJV +	24.12.2019 06:00	kr 0,53	kr 1,07			
Totalt:	Prisdiff (30)	Prisdiff (60)				
EI + / FJV -	07.03.2019 11:00	-kr 298,01	kr 653,97			
EI - / FJV +	06.03.2019 08:00	kr 398,02	kr 696,03			
EI + / FJV -	02.12.2019 10:00	-kr 297,69	kr 595,38			
EI - / FJV +	24.12.2019 06:00	kr 380,53	kr 681,07			

Vedlegg E

Fjernvarmetariff Statkraft

Fjernvarmetariff for bedriftskunder med volumledd [26]

Fjernvarmetariff BT1V til næringskunder i Trondheim

Gjelder fra og med 01.01.2021 Alle priser er eks. mva.

Effektledd Fjernvarme	
Sommer mai-okt	
0-99	39,00 kr/kW/mnd
100-399	33,00 kr/kW/mnd
> 400	27,00 kr/kW/mnd
Vinter nov-apr	
0-99	59,00 kr/kW/mnd
100-399	49,00 kr/kW/mnd
> 400	39,00 kr/kW/mnd
Energiledd Fjernvarme	
Månedsmiddel for forsyningsområdet (www.nordpoolspot.com)	spotpris
Energipris nettleie	5,00 øre/kWh
Påslag inkl. elsertifikat	2,75 øre/kWh
Forbruksavgift	16,69 øre/kWh
- fratrukk volumledd (nov-feb)	-6 øre/kWh
Sum energiledd pr kWh (mar-okt)	Spot + 24,44 øre/kWh
Sum energiledd pr kWh (nov-feb)	Spot + 18,44 øre/kWh
Volumledd Fjernvarme	
Volumpris (nov - feb)*	3,13 kr/m ³

Vedlegg F

Statkrafts effektiviseringstiltak

Statkraft sin liste om ulike tiltak for å effektivisere fjernvarmeanlegg.[52]

- Ingen åpne bypassløp mellom tur og retur på sekundærsiden (varmeanlegget i bygget).
- Hovedpumpen i varmeanlegget bør være trykkstyrt for å oppnå god mengderegulering.
- Er det installert akkumulatortanker i tillegg, er det viktig at ladepumpen stopper når ønsket tanktemperatur er oppnådd.
- Reguleringsventiler må være riktig dimensjonert og ikke for store. Det er bedre med to mindre ventiler i sekvens enn én stor.
- Angi korrekte “bør-verdier” i alle regulatorer.
- Lag en oversikt og funksjonskontroll for samtlige ventilasjons- og varmeinstallasjoner.
- Innreguler varmeanlegget.
- Monter, juster eller skift radiatortermostater.
- Lag en oversikt over systemer med ekstra høye temperaturkrav, for eksempel tørkerom, varmesluser og sekundær varmtvannsbereder.
- Kontroller at systemene for varmegjenvinning er korrekt tilkoblet.
- Tilpass varmesystemet for lavere returtemperaturer ved reinvestering og nyinstallasjon.
- Unngå for høye magasintemperaturer i beredere og varmelager.
- Turtemperatur på varmekurser skal utetemperaturkorrigeres.

Vedlegg G

Materiell

G.1 Materialsliste

Materiell som er montert til Wago EDM:

Item description	Quantity	Product
750-495	16	3-fase effektmålemodul
750-600	5	Endemodul
855-2701/064-001	24	PI-CT - Måletrafo 64:1 A
855-401/400-501	12	PI-CT - Måletrafo 400:1 A
787-1102	4	EPSITRON® COMPACT-strømforsyning
750-352	4	FK-ETHERNET - IO-slave
750-8212	1	PFC200 - Kontroller
762-4305/8000-002	1	TP600 - Skjerm
750-602	2	Forskyningsmodul
750-530	2	Digital utgangsmodul

Programvare levert fra Wago:

Item description	Quantity	Product
2759-206/260-1000	1	App for energidatabehandling
2759-207/270-1000	1	Visualisering av Energy Data Management

G.2 Oversikt over komponenter fra Wago

PFC200-kontroller

PFC200-kontrolleren fungerer i praksis som en PLS og et nettverks grensesnitt. Til denne kontrolleren er det mulig å montere diverse analoge eller digitale inn- og utgangsmoduler som Wagos 750-serie har å by på. [55]



Figur G.1: Wago PFC200-kontroller [55]

750-352 Feltbuskobler

Feltbuskobleren fungerer som en slave i hver etasje der målinger gjøres. I/O-moduler monteres på enheten og kobleren sørger for god kommunikasjon med master i 5. etasje. [56]



Figur G.2: Wago Feltbuskobling [56]

750-495 Effektmålingsmodul

Effektmålingsmodulen måler elektrisk data fra nettet. Modulen er delt opp i to hoveddeler. Venstre side er tilegnet spenningsmåling og høyre side er for strømmåling. Som illustrert i figur G.3 vises tilkoblinger for 3-fase spenningsmåling i faserekkefølge L1, L2 og L3. Modulen kan også benyttes ved tofase måling, da sløyfes terminal L2 og de resterende tilkobles. På strømmålingsiden tilkobles måletrafoer, + og -, etter samme beskrivelse for henholdsvis tre- og tofase. [57]



Figur G.3: Wago Effektmålingsmodul [57]

750-530 Digital utgang

Den digitale utgangsmodulen byr på åtte utganger, og gir PFC200-kontrolleren mulighet til enkel styring av diverse komponenter.

Modulen gir på utgangene 24V DC, 0,5A og trenger dermed en forskyvningsmodul av typen 750-602 for å kunne levere strøm til og med 10A. [58]



Figur G.4: Wago Digital utgangsmodul [58]

855-2701 Måletrafo

Ved å tre en eller flere ledere gjennom en slik måletrafo, vil den kunne måle AC strømmer helt opp til 64A. Denne strømmen konverteres deretter til 1A og blir målesignalet til for eksempel effektmålingsmodulen i G.2. Forhold 64:1. [59]



Figur G.5: Wago Måletrafo [59]

855-401 Måletrafo

På anleggets stigeledere er det på grunn av høye strømmer og større tverrsnitt måtte ta i bruk mer robuste måletrafoer. 855-401 strømmåleren har kapasitet helt opp til 400A og konverterer det til 1A på sekundærsiden. Forhold 400:1. [60]



Figur G.6: Wago Måletrafo [60]

762-4305 Touch panel

Skjerm med integrert berøringspanel. Med et slikt panel vil det være mulig å fremstille ønskelig materiell, men også lage et menneske-maskin-grensesnitt slik at endringer/valg vil kunne gjøres direkte på panelet. [61]



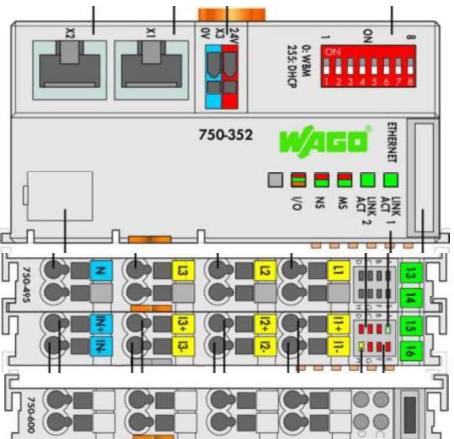
Figur G.7: Wago Skjerm [61]


Vedlegg H

Tegninger

Tegninger av oppkoblet utstyr til Wago EDM.

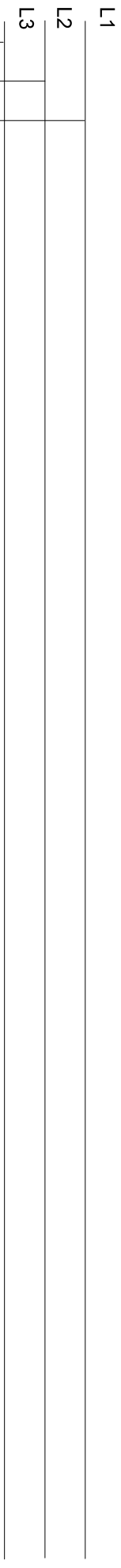
Slot 1 2





6	-	-	-	-	-	Placemaker Fordeling = AJH	 Kjeldsberg EIENDOMSFORVALTNING	17/03/2021 Sluppenvegen 6 Filnavn	2 / 23 Kapitel
5	-	-	-	-	-				
4	-	-	-	-	-				
3	-	-	-	-	-				
2	-	-	-	-	-				
1	-	-	-	-	-				
Rev.	Arrangementstegning	Beskrivelse	28/2/21	OJ	2. Etasje	OJ	20-003	Prosjektr.	Ark nr.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

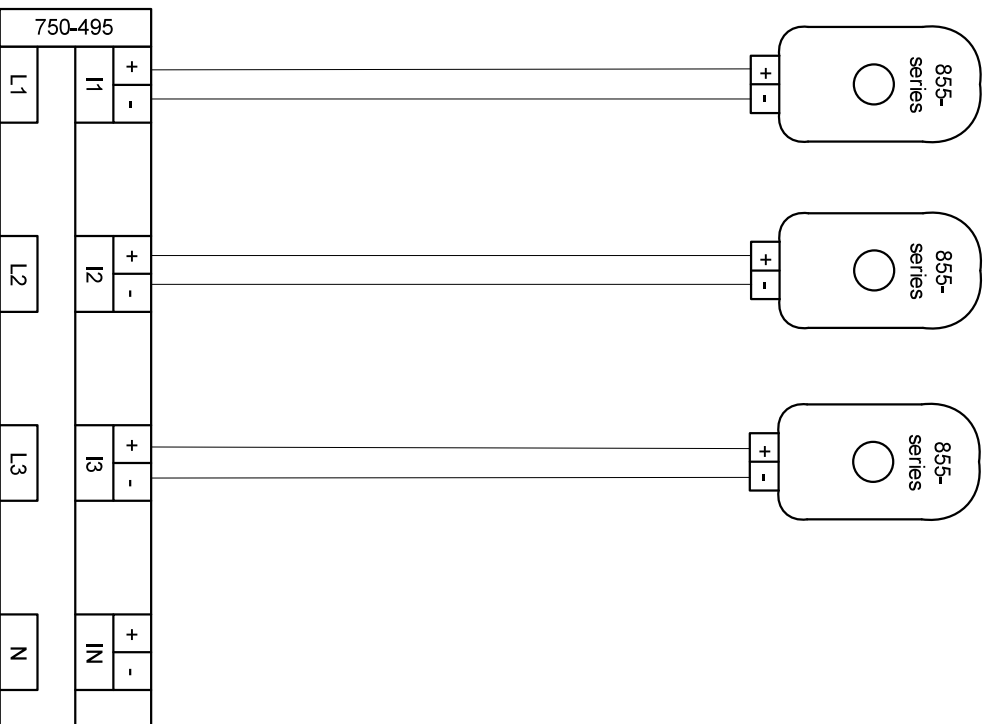
Komponent ID	-
Funksjon	Spenningsmåling
Beskrivelse	Stigeleder, AJH
Slot	1



750-495	
L1	+
L2	+
L3	+
N	+

6	-	-	-	Placeholder			EIENDOMSFORVALTNING	20-003	17/03/2021	Sluppenvegen 6	Filnavn	3 / 23
5	-	-	-	Fordeling = AJH								
4	-	-	-									
3	-	-	-									
2	-	-	-	2. Etasje								
1	Spenningsmåling	28/2/21	OJ	Tegnet sign.								

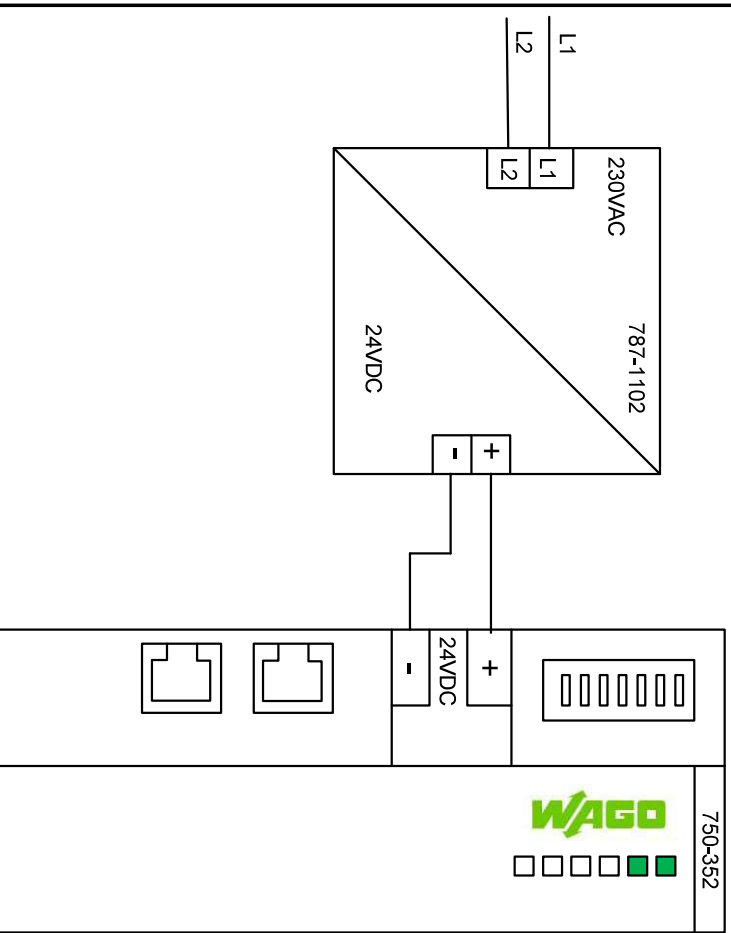
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Komponent ID																				
Funksjon		Strømmåling L1		Strømmåling L2		Strømmåling L3														
Beskrivelse				Stigeleder, AJH																
Slot				1																



6	-	-	-	-	-	Placeholder														6.2
5	-	-	-	-	-	Fordeling = AJH														Kapitel
4	-	-	-	-	-															
3	-	-	-	-	-															
2	-	-	-	-	-															
1	Strømmåling					2. Etasje														4 / 23
Rev.		Beskrivelse		Dato	Sign.	Tegnet sign.							Prosjektnr.		Dato		Filnavn			Ark nr.
				28/2/21	OJ								20-003		17/03/2021		Sluppenvegen 6			

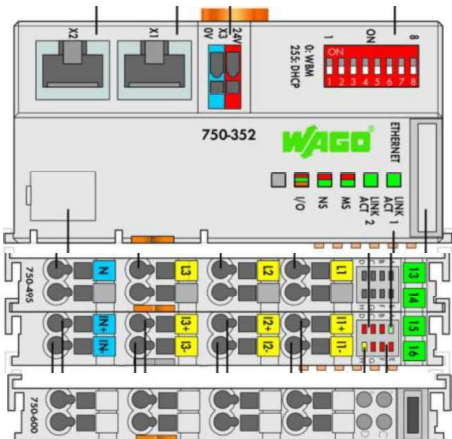




1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Komponent ID	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Funksjon	Transformator					Feltbuskontroller														
Beskrivelse	230VAC til 24VDC					I/O-slave														
Slot																				



6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Koblingsskjema	Beskrivelse	Dato	Sign.	Tegnet sign.	OJ	Kontr. sign.	Prosjektnr.	Dato	Filnavn	Kapittel									
Rev.			28/2/21	OJ	2. Etasje	OJ		20-003	17/03/2021	Sluppenvegen 6	5 / 23									
					Placeholder						6.3									
					Fordeling = AJH				EIENDOMSFORVALTNING		Kapittel									

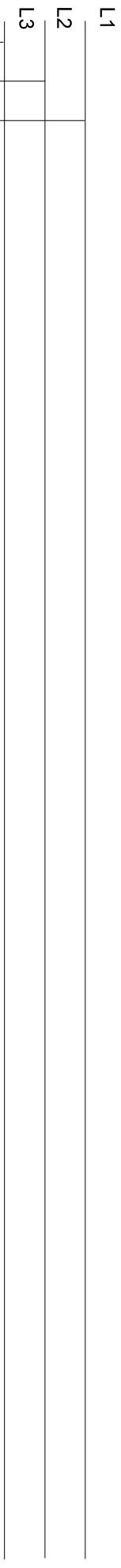
Slot 1 2



6	-	-	-	-	-	Plac holder Fordeling = AJK			EIENDOMSFORVALTNING Sluppenvegen 6	7		
5	-	-	-	-	-							Kapitel
4	-	-	-	-	-							
3	-	-	-	-	-							
2	-	-	-	-	-							
1	Arrangementsteqning	28/2/21	OJ	5. Etasje						20-003	17/03/2021	
Rev.	Beskrivelse	Dato	Sign.	Tegnet sign.	OJ	Kontr. sign.	Prosjektnr.	Dato	Filnavn	Ark nr.		

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

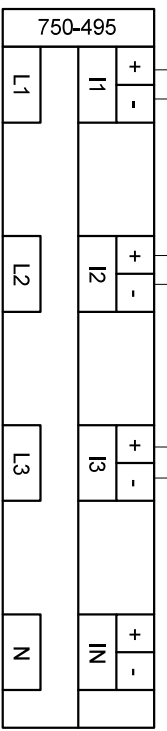
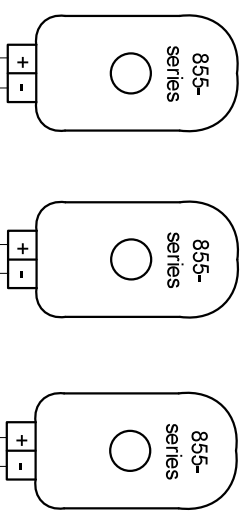
Komponent ID	-
Funksjon	Spenningsmåling
Beskrivelse	Ventilasjon, AJK
Slot	1



6	-	-	-	Placeholder	5. Etasje	20-003	17/03/2021	Sluppenvegen 6	7 / 23	
5	-	-	-	Fordeling = AJK						
4	-	-	-							
3	-	-	-							
2	-	-	-							
1	Spenningsmåling	28/2/21	OJ	Tegnet sign.						OJ



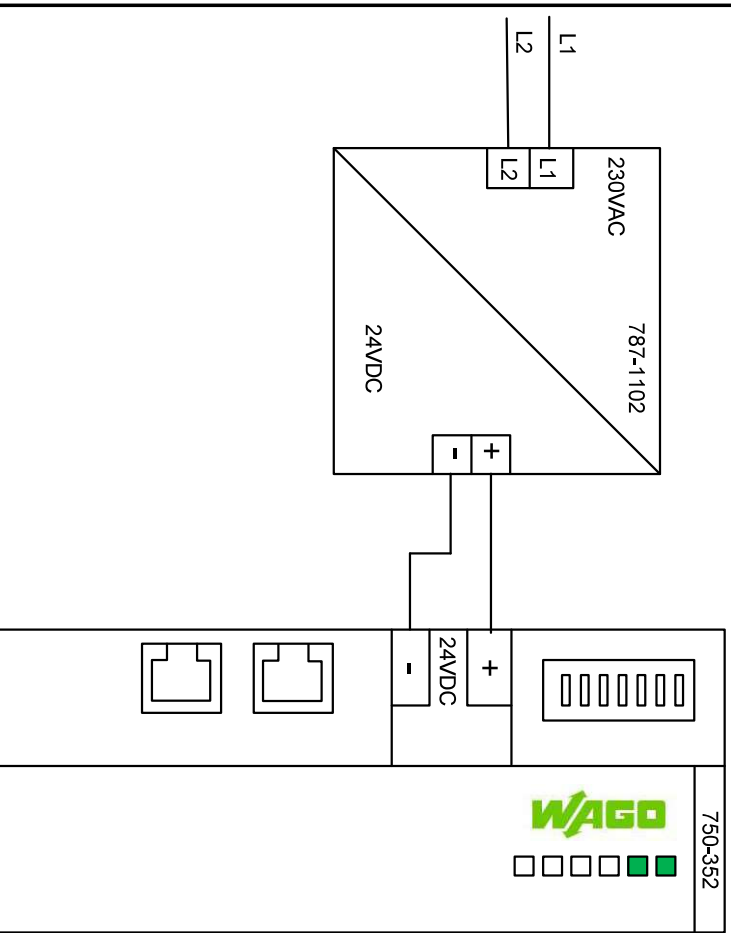
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Komponent ID																				
Funksjon		Strømmåling L1		Strømmåling L2		Strømmåling L3														
Beskrivelse				Ventilasjon, AJK																
Slot				1																



6	-	-	-	-	-	Placeholder														7.2
5	-	-	-	-	-	Fordeling = AJK														Kapitel
4	-	-	-	-	-															
3	-	-	-	-	-															
2	-	-	-	-	-															
1	Strømmåling					5. Etasje														8 / 23
Rev.		Beskrivelse		Dato	Sign.	Tegnet sign.							Prosjektnr.		Dato		Filnavn			Ark nr.
				28/2/21	OJ								20-003		17/03/2021		Sluppenvegen 6			



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Komponent ID	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Funksjon	Transformator					Feltbuskontroller														
Beskrivelse	230VAC til 24VDC					I/O-slave														
Slot																				

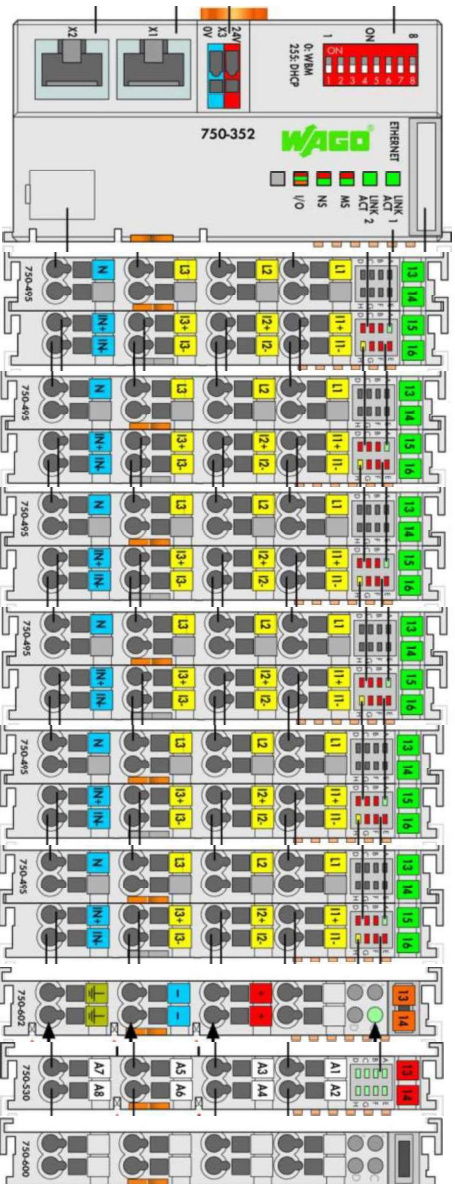


6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Koblingsskiema	Beskrivelse	Dato	Sign.	Tegnet sign.	OJ	Kontr. sign.	Prosjektnr.	Dato	Filnavn	Kapittel									
Rev.			28/2/21	OJ	5. Etasje	OJ		20-003	17/03/2021	Sluppenvegen 6	7.3									
					Placeholder						Kapittel									
					Fordeling = AJK						9 / 23									



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

Slot 1 2 3 4 5 6 7 8 9

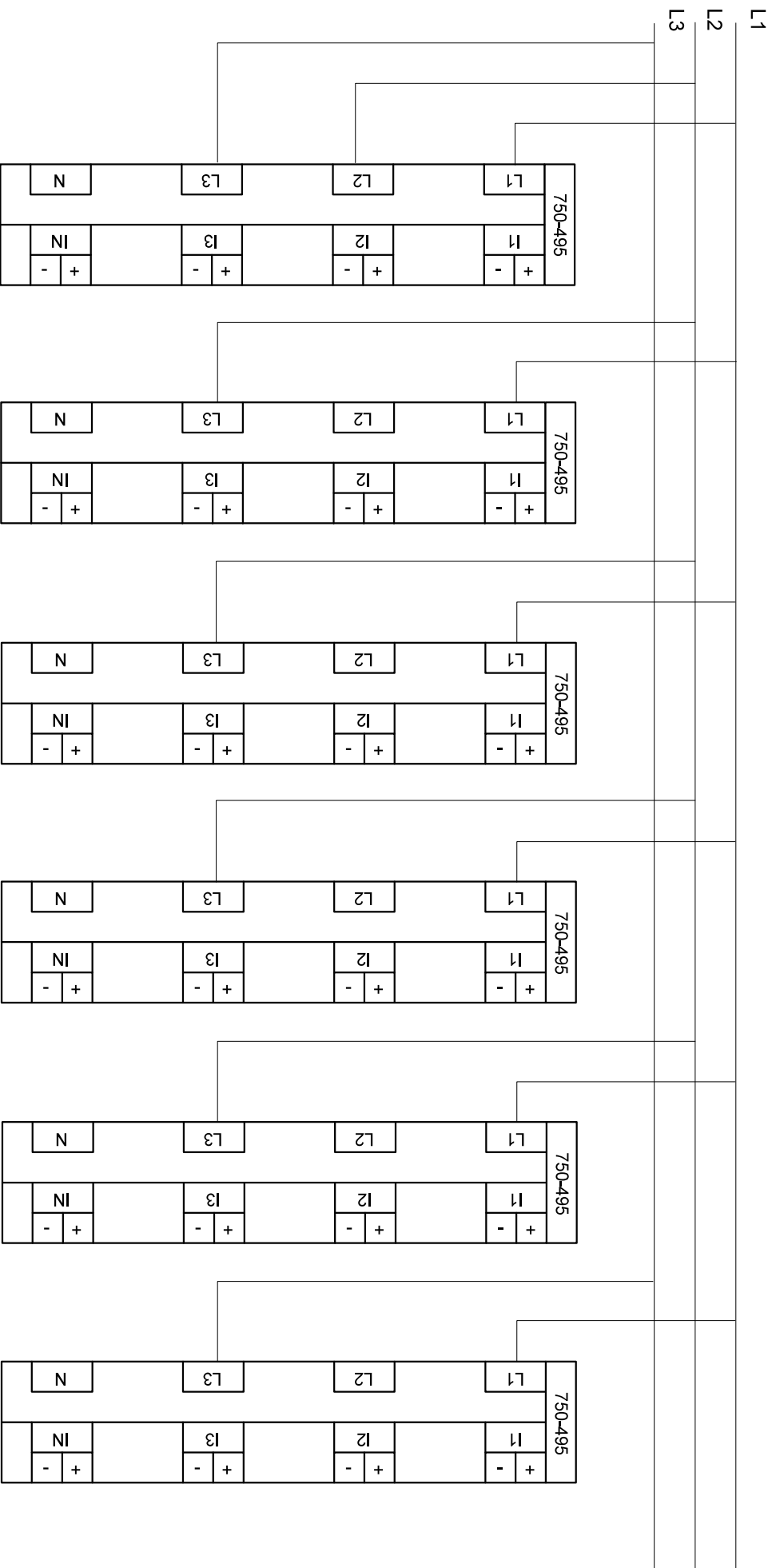


6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Kapitel
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	Arrangements-tegning	28/2/21	OJ	4. Etasje	20-003	17/03/2021	Sluppenvegen 6	Filnavn	10 / 23												
Rev.	Beskrivelse	Dato	Sign.	Tegnet sign.	OJ	Kont. sign.	Prosjektr.														



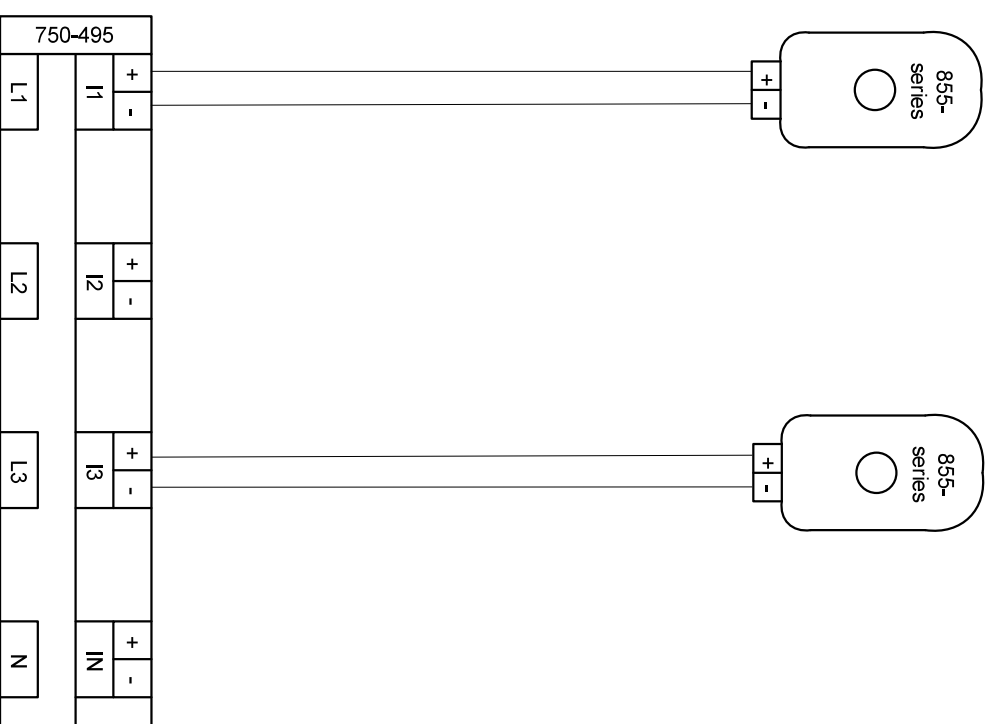
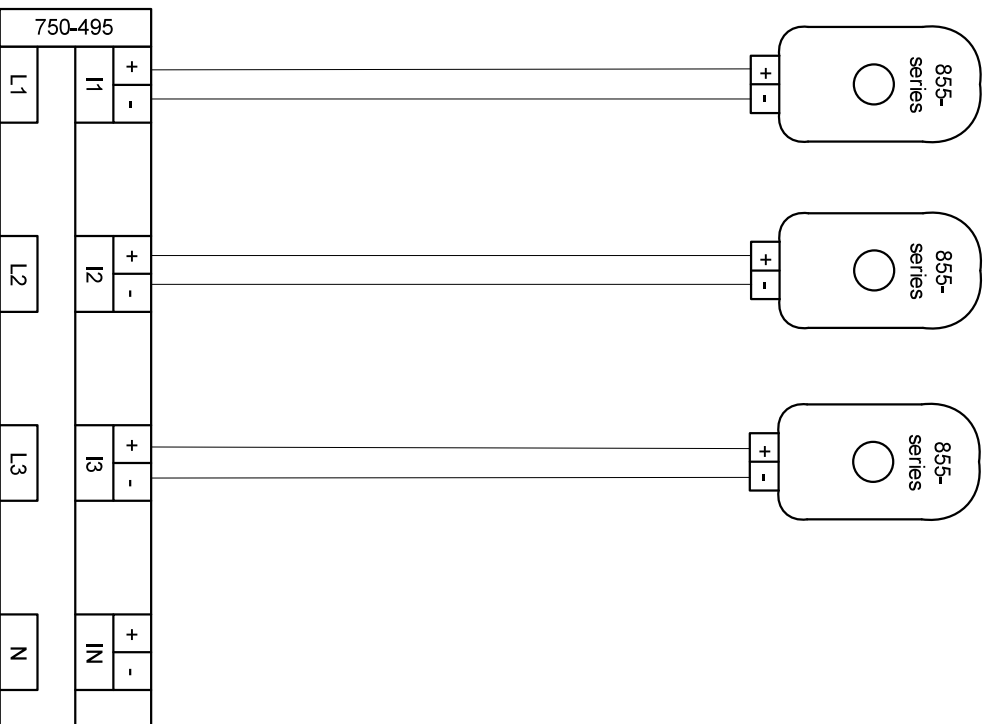
Kjeldsberg
EIENDOMSFORVALTNING

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Komponent ID		-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Funksjon		Spenningsmåling		Spenningsmåling		Spenningsmåling		Spenningsmåling		Spenningsmåling		Spenningsmåling		Spenningsmåling		Spenningsmåling		Spenningsmåling	
Beskrivelse		Stigeleder, AJM		Varmekurs 1-3		Varmekurs 4-6		Varmekurs 7,8		Varmekurs 9-11		Lyskurs 12,15		Luskurs 12,15					
Slot		1		2		3		4		5		6							



6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Spenningsmåling	Beskrivelse	28/2/21	OJ	4. Etasje	Tegnet sign.	OJ	Kontr. sign.		Prosjektr.	20-003	17/03/2021	Sluppenvegen 6	Filnavn	11 / 23	Ark nr.			
Placeholder										8.1									
Fordeling = AJM										Kapitel									
WAGO										kjeldsberg									
EIENDOMSFORVALTNING										Sluppenvegen 6									

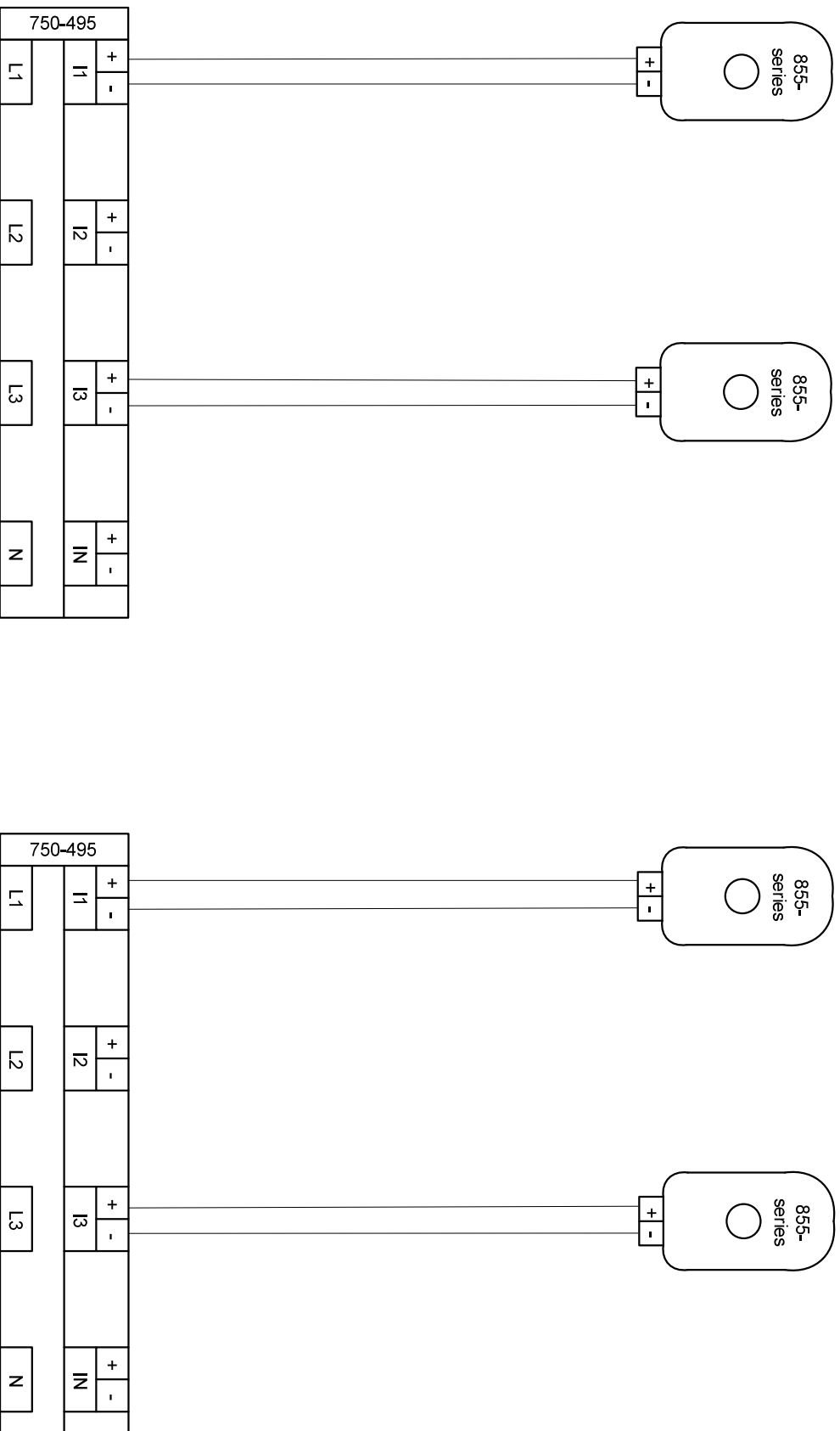
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Komponent ID		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-
Funksjon	Strømmåling L1		Strømmåling L2		Strømmåling L3							Strømmåling L1		Strømmåling L1		Strømmåling L2				
Beskrivelse			Stigeleder, AJM										Varmekurs 1-3							
Slot				1										2						





6	-	-	-	-	-	Placeholder														8.2.1
5	-	-	-	-	-	Fordeling = AJM														Kapitel
4	-	-	-	-	-															
3	-	-	-	-	-															
2	-	-	-	-	-															
1	Strømmåling					4. Etasje														12 / 23
Rev.		Beskrivelse		Dato	Sign.	Tegnet sign.		OJ		Kontr. sign.		Prosjektr.		Dato		Filnavn				Ark nr.
				28/2/21	OJ									17/03/2021		Sluppenvegen 6				

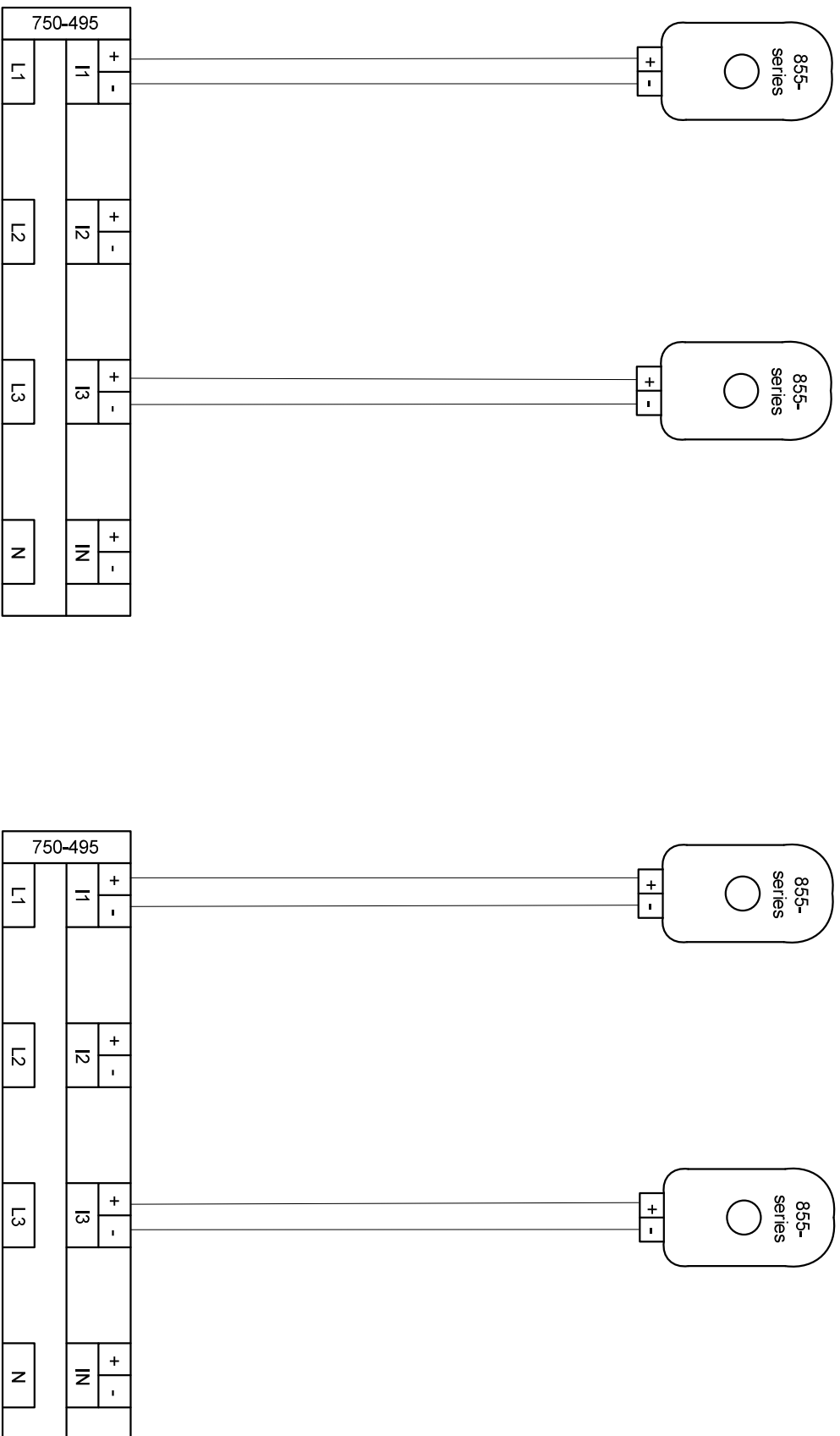


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Komponent ID	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Funksjon	Strømmåling L1	Strømmåling L1	Strømmåling L1	Strømmåling L1	Strømmåling L1	Strømmåling L2	Strømmåling L2	Strømmåling L1	Strømmåling L1	Strømmåling L1	Strømmåling L1	Strømmåling L1	Strømmåling L1	Strømmåling L1	Strømmåling L2	Strømmåling L2	Strømmåling L1	Strømmåling L1	Strømmåling L2		
Beskrivelse	Varmekurs 4-6			3			Varmekurs 7,8			4											
Slot	3																				



6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Strømmåling	Beskrivelse	Dato	Sign.	Tegnet sign.	OJ	Kontr. sign.	Prosjektnr.	Dato	Filnavn	Ark nr.	Placeholder Fordeling = AJM   EIENDOMSFORVALTNING Sluppenvegen 6 8.2.2 Kapitel 13 / 23								
1	Strømmåling	Beskrivelse	28/2/21	OJ	4. Etasje	OJ		20-003	17/03/2021		13 / 23									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Komponent ID	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Funksjon	Strømmåling L1					Strømmåling L2						Strømmåling L1						Strømmåling L3	
Beskrivelse				Lyskurs 9-11									Lyskurs 12,15						
Slot				5									6						

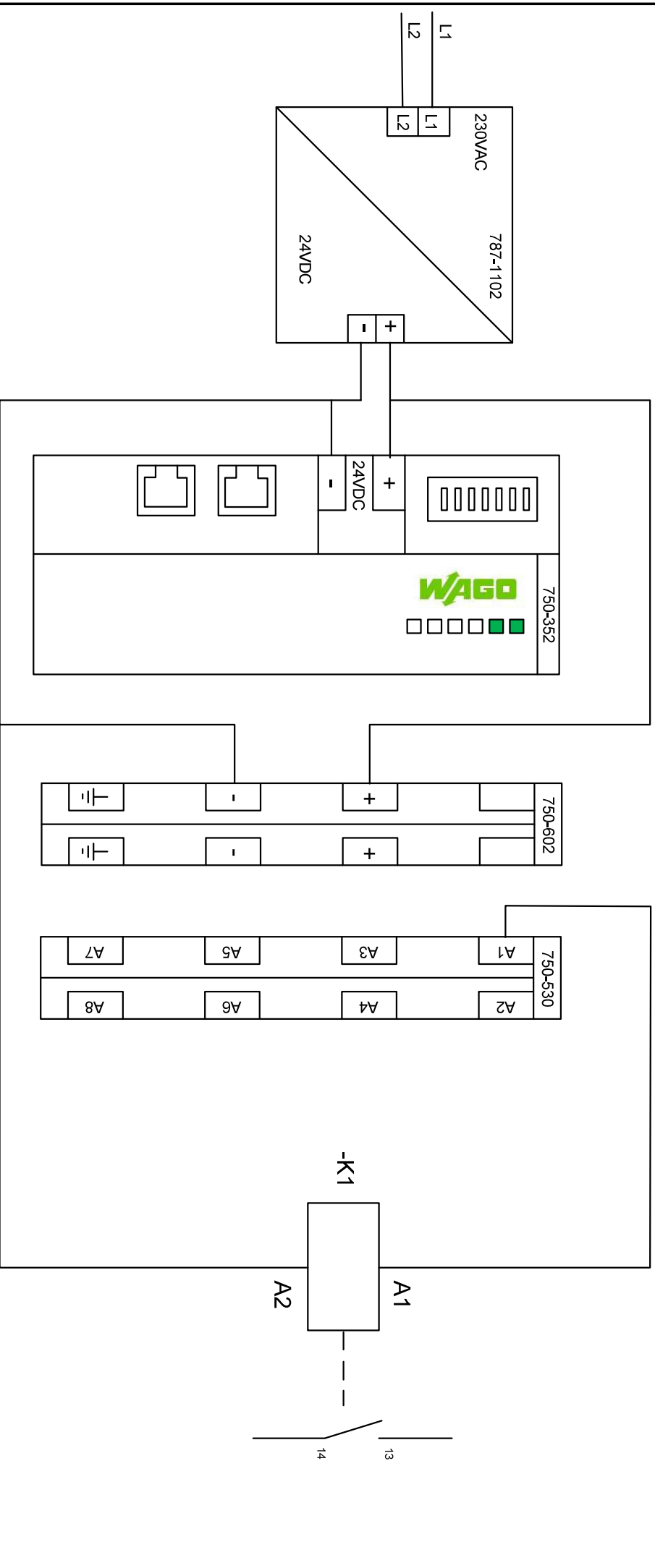


6	-	-	-	-	-	Placeholder													8.2.3
5	-	-	-	-	-	Fordeling = AJM													Kapitel
4	-	-	-	-	-														
3	-	-	-	-	-														
2	-	-	-	-	-														
1	Strømmåling				28/2/21	4. Etasje	OJ		OJ										14 / 23
Rev.		Beskrivelse			Dato	Sign.	Tegnet sign.		OJ		Kontr. sign.			Prosjektnr.		Dato	Filnavn		Ark nr.



20-003
Sluppenvegen 6
17/03/2021

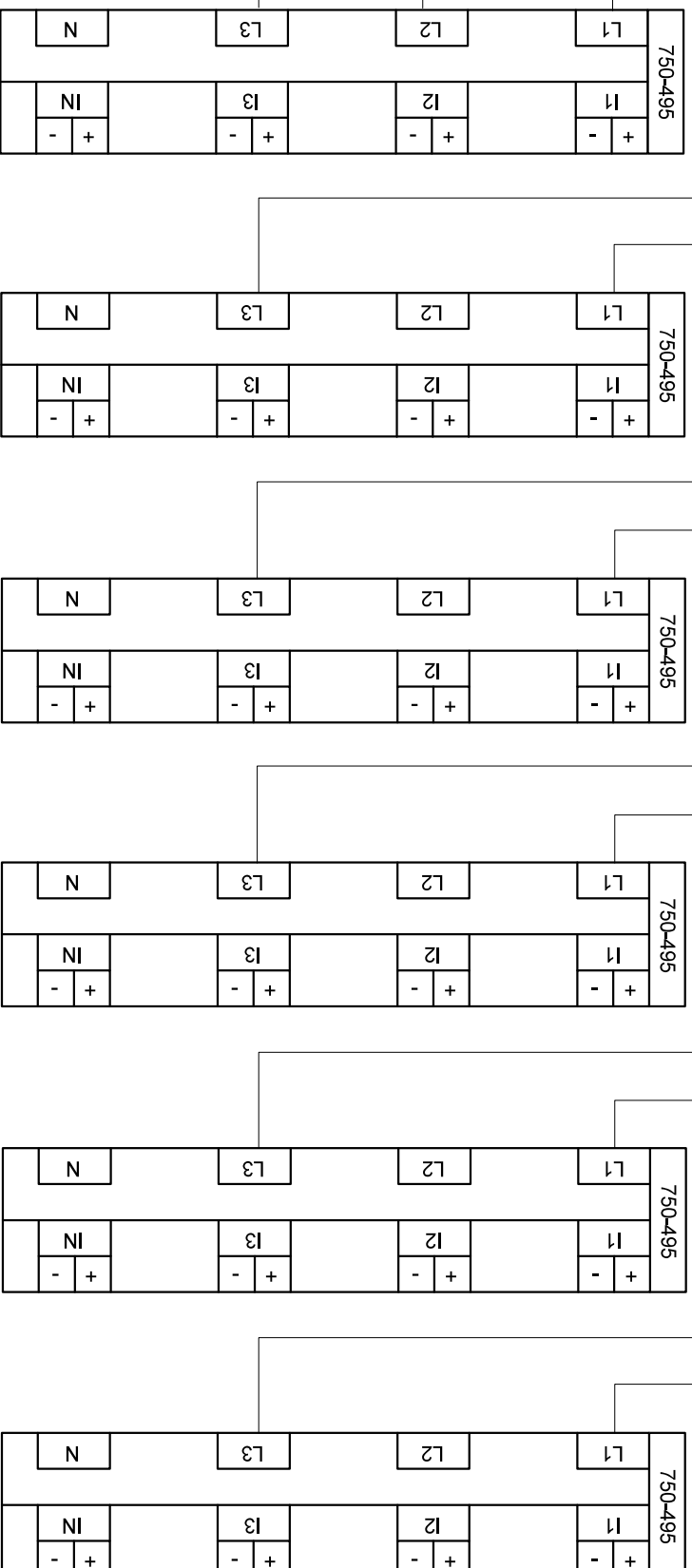
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Komponent ID	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Funksjon	Transformator					Feltbusskontroller				Forsyningsmodul		Digital utgang				Relé			
Beskrivelse	230VAC til 24VDC					I/O-slave				Forsyner 750-530		8-utganger				Slyring av nattsenking			
Slot										7		8							



6	-	-	-	-	-	Placeholder													8.3
5	-	-	-	-	-	Fordeling = AJM													Kapitel
4	-	-	-	-	-														
3	-	-	-	-	-														
2	-	-	-	-	-	4. Etasje													
1	Koblingsdiagram	Beskrivelse	28/2/21	OJ	UJ														15 / 23
Rev.																			Ark nr.

WAGO **Kjeldsberg**
 EIENDOMSFORVALTNING
 Sluppenvegen 6
 20-003
 17/03/2021
 Prosjektr. Dato Filnavn

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Komponent ID	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Funksjon	Spenningsmåling		Spenningsmåling		Spenningsmåling		Spenningsmåling		Spenningsmåling		Spenningsmåling		Spenningsmåling		Spenningsmåling		Spenningsmåling		
Beskrivelse	Stigeleder, A/JN		Varmekurs 1,2		Varmekurs 3-5		Varmekurs 6		Varmekurs 7,8		Lyskurs 9-11								
Slot	1		2		3		4		5		6								
L1	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----																		
L2	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----																		
L3	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----																		

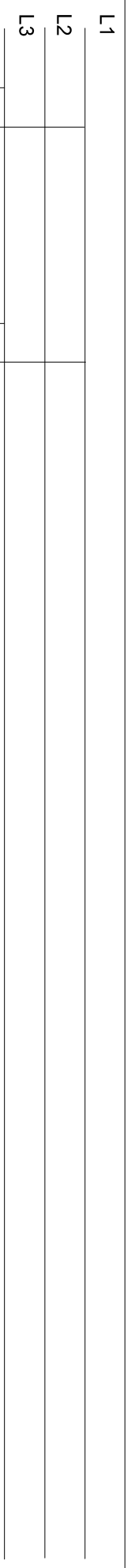


6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.1.1				
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Kapitel				
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
1	Spenningsmåling		Beskrivelse		28/2/21		OJ		4. Etasje		Tegnet sign.		OJ		Kont. sign.		20-003		17/03/2021		Sluppenvegen 6		17 / 23	
Rev.					Dato		Sign.		Tegnet sign.		OJ		Kont. sign.		Prosjektr.		Dato		Filnavn		Ark nr.			



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Komponent ID	-																				
Funksjon	Spenningsmåling																				
Beskrivelse	Lyskurs 12-14																Lyskurs 15,16				
Slot	7																				

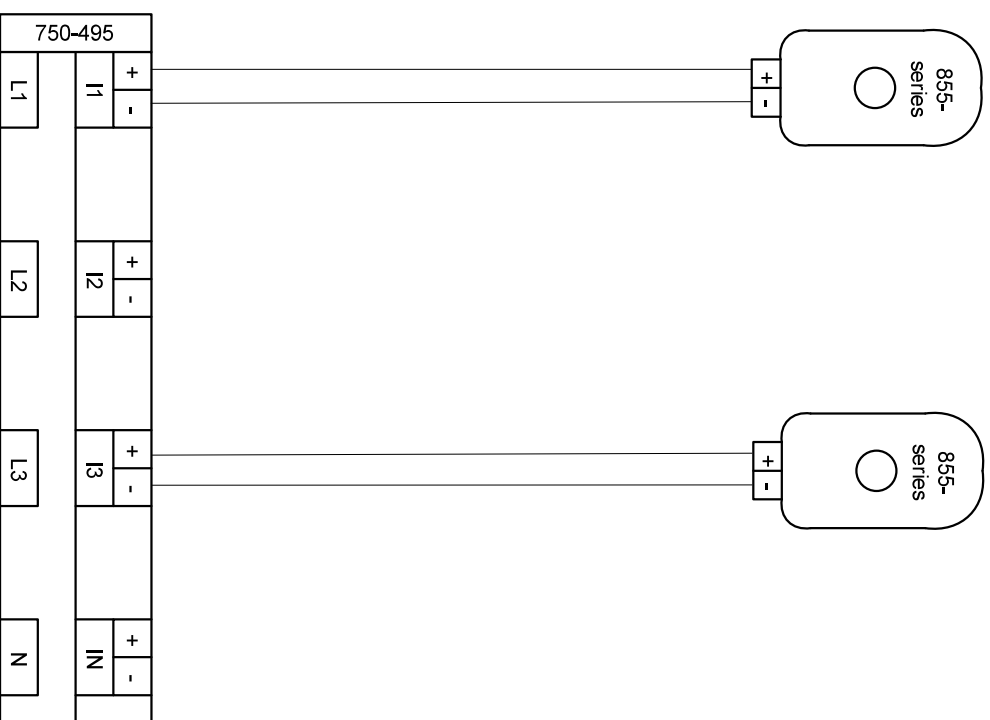
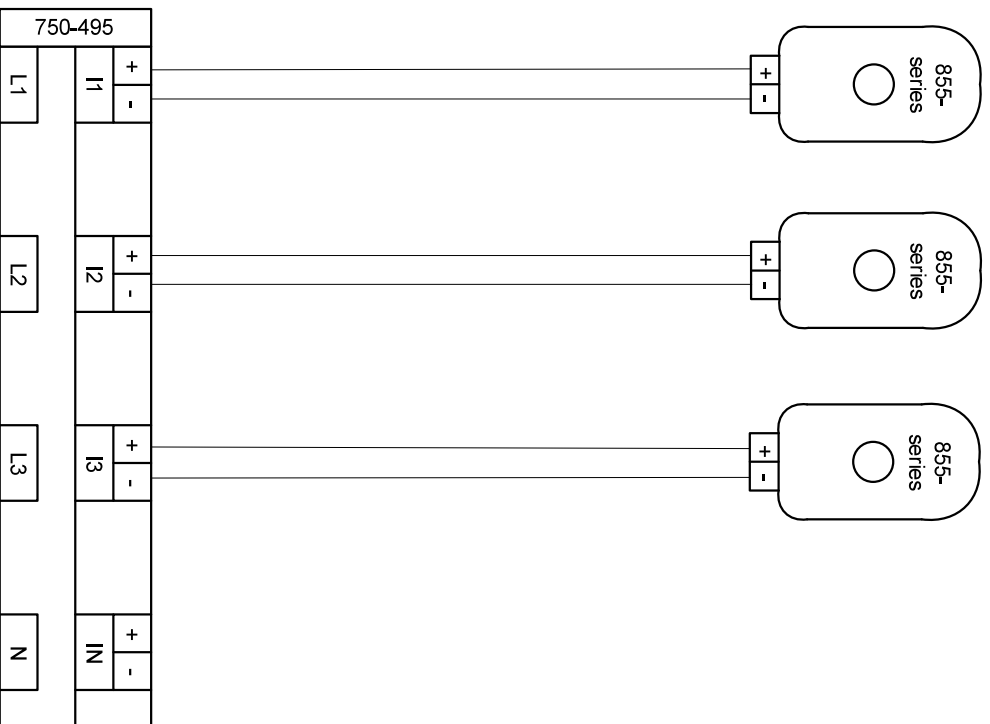




750-495			750-495		
L1	I1	+	L1	I1	+
		-			-
L2	I2	+	L2	I2	+
		-			-
L3	I3	+	L3	I3	+
		-			-
N	IN	+	N	IN	+
		-			-

6	-	-	-											WAGO		Kjeldsberg		9.1.2			
5	-	-	-													EIENDOMSFORVALTNING		Kapitel			
4	-	-	-													Sluppenvegen 6		18 / 23			
3	-	-	-																		
2	-	-	-																		
1	Spenningsmåling	28/2/21	OJ	4. Etasje											20-003		17/03/2021				
Rev.	Beskrivelse	Dato	Sign.	Tegnet sign.	OJ	Kontr. sign.											Prosjektnr.		Filnavn		Ark nr.

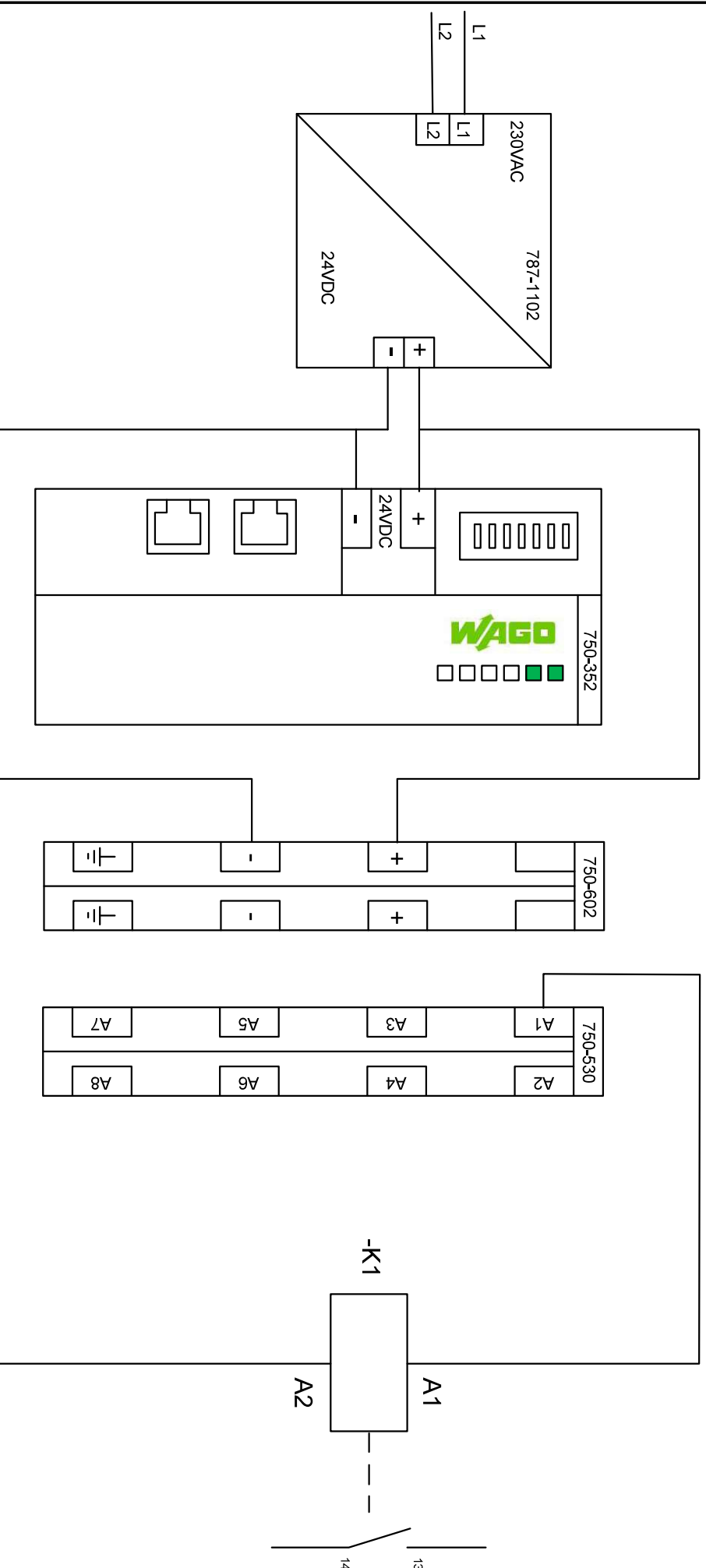
Placeholder
Fordeling = A/JN



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Komponent ID	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Funksjon	Strømmåling L1	Strømmåling L2	Strømmåling L3	Strømmåling L1	Strømmåling L2	Strømmåling L1	Strømmåling L2	Strømmåling L1	Strømmåling L2	Strømmåling L1	Strømmåling L2	Strømmåling L1	Strømmåling L2	Strømmåling L1	Strømmåling L2	Strømmåling L1	Strømmåling L2	Strømmåling L1	Strømmåling L2		
Beskrivelse	Stigeleder, AJN			Stigeleder, AJN			Stigeleder, AJN			Stigeleder, AJN			Stigeleder, AJN			Stigeleder, AJN			Stigeleder, AJN		
Slot	1			1			1			1			1			1			1		



6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	Strømmåling	Beskrivelse	Dato	Sign.	Tegnet sign.	OJ	Kontr. sign.	Prosjektnr.	Dato	Filnavn	Ark nr.	Placeholder Fordeling = AJN 4. Etasje   EIENDOMSFORVALTNING Sluppenvegen 6 20-003 17/03/2021								

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Komponent ID	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Funksjon	Transformator				Feltbusskontroller		I/O-slave		Forsyningsmodul		Digital utgang		Relé							
Beskrivelse	230VAC til 24VDC				750-352		750-602		750-530		8-utganger		Slyring av nattsenkning							
Slot											9		10							



6	-	-	-	-	-	Placeholder	 	9.3 Kapittel												
5	-	-	-	-	-	Fordeling = AJN														
4	-	-	-	-	-															
3	-	-	-	-	-															
2	-	-	-	-	-	4. Etasje														
1	-	-	-	-	-															
Rev.	Koblingsdiagram		Beskrivelse		Dato	28/2/21	Sign.	OJ	Tegnet sign.	OJ	Kontr. sign.		Prosjektr.	20-003	Dato	17/03/2021	Filnavn	Sluppenvegen 6	Ark nr.	23 / 23

Vedlegg I

Datablad og beregningsresultater for lys

I.1 Datablad lysarmaturer

Dette vedlegget inneholder teknisk datablad for tre ulike lysarmaturer fra Glamox AS. Alle er 600x600 himlingsarmaturer, men C25-R og C90-R er LED-armaturer og C10-R er lysrørarmatur. C25-R er et billigere alternativ enn C90-R. [43] [62]

C25529108

C25-R

**C25-R600x600 LED 4000 DALI 840 MP**

Elnummer: 3319989

EAN-nr: 4741145291088

Stock code: A

Glamox C25-R er en modulær LED-armatur i lavtbyggende design



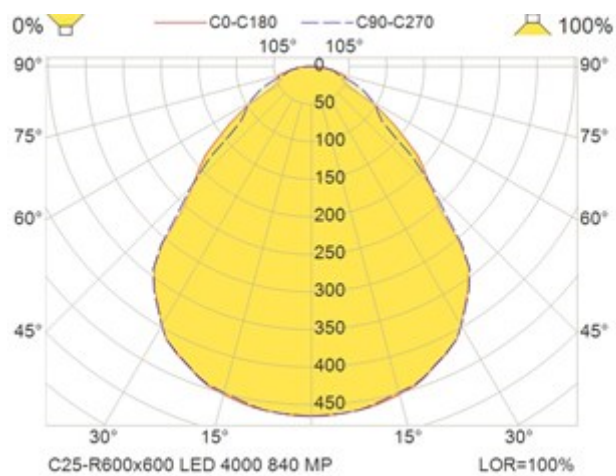
Elektriske data	
Spenning til (V)	240
Maksimal frekvens (Hz)	60
Frekvens (Hz)	50
Spenning fra (V)	220
Antall armaturer på automatsikring 16A type B (80% belastning)	23
Totalt effektforbruk (W)	41
Antall armaturer på automatsikring 10A type B (80% belastning)	14
Antall armaturer på automatsikring 10A type C (80% belastning)	23
Antall armaturer på automatsikring 16A type C (80% belastning)	38
Dimensjoner	
Lengde (mm)	595
Nettvekt	3,2
Bredde (mm)	595
Bruttovekt (kg)	3,48
Høyde (mm)	10
Driver	
Antall LED drivere	1
Driver	DALI dimming
Minimum dimmenivå (%)	1
Armaturhus	
Farge	Hvit
Materiale	Aluminium

Lystekniske data	
Lyskilde	LED
Fargegjengivelse og fargetemperatur	CRI >80, 4000K
Lumen/Watt	112
Lystilbakegang (LLMF) etter 50000h Ta25	0.70
MacAdam step	3
Medianlevetid (EN 62717) Ta25	50000h L70B50
Lumen Ut	4585
Medianlevetid (EN 62717) L70 Ta25 (h)	50000
Teknisk data	
Maksimal omgivelsestemperatur (Ta=°C)	25
Minimum omgivelsestemperatur (°C)	-25
IP klasse	40 fra undersiden
Optikk	
Avdeknings materiale	Akryl
Optikk	MP - mikroprismatisk
Lysfordeling Opp/Ned	0/100
Merknader	
Spesiell sertifisering	Class II
Tilkobling	
Ledningstilkobling	5x1x1,5

C25529108

C25-R

Tegninger



C90085837

C90-R



C90-R600x600 LED 5000 DALI 840 LI MP

Elnummer: 3317568

EAN-nr: 7054130858379

Stock code: A

C90-R er en familie av modulære LED-armaturer med fullt opplyste overflater



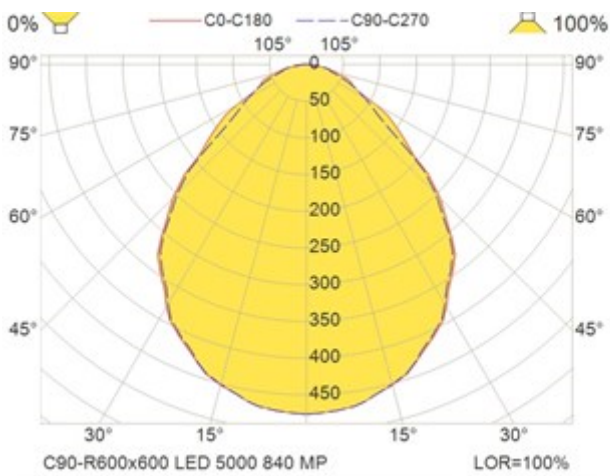
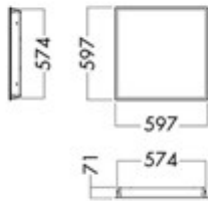
Elektriske data	
Spenning til (V)	240
Maksimal frekvens (Hz)	60
Frekvens (Hz)	50
Spenning fra (V)	220
Antall armaturer på automatsikring 16A type C (80% belastning)	36
Totalt effektforbruk (W)	35
Antall armaturer på automatsikring 16A type B (80% belastning)	22
Antall armaturer på automatsikring 10A type B (80% belastning)	13
Antall armaturer på automatsikring 10A type C (80% belastning)	22
Leakage Current (mA)	0,21
Dimensjoner	
Høyde (mm)	71
Nettvekt	4,8
Lengde (mm)	597
Bredde (mm)	597
Bruttovekt (kg)	5,26
Utsparring (mm)	574x574
Optikk	
Avdeknings materiale	Akryl
Optikk	MP - mikroprismatisk
Lysfordeling Opp/Ned	0/100
Driver	
Antall LED drivere	1
Driver	DALI dimming

Lystekniske data	
Lyskilde	LED
Fargegjengivelse og fargetemperatur	CRI >80, 4000K
Lystilbakegang (LLMF) etter 50000h Ta25	0.85
MacAdam step	3
Lumen/Watt	146
Medianlevetid (EN 62717) Ta25	100000h L80B50
Lumen Ut	5101
Medianlevetid (EN 62717) L80 Ta25 (h)	100000
Teknisk data	
Maksimal omgivelsestemperatur (Ta=°C)	30
IK klasse	6
Minimum omgivelsestemperatur (°C)	-25
IP klasse	55 fra undersiden
Armaturhus	
Farge	Hvit
Materiale	stål
Tilkobling	
Pluggtype	Linect
Ledningstilkobling	5x2x2.5mm ² fjærklemme

C90085837

C90-R

Tegninger





C10R600LLA414HGW99A110

Elnummer: 3325263

EAN-nr: 7054130551430

Stock code: M



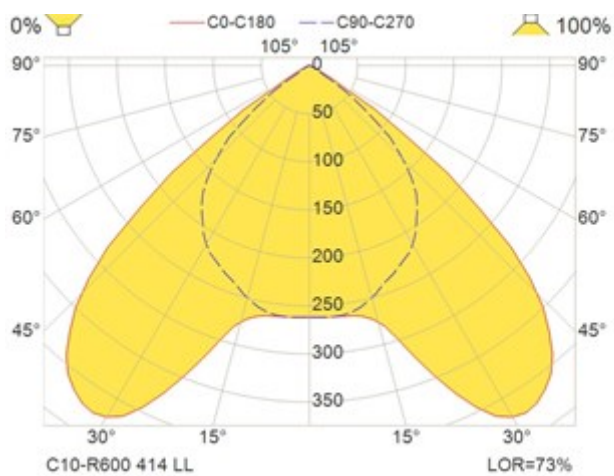
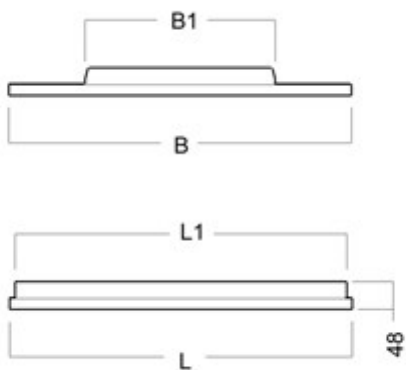
Elektriske data	
Spenning til (V)	240
Maksimal frekvens (Hz)	60
Frekvens (Hz)	50
Spenning fra (V)	220
Totalt effektforbruk (W)	62
Dimensjoner	
Nettvekt	3,7
Lengde (mm)	595
Bredde (mm)	595
Høyde (mm)	48
Teknisk data	
Maksimal omgivelsestemperatur (Ta=°C)	40
IP klasse	20
Driver	
Driver	HF - ikke dimbar
Antall LED drivere	1

Lystekniske data	
Lampeholder	G5
Lampeeffekt (W)	14
Antall lyskilder	4
Lyskilde	lysrør T5
Fargegjengivelse og fargetemperatur	CRI >80, 3000K
Tilkobling	
Pluggtype	shuco
Kabellengde (m)	2.5
Ledningstilkobling	5meter 3x0.75mm ² kabel og plugg
Armaturhus	
Farge	Hvit
Materiale	stål
Optikk	
Optikk	LL/LU = Lavluminans
Lysfordeling Opp/Ned	0/100

C10055143

Tegninger

Modul	L (mm)	L1 (mm)	B (mm)	B1 (mm)
300 (14/24W)	595	577	295	256
312 (14/24W)	620	602	307	256
300 (28/54W)	1195	1177	295	256
312 (28/54W)	1245	1227	307	256



I.2 Lysberegninger EasyCalc

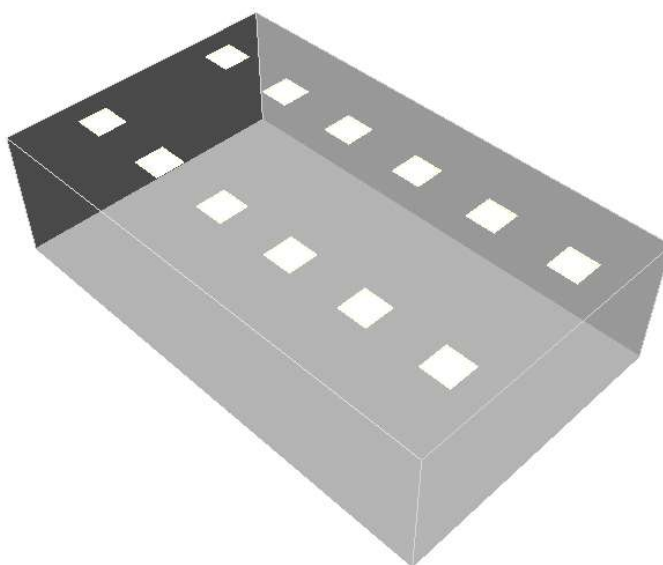
Resultatene fra beregninger gjort i EasyCalc [45] følger under. Den første beregningen gjelder for armaturet C25-R, den andre for C90-R med vedlikeholdsfaktor $v=0,67$, den tredje beregningen er for C90-R med $v=0,8$ og den siste er for C10-R-armatur.

Rapport Armaturplassering

Romnavn	-			
Romdimensjoner:	Lengde x (m)	6,0	Mont.høyde z (m)	2,71
	Bredde y (m)	10,0	Arbeidsplan (m)	0,75
	Høyde z (m)	2,7	Vedlikeholdsfaktor	0,67
	Areal (m ²)	60,0		
Refleksjon	Tak	70 %		
	Vegger	50 %		
	Gulv	20 %		
Beregningsresultat				
Belysningsstyrke (Lux)	550 lux			
Samlet installert effekt	0,49 kW			
Spesifikk effektbelastning	8,20 W/m²			

Armaturdata

NR	Ant	Armaturtype	Ant lysk.	Lm	Lyskilde	Watt
C25529108	12	3319989 C25-R600x600 LED 4000 DALI 840 MP	-1	0	LED C25-R6 4000 840	41

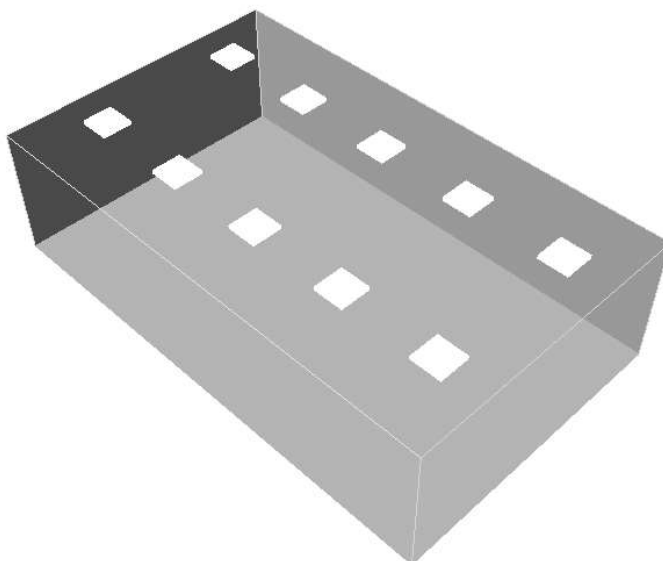


Rapport Armaturplassering

Romnavn	-			
Romdimensjoner:	Lengde x (m)	6,0	Mont.høyde z (m)	2,76
	Bredde y (m)	10,0	Arbeidsplan (m)	0,75
	Høyde z (m)	2,7	Vedlikeholdsfaktor	0,67
	Areal (m ²)	60,0		
Refleksjon	Tak	70 %		
	Vegger	50 %		
	Gulv	20 %		
Beregningsresultat				
Belysningsstyrke (Lux)	503 lux			
Samlet installert effekt	0,35 kW			
Spesifikk effektbelastning	5,83 W/m²			

Armaturdata

NR	Ant	Armaturtype	Ant lysk.	Lm	Lyskilde	Watt
C90085837	10	3317568 C90-R600x600 LED 5000 DALI 840 LI MP	-1	0	LED C90 5000 840 MP	35

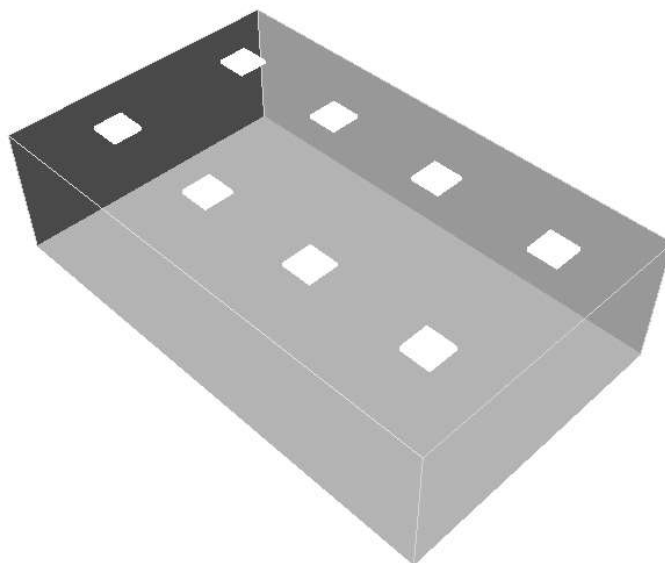


Rapport Armaturplassering

Romnavn	-			
Romdimensjoner:	Lengde x (m)	6,0	Mont.høyde z (m)	2,76
	Bredde y (m)	10,0	Arbeidsplan (m)	0,75
	Høyde z (m)	2,7	Vedlikeholdsfaktor	0,8
	Areal (m ²)	60,0		
Refleksjon	Tak	70 %		
	Vegger	50 %		
	Gulv	20 %		
Beregningsresultat				
Belysningsstyrke (Lux)	480 lux			
Samlet installert effekt	0,28 kW			
Spesifikk effektbelastning	4,67 W/m²			

Armaturdata

NR	Ant	Armaturtype	Ant lysk.	Lm	Lyskilde	Watt
C90085837	8	3317568 C90-R600x600 LED 5000 DALI 840 LI MP	-1	0	LED C90 5000 840 MP	35

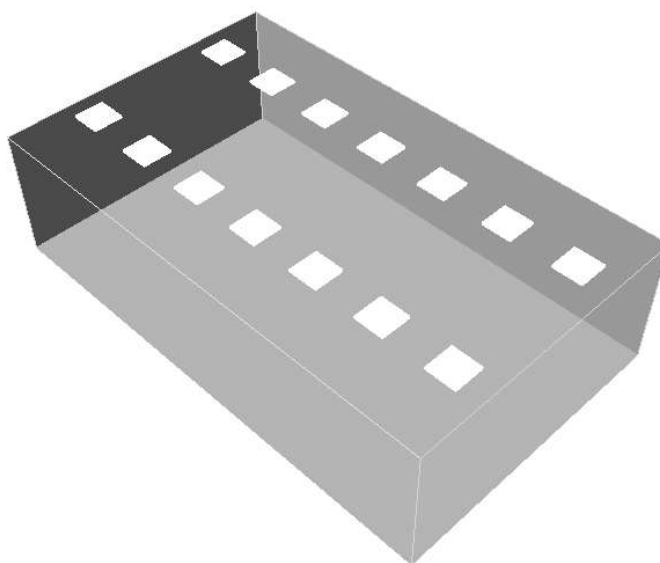


Rapport Armaturplassering

Romnavn	-			
Romdimensjoner:	Lengde x (m)	6,0	Mont.høyde z (m)	2,77
	Bredde y (m)	10,0	Arbeidsplan (m)	0,75
	Høyde z (m)	2,7	Vedlikeholdsfaktor	0,67
	Areal (m ²)	60,0		
Refleksjon	Tak	70 %		
	Vegger	50 %		
	Gulv	20 %		
Beregningsresultat				
Belysningsstyrke (Lux)	516 lux			
Samlet installert effekt	0,87 kW			
Spesifikk effektbelastning	14,47 W/m²			

Armaturdata

NR	Ant	Armaturtype	Ant lysk.	Lm	Lyskilde	Watt
C10055143	14	3325263 C10-R600 414HF 830 CP2 LL	4	4800	T5 14W HE	62



Vedlegg J

Matlab

J.1 Historiske data

Matlabkodene som er nevnt i kapittel 4.3 følger i dette vedlegget.

J.1.1 Gjennomsnitt strøm

Følgende funksjon beregner gjennomsnitt for hver time alle dager i måneden:

```
1 function Manedlig_gjsnitt(filename, A)
2
3 Data = xlsread(filename, A);
4
5 Avrg(24,2) = 0;
6
7 for i = 1:24
8     j = i;
9     SumF = 0;
10    SumP = 0;
11    x = 0;
12    while j <= length(Data(:,1))
13        SumF = SumF + Data(j,1);
14        SumP = SumP + Data(j,2);
15        j = j + 24;
16        x = x + 1;
17    end
18    Avrg(i,1) = SumF/x;
19    Avrg(i,2) = SumP/x;
20 end
21
22 xlswrite(filename, Avrg, A, 'H2:I25')
23 end
```

Følgende funksjon beregner gjennomsnitt for hver time alle hverdager i måneden:

```
1 function hverdager(filename, A,B)
2 Data = xlsread(filename, A);
3
4 Avrg(24,3) = 0;
5 dag = B;          %Ukedag den 1. i maaneden
6
7 for i = 1:24
8     j = i;
9     SumF = 0;
10    SumP = 0;
11    x = 0;
12    dag = B;      %Ukedag den 1. i maaneden
13    while j <= length(Data(:,1))
14        SumF = SumF + Data(j,1);
15        SumP = SumP + Data(j,2);
16        if Data(j,1) == 0
17            x = x
18        else
19            x = x + 1;
20            if dag < 5
21                j = j + 24;
22            end
23            if dag == 5
24                j = j + 72;
25                dag = 0;
26            end
27            if dag == 6
28                j = j + 48;
29                dag = 0;
30            end
31            if dag == 7
32                j = j + 24;
33                dag = 0;
34            end
35            dag = dag + 1;
36        end
37    end
38    Avrg(i,1) = SumF/x;
39    Avrg(i,2) = SumP/x;
40 end
41
42
43 xlswrite(filename, Avrg, A, 'H30:I53')
44 end
```

Følgende funksjon finner gjennomsnitt over ukene:

```
1 function ukesfordeling(filename, ark, startdag)
2
3 Data = xlsread(filename, ark);
4
5 man(1:24,1) = 0;
6 tir(1:24,1) = 0;
7 ons(1:24,1) = 0;
8 tor(1:24,1) = 0;
9 fre(1:24,1) = 0;
10 lor(1:24,1) = 0;
11 son(1:24,1) = 0;
12
13
14 for i = 1:24
15     dag = startdag;
16     for k = 1:7
17         j = i+(k-1)*24;
18         x = 0;
19         SumF = 0;
20         avrg = 0;
21         while j <= length(Data(:,1))
22             x = x + 1;
23             if Data(j,1) == 0
24                 x = x-1;
25             end
26             if dag == 1 || dag == 8
27                 SumF = SumF + Data(j,1);
28                 avrg = SumF/x;
29                 man(i,1) = avrg;
30                 j = j + 24*7;
31             elseif dag == 2 || dag == 9
32                 SumF = SumF + Data(j,1);
33                 avrg = SumF/x;
34                 tir(i,1) = avrg;
35                 j = j + 24*7;
36             elseif dag == 3 || dag == 10
37                 SumF = SumF + Data(j,1);
38                 avrg = SumF/x;
39                 ons(i,1) = avrg;
40                 j = j + 24*7;
41             elseif dag == 4 || dag == 11
42                 SumF = SumF + Data(j,1);
43                 avrg = SumF/x;
44                 tor(i,1) = avrg;
45                 j = j + 24*7;
46             elseif dag == 5 || dag == 12
```

```

47         SumF = SumF + Data(j,1);
48         avrg = SumF/x;
49         fre(i,1) = avrg;
50         j = j + 24*7;
51         elseif dag == 6 || dag == 13
52             SumF = SumF + Data(j,1);
53             avrg = SumF/x;
54             lor(i,1) = avrg;
55             j = j + 24*7;
56         elseif dag == 7
57             SumF = SumF + Data(j,1);
58             avrg = SumF/x;
59             son(i,1) = avrg;
60             j = j + 24*7;
61         end
62     end
63     dag = dag + 1;
64 end
65 end
66
67 xlswrite(filename, man, ark, 'S2:S25')
68 xlswrite(filename, tir, ark, 'S26:S49')
69 xlswrite(filename, ons, ark, 'S50:S73')
70 xlswrite(filename, tor, ark, 'S74:S97')
71 xlswrite(filename, fre, ark, 'S98:S121')
72 xlswrite(filename, lor, ark, 'S122:S145')
73 xlswrite(filename, son, ark, 'S146:S169')
74
75 end

```

J.1.2 Kostnader strøm

Følgende funksjon finner den høyeste effekttoppen i måneden og beregner dens bidrag i nettleien:

```
1 function hoyesteffekt(filename, A)
2
3 Data = xlsread(filename,A);
4
5 eff = 0;
6 eff2 = 0;
7 pris = 0;
8 pris1 = 0;
9 pris2 = 0;
10 pris3 = 0;
11
12 for i = 1:length(Data(:,1))
13     if eff <= Data(i,1)
14         eff = Data(i,1);
15         x = i;
16     end
17     if eff2 <= Data(i,1) && Data(i,1) < eff
18         eff2 = Data(i,1);
19         y = i;
20     end
21 end
22
23 B = '          ';
24 B(1,1:length(A)) = A;
25 if B == 'Oktober '
26     eff = eff2;
27     x = y;
28 end
29
30 if B == 'November '
31     pris = vinter(eff);
32 elseif B == 'Desember '
33     pris = vinter(eff);
34 elseif B == 'Januar   '
35     pris = vinter(eff);
36 elseif B == 'Februar  '
37     pris = vinter(eff);
38 elseif B == 'Mars     '
39     pris = vinter(eff);
40 elseif B == 'April    '
41     pris = vinter(eff);
42 end
```

```

43
44 if B == 'Mai      '
45     pris = sommer(eff);
46 elseif B == 'Juni      '
47     pris = sommer(eff);
48 elseif B == 'Juli      '
49     pris = sommer(eff);
50 elseif B == 'August      '
51     pris = sommer(eff);
52 elseif B == 'September'
53     pris = sommer(eff);
54 elseif B == 'Oktober  '
55     pris = sommer(eff);
56 end
57
58
59 xlswrite(filename, pris, A, 'I64')
60 xlswrite(filename, eff, A, 'H64')
61 xlswrite(filename, (x+1), A, 'G64')
62
63 end
64
65 function pris = vinter(eff)
66 pris1 = 0;
67 pris2 = 0;
68 pris3 = 0;
69     if eff >= 400
70         eff1 = eff - 399;
71         pris3 = eff1 * 39;
72         pris2 = 300 * 49;
73         pris1 = 99 * 59;
74     end
75
76     if eff <= 399 && eff >= 100
77         eff1 = eff - 99;
78         pris2 = eff1 * 49;
79         pris1 = 99 * 59;
80     end
81
82     if eff <= 99
83         pris1 = eff * 59;
84     end
85     pris = pris1 + pris2 + pris3;
86 end
87
88 function pris = sommer(eff)
89 pris1 = 0;

```



```
90 pris2 = 0;
91 pris3 = 0;
92     if eff >= 400
93         eff1 = eff - 399;
94         pris3 = eff1 * 27;
95         pris2 = 300 * 33;
96         pris1 = 99 * 39;
97     end
98
99     if eff <= 399 && eff >= 100
100         eff1 = eff - 99;
101         pris2 = eff1 * 33;
102         pris1 = 99 * 39;
103     end
104
105     if eff <= 99
106         pris1 = eff * 39;
107     end
108     pris = pris1 + pris2 + pris3;
109 end
```

Følgende funksjon beregner forbruksdelen av nettleien og spotprisen:

```
1 function pris(filename, A)
2
3 Data = xlsread(filename, A);
4
5 x = length(Data(:,1));
6 y = 0;
7 Forbruk = 0;
8 Energipris = 0;
9 Avgift = 0;
10 Fastbelop = 0;
11 Spotpris = 0;
12
13 for i = 1:x
14     if Data(i,1) == 0
15         x = x - 1;
16     end
17     Forbruk = Forbruk + Data(i,1);
18     Spotpris = Spotpris + Data(i,1)*Data(i,2);
19 end
20
21 Energipris = Forbruk * 5.0 / 100;
22 Avgift = Forbruk * 16.69 / 100;
23 y = (x/24)/365;
24 Fastbelop = 8800 * y;
25 Spotpris = Spotpris/100;
26
27
28 xlswrite(filename, Forbruk, A, 'G67')
29 xlswrite(filename, Energipris, A, 'I67')
30 xlswrite(filename, Avgift, A, 'J67')
31 xlswrite(filename, Fastbelop, A, 'K67')
32 xlswrite(filename, Spotpris, A, 'M67')
33 end
```

J.1.3 Fjernvarme

Følgende funksjon gjør alt som de foregående kodene gjør bare for fjernvarmen:

```
1 function fjv(filename, A, startdag)
2
3 Data = xlsread(filename,A);
4
5 %mndl. gjsnitt
6 Avrg(24,1) = 0;
7
8 for i = 1:24
9     j = i;
10    SumF = 0;
11    x = 0;
12    while j <= length(Data(:,1))
13        SumF = SumF + Data(j,3);
14        j = j + 24;
15        x = x + 1;
16    end
17    Avrg(i,1) = SumF/x;
18 end
19
20 xlswrite(filename, Avrg, A, 'J2:J25')
21
22
23 %hverdag
24
25 dag = startdag;           %Ukedag den 1. i maaneden
26
27 for i = 1:24
28     j = i;
29     SumF = 0;
30     %SumP = 0;
31     x = 0;
32     dag = startdag;       %Ukedag den 1. i maaneden
33     while j <= length(Data(:,3))
34         SumF = SumF + Data(j,3);
35         if Data(j,1) == 0
36             x = x;
37         else
38             x = x + 1;
39             if dag < 5
40                 j = j + 24;
41             end
42             if dag == 5
```

```

43         j = j + 72;
44         dag = 0;
45     end
46     if dag == 6
47         j = j + 48;
48         dag = 0;
49     end
50     if dag == 7
51         j = j + 24;
52         dag = 0;
53     end
54     dag = dag + 1;
55 end
56 end
57 Avrg(i,1) = SumF/x;
58 end
59
60 xlswrite(filename, Avrg, A, 'J30:J53')
61
62
63 %pris
64
65 x = 0;
66 y = length(Data(:,1));
67 Forbruk = 0;
68 Volum = 0;
69 Energipris = 0;
70 Avgift = 0;
71 Spotpris = 0;
72 Volumpris = 0;
73
74 for i = 1:y
75     x = x + 1;
76     if Data(i,3) == 0
77         x = x - 1;
78     end
79     Forbruk = Forbruk + Data(i,3);
80     Volum = Volum + Data(i,4);
81 end
82
83 Energipris = Forbruk * 5.0 / 100;
84 Avgift = Forbruk * 16.69 / 100;
85 Elsertifikat = Forbruk * 2.75 / 100;
86 Spot = xlsread(filename,A, 'N82');
87 Spotpris = Forbruk * Spot/100;
88
89 xlswrite(filename, Forbruk, A, 'G87')

```

```

90 xlswrite(filename, Energipris, A, 'I87')
91 xlswrite(filename, Avgift, A, 'J87')
92 xlswrite(filename, Elsertifikat, A, 'K87')
93 xlswrite(filename, Spotpris, A, 'M87')
94
95
96 %effekttopp
97
98 eff = 0;
99 eff2 = 0;
100 pris = 0;
101 pris1 = 0;
102 pris2 = 0;
103 pris3 = 0;
104
105 for i = 1:length(Data(:,3))
106     if eff <= Data(i,3)
107         eff = Data(i,3);
108         x = i;
109     end
110     if eff2 <= Data(i,3) && Data(i,3) < eff
111         eff2 = Data(i,3);
112         y = i;
113     end
114 end
115 B = ' ';
116 B(1,1:length(A)) = A;
117 if B == 'Oktober '
118     eff = eff2;
119     x = y;
120 end
121
122 if B == 'November '
123     [pris, Energiledd] = vinter(eff, Forbruk);
124     FratrekkVolum = Forbruk * (-6) / 100;
125     Volumpris = Volum * 3.13;
126     xlswrite(filename, FratrekkVolum, A, 'N87')
127 elseif B == 'Desember '
128     [pris, Energiledd] = vinter(eff, Forbruk);
129     FratrekkVolum = Forbruk * (-6) / 100;
130     Volumpris = Volum * 3.13;
131     xlswrite(filename, FratrekkVolum, A, 'N87')
132 elseif B == 'Januar '
133     [pris, Energiledd] = vinter(eff, Forbruk);
134     FratrekkVolum = Forbruk * (-6) / 100;
135     Volumpris = Volum * 3.13;
136     xlswrite(filename, FratrekkVolum, A, 'N87')

```

```

137 elseif B == 'Februar '
138     [pris, Energiledd] = vinter(eff, Forbruk);
139     FratrekkVolum = Forbruk * (-6) / 100;
140     Volumpris = Volum * 3.13;
141     xlswrite(filename, FratrekkVolum, A, 'N87')
142 elseif B == 'Mars '
143     [pris, Energiledd] = vinter(eff, Forbruk);
144 elseif B == 'April '
145     [pris, Energiledd] = vinter(eff, Forbruk);
146 end
147
148 if B == 'Mai '
149     [pris, Energiledd] = sommer(eff, Forbruk);
150 elseif B == 'Juni '
151     [pris, Energiledd] = sommer(eff, Forbruk);
152 elseif B == 'Juli '
153     [pris, Energiledd] = sommer(eff, Forbruk);
154 elseif B == 'August '
155     [pris, Energiledd] = sommer(eff, Forbruk);
156 elseif B == 'September'
157     [pris, Energiledd] = sommer(eff, Forbruk);
158 elseif B == 'Oktober '
159     [pris, Energiledd] = sommer(eff, Forbruk);
160 end
161
162
163
164 xlswrite(filename, pris, A, 'I84')
165 xlswrite(filename, eff, A, 'H84')
166 xlswrite(filename, (x+1), A, 'G84')
167 xlswrite(filename, Energiledd, A, 'L87')
168 xlswrite(filename, Volumpris, A, 'O87')
169
170
171 %ukesfordeling
172 man(1:24,1) = 0;
173 tir(1:24,1) = 0;
174 ons(1:24,1) = 0;
175 tor(1:24,1) = 0;
176 fre(1:24,1) = 0;
177 lor(1:24,1) = 0;
178 son(1:24,1) = 0;
179
180
181 for i = 1:24
182     dag = startdag;
183     for k = 1:7

```

```

184     j = i+(k-1)*24;
185     x = 0;
186     SumF = 0;
187     avrg = 0;
188     while j <= length(Data(:,1))
189         x = x + 1;
190         if dag == 1 || dag == 8
191             SumF = SumF + Data(j,3);
192             avrg = SumF/x;
193             man(i,1) = avrg;
194             j = j + 24*7;
195         elseif dag == 2 || dag == 9
196             SumF = SumF + Data(j,3);
197             avrg = SumF/x;
198             tir(i,1) = avrg;
199             j = j + 24*7;
200         elseif dag == 3 || dag == 10
201             SumF = SumF + Data(j,3);
202             avrg = SumF/x;
203             ons(i,1) = avrg;
204             j = j + 24*7;
205         elseif dag == 4 || dag == 11
206             SumF = SumF + Data(j,3);
207             avrg = SumF/x;
208             tor(i,1) = avrg;
209             j = j + 24*7;
210         elseif dag == 5 || dag == 12
211             SumF = SumF + Data(j,3);
212             avrg = SumF/x;
213             fre(i,1) = avrg;
214             j = j + 24*7;
215         elseif dag == 6 || dag == 13
216             SumF = SumF + Data(j,3);
217             avrg = SumF/x;
218             lor(i,1) = avrg;
219             j = j + 24*7;
220         elseif dag == 7
221             SumF = SumF + Data(j,3);
222             avrg = SumF/x;
223             son(i,1) = avrg;
224             j = j + 24*7;
225         end
226     end
227     dag = dag + 1;
228 end
229 end
230

```

```

231 xlswrite(filename, man, A, 'T2:T25')
232 xlswrite(filename, tir, A, 'T26:T49')
233 xlswrite(filename, ons, A, 'T50:T73')
234 xlswrite(filename, tor, A, 'T74:T97')
235 xlswrite(filename, fre, A, 'T98:T121')
236 xlswrite(filename, lor, A, 'T122:T145')
237 xlswrite(filename, son, A, 'T146:T169')
238
239 end
240
241 function [pris, Energiledd] = vinter(eff, Forbruk)
242 pris1 = 0;
243 pris2 = 0;
244 pris3 = 0;
245     if eff >= 400
246         eff1 = eff - 399;
247         pris3 = eff1 * 39;
248         pris2 = 300 * 49;
249         pris1 = 99 * 59;
250     end
251
252     if eff <= 399 && eff >= 100
253         eff1 = eff - 99;
254         pris2 = eff1 * 49;
255         pris1 = 99 * 59;
256     end
257
258     if eff <= 99
259         pris1 = eff * 59;
260     end
261     Energiledd = Forbruk * 18.44 / 100;
262     pris = pris1 + pris2 + pris3;
263 end
264
265 function [pris, Energiledd] = sommer(eff, Forbruk)
266 pris1 = 0;
267 pris2 = 0;
268 pris3 = 0;
269     if eff >= 400
270         eff1 = eff - 399;
271         pris3 = eff1 * 27;
272         pris2 = 300 * 33;
273         pris1 = 99 * 39;
274     end
275
276     if eff <= 399 && eff >= 100
277         eff1 = eff - 99;

```



```
278     pris2 = eff1 * 33;
279     pris1 = 99 * 39;
280 end
281
282 if eff <= 99
283     pris1 = eff * 39;
284 end
285 Energiledd = Forbruk * 24.44 / 100;
286 pris = pris1 + pris2 + pris3;
287 end
```

J.1.4 Årlig beregning

Følgende script gir hver funksjon alle variablene de trenger for å gjøre alle beregningene for alle månedene i året:

```
1
2 filename = 'Timesforbruk_2020.xlsx';
3
4 A = 'Januar'
5 B = 3;
6 %B = 2;
7
8 Manedlig_gjsnitt(filename, A)
9 hverdager(filename, A,B)
10 hoyesteffekt(filename, A)
11 pris(filename, A)
12 ukesfordeling(filename, A,B)
13 fjv(filename, A, B)
14
15
16 A = 'Februar'
17 B = 6;
18 %B = 5;
19 Manedlig_gjsnitt(filename, A)
20 hverdager(filename, A,B)
21 hoyesteffekt(filename, A)
22 pris(filename, A)
23 ukesfordeling(filename, A,B)
24 fjv(filename, A, B)
25
26
27 A = 'Mars'
28 B = 7;
29 %B = 5;
30
31 Manedlig_gjsnitt(filename, A)
32 hverdager(filename, A,B)
33 hoyesteffekt(filename, A)
34 pris(filename, A)
35 ukesfordeling(filename, A,B)
36 fjv(filename, A, B)
37
38
39 A = 'April'
40 B = 3;
41 %B = 1;
```

```

42
43 Manedlig_gjsnitt(filename , A)
44 hverdager(filename , A,B)
45 hoyesteffekt(filename , A)
46 pris(filename , A)
47 ukesfordeling(filename , A,B)
48 fjv(filename , A, B)
49
50
51 A = 'Mai'
52 B = 5;
53 %B = 3;
54
55 Manedlig_gjsnitt(filename , A)
56 hverdager(filename , A,B)
57 hoyesteffekt(filename , A)
58 pris(filename , A)
59 ukesfordeling(filename , A,B)
60 fjv(filename , A, B)
61
62
63 A = 'Juni'
64 B = 1;
65 %B = 6;
66
67 Manedlig_gjsnitt(filename , A)
68 hverdager(filename , A,B)
69 hoyesteffekt(filename , A)
70 pris(filename , A)
71 ukesfordeling(filename , A,B)
72 fjv(filename , A, B)
73
74
75 A = 'Juli'
76 B = 3;
77 %B = 1;
78
79 Manedlig_gjsnitt(filename , A)
80 hverdager(filename , A,B)
81 hoyesteffekt(filename , A)
82 pris(filename , A)
83 ukesfordeling(filename , A,B)
84 fjv(filename , A, B)
85
86
87 A = 'August'
88 B = 6;

```

```

89 %B = 4;
90
91 Manedlig_gjsnitt(filename, A)
92 hverdager(filename, A,B)
93 hoyesteffekt(filename, A)
94 pris(filename, A)
95 ukesfordeling(filename, A,B)
96 fjv(filename, A, B)
97
98
99 A = 'September'
100 B = 2;
101 %B = 7;
102
103 Manedlig_gjsnitt(filename, A)
104 hverdager(filename, A,B)
105 hoyesteffekt(filename, A)
106 pris(filename, A)
107 ukesfordeling(filename, A,B)
108 fjv(filename, A, B)
109
110
111 A = 'Oktober'
112 B = 4;
113 %B = 2;
114
115 Manedlig_gjsnitt(filename, A)
116 hverdager(filename, A,B)
117 hoyesteffekt(filename, A)
118 pris(filename, A)
119 ukesfordeling(filename, A,B)
120 fjv(filename, A, B)
121
122
123 A = 'November'
124 B = 7;
125 %B = 5;
126
127 Manedlig_gjsnitt(filename, A)
128 hverdager(filename, A,B)
129 hoyesteffekt(filename, A)
130 pris(filename, A)
131 ukesfordeling(filename, A,B)
132 fjv(filename, A, B)
133
134
135 A = 'Desember'

```

```
136 B = 2;
137 %B = 7;
138
139 Manedlig_gjsnitt(filename, A)
140 hverdager(filename, A,B)
141 hoyesteffekt(filename, A)
142 pris(filename, A)
143 ukesfordeling(filename, A,B)
144 fjv(filename, A, B)
```

J.2 Lys og varme

Scriptet som er vedlagt under tar målingene fra Wago EDM og beregner gjennomsnitt for hver time og for alle dagene totalt. Temperaturmålinger kan også hentes inn for å temperaturkorrigere målingene.

```
1 clear
2
3 file = 'Lysogvarme1.xlsx';
4 data = xlsread(file, 'logfile');
5
6 %% Gjennomsnitt time for time
7
8 x1 = 0;
9 x2 = 0;
10 x5 = 0;
11 x8 = 0;
12 y1 = 1;
13 y2 = 1;
14 y5 = 1;
15 y8 = 1;
16 val1 = 0;
17 val2 = 0;
18 val5 = 0;
19 val8 = 0;
20 forrigeMinutt = 0;
21 A = length(data(:,1));
22 B = A-1;
23 C = B-1;
24 a2 = 0;
25 a8 = 0;
26
27 for i = 1:length(data(:,1))
28     if data(i,5)==3001
29         val1 = val1 + data(i,6);
30         x1 = x1 + 1;
31         minutt = data(i,4);
32         if minutt == 59
33             val = val1 / x1;
34             nyData1(y1,4) = val;
35             x1 = 0;
36             val1 = 0;
37             nyData1(y1,1:3) = [ data(i,1) , data(i,2) , data(i,3)+1 ];
38             y1 = y1 + 1;
39         end

```

```

40     end
41     if data(i,5)==3002
42         lastVal2 = val2;
43         val2 = val2 + data(i,6);
44         x2 = x2 + 1;
45         if data(i,4)==59
46             a2 = a2 + 1;
47         end
48         if data(i,4)==0 && a2 == 1
49             val = lastVal2 / x2;
50             nyData2(y2,4) = val;
51             x2 = 0;
52             val2 = 0;
53             nyData2(y2,1:3) = [ data(i,1) , data(i,2), data(i,3) ];
54             y2 = y2 + 1;
55             a2 = 0;
56         elseif data(i,4)==0 && a2 == 2
57             val = lastVal2 / x2;
58             nyData2(y2,4) = val;
59             x2 = 0;
60             val2 = 0;
61             nyData2(y2,1:3) = [ data(i,1) , data(i,2), data(i,3) ];
62             y2 = y2 + 1;
63             a2 = 0;
64         elseif data(i,4)==0 && a2 == 3
65             val = lastVal2 / x2;
66             nyData2(y2,4) = val;
67             x2 = 0;
68             val2 = 0;
69             nyData2(y2,1:3) = [ data(i,1) , data(i,2), data(i,3) ];
70             y2 = y2 + 1;
71             a2 = 0;
72         end
73     end
74     if data(i,5)==3005
75         val5 = val5 + data(i,6);
76         x5 = x5 + 1;
77         minutt = data(i,4);
78         if minutt == 59
79             val = val5 / x5;
80             nyData5(y5,4) = val;
81             x5 = 0;
82             val5 = 0;
83             nyData5(y5,1:3) = [ data(i,1) , data(i,2), data(i,3)+1 ];
84             y5 = y5 + 1;
85         end
86     end

```

```

87     if data(i,5)==3008
88         lastVal8 = val8;
89         val8 = val8 + data(i,6);
90         x8 = x8 + 1;
91         if data(i,4)==59
92             a8 = a8 + 1;
93         end
94         if data(i,4)==0 && a8 == 1
95             val = lastVal8 / x8;
96             nyData8(y8,4) = val;
97             x8 = 0;
98             val8 = 0;
99             nyData8(y8,1:3) = [ data(i,1) , data(i,2) , data(i,3) ];
100            y8 = y8 + 1;
101            a8 = 0;
102        elseif data(i,4)==0 && a8 == 2
103            val = lastVal8 / x8;
104            nyData8(y8,4) = val;
105            x8 = 0;
106            val8 = 0;
107            nyData8(y8,1:3) = [ data(i,1) , data(i,2) , data(i,3) ];
108            y8 = y8 + 1;
109            a8 = 0;
110        elseif data(i,4)==0 && a8 == 3
111            val = lastVal8 / x8;
112            nyData8(y8,4) = val;
113            x8 = 0;
114            val8 = 0;
115            nyData8(y8,1:3) = [ data(i,1) , data(i,2) , data(i,3) ];
116            y8 = y8 + 1;
117            a8 = 0;
118        end
119    end
120 end
121
122
123 %% Total lys og varme
124
125 lys = nyData1;
126 varme = nyData2;
127 avLys = avrg1;
128 avVarme = avrg2;
129
130 lys(:,4) = nyData1(:,4) + nyData5(:,4);
131 varme(:,4) = nyData2(:,4) + nyData8(:,4);
132 avLys(:,2) = avrg1(:,2) + avrg5(:,2);
133 avVarme(:,2) = avrg2(:,2) + avrg8(:,2);

```



```

134
135
136 %% Klimakompensere maalinger
137
138 temp = xlsread('Temp'); %temperaturfil fra seklima.met.no
139 for i = 1:length(temp(:,1))
140     if nyData1(:,1) == 3
141         normT = 1.9; %Avvik fra normal mars
142     elseif nyData1(:,1) == 4
143         normT = 0; %Avvik fra normal april
144     elseif nyData1(:,1) == 5
145         normT = 0; %Avvik fra normal mai
146     end
147     T = temp(i,1);
148     f = (17-6)/(17-T); % 6 -> korrigerer til aarsmiddel
149     if T >= 17
150         f = 1;
151     end
152     nyData2(i,5) = nyData2(i,4) * f;
153     nyData8(i,5) = nyData8(i,4) * f;
154 end
155
156 for i = 1:24
157     j = i;
158     sum1 = 0;
159     sum2 = 0;
160     sum5 = 0;
161     sum8 = 0;
162     x = 0;
163     if nyData1(j,2) == 28 && nyData1(j,1) == 3 && i == 2 %sommertid
164         x = 0;
165     else
166         while j <= length(nyData1(:,1))
167             sum2 = sum2 + nyData2(j,5);
168             sum8 = sum8 + nyData8(j,5);
169             j = j + 24;
170             x = x + 1;
171         end
172     end
173     avrg2(i,3) = sum2 / x;
174     avrg8(i,3) = sum8 / x;
175 end
176
177 varme(:,5) = nyData2(:,5) + nyData8(:,5);
178 avVarme(:,3) = avrg2(:,3) + avrg8(:,3);
179
180

```

```
181 %% Skrive data til excelark
182
183 xlswrite(file, nyData1, 'LysAJN', 'A2')
184 xlswrite(file, nyData2, 'VarmeAJN', 'A2')
185 xlswrite(file, nyData5, 'LysAJM', 'A2')
186 xlswrite(file, nyData8, 'VarmeAJM', 'A2')
187
188 xlswrite(file, avrg1, 'LysAJN', 'J2')
189 xlswrite(file, avrg2, 'VarmeAJN', 'K2')
190 xlswrite(file, avrg5, 'LysAJM', 'J2')
191 xlswrite(file, avrg8, 'VarmeAJM', 'K2')
192
193 xlswrite(file, lys, 'LysTot', 'A2')
194 xlswrite(file, avLys, 'LysTot', 'J2')
195 xlswrite(file, varme, 'VarmeTot', 'A2')
196 xlswrite(file, avVarme, 'VarmeTot', 'K2')
```

Vedlegg K

Poster

Effektivisering av energibruk i eksisterende bygg

Hvilke energieffektiviserende tiltak vil være hensiktsmessige å gjennomføre for å redusere energikostnader i eksisterende bygg lik Kraftbygget?

|| Aleksander Iversen || Oskar Jacobsen || Eirik C. Strand || Emma Tagseth ||

Bacheloroppgave - Prosjekt E 2122 - Våren 2021

Bakgrunn

For å nå klima- og bærekraftmålene i verden er det nødvendig å redusere energibruken. For at kraftnettet skal handlede det grønne skiftet må det bygges ut samtidig som dagens forbruk må effektiviseres. Når bygninger står for 40 % av det totale energiforbruket i Norge, vil effektivisering av energibruk i eksisterende bygninger være et godt sted å starte. Å effektivisere energibruk vil ofte gi lavere energikostnader:

Reduserte energikostnader med effektiviserende tiltak

Energikostnader utgjør en stor andel av driftskostnadene i næringsbygg som ikke er av nyeste årgang. For å kunne gi leietakere bedre vilkår ønsker Kjeldsberg Eiendomsforvaltning i Trondheim å gjøre tiltak som kan redusere energikostnadene.

Oppgaven

For å gjennomføre effektiviserings tiltak på riktig sted er det også viktig med et detaljert energimålesystem. Et slikt system er utviklet av Wago, og Wago Norge ønsker å ha et demonstrasjonsbygg som kan gi et innblikk i nytten av et slikt system. Med to ulike ønsker som kan oppfylles samtidig, har Kjeldsberg Eiendomsforvaltning og Wago Norge gitt en oppgave til bachelorgruppen for å få hjelp til dette.

Metode

Hensikten med å benytte Wago Energy Data Management er å undersøke hva energien i bygget brukes til og utifra målingene velge tiltak for å redusere energikostnadene. Deretter sammenlikne energibruken før og etter tiltak er iverksatt. Gruppen har sett på mulighetene innen følgende kategorier:

- Varme- og ventilasjonssystemet
- Belysningsanlegget
- Solceller og varmepumper

Resultater

Tiltak	Besparelse av totalt forbruk ¹⁾
Ventilasjon: Av på fridager Av tidlige på dagen Regulere oppstart varmekilder Regulere varmekilder hele dagen	0,25-0,4 % — 0,17-0,67 % 0-3,3 %
Varme: Nattsenkning	11,4-22,8 %
Lys: Bytte lysarmaturer ²⁾ Tilstedeværelsesdetsisjon ³⁾ Dagslyssyning ⁴⁾	4,8-15 % 0-5,5 % 0,6-2,4 %
Solceller: 56-218 paneler	0,9-3,3 %
Varmpumper: ⁵⁾	ca. 6-30 %

1) Beregnet ut fra 180kWh/m²/år, 2) Beregnet med driftstiden 12,5/52

3) Beregnet med malt forbruk og på-timer¹ iuke 18

4) Utsangspunkt i ca. 16% fra andre rapporter

5) Med utgangspunkt i tall fra Enova og at ca. 65% av totalt forbruk er varme

Alle tiltakene som gir en reduksjon i energiforbruk er oppsummert i tabell ovenfor. Tabellen gir en oversikt over tiltakenes besparelse, gitt av en prosentvis andel av det totale forbruket i Kraftbygget. Tiltakene som fokuserer på reduksjon i effektivtopp eller energikostnad uten å redusere forbruk er ikke tatt med i tabellen.

Konklusjon

Rapporten har undersøkt og drøftet ulike tiltak som kan gjennomføres i eksisterende bygg med utgangspunkt i Kraftbygget. Hensikten med tiltakene er at de skal redusere energikostnadene.

Med utgangspunkt i tabell under resultat delen, kan vi konkludere med at de ulike tiltakene gruppen har sett på faktisk gir besparelse. Noen av tiltakene er mer gunstige enn andre, spesielt varme- og belysningsystemet. Disse er store energiforbrukere og besparelsen deretter. Bruk av varmepumpe er også svært gunstig.



