

Energibruk og inneklima i lavenergi kontorbygning

Andreas Owren Sangnes

Master i energi og miljø

Oppgaven levert: Juni 2011

Hovedveileder: Hans Martin Mathisen, EPT

Biveileder(e): Natasa Djuric, EPT

EPT-M-2011-06

MASTEROPPGAVE

for

Stud.techn. Andreas Sangnes

Våren 2011

Energibruk og inneklima i lavenergi kontorbygning*Energy use and indoor environment in a low-energy office building***Bakgrunn**

Bygningssektoren står for ca 40 % av den totale landbaserte energibruken i Norge. Tallene for EU er omtrent tilsvarende og globalt bidrar denne sektoren vesentlig til energibruk og utslipp av CO₂. Men det er også slik at det, sammenlignet med andre sektorer, på relativt kort sikt og med forholdsvis rimelige kostnader kan gjøres betydelige reduksjoner i energibruken i bygninger.

Dette har ført til stort fokus på utvikling av løsninger som gir vesentlig lavere energibruk enn dagens i bygninger, slik som lavenergibygninger, passivhus og nullutslippsbygninger. NTNU/SINTEFs FME prosjekt "The Research Centre on Zero Emission Buildings – ZEB" har som mål å bidra til utvikling av framtidens nullutslippsbygninger.

Som et ledd i dette arbeidet er det nødvendig med mer kunnskap om reell energibruk totalt og fordelt på ulike bygningsdeler, tekniske komponenter og systemer i de beste av dagens løsninger, samt hvordan klima- og bruksbelastninger virker inn på dette.

KLP Eiendom tok 2009 i bruk Prof Brochs gt 2 i Teknobyen. Bygningen har en utførelse og tekniske løsninger som tilsier en energibruk som er vesentlig lavere enn dagens forskriftskrav, men det er så langt ikke gjennomført en fullstendig analyse av alle forhold knyttet til energibruk og energistømmer i bygningen.

Mål

Målet med oppgaven er å kartlegge total og formålsdelt energibruk for Prof Brochs gt 2, slik at de valgte løsninger kan vurderes opp mot de mål som er satt for energibruk i denne bygningen. Dessuten skal det undersøkes om de benyttede tekniske og bygningsmessige løsninger bidrar til å gi et tilfredsstillende inneklima.

Det skal også gjøres en helhetsvurdering av de valgte løsninger med tanke på anvendelse i framtidige nullutslippsbygninger og en sammenligning med andre aktuelle løsninger ut fra energibruk, miljøeffekter og økonomi, samt en vurdering av behov for utvikling av nye løsninger.

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veileder. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesssteknikk.

I henhold til "Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet" ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

Ett -1 komplett eksemplar av originalbesvarelsen av oppgaven skal innleveres til samme adressat som den ble utlevert fra. Det skal medfølge et konsentrert sammendrag på maksimalt én maskinskrevet side med dobbel linjeavstand med forfatternavn og oppgavetittel for evt. referering i tidsskrifter).

Til instituttet innleveres to - 2 komplette kopier av besvarelsen. Ytterligere kopier til eventuelle medveiledere/oppgavegivere skal avtales med, og eventuelt leveres direkte til de respektive. Til instituttet innleveres også en komplett kopi (inkl. konsentrerte sammendrag) på CD-ROM i Word-format eller tilsvarende.

NTNU, Institutt for energi- og prosesssteknikk, 17. januar 2011



Olav Bolland
Instituttleder



Hans Martin Mathisen
Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder(e)
Natasa Djuric

Forord

Denne rapporten er en besvarelse på masteroppgaven *Energibruk og inn klima i lavenergi kontorbygning*. Masteroppgaven er utarbeidet ved Institutt for energi- og prosessteknikk ved Norges tekniske naturvitenskapelige universitet våren 2011. Oppgaven er gjennomført i tilknytning til NTNU/SINTEF prosjektet "The Research Center on Zero Emission Buildings – ZEB". Oppgaven har en belastning på 30 studiepoeng og er den avsluttende delen av masterprogrammet Energi og Miljø ved NTNU.

På grunn av dårlig kvalitet på tilgjengelig energibruksdata i Energioppfølgingssystemet til Entro ble noen punkter i denne rapporten mer usikre en ønsket. Likevel gir resultatene et godt innblikk i energibruken til bygget. I tillegg skal det nevnes at noen punket av oppgaven ble vanskelige å gjennomføre på grunn av manglende tilgjengelig loggdata i Entro eller sentral drift (SD) anlegget i bygget. Noe bestemmelse av COP faktor til varmepumpe og kjølemaskin var derfor ikke mulig uten omfattende simuleringer, samt at kun gjennomsnittlige SFP faktorer i driftstiden ble funnet.

Jeg vil rette en stor takk til min hovedveileder, professor Hans Martin Mathisen ved NTNU/SINTEF for faglig bistand og veiledning i utarbeidelsen av denne rapporten. En stor takk skal også rettes til min biveileder Natasa Djuric ved SINTEF for mye gode innspill og ideer til oppgaven, samt for å ha brukt mye til på hente energibruk- og inn klimadata fra Entro og SD-anlegget ved PB2.

Til slutt vil jeg takke min samboer Alvilde for god støtte under arbeidet med denne rapporten.

Trondheim, 10. Juni 2011



Stud.tech Andreas Owren Sangnes

Sammendrag

I september 2009 tok KLP Eiendom i bruk kontorbygget i Professor Brochs gate 2 (PB2) i Teknobyen i Trondheim. Denne bygningen har klimaskjerm og tekniske løsninger som tilsier langt lavere energibruk enn dagens forskriftskrav. Romoppvarmingen i PB2 er kun basert på fjernvarme, med gulvvarme i deler av 1. etasje og radiatorer i resten av bygget. Romkjøling gjøres kun via ventilasjonsanlegget med en kombinert kjølemaskin/varmepumpe tilkoblet kjøle-/varmebatteri i ventilasjonsaggregatene. Et annet mekanisk kjøleanlegg med tørrkjølere på tak dekker IT- og serverrom. Anlegg for snøsmelt dekker ca. 400m² ved PB2 der fjernvarme også er energikilden.

Ventilasjonen i bygget dekkes av 8 ventilasjonsaggregater der alle anleggene er behovstyrt etter tilstedeværelse eller CO₂. Ventilasjonsvifter og VAV spjeld styres etter såkalte optimizersystemer med optimal styring av tilluftstrykk. Ventilasjonsluftoppvarming gjøres i sekvens der høyeffektiv roterende varmegjenvinner dekker første oppvarmingen, et kombinert varme- og kjølebatteri tilkoblet luft-vann varmepumpe tar videre oppvarming. Er ikke dette tilstrekkelig finnes et andre varmebatteri tilkoblet fjernvarme som tar resterende luftoppvarming.

PB2 har et omfattende EOS og SD-anlegg med totalt 72 målere. Likevel finnes ikke måler på fjernvarmeforbruk til snøsmeltanlegget. Tilgjengelig energibruksdata i EOS database har til dels dårlig kvalitet med hele 23% av 2010 uten registrerte data. Dette er fordelt på både lange og kortvarige perioder. I tillegg viser flere av fjernvarmemålerne direkte feil forbruk i perioder med meget lavt forbruk.

Spesifikk levert energi til PB2 var i 2010 på 115,5 kWh/m²år som etter energimerkeordningen gir energikarakter B. Dette forbruket er fordelt på 68,9 kWh/m²år elektrisitet og 46,6 kWh/m²år fjernvarme. Forbruket er høyere enn målsetningen på 94 kWh/m²år. I tillegg skal det her nevnes at bygningen ikke har vært fullt utleid i 2010 slik at forbruket kan antas å øke ytterligere.

På grunn av den dårlige kvaliteten på tilgjengelige energidata fra undermålerene ble det utført en korrigeringsprosess på disse dataene som bedret kvalitet på data med 20 %, likevel antas disse dataene å ha en feil på mellom 8 og 24% også etter korrigeringen. Ut fra disse dataene fantes spesifikk levert energi til romoppvarming til 27,7 kWh/m²år, ventilasjons oppvarming til 12 kWh/m²år, tappevann til 3,3 kWh/m²år, vifter og pumper til 7,4 kWh/m²år, belysning til 16,4 kWh/m²år, teknisk utstyr til 23,6 kWh/m²år samt kjøling til 9,4 kWh/m²år. Det er hovedsakelig romoppvarmingen som er betydelig høyere enn målsetning.

Angående drivende faktorer for energibruk i PB2 er følgende konkludert: Tilstedeværelse driver elektrisitetsforbruk til belysning og teknisk utstyr, samt ventilasjonsvifter og

tappevann. Utetemperaturen driver fjernvarmeforbruket til radiatorer, ventilasjonsaggregater samt gulvvarme. I tillegg er varmepumpeanlegg 35.01 påvirket av utetemperaturen med lavest forbruk rundt 12°C, og økende ved høyere og lavere temperaturer. Brukeratferd og antall person som jobber i bygget har også stor innvirkning på energibruk til vifter, serverrom, utstyr og tappevann.

Betraktninger av innetemperaturen på tre utvalgte kontorer i PB2 viser tilfredsstillende innetemperatur på alle tre kontorer i perioden. Variasjonen mellom hver av kontorene er til dels stor men dette antas å være på grunn av muligheten for individuell regulering av temperaturen på hver cellekontor. Likevel skal det nevnes at kontor 1 har en ugunstig temperaturfordeling i perioden med tanke på energibruk, der temperaturer er lavere i perioder med kjølebehov enn i perioder med varmebehov.

Det er identifisert en del forhold ved PB2 som ikke er optimale løsninger. Det kan her nevnes lav utnyttning av kondensatorvarme fra kjøleanlegg, unødvendig høyt gulvvarmeforbruk, unødvendig bruk av fjernvarme og varme fra varmepumpe i varmebatterier i ventilasjonsaggregater, samt relativt høyt energiforbruk utenfor driftstid til belysning og teknisk utstyr.

Skulle PB2 blitt bygd med tanke på målsetning om nullutslipp vil tiltak som lavtemperatur varmeanlegg med akkumulatortanker tilkoblet solfanger og vann-vann varmepumpe kunne vært en aktuell løsning. I tillegg anbefales bruk av passiv kjøling primært og frikjøling med varmepumpebrønnene som varmesluk sekundært. Ventilasjonsluftoppvarming burde dekkes av høyeffektive roterende varmegjennvinnere primært, samt varmebatteri tilkoblet akkumulatortanker i varmeanlegget sekundært. Tilstedeværelse og dagslyskorrigert styring av høyeffektive lyskilder ville minimert forbruket til belysning.

Skal nullutslippsbygg kunne bli en realitet i kalde klima som i Norge vil behovet for videreutvikling av eksisterende og nye løsninger være stort. Det kan her spesielt nevnes utvikling og mer kjennskap til høyeffektive varmegjennvinnere, forenklede lavtemperatur vannbårne systemer inkludert akkumulatortank, luftbåren oppvarming og frikjøling via ventilasjon, samt bruk av kulvert i hybride systemer for passiv forvarming/kjøling av ventilasjonsluft. Robuste og stabile styringssystemer er også helt essensielt her for å oppnå optimalt samspill mellom de ulike systemene i bygget. For å redusere behovet til elektrisitet til belysning og teknisk utstyr til et minimum er både meget energieffektivt utstyr, gode styringsprinsipper og en holdningsendring blant brukerne nødvendig.

Abstract

The office building in Professor Brochs gate 2 (PB2) in Teknobyen in Trondheim was opened in September 2009. This building has climate shield and technical solutions that suggests far less energy than current regulatory requirements. The space heating in PB2 is based on district heating with floor heating in parts of the 1st floor, and radiators in the rest of the building. Space cooling is only provided through the ventilation system with a cooling unit/heat pump connected to a cooling coil in the ventilation units. Another mechanical cooling unit with dry coolers on the roof supplies the computer servers with cooling. The ventilation in the building is covered by eight air handling units where all units are controlled by the presence or CO₂. Ventilation fans and VAV dampers is controlled by optimizer systems with optimal regulation of the inlet pressure. The heating of air in the ventilation units is done in a sequence. First a high efficiency rotary heat exchanger, then a combined heating and cooling coil connected to the air-water heat pump. If this is not enough there is a second heating coil connected to district heating that takes the remaining air heating.

PB2 has an extensive system for energy measurements with 72 energy meters. Also the system for central operations of the whole building is very good. Still there are no measures in district heating consumption for the snow melting system in the building. Available energy data in the energy measurement database has poor quality by 23% of 2010 without recorded data. In addition, a number of energy meters for district heating are measuring wrong consumptions during periods with very low consumption.

Specific supplied energy to the PB2 in 2010 was 115.5 kWh/m²*year that gives an energy rating B. This consumption is distributed between 68.9 kWh/m²*year and 46.6 kWh/m²*year of electricity and district heating. This consumption is higher than the target of 94 kWh/m²*year. It must also be mentioned that the building has not been fully leased in 2010, so the consumption is likely to increase the next year.

Because of the poor quality of the available energy data it was carried out a correction process on these data that improved the quality of the data by 20%. Still the data are assumed to have an error of between 8 and 24%, even after the correction. From these data the specific supplied energy for space heating was 27.7 kWh/m²*year, ventilation, heating to 12 kWh/m²*year, hot tap water to 3.3 kWh/m²*year, fans and pumps to kWh/m²*year, lighting to 16, 4 kWh/m²*year, technical equipment to 23.6 kWh/m²*year and cooling to 9.4 kWh/m²*year. It is mainly space heating that is significantly higher than the target.

Regarding the driving factors for energy use in the PB2, the following conclusion was made: The presence in the offices drives electricity consumption for lighting, technical equipment, ventilation fans and hot tap water. The outdoor temperature drives the consumption of district heating in the radiators, the floor heating and in the air-handling units. In addition,

the heat pump system 35.01 is influenced by the outdoor temperature with the lowest consumption when the temperature is 12 ° C. The heat pump consumption is increasing at higher and lower temperatures. User behavior and number of persons that are working in the building has also a major impact on energy use for fans, server rooms, technical equipment and hot tap water.

Considerations of indoor temperatures of the three selected offices in PB2 show satisfactory indoor temperature in all three offices in the period. The differences in the temperature between each office are sometimes quite big but this is believed to be preferred by the person that uses the office. Nevertheless, it should be mentioned that office number one has an unfavorable temperature distribution in the period in terms of energy, since the indoor temperature in the office is lower during periods with cooling demand than in periods with heating demand.

It is identified a number of aspects in PB2 that are not optimal solutions. It may be mentioned low utilization of heat from the condenser, the floor heating has unnecessarily high consumption, unnecessary use of district heating and heat pump in the heating coils in air handling units, as well as relatively high energy consumption for lighting and technical equipment outside the operation hours of the building.

Changes in the technical solutions in PB2 should be done to achieve the needs in a zero emission building. A low-temperature heating system with accumulator tanks connected to a solar collector and a ground heat pump could be a relevant solution. The cooling demand should be covered primary with use of passive cooling, and secondary with free cooling with heat pump wells as a heat sink. The heating in the air-handling units should primarily be covered by high-efficiency heat exchangers, and secondary from heating coils connected to the accumulator tanks. Daylight control of high-efficiency light sources would minimize the consumption for lighting in PB2.

If zero emission buildings could become a reality in the cold Norwegian climate, a major development of existing and new solutions is necessary. Especially the needs for development and more knowledge about high-efficiency heat exchangers, simplified low-temperature hydronic systems including accumulator tanks, air-borne heating systems, and use of culverts in hybrid systems for passive pre-heating/cooling of ventilation air is necessarily. Robust and reliable control systems are also essential to achieve optimum interaction between the various systems in the building. To minimize the need for electricity for lighting and technical equipment it is necessarily with highly energy efficient equipment, good control systems and a change of attitude among the users.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	III
Abstract	V
Innholdsfortegnelse	VII
Figurliste	X
Tabelliste	XII
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Rapportens oppbygning	1
2 Professor Brochs gate 2	3
2.1 Beliggenhet	3
2.2 Beskrivelse	3
2.3 Bygningskonstruksjon	4
3 Bygningers energibehov	5
3.1 Begrepsavklaring	5
3.2 Energimerkeordningen	6
3.3 NS 3031	7
3.4 Enovas byggstatistikk	8
4 Tekniske systemer	9
4.1 Ventilasjon og klimatisering	9
4.1.1 Styringsprinsipper	13
4.1.2 Ventilasjonsprinsipper	13
4.2 Varmepumper og kjøleanlegg	14
4.2.1 Varmepumpers effektfaktor, COP	14
4.2.2 Varme/kjøleanlegg 35.01.....	14
4.2.3 Kjøleanlegg for IT rom.....	15
4.3 Varmeanlegg	17
4.3.1 Radiatorkrets	18
4.3.2 Gulvvarme	18
4.3.3 Snøsmelt.....	19
4.4 Klimatisering i PB2	19
4.5 Belysning	20
4.6 Solskjerming	21
4.7 Styringssystemer og energioppfølging	21
4.7.1 SD-anlegg.....	21
4.7.2 EOS-system	21
5 Energibruk	23
5.1 Kvalitet på data fra Entro	23
5.2 Opprinnelig og korrigert energibruk	25
5.2.1 Elektrisitet.....	27

5.2.2	Fjernvarme.....	28
5.3	Total energibruk.....	31
5.3.1	Levert energi	31
5.3.2	Graddagskorrigert energibruk.....	33
6	Formålsdelt energibruk.....	35
6.1	Andel el. og fjernvarme.....	35
6.2	Elektrisitet	36
6.2.1	Elektrisitet fordelt på ulike poster.....	36
6.2.2	Klassifisering av elektrisitetsposter.....	38
6.3	Fjernvarme.....	40
6.3.1	Fjernvarme fordelt på ulike poster	40
6.3.2	Klassifisering av fjernvarme poster	42
6.4	Belysning og teknisk utstyr i de ulike bygningsdelene.....	43
6.5	Spesifikk vifteeffekt, SFP.....	45
6.6	Målt energibruk mot prosjektert energibruk og Norsk standard.....	48
6.6.1	Levert energi	48
6.6.2	Målt energi til underposter.....	49
6.7	Ukesforbruk.....	50
7	Drivende faktorer	55
7.1	Tilstedeværelse	55
7.2	Utetemperatur	57
7.3	Solinnstråling.....	58
7.4	Brukeratferd og antall personer i bygget	59
7.5	Kvaliteter på bygg og utstyr	62
8	Inneklima	63
8.1	Termisk komfort.....	63
8.1.1	Bekledning	63
8.1.2	Aktivitetsnivå.....	64
8.1.3	Operativ temperatur, t_0	64
8.2	Inneklima i Miljøbygget.....	65
9	Forbedringspotensialet ved PB2, og de valgte tekniske løsningsers egnethet for bruk i Zero Emission Buildings (ZEB).....	71
9.1	Varmeanlegg.....	71
9.2	Kjøle- og varmepumpeanlegg.....	72
9.3	Ventilasjonsanlegg	73
9.4	Belysning og annet teknisk utstyr	77
9.4.1	Belysning	77
9.4.2	Teknisk utstyr	78
10	Behov for nye tekniske løsninger i næringsbygg i ZEB sammenheng.....	81
10.1	Utfordringer og mangler med dagens ventilasjonsløsninger	81
10.1.1	Komponenter i ventilasjonsanlegget	81
10.1.2	Styringssystemer og kompetanse	82
10.1.3	Prosjektering, service og vedlikehold.....	83
10.1.4	Inneklima.....	84
10.2	Utfordringer og mangler med dagens varme- og kjølesystemer	84
10.2.1	Oppvarming	84

10.3	Kjøling i nullutslippsbygg	86
10.4	Utfordringer innen tappevannsforsyning i næringsbygg	87
10.4.1	Kombinerte systemer for tappevann, rom- og ventilasjonsoppvarming.....	87
10.4.2	Sirkulasjonstap i tappevannskretsen.....	87
10.5	Fremtidig utvikling innen belysning og annet teknisk utstyr	88
10.5.1	Belysning.....	88
10.5.2	Teknisk utstyr	88
10.6	EUs Økodesigndirektiv	89
11	Helhetsvurdering av alternative løsninger for PB2 med tanke på energibruk, miljøeffekter og økonomi	91
12	Konklusjon	93
13	Forslag til videre arbeid	95
14	Kilder	97
15	Vedlegg	i
	Vedlegg A	i
	Vedlegg B Graddagskorrigering	iv
	Vedlegg C	v
	Vedlegg D	v

Figurliste

Figur 1, Animasjon PB2.....	3
Figur 2, Energikarakter for ulike bygningskategorier etter energimerkeordningen (NVE, 2010)	7
Figur 3, Gjennomsnittlig stedskorrigert spesifikk tilført energi i 2008 for de største bygningsgruppene.....	8
Figur 4, Byggfordeling (Djuric, 2010 a)	9
Figur 5, Oppbygning av ventilasjonsaggregat 36.01 (Djuric, 2011).....	10
Figur 6, Oppbygning av ventilasjonsaggregat 36.07 (Djuric, 2011).....	11
Figur 7, Oppbygning av ventilasjonsaggregat 36.08 (Djuric, 2011).....	12
Figur 8, Fortrengningsventilasjon i glassgården	13
Figur 9, Skjematisk tegning av luft-vann varmepumpen med tilkobling av varme/kjølebatteriene i ventilasjonsaggregatene (Djuric, 2010).....	15
Figur 10, Kjøleanlegg 35.02 for IT rom med mulighet for tilbakeføring av kondensatorvarme til varmeanlegget (Djuric, 2010)	16
Figur 11, Prosjektert fordeling av kjøleeffekt i IT-rom fra kjøleanlegg 35.02 (Djuric, 2010) ..	16
Figur 12, Fjernvarmesystemet tilkoblet gulvvarme, radiatorkrets og snøsmelt, samt ettervarmebatterier i ventilasjonsaggregatene (Djuric, 2010)	17
Figur 13, Lokaler i 1.etg nordre del i østre blokk	18
Figur 14, Reguleringspanel for individuell regulering av temperatur på cellekontorer (t.v.) og radiator med elektronisk reguleringsventil (t.h.)	18
Figur 15, Oversikt over sammensetningen av de ulike klimatiserings- og varmeanleggene (Djuric, 2010)	19
Figur 16, Bevegelsessensor på lysarmatur	20
Figur 17, Utvendig solskjerming PB2	21
Figur 18, Solskjerming med faste lameller	21
Figur 19, Eksempel på fjernvarmemåler (t.v.) og varmesentral med målere på henholdsvis radiatorkrets, ventilasjonsaggregater og tappevann (t.h.).....	22
Figur 20, Differanse mellom korrigert og opprinnelig målt el.forbruk, pluss TEV måler.....	28
Figur 21, Differanse mellom korrigert og opprinnelig målt fjernvarmeforbruk, pluss TEV måler. Tallene i tabellen viser målt forbruk i kWh for de ulike målerne	30
Figur 22, Levert energi per døgn, både fastkraft og fjernvarme for 2010.	32
Figur 23, Fjernvarmeforbruk samt utetemperatur i 2010. Døgnforbruk.	33
Figur 24, Andel elektrisitet og fjernvarme i alle måneder i 2010. Tall i kakediagram viser totalt forbruk av el. og fjernvarme i den respektive måneden. Rødt viser elektrisitetsforbruk og blått viser fjernvarmeforbruk. Sum av undermålere er brukt som kilde.	35
Figur 25, Elektrisitetsforbruk på ulike poster per måned i 2010. Basert på undermålere.....	36
Figur 26, Elektrisitetsforbruk fra TEV måler og summen av undermålere.....	37
Figur 27, Antall brukere i PB2 (Djuric, 2011)	37
Figur 28, Elektrisitetsfordeling i prosent for ulike poster per måned i 2010. Basert på undermålere.	38
Figur 29, Klassifisering av elektrisitetsforbruk i alle måneder i 2010. Tall i kakediagram viser prosentvis forbruk. Basert på undermålere.....	39
Figur 30, Fjernvarmeforbruk på ulike poster per måned i 2010. Basert på undermålere.....	40
Figur 31, Fjernvarmeforbruk fra TEV måler og summen av de fire undermålerene for fjernvarme	41

Figur 32, Fjernvarmefordeling i prosent for ulike poster per måned i 2010. Basert på undermålere.	41
Figur 33, Klassifisering av fjernvarmeforbruk i alle måneder i 2010. Tall i kakediagram viser prosentvis forbruk. Basert på undermålere.....	42
Figur 34, Fordelinger for belysning og stikk i Professor Brochs gate 2	43
Figur 35, (t.v) Gjennomsnittlig tilstedeværelse gjennom døgnet, samt gjennomsnittlig tilstedeværelse i driftstiden i tre kontorer gjennom hele 2010. (t.h) Gjennomsnitt av de tre kontorene gjennom døgnet og gjennomsnittet i driftstiden.....	46
Figur 36, Elektrisitetsforbruk i uke 24 i 2010 for ulike poster.	51
Figur 37, Fjernvarmeforbruk i uke 24 i 2010 for ulike poster, samt gjennomsnittlige timeverdier for utetemperatur.....	52
Figur 38, Elektrisitetsforbruk i uke 47 i 2010 for ulike poster.	52
Figur 39, Fjernvarmeforbruk i uke 47 i 2010 for ulike poster, samt gjennomsnittlige timeverdier for utetemperatur.	53
Figur 40, Lys og stikk/utstyr i de fire ulike bygningsdelene i PB2 plottet mot hverandre. Data fra undermålere korrigert.	56
Figur 41, Elektrisitet til ventilasjonsvifter og fjernvarmeforbruk til tappevann plottet mot totalt lys. Data fra undermålere korrigert.....	56
Figur 42, Fire ulike fjernvarmeforbruk sortert og plottet mot utetemperatur. Data fra undermålere korrigert og utetemperaturmåler.....	57
Figur 43, Elektrisitetsforbruk til kompressorer i anlegg 35.01 og 35.02 plottet mot utetemperatur.....	58
Figur 44, Månedlig energibruk til belysning per bygningsdel	59
Figur 45, Månedlig energibruk til utstyr per bygningsdel	60
Figur 46, Månedlig energibruk til ventilasjonsvifter og serverrom	61
Figur 47, Månedlig fjernvarmeforbruk til tappevann.....	61
Figur 48, Optimal operativ temperatur som funksjon av bekleddning og aktivitetsnivå (Novakovic V. et al., 2007).....	65
Figur 49, Plassering av kontorer (merket med rødt) som analyseres mtp innetemperatur. Etasje 4.....	66
Figur 50, Innetemperaturer i de tre utvalgte kontorene fra mai 2010 til mai 2011.....	67
Figur 51, Innetemperatur og tilstedeværelse i uke 27 i 2010	69
Figur 52, Innetemperatur og tilstedeværelse i uke 47 i 2010	70
Figur 53, Avvik i målt tillufttemperatur i 36.01	74
Figur 55, Planskisse kjeller.....	i
Figur 56, Planskisse 1. etg.....	i
Figur 57, Planskisse 2. etg.....	i
Figur 58, Planskisse 3. etg.....	ii
Figur 59, Planskisse 4. etg.....	ii
Figur 60, Planskisse 5. etg.....	ii
Figur 61, Planskisse 6. Etg	iii
Figur 62, Varmepådrag (gjenvinning, kjøle- og varmebatteri) i ventilasjonsanlegg 36.05 (Djuric, 2011)	v
Figur 63, Varmepådrag (gjenvinning, varmebatteri) i ventilasjonsanlegg 36.05 (Djuric, 2011)	v

Tabelliste

Tabell 1, Arealstørrelse og type i de ulike etasjene i PB2 (KLP Eiendom, 2009)	4
Tabell 2, Varmegjennomgangsverdi for ulike bygningsdeler i Prof. Brochs gt. 2	4
Tabell 3, Standardverdier for effekt- og energibehov for belysning, utstyr og varmtvann i driftstiden (Standard Norge, 2007)	8
Tabell 4, Plassering av ventilasjonsaggregater i PB2	9
Tabell 5, Dimensjonerende luftmengde i de ulike ventilasjonsaggregatene	12
Tabell 6, Tur/retur temperaturer i varmeanlegget i PB2.....	18
Tabell 7, Veiledende klimatabell for PB2 (KLP Eiendom, 2007)	20
Tabell 8, Oversikt over undermålere tilknyttet EOS-systemet.....	22
Tabell 9, Manglende data per måned	23
Tabell 10, Manglende data per måler	25
Tabell 11, Total levert energi til PB2 i 2010. Basert på tall fra TEV måler.	31
Tabell 12, Målte og graddagskorrigererte verdier for fjernvarmeforbruk til ventilasjon, radiatorkrets og gulvvarme.....	34
Tabell 13, Oppvarmet areal i PB2 i de ulike bygningsdeler og etasjer	44
Tabell 14, Spesifikk energiforbruk til belysning og stikk i de ulike bygningsdelene. Korrigert areal fra tabell 9 er benyttet som areal.	45
Tabell 15, Gjennomsnittlige SFP-faktorer i driftstiden for de ulike aggregatene i Professor Brochs gate 2	47
Tabell 16, Levert energi og spesifikk levert energi for PB2 i 2010. Verdier fra TEV måler. Areal brukt: 13093 m ²	48
Tabell 17, Sammenlikning av energiforbruk til ulike poster. Målte verdier fra undermålere i PB2. Areal brukt: 13093m ²	50
Tabell 18, Bygningsdeler og utstyrs betydning for netto energibehov	62
Tabell 19, Isoleringsverdier for typiske bekledninger (Novakovic V. et al., 2007)	64
Tabell 20, Fordeler og ulemper med omrøring-, fortregning- og under-floor ventilasjon ...	76

1 Innledning

Kontorbygget i Professor Brochs gate 2 stod ferdig i september 2009 og er et av landets mest energieffektive bygg innen sin klasse. Bygget er et forbildeprosjekt hos Enova og ble i 2009 kårets til årets bygg på Byggedagene i Oslo. Målsetningene for energibruk i dette lavenergibygget er derfor høye. Hovedtemaet til denne rapporten blir derfor å ta utgangspunkt i disse målsetningene og se på den reelle energibruken totalt, og til ulike bygningsdeler og tekniske systemer.

1.1 Bakgrunn

I Norge står bygningssektoren for ca. 40% av den totale landbaserte energibruken, og tallene for EU er omtrent tilsvarende. Det er også hevdet at bygningssektoren er den sektoren hvor det raskest og rimeligst kan gjøres endringer for å redusere energibruken. Dette har ført til stort fokus på utvikling av løsninger som gir vesentlig lavere energibruk enn dagens løsninger, slik som lavenergibygninger, passivhus og nullutslippsbygninger. Som et ledd i denne utviklingen har flere forskningsprosjekter rundt dette blitt opprettet, blant annet NTNU/SINTEFs FME prosjekt "The Research Center on Zero Emission Buildings – ZEB". Denne rapporten er skrevet i tilknytning til dette prosjektet.

Det finnes mye simuleringer og beregninger av energibruk for ulike bygninger i Norge, men tall på reelt energibruk ved moderne bygninger er mangelfullt. Det er så langt heller ikke gjennomført en fullstendig analyse av energibruk og energistrømmer ved PB2.

Etter snart to års drift i Prof. Brochs gate 2, også kalt PB2 eller Miljøbygget i denne rapporten, kan det ved hjelp av måledata fra EOS og SD-anlegg gjøres en evaluering av faktisk energibruk for bygget. Forsker Natasa Djuric har fulgt dette kontorbygget fra prosjektering til ferdigstilling og har sett mye på funksjonskontroll til dette bygget i denne perioden. Mye av hennes materiell her vært tilgjengelig gjennom arbeidet med denne rapporten og har vært en gode kilder for informasjon. Natasa har også utarbeidet *Funksjonskontroll rapport ved Professor Brochs gate 2 (Djuric, 2011)* som har vært en nyttig kilde.

1.2 Rapportens oppbygning

I kapitel to i denne rapporten presenteres kort bakgrunnsinformasjon om Professor Brochs gate 2. Her inkluderes beliggenhet og bygningsmessig oppbygning.

Videre i tredje kapittel blir energibegreper brukt videre i rapporten definert og forklart, samt at deler av energimerkeordningen og NS3031 blir kort behandlet.

Kapitel fire inneholder en grundigere beskrivelse av alle tekniske anlegg som er av interesse i PB2. Her blir blant annet oppbygning, virkemåte og driftstider beskrevet. I tillegg blir energioppfølgingssystemene og sentral drift anlegget i bygget presentert.

I kapitel fem begynner analysen av energibruken i PB2. På grunn av feil, mangler og unøyaktigheter i tilgjengelig energibruksdata for bygget ble det først satt opp en oversikt over dette, før en korrigering av undermålerens registrerte data ble korrigert opp mot målerene fra Trondheim Energi (TEV). Korrigeringen ble gjort av Natasa Djuric ved SINTEF. Dette ble gjort for å få data med høyere kvalitet til videre analyse. Videre i kapitel fem blir totalt forbruk av elektrisitet og fjernvarme presentert og sammenliknet med utetemperaturen ved PB2 gjennom 2010. Graddagskorrigert energibruk for 2010 blir også presentert.

I sjette kapitel blir energiforbruk til ulike poster i bygget presentert og analysert ved samtlige måneder i 2010. En klassifisering av forbruket til de ulike postene hver måned blir også presentert. Elektrisitet til belysning og teknisk utstyr i fire ulike bygningsdeler i PB2 blir også sammenliknet og analysert. Gjennomsnittlig spesifikk vifteeffekt (SFP) til de ulike ventilasjonsanleggene i bygget blir også grovt bestemt ut fra gjennomsnittlig effekt til vifter, dimensjonerende luftmengde og gjennomsnittlig tilstedeværelse på kontorene. I dette kapitlet blir også målt energibruk sammenliknet med målsetningen til bygget, NS3031 og *Kriterier for passivhus- og lavenergi – Yrkesbygg*. Til slutt blir grafer over forbruket av elektrisitet og fjernvarme til ulike poster gjennom to utvalgte uker i 2010 presentert, og ukes- og døgnvariasjonene blir kommentert.

Syvende kapitel gir en oversikt over hvilke faktorer som driver energibruk til de ulike postene i bygget. Her blir en analyse på hvilke poster som drives av tilstedeværelse, utetemperatur og antall personer som jobber i bygget gjort. I tillegg blir solinnstrålingen og kvaliteten på bygg og utstyrs betydning for energibruken til bygget kort omtalt.

Innetemperaturen i tre kontorer i Professor Brochs gate 2 blir i kapitel åtte evaluert med tanke på energibruk og godt inneklima. Her blir innetemperaturen sett på over året 2010, samt at en varm uke i juni og en kald uke i november blir nøyere analysert.

Kapitel ni omhandler kort forbedringspotensialer ved de tekniske løsningene valgt i PB2, samt løsningenes egnethet for bruk i nullutslippsbygg. På grunn av større vektlegging på andre temaer, samt avgrensning av oppgaven, blir ikke noe dypere beregninger på økonomi eller klimagassutslipp utført på eksisterende eller alternative løsninger.

I tiende og avsluttende kapitel blir behovet for nye tekniske løsninger i næringsbygg med målsetning om nullutslipp evaluert. Her blir mulige løsninger kort omtalt samt systemer og krav for større fokus på energieffektive installasjoner i bygninger.

2 Professor Brochs gate 2

Professor Brochs gate 2 ble erklært åpnet den 9. September 2009. Bygget er eid av KLP Eiendom og inngår som en del av Teknobyen i Trondheim. Dette lavenergi kontorbygget er et av landets mest energieffektive kontorbygg med sterke målsetninger for energibruken. Enova har støttet dette forbildeprosjektet med 850.000 kr som vil fungere som et referanseprosjekt for redusert energibruk i bygg i fremtiden. Prosjektets totale bruttoareal (BTA) er 16394 m², hvorav 3301 m² er parkeringskjeller, ifølge KLP Eiendom.

Dette kapitlet beskriver kort bygget og dets beliggenhet. Grundigere beskrivelser av de tekniske systemene i bygningen finnes under kapitel 4.

2.1 Beliggenhet

Professor Brochs gt. 2 eller Miljøbygget som dette bygget også kalles, har en sentral beliggenhet langs Elgesetergata i Trondheim med nærhet til NTNU og SINTEF på den ene siden og det nye universitetssykehuset St. Olavs Hospital på den andre siden. Bygningen inngår som en del av Teknobyen i Trondheim sammen med Abelsgt 5 (Teknobyen Innovasjonssenter) og Prof. Brochs gt. 6 (Trikkehallen). KLP Eiendom har som langsiktig målsetning å samle kunnskapsbedrifter og legge til rette for kunnskapsbasert virksomhet ved Teknobyen.

Miljøbygget er plassert kun få meter fra E6 ca. 500 meter sør for Trondheim sentrum.



Figur 1, Animasjon PB2

2.2 Beskrivelse

PB2 er et fullklimatisert kontorbygg bestående av 2 fløyer adskilt av en halvklimalisert glassgård i nord-sør retning. Øst-fløyen består av 6 etasjer, mens vest-fløyen har 4 etasjer. Glassoverbygget mellom de to fløyene har en høyde på 5 etasjer og danner inngangspartiet til bygget.

Bygget er utført med lyse, moderne kontorlokaler i minimalistisk stil og utførelse. Det er lagt stor vekt på fleksible planløsninger i bygget der det enkelt skal kunne tilpasses den enkelte leietakers ønske om møblering. Figur 54 til Figur 60 i vedlegg A viser planløsningen for de ulike etasjene inkludert parkeringskjeller. De respektive arealer for hver etasje er gitt i Tabell 1.

Etasje	Areal [m ²]	Arealtype
Kjeller	3.301	Parkering/lager
1. etg	1.642	Kantine / konferanse / vrimle / kontor
2. etg	2.430	Kontor / møterom
3. etg	2.845	Kontor / møterom
4. etg	2.915	Kontor / møterom
5. etg	1.906	Kontor / møterom
6. etg	1.355	Kontor / møterom
Totalt	16.394	
Totalt uten kjeller	13.093	

Tabell 1, Arealstørrelse og type i de ulike etasjene i PB2 (KLP Eiendom, 2009)

2.3 Bygningskonstruksjon

Det har under prosjekteringsfasen vært stort fokus på bygningsdetaljer slik at omfanget av varmetap via kuldebroer og infiltrasjon skulle minimeres. Dette har blitt fulgt opp i byggefasen av kontrollrutiner for å sikre riktig kvalitet på utførelsen. Spesielt tettheten til bygget har stått mye i fokus med tetthetsmålinger gjennom hele byggeprosessen for å kunne dokumentere og oppfylle kravet til tetthet.

Varmetap gjennom inngangssonene i bygget er minimert ved godt utførte løsninger. Mye bruk av eksponert termisk masse gjennom tunge konstruksjoner gir også bygningen en termisk treghet. Når det gjelder varmegjennomgangsverdien på bygningsdelene tilfredsstiller disse kravene i Teknisk forskrift 2010 (Kommunal og Regionaldepartementet, 2010), som vist i Tabell 2. Kravene i TEK 10 er også de samme som er gitt som minstekrav til bygningsdeler for lavenergibygg i rapporten *Kriterier for passivhus- og lavenergibygg – Yrkesbygg* (Dokka T.H. et al., 2009a).

Bygningskomponent	TEK 10 [W/m ² K]	PB2 [W/m ² K]
Yttervegg	0.18	0.18
Vinduer	1.2	0.8
Vindusfasader	1.2	1.2
Gulv mot grunn	0.15	0.15
Tak	0.13	0.13

Tabell 2, Varmegjennomgangsverdi for ulike bygningsdeler i Prof. Brochs gt. 2

3 Bygningers energibehov

3.1 Begrepsavklaring

Når bygningers energibehov og -ytelse blir beskrevet blir det brukt flere ulike begreper for å beskrive dette. Denne forskjellen er meget viktig å ha klart for seg, både ved sammenlikninger mellom målsetning for energibruk, beregninger på energibruk og faktisk forbruk for en bygning. I dette kapitlet blir bare begreper som blir videre brukt i rapporten forklart. Dette er netto energibehov og levert energi.

Netto energibehov er en størrelse som kan beregnes men ikke måles, og kan derfor oppfates som en abstrakt størrelse (Høseggen R. Z., 2009b). Definisjon på netto energibehov etter NS 3031:2007 er;

”Bygningens energibehov uten hensyn til energisystemets virkningsgrad eller tap i energikjeden” (Standard Norge, 2007).

Denne størrelsen beskriver først og fremst egenskapene til bygningskroppen og hvor godt den utnytter passive tilskudd. Netto energibehov skal beregnes med normalisert bruk, det vil si standardisert input på klima, internlaste og driftstider. Dette for å kunne sammenlikne bygg i forskjellig klima og med forskjellige driftstider og internlaste opp mot hverandre. NS 3031:2007 inneholder en fremgangsmåte på hvordan total netto energibehov kan beregnes. Her finnes også standardiserte inndata på internlaste, driftstider og klimadata som brukes i denne beregningen eller som inndata i dataverktøy som beregner dette. I TEK10 finnes en oversikt over rammekrav for beregnet årlig netto energibehov for de ulike bygningskategoriene som dette kan sammenliknes opp mot.

Levert energi defineres i NS 3031:2007 som;

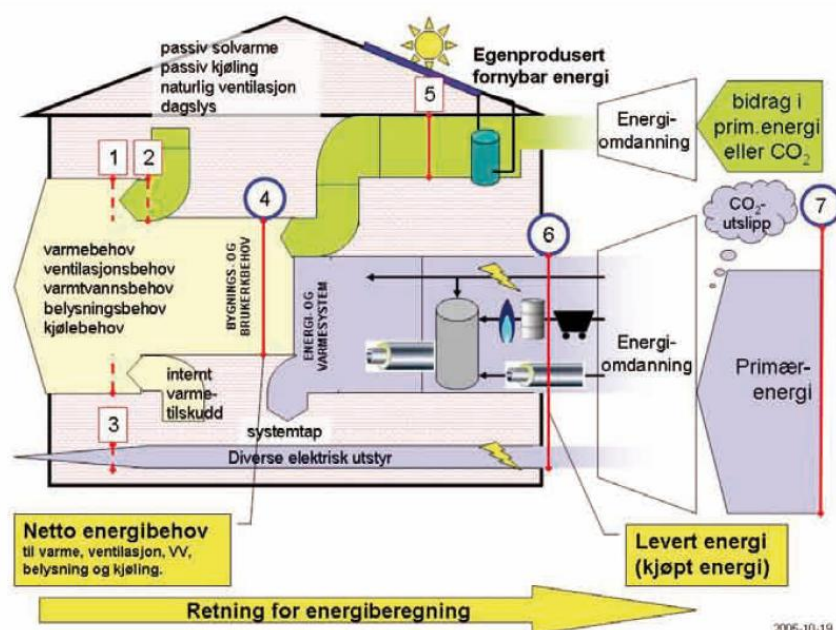
”summen av energi, uttrykt per energivare, levert over bygningens systemgrenser for å dekke bygningens samlede energibehov inkludert systemtap som ikke (kan) gjenvinnes” (Standard Norge, 2007).

Denne beregnes på grunnlag av netto energibehov med standardiserte input og vil derfor avvike fra virkelig målt levert energi. Det er dette begrepet som ligger til grunn for dagens energimerkeordning.

Levert energi regnes altså ut etter følgende formel:

$$\text{Levert energi} = \frac{\text{Netto energibehov}}{\text{systemvirkningsgrad}}$$

Disse systemvirkningsgradene blir tatt ut fra tabell B.10 i NS 3031. Det har vært mye uenighet rundt utregningene av verdiene i denne tabellen og derfor også rundt begrepet levert energi. Det har fra noen hold blitt hevdet at flere av systemvirkningsgradene er direkte feil, noe som har store ringvirkninger ved for eksempel bestemmelse av energimerket for bygget (Ulseth R., 2010).



Figur 1, Systemgrenser for energiberegning i bygg (Høseggen R. Z., 2009a).

3.2 Energimerkeordningen

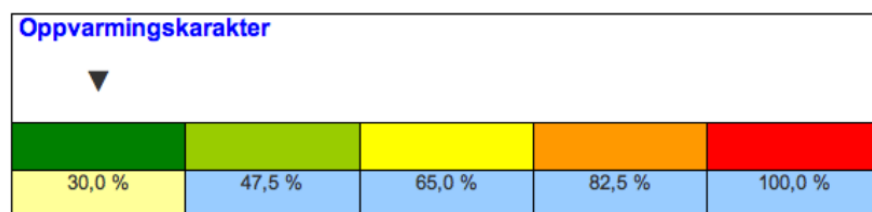
Forskrift om energimerking av bygninger og energivurdering av tekniske anlegg trådte i kraft 1. januar 2010. Samtidig som TEK10 ble gjort gjeldende den 1. juli 2010 ble også energimerking obligatorisk for bygninger som skal selges eller leies ut. Dette gjelder alle boliger over 50m² og samtlige næringsbygg. Næringsbygg over 1000 m² skal også til enhver tid ha en gyldig energiattest i følge denne forskriften. I motsetning til TEK som tar utgangspunkt i totalt netto energibehov, legger energimerkeordningen beregnet levert energi som grunnlag for energikarakteren. Hvordan denne beregningen skjer er fastsatt i NS3031 der også standard inndata er gitt for kontrollberegning i tillegg A.1. Energikarakter gis så ut fra Figur 2 ved bestemte bygningskategori (NVE, 2010).

Bygningskategori	Levert Energi						
	A	B	C	D	E	F	G
	Lavere enn kWh/m ²	Lavere enn kWh/m ²	Lavere enn kWh/m ²	Lavere enn kWh/m ²	Lavere enn kWh/m ²	Lavere enn kWh/m ²	Lavere enn kWh/m ²
Småhus	79	118	158	231	305	458	Ingen grense
Boligblokker	67	100	134	184	235	353	Ingen grense
Barnehager	90	135	180	228	276	414	Ingen grense
Kontorbygg	84	126	168	215	263	395	Ingen grense
Skolebygg	79	118	158	208	259	389	Ingen grense
Universitets- og høyskolebygg	95	143	191	240	289	434	Ingen grense
Sykehus	179	268	358	416	475	713	Ingen grense
Sykehjem	136	203	271	328	384	576	Ingen grense
Hoteller	135	202	269	321	373	560	Ingen grense
Iddrettsbygg	109	164	218	272	325	488	Ingen grense
Forretningsbygg	129	194	258	309	360	540	Ingen grense
Kulturbygg	105	158	210	256	302	453	Ingen grense
Lett industri, verksteder	106	159	212	270	329	494	Ingen grense

Basert på nivå for TEK 2007

Figur 2, Energikarakter for ulike bygningskategorier etter energimerkeordningen (NVE, 2010)

Energimerkeordningen inkluderer også en oppvarmingskarakter, som er en femdelt rangering fra rødt til grønt. Oppvarmingskarakteren gis etter en beregning, basert på de oppvarmingssystemene som er installert i bygget. Her inkluderes både romoppvarming og oppvarming av tappevann. Karakteren bestemmes her ut fra andelen av det totale oppvarmingsbehovet som dekkes av strøm og/eller fossile energikilder. Det totale oppvarmingsbehovet har derfor ingen innvirkning på denne karakteren. Siden det ikke gjøres noe beregninger på dette i denne rapporten blir det ikke gitt noe oppvarmingskarakter for PB2.



Oppvarmingskarakter for bygningens energiforsyning ut fra andel el. og fossil i oppvarmingssystemet (NVE, 2010)

3.3 NS 3031

I tillegg A i NS 3031 *Beregning av bygningers energiytelse, Metode og data* blir det gitt veiledende verdier for effekt- og energibehov for ulike internlaste i driftstiden. Disse verdiene brukes blant annet ved bestemmelse av energimerket. Verdiene for kontorbygg er gitt i Tabell 3. Disse verdiene vil bli sammenliknet med det faktiske forbruket i PB2 senere i oppgaven.

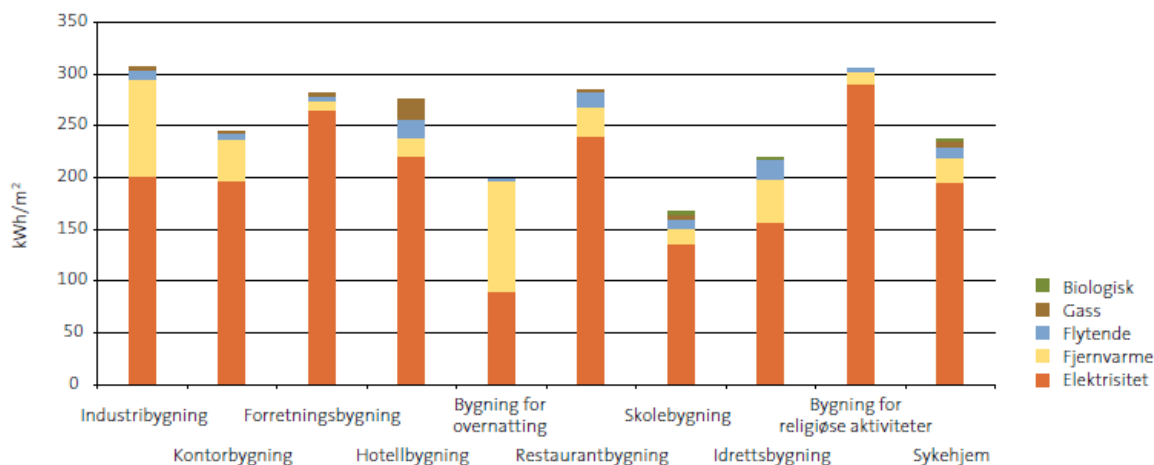
Bygningskategori	Belysning		Utstyr		Varmtvann	
	W/m ²	kWh/(m ² år)	W/m ²	kWh/(m ² år)	W/m ²	kWh/(m ² år)
Kontorbygg	8	25	11	34	1,6	5

Tabell 3, Standardverdier for effekt- og energibehov for belysning, utstyr og varmtvann i driftstiden (Standard Norge, 2007)

Det skal gjøres oppmerksom på at dersom det blir benyttet styringssystemer som utnytter dagslys eller styring basert på tilstedeværelse kan energibehovet til belysning reduseres med 20% ved kontrollberegninger (Standard Norge, 2007).

3.4 Enovas byggstatistikk

Hvert år publiserer Enova en statistikk over energibruk til ulike bygningskategorier for foregående år. Denne statistikken er basert på innrapporterte data på energibruk fra bygninger av ulik kategori i Norge. I 2009 rapporterte 2493 bygninger inn sitt energiforbruk til Enova med et samlet energiforbruk på 3105 GWh, fordelt på 12,7 millioner m² oppvarmet areal. Figur 3 viser resultatet fra denne innrapporteringen med en oversikt over gjennomsnittlig stedskorrigert spesifikk tilført energi i de ulike bygningskategoriene. For kontorbygninger ligger det gjennomsnittlige forbruket på 245 kWh/m² i 2008. Dette blir senere sammenlignet med forbruket målt i PB2.

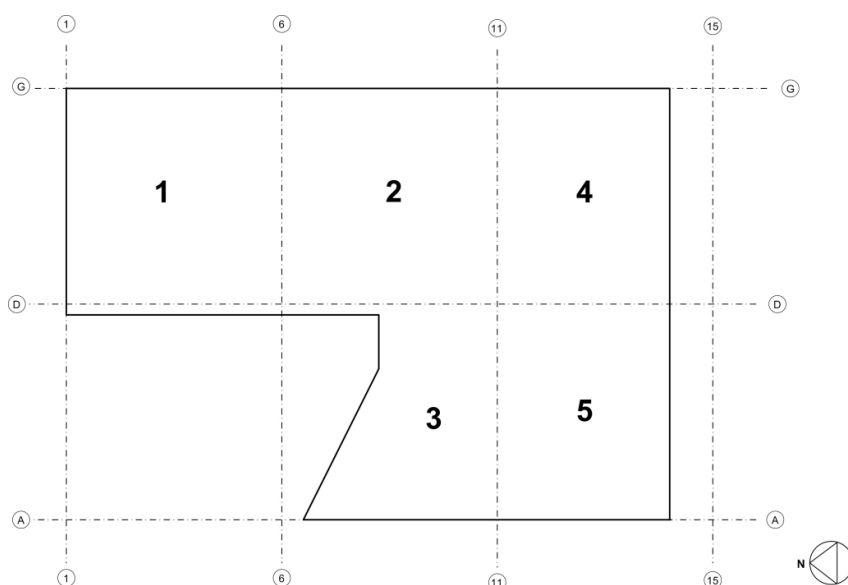


Figur 3, Gjennomsnittlig stedskorrigert spesifikk tilført energi i 2008 for de største bygningsgruppene

4 Tekniske systemer

I tillegg til det store fokuset på den bygningsmessige utformingen av Prof. Brochs gt. 2 har det også blitt satt meget strenge krav til de tekniske systemene i bygget slik at et godt inneklima skal kunne oppnås med lavest mulig energibruk. Dette kapitlet tar for seg alle relevante tekniske systemene som finnes i PB2, og gir en grundig beskrivelse av disse.

For å lettere kunne plassere og navngi ulike systemer, målere og andre komponenter er hver etasje i PB2 delt inn i fem deler etter horisontale og vertikale linjer som vist i Figur 4. Denne inndelingen blir brukt videre i denne rapporten for forklaring av systemene.



Figur 4, Byggfordeling (Djuric, 2010 a)

4.1 Ventilasjon og klimatisering

I Prof. Brochs gt. 2 er det totalt installert 8 ventilasjonsaggregater som styres etter tilstedeværelsessensorer i kontorlokalene, og etter CO₂ konsentrasjon i auditoriet og store møterom. Hver av disse anleggene dekker områdene gitt i Tabell 4.

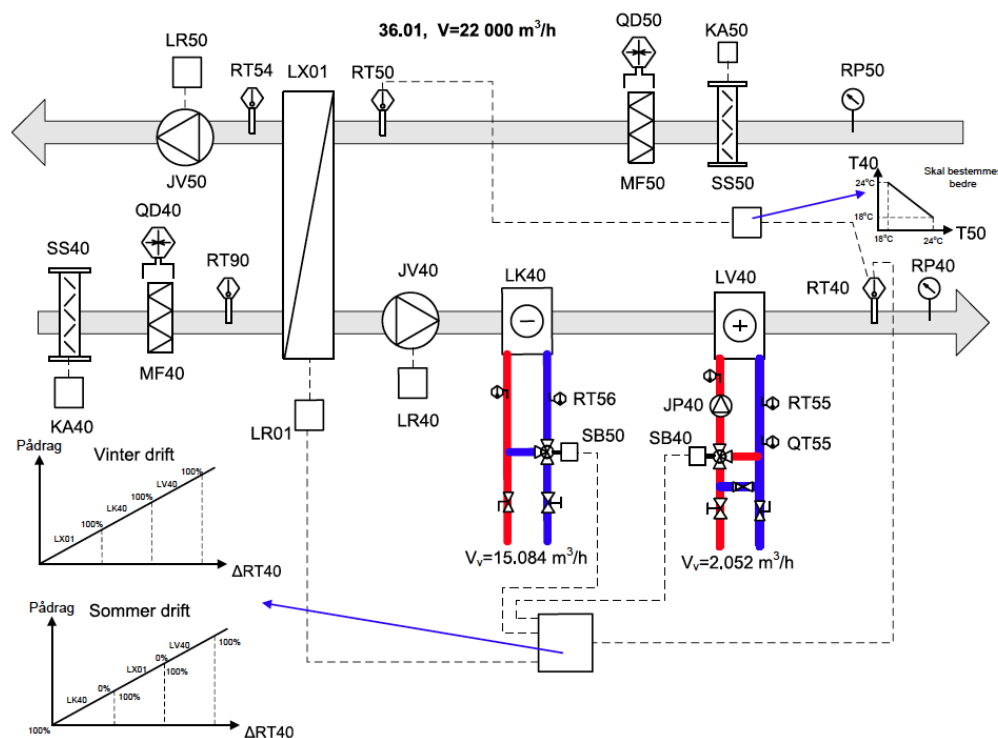
Anlegg	Sone	Plassering
36.01	Plan 1-6, østfløy del 1 og 2	Tak del 1
36.02	Plan 1-6, vestfløy del 1 og 2	Tak del 1
36.03	Plan 2-6, sørøst fløy del 4 og 5	Tak del 2
36.04	Plan 2-6, sørøst fløy del 4 og 5	Tak del 2
36.05	Plan 2-4, vestfløy del 3	Tak i plan 5, mellom del 3 og 5
36.06	Plan 2-4, vestfløy del 5	Tak i plan 5, mellom del 3 og 5
36.07	Kjeller, kantine og kjøkken	Teknisk rom i kjeller, del 5
36.08	Kontorer plan 1 i del 4, glassgård, garderobe, Kirsebæret	Teknisk rom i kjeller, del 4

Tabell 4, Plassering av ventilasjonsaggregater i PB2

6 av ventilasjonsaggregatene, 36.01 til 36.06 er identisk utformet, kun med forskjellig dimensjonerte luftmengder. Tegning av et slikt aggregat er vist i Figur 5. Hver av disse anleggene består av en roterende varmegjenvinner, et kombinert varme og kjølebatteri (LK40), et ettervarmebatteri (LV40), tilluft- og avtrekksvifte, samt tilhørende filter, spjeld og styring. For tilluften er det implementert fraluftskompensering. Det kombinerte varme- og kjølebatteriet, LK40, er tilkoblet luft-vann varmpumpen som brukes som varmpumpe ved varmebehov og som kjølemaskin ved kjølebehov. Varmebatteriet LV40 er tilkoblet fjernvarmenettet og brukes kun i perioder da ikke ønsket temperatur blir oppnådd etter LK40. Ønsket tillufttemperatur måles av RP40 og reguleres etter følgende sekvens.

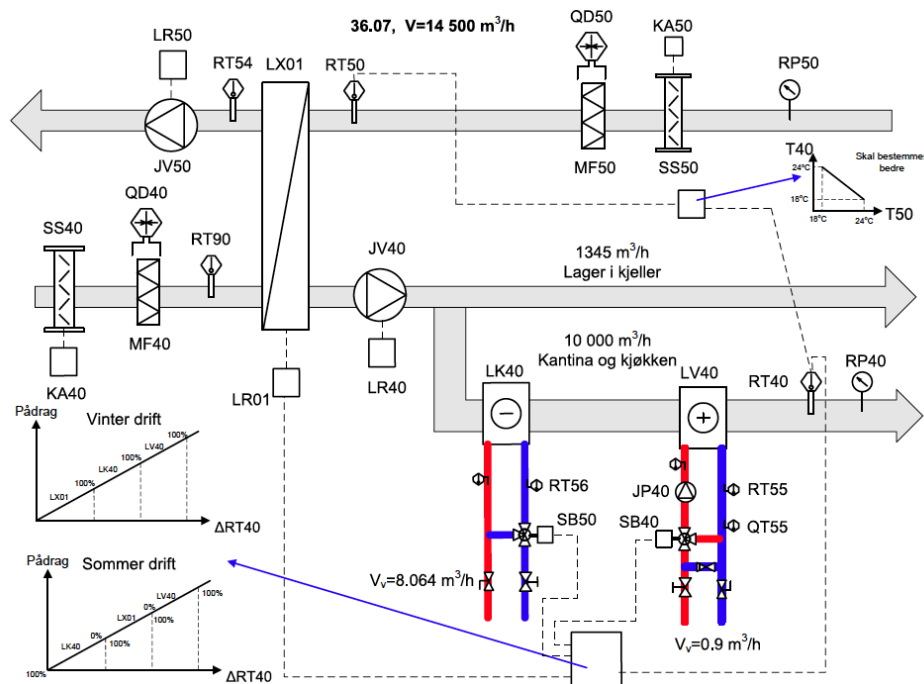
1. Roterende varmegjenvinner, LX01, øker effekten til den oppnår 100%,
2. Kombibatteriet, LK40, øker effekten til den oppnår 100%,
3. Varmebatteriet, LV40, øker effekten til den oppnår 100%.

Denne styringssekvensen er også vist i diagram i nedre venstre hjørne i Figur 5, for både sommer- og vinterforhold.



Figur 5, Oppbygning av ventilasjonsaggregat 36.01 (Djuric, 2011)

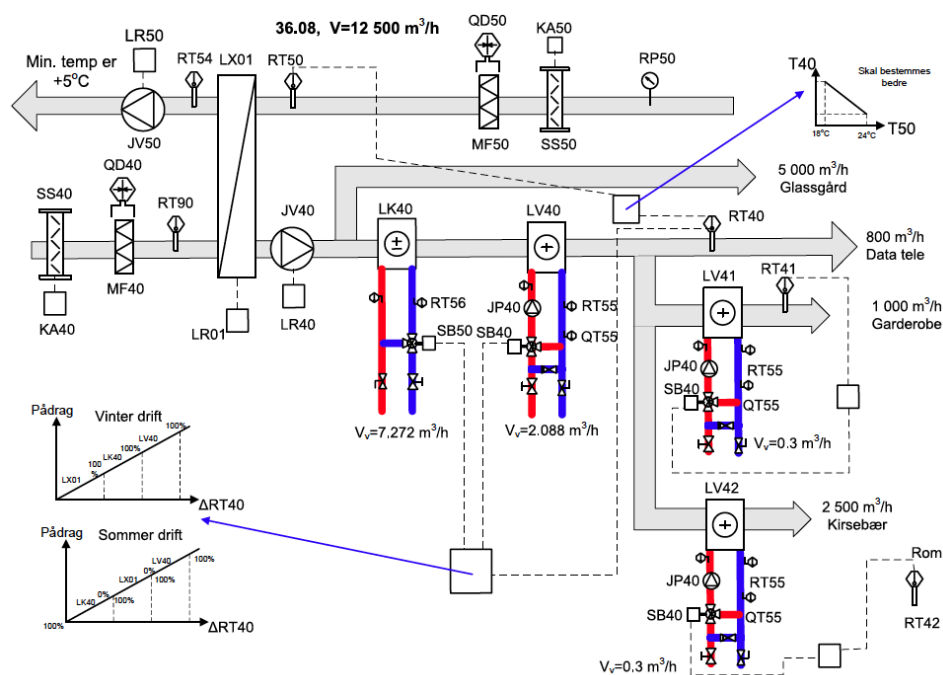
Figur 6 viser ventilasjonsanlegg 36.07. Her deles luftstrømmen til tilluftsiden seg i to, der en liten del som går til lager i kjeller går utenom varmebatteriene. Temperaturen på denne tilluften vil derfor variere avhengig av utetemperaturen. Resterende luftmengde går til kantine og kjøkken og blir temperert etter samme styringssekvens som anlegg 36.01 til 36.06.



Figur 6, Oppbygning av ventilasjonsaggregat 36.07 (Djuric, 2011)

I ventilasjonsanlegg 36.08, Figur 7, blir først en del halvtemperert luft ledet av til glassgården direkte etter den roterende varmegjenvinneren. Resterende mengde tilluft blir temperert etter samme sekvens som foregående anlegg der settpunkt temperaturen er ønsket tillufttemperatur målt ved RT40. I tillegg har garderobe og Kirsebæret egne ettervarmebatterier LV41 og LV42, som styres etter ønsket temperatur på henholdsvis RT41 og RT42. Måler RT42 måler temperaturen i luften inne i Kirsebæret (auditoriet).

Grunnen til at garderobene har egne ettervarmebatterier er at ønsket temperatur i garderoben gjerne er litt høyere enn de andre stedene. I Kirsebæret vil den interne varmelasten, spesielt fra personer, være veldig varierende og det ønskes individuell regulering av temperaturen på tilluften også her.



Figur 7, Oppbygning av ventilasjonsaggregat 36.08 (Djuric, 2011)

Alle ventilasjonsanleggene i PB2 er avtrekkstemperaturkompensert etter temperaturkurver. Temperaturmåler RT50 måler temperaturen på avtrekksluften, sammenlikner med temperaturkompenseringen og en ønsket temperatur på tilluften settes. Regulatoren for de to varme-/kjølebatteriene regulerer deretter effekten til batteriene.

Dimensjonerende luftmengder for samtlige aggregater er gitt i Tabell 5.

Aggregat nr.	Luftmengde [m ³ /h]
36.01	22 000
36.02	22 000
36.03	20 000
36.04	20 000
36.05	15 000
36.06	18 000
36.07	14 500
36.08	12 500
Totalt	144000

Tabell 5, Dimensjonerende luftmengde i de ulike ventilasjonsaggregatene

4.1.1 Styringsprinsipper

Som nevnt tidligere styres ventilasjonen i cellekontorene etter tilstedeværelse. Driftstiden i bygningen er satt til mellom 06:00 og 18:00 i ukedagene. Utenfor driftstiden er alle ventilasjonsanleggene helt avslått, men med mulighet for oppstart via brytere plassert rundt i bygningen. I driftstiden ventileres kontorarealene med en liten luftmengde i perioder uten tilstedeværelse. I periodene med tilstedeværelse er ventilasjonsluftmengden satt etter Tabell 7, med for eksempel 12 m³/m²h i kontorlokalene.

Det finnes totalt 830 spjeld i PB2, der 530 av de er VAV spjeld. Alle ventilasjonsanleggene styres etter såkalte optimizer systemer med optimal styring av tillufttrykk. Tillufttrykket endres her i forhold til luftmengden, der høyere luftmengde gir økt tillufttrykk, og motsatt. Styringen av spjeldposisjon til VAV spjeldene skal også styres optimalt slik at de reguleres slik at minst et av spjeldene på hvert system skal stå 100% åpent til enhver tid. Ved hjelp av denne styringen er trykktapet i systemene redusert i forhold til ordinær trykkstyring av anlegg.

4.1.2 Ventilasjonsprinsipper

Kontorarealene i PB2 ventileres via justerbare dyser plassert i skjørt i nedforet himling. Det er overluftsventiler i vegger mellom cellekontorer og gangsoner og sentrale avtrekksrister ved hovedsjaktene. I tillegg til avtrekksristene ved hovedkanalene er det trukket avtrekkskanaler frem til møterom, toaletter, bøttekott og liknende.

Hver sone i kontorarealene styres etter tilstedeværelse i normal driftstid. Utenfor driftstid skal sonene primært ikke ventileres men det finnes muligheter for å aktivere ventilasjonen med bryter. Denne bryteren har timerfunksjon.

Møterommene ventileres med en grunnventilasjon i driftstiden når de ikke er i bruk. Ved tilstedeværelse økes luftmengden i forhold til CO₂ konsentrasjonen i rommet.

Glassgården ventileres med tilluft fra vertikal kanal i glassgård. Avtrekkspunktet er også i en vertikal kanal plassert høyt i gården, vist i Figur 8. Dette for å unngå akkumulering av varm luft i toppen av glassgården. I tillegg finnes luker i toppen av glassgård som ved høye temperaturer kan åpnes for å få til en naturlig ventilering av glassgården.



Figur 8, Fortrengningsventilasjon i glassgården

4.2 Varmepumper og kjøleanlegg

I PB2 finnes to anlegg for kjøling, 35.01 og 35.02. Oppbygning og virkemåten til disse anleggene blir beskrevet i dette delkapittelet. I tillegg blir effektfaktoren til varmpumper beskrevet.

4.2.1 Varmepumpers effektfaktor, COP

COP er en forkortelse for Coefficient of Performance og angir varmpumpers effektfaktor i et gitt øyeblikk. Formel for COP er gitt i

$$COP = \frac{\text{Leverert varmeeffekt}}{\text{Tilført effekt}}$$

Størrelsen på denne effektfaktoren vil være avhengig av mange ulike parametere. Først og fremst vil temperaturløftet mellom fordamper og kondensator være avgjørende. Siden varmpumpesystemet i PB2 bruker uteluften til varmekilde vil temperaturen på fordampersiden variere svært mye gjennom året. Temperaturen på vannet inn til det kombinerte varme- og kjølebatteriet vil også virke inn på effektfaktoren til anlegget. Temperaturen her burde på bakgrunn av dette velges så lav som mulig ved oppvarming og så høy som mulig ved kjøling. Det må her selvfølgelig tas hensyn til varmeoverføringen i LK40 slik at denne blir tilstrekkelig.

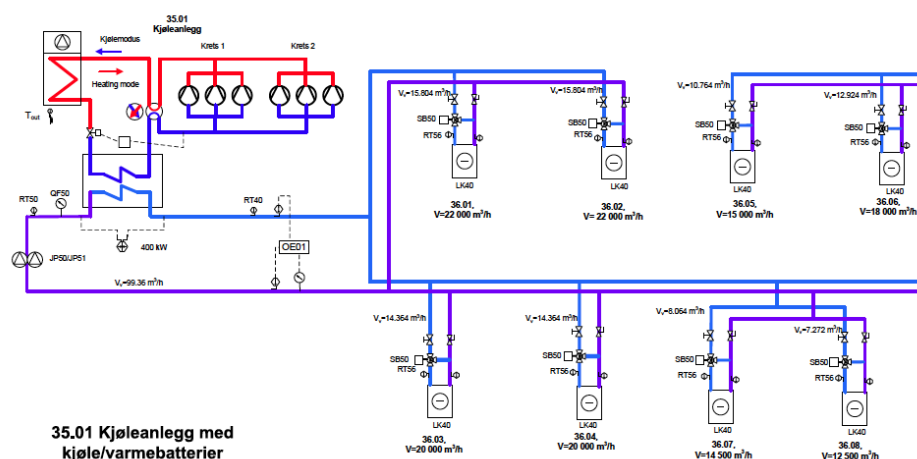
Kjøring av varmpumpeanlegget på del-last vil også ha innvirkning på COP. Kompressorene har størst virkningsgrad ved 100% drift slik at effektfaktoren synker ved redusert drift på kompressorene.

4.2.2 Varme/kjøleanlegg 35.01

Anlegg 35.01 er per dags dato bygd opp som vist i Figur 9. Dette anlegget er et luft-vann varmpumpeanlegg som driftes som varmpumpe i perioder med varmebehov og som kjølemaskin i perioder med kjølebehov. Anlegget er tilkoblet det kombinerte varme-/kjølebatteriet i hvert av ventilasjonsanleggene i bygget og dekker derfor hele ventilasjonskjølingen og størstedelen av ventilasjonsoppvarmingen.

Slik anlegg 35.01 står i dag er det bygd opp av to parallellkoblede kretser med tre kompressorer i hver krets. Denne varmpumpen er levert av Reftec AS, og produsert av Chiller. Siden varmpumpen er en luft-vann varmpumpe som tar ut eller dumper varme i luften er effektiviteten sterkt avhengig av utetemperaturen. På bakgrunn av dette er varmpumpen innstilt på å skru seg av ved temperaturer lavere en -12°C .

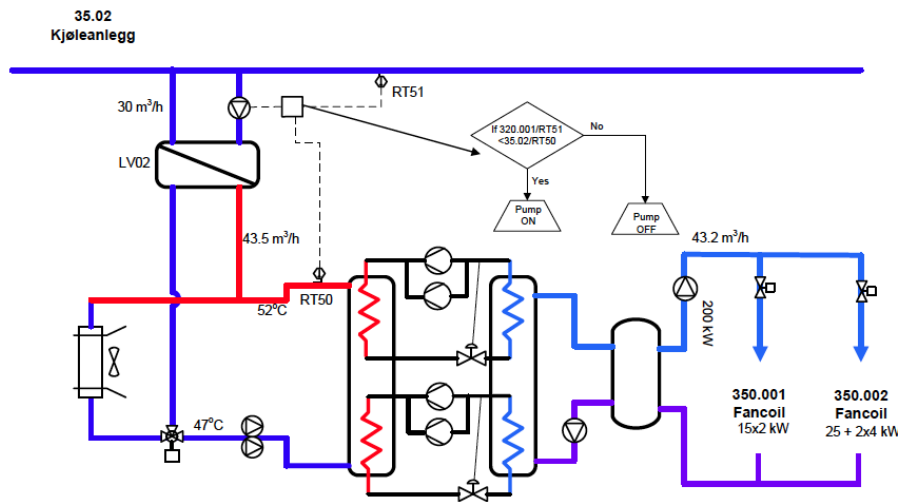
I følge leverandør er maksimal effekt av kondensatorvarme på 550kW, og maksimal kompressoreffekt er 150kW. Kjølemedium brukt i systemet er R410A og gjennomsnittlig COP verdi er gitt til 3,22. Varmepumpen er trinnvis styrt med sju trinn.



Figur 9, Skjematisk tegning av luft-vann varmepumpen med tilkobling av varme/kjølebatteri i ventilasjonsaggregatene (Djuric, 2010)

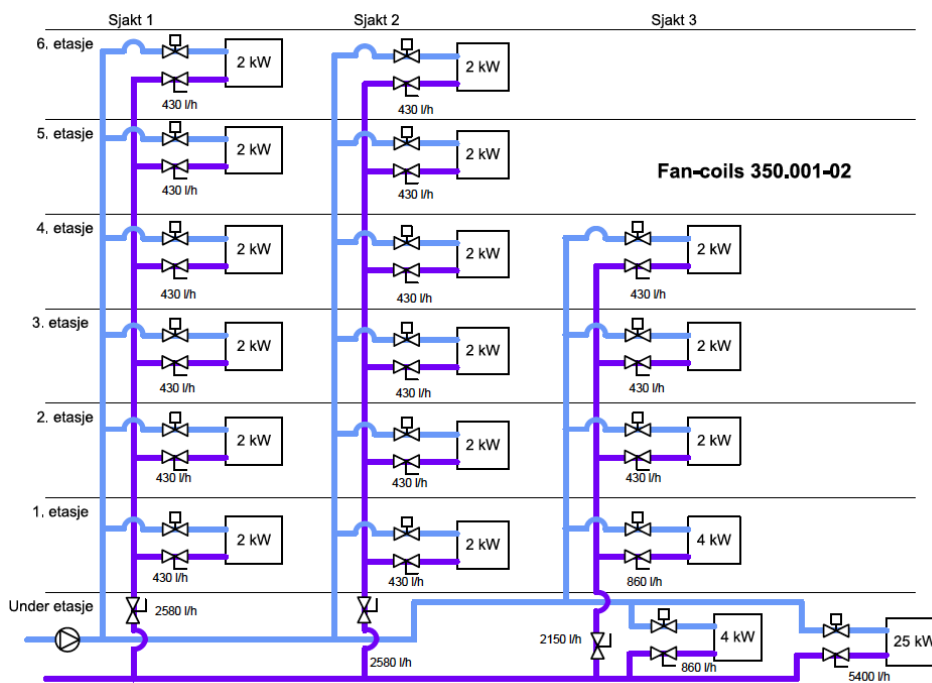
4.2.3 Kjøleanlegg for IT rom

For kjøling av IT-rom har "Miljøbygget" et eget kjøleanlegg 35.02 som forsyner kjøling via fan-coils. Kjøleanlegget benytter kjølemedie R410A og har tørrkjølere plassert på tak og kompressorenheter plassert i teknisk rom i kjeller. Anlegg 35.02 er utformet som vist i Figur 10. Anlegget er konstruert for å kunne utnytte kondensatorvarme til supplering av hovedkurs 320.001 ved å varmeveksle kjølemediet etter kondensatoren med retursiden på oppvarmingskursen (320.001). Varmeoverføringen foregår derfor slik at hvis returtemperaturen på hovedkurs 320.001 (RT51) er lavere enn temperaturen etter kondensatoren (RT50), starter sirkulasjonspumpe mellom tilleggsvarmeveksler og retur i hovedkurs 320.001.



Figur 10, Kjøleanlegg 35.02 for IT rom med mulighet for tilbakeføring av kondensatorvarme til varmeanlegget (Djuric, 2010)

Figur 11 viser hvordan kjøleeffekten er fordelt ut over de ulike etasjene i tre sjakter. Data fra prosjekteringsfase ga et totalt kjølebehov på 63 kW som tilsvarer størrelsene på figuren. Ved installasjon ble denne størrelsen øket til 76,85 kW slik at anleggets installerte kapasitet er litt større en det prosjekterte behovet (Djuric, 2011).

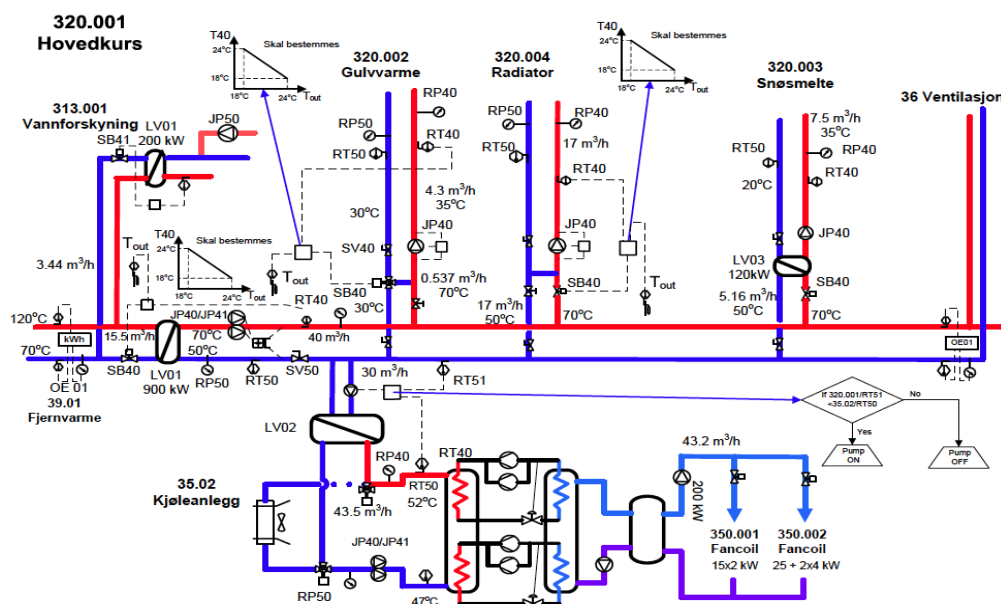


Figur 11, Prosjektert fordeling av kjøleeffekt i IT-rom fra kjøleanlegg 35.02 (Djuric, 2010)

4.3 Varmeanlegg

Professor Brochs gate 2 har et vannbårent varmeanlegg tilknyttet TEVs fjernvarmenett. Varmesentralen er plassert i teknisk rom sør i kjeller og er dimensjonert til å dekke hele effekt- og energibehovet til oppvarming. Dette omfatter transmisjonsvarmetap, infiltrasjonsvarmetap, oppvarming av ventilasjonsluft, vannbårne luftportere, oppvarming av tappevann samt drift av snøsmelleanlegg.

Figur 12 viser hovedkurs 320.001 der fjernvarme kommer inn med en dimensjonerende turtemperatur på 120°C og returtemp 70°C. Derfra ledes fjernvarmevannet gjennom to separate varmevekslere, en tappevannsveksler med kapasitet 200 kW, og en veksler med kapasitet 900 kW som danner et sekundært nett for gulvvarme, radiator, snøsmelt og ventilasjon. Radiatorkurs, gulvvarmekurs og ventilasjonskurs blir temperaturregulert, mens snøsmeltekursen igjen blir vekslet i en egen varmeveksler med kapasitet på 120 kW med en vann/glykol blanding på den kalde siden.



Figur 12, Fjernvarmesystemet tilkoblet gulvvarme, radiatorkrets og snøsmelt, samt ettervarmebatterier i ventilasjonsaggregatene (Djuric, 2010)

De ulike kretsene er dimensjonert etter tur/retur temperaturer gitt i Tabell 6 **Feil! Fant ikke referansekilden..**

	Tur/retur temperaturer	
	Dimensjonert	Levert
Radiatorkurs	70/50 °C	80/60 °C
Ventilasjonskurs	70/30 °C	
Gulvvarmekurs	35/30 °C	
Snøsmeltekurs	35/20 °C	

Tabell 6, Tur/retur temperaturer i varmeanlegget i PB2

4.3.1 Radiatorkrets

Det er utstrakt bruk av radiatorer i PB2. Det er plassert radiatorer i alle cellekontorer, møterom og andre rom som trenger oppvarming. I åpne kontorlandskap er også radiatorene plassert slik at cellekontorer enkelt kan etableres. Figur 13 viser 1 etasje i nordre del av østre blokk (del 1) som per mars 2011 fortsatt står tom. Alle kontorlokalene i bygget er bygd opp som vist på bildet med åpne lokaler hvor det enkelt kan deles opp i cellekontorer langs vindusfasadene med korridor i midten.



Figur 13, Lokaler i 1.etg nordre del i østre blokk

Radiatorene blir styrt fra SD-anlegget men med mulighet for individuell regulering av temperatur på hvert enkelt cellekontor via en termostat plassert høyt på veggen. Denne er vist til venstre i Figur 14.



Figur 14, Reguleringspanel for individuell regulering av temperatur på cellekontorer (t.v.) og radiator med elektronisk reguleringsventil (t.h.)

4.3.2 Gulvvarme

Gulvvarme er kun installert i deler av 1. etg. Den er inndelt i hensiktsmessige soner i kantine, inngangsparti og glassgård. Totalt areal gulvvarme er ca. 600m².

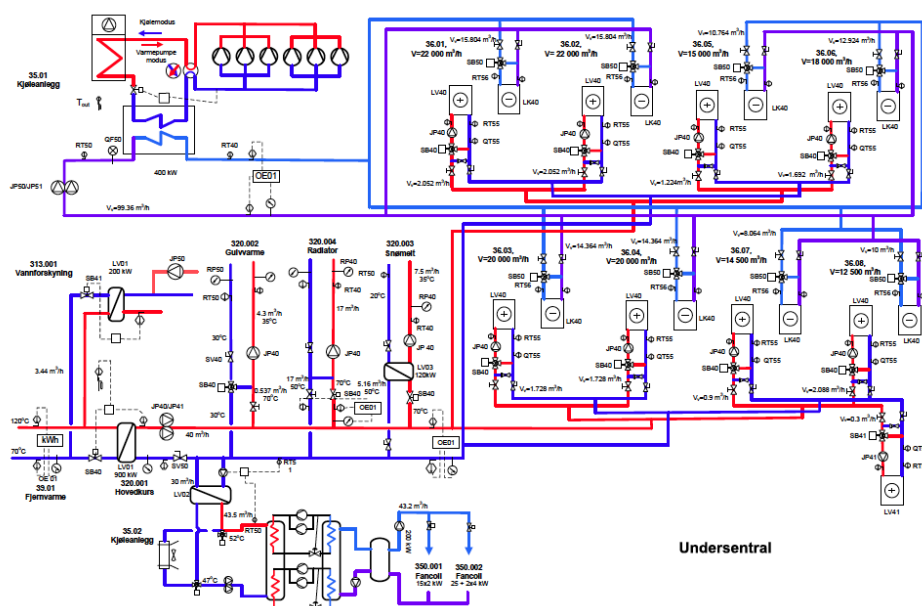
4.3.3 Snøsmelt

Det er montert snøsmelteanlegg ved hovedinngangen i Elgsetergate, i nedkjøringsrampe til parkeringskjeller, ved innkjøring til varemottaket og på Dalsenget torg.

Det er totalt installert ca. 400m² snøsmelteanlegg med driftstemperatur på vann/glykol blandingen på 35/20°C. Min. effektbehov er ca. 250W/m². Sløyfene er delt opp slik at individuell regulering oppnås. Hver sløyfe styret etter en snøostat som er plassert hensiktsmessig i forhold til sløyfen den styrer.

4.4 Klimatisering i PB2

I Figur 15 vises hvordan alle de separate anleggene i bygningen er koblet sammen for å kunne skape et fullverdig klimaanlegg i Professor Brochs gate 2.



Figur 15, Oversikt over sammensetningen av de ulike klimatiserings- og varmeanleggene (Djuric, 2010)

Tabell 7 angir minimale og maksimale operative temperaturer for de ulike bygningsdelene i PB2, samt maksimale lufthastigheter i oppholdssonen og minimal friskluftmengde ut fra areal eller person belastning. Dette er verdier satt under prosjektering.

PB2	Operativ temperatur					Lufthast.		Min. friskluftmengde	
	Dag sommer		Dag vinter		Natt	20°C	25°C	Areal belastning m ³ /h/m ²	Person belastning m ³ /h/m ²
	Min. °C	Maks °C	Min °C	Maks °C	Min °C	Maks m/s	Maks m/s		
Kontor	21	25	20	24	15	0,15	0,2	12	
Landskap	21	25	20	24	15	0,15	0,2	10	
Midtsone	21	25	20	24	15	0,15	0,2	7,5	

Møterom	21	25	20	24	15	0,15	0,2		30
Arkiv/lager	20	28	18	24	15	0,2	0,2	5	
Glassgård	15		15		15				
Toalett		26	22	24	15	0,15	0,2	8	
Datarom	20	23	20	23	20	0,3	0,3	5	
Kjøkken	21	25	20	24	15	0,15	0,2	10	
Fellesareal	20	28	18	24	15	0,2	0,2	5	
Parkering					10	0,2	0,2	3	
Heismaskinrom	15	35			15				
Teknisk rom	15		15	24	15			3	
Trapperom								5	

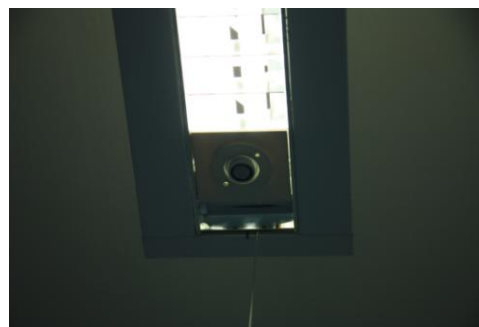
Tabell 7, Veiledende klimatabell for PB2 (KLP Eiendom, 2007)

4.5 Belysning

Lysstyringen i "Miljøbygget" er hovedsakelig basert på tilstedeværelsessensorer og dagslyskompensering. En grov oversikt over lysstyringen i de ulike bygningsdelene er gitt her:

Alle cellekontorer er belyst med hengende armaturer, styrt med tilstedeværelsessensorer som vist i Figur 16.

Korridorsoner i kontorarealene benyttes innfelte lysarmaturer i himling. Disse slås manuelt på om morgenen for hele sonen og slås automatisk av kl. 16.00 på ettermiddagen de fleste steder i bygget. Ved overtidjobbing er det mulighet for å forskyve tidspunktet for avslåing ved å benytte manuelt tidsur. Når korridorsonene er "avslått" står fortsatt ca. annenhver armatur på for å ikke mørklegge hele bygget.



Figur 16, Bevegelsessensor på lysarmatur

Faste møterom har automatisk hovedbryter AV/PÅ med tilstedeværelsesstyring. I tillegg finnes manuelt styrt lysdimming.

Hovedlys i kafeteria styres med manuell AV/PÅ bryter med lysdimming. I tillegg overstyres lyset AV etter automatisk bryter med dagslysføler.

Toaletter, lagerrom og kjellergang styres med AV/PÅ etter tilstedeværelse.

I parkeringskjelleren lyser et fåtalls armaturer fast, fordelt over hele parkeringskjelleren. I tillegg er parkeringskjellerne delt inn i 5 soner, der lyset styres individuelt i hver sone etter tilstedeværelse.

I tekniske rom og rom som benyttes lite er kun sturt med manuelle AV/PÅ brytere.

4.6 Solskjerming

Det finnes utvendig solskjerming på fasadene mot sør, øst og vest i Miljøbygget. Denne solskjermingen består av utvendige horisontale lameller som styres automatisk opp og ned etter solintensiteten målt i lux. I tillegg er det regulering av vinkelen på lamellene. Dette styres av driftspersonell via SD-anlegget og reguleres etter årstiden/solhøyden.

Enkelte steder finnes også solskjerming som vist i Figur 18. Denne skjermingen består av en aluminiums ramme med fastmonterte lameller. Denne rammen beveges horisontalt frem og tilbake foran vinduet avhengig av solinnstråling.



Figur 17, Utvendig solskjerming PB2



Figur 18, Solskjerming med faste lameller

4.7 Styringssystemer og energioppfølging

For god kontroll av tekniske systemer, samt detaljert oversikt over energibruken i PB2 er det installert et omfattende SD-anlegg og et detaljert energioppfølgingssystem (EOS) i bygningen. Disse systemene blir forklart i dette delkapittelet.

4.7.1 SD-anlegg

SD-anlegget som finnes i PB2 er utviklet av Gunnar Karlsen (GK) for å kunne oppnå en god behovsstyring for kjøling, ventilasjon, varme og aircondition. Systemet er basert på en Honeywell plattform med navn Honeywell Enterprise Building Integrator (EBI). Dette er et svært avansert system som alle tekniske systemer i bygningen styres gjennom, og overvåkes av driftspersonell.

4.7.2 EOS-system

Det er Entro som leverer energioppfølgingssystemet i Professor Brocks gate 2. Det finnes 68 individuelle undermålere i bygget som logger energibruken for hver enkelt time. Det er

disse verdiene som er hovedgrunnlaget for energibruksanalysen som er gjort i kapittel 5 og 6 i denne rapporten. En oversikt over målerne og hva de måler er gitt i Tabell 8.

Hva måles	Antall undermålere / målernr.	Energibærer
Belysning	22 stk.	El.
Stikkontaktkurser	22 stk.	El.
Ventilasjonsanlegg (tilluft- /avtrekksvifter, sirkulasjonspumper og motor til rot. varmegj)	8 stk. / 36.01 – 36.08	El
Kompressor	1 stk./ 35.01	El.
Kondensator	1. stk/ 35.01	Varme
Kompressor	1 stk./ 35.02	El.
Kondensator	1stk. / 35.02	Varme
Fordamper	1 stk. / 35.02	Varme
Varmesentral (sirkulasjonspumper)	1 stk.	El.
Teknonett (Serverrom)	1 stk. / 433.06	El.
Heis	3 stk.	El.
Lager Sweco	1 stk.	El.
El. Biler	1 stk.	El.
Varmebatterier ventilasjon	1 stk.	Fjernvarme
Radiatorer	1 stk.	Fjernvarme
Gulvvarme	1 stk.	Fjernvarme
Varmt tappevann	1 stk.	Fjernvarme
Totalt antall undermålere	68 stk.	

Tabell 8, Oversikt over undermålere tilknyttet EOS-systemet

I tillegg til undermåleren er det også to hovedmålere tilknyttet Entro, en for elektrisitet og en for fjernvarme. Trondheim Elektrisitetsverk (TEV) har også en måler for elektrisitet og en for fjernvarme i bygget som energiforbruket faktureres etter. Det er gjennom analyse av energibruksdata avdekket at det ofte er en differanse mellom summen av undermålere, hovedmålerene og TEV målerene. Dette gjelder både for fjernvarme og elektrisitet. Dette blir drøftet i kapitel 5.



Figur 19, Eksempel på fjernvarmemåler (t.v.) og varmesentral med målere på henholdsvis radiatorkrets, ventilasjonsaggregater og tappevann (t.h.)

5 Energibruk

I dette og følgende kapitler blir energibruken i Professor Brochs gate 2 evaluert. Informasjonen er basert på loggdata hentet fra energioppfølgingssystemet levert av Entro. Det er valgt å bruke data fra januar 2010 til og med desember 2010 i denne analysen for å kunne evaluere over et helt år, og dermed inkludere alle årstidene. Energibruk per time ble valgt som oppløsning, som også er laveste tidsoppløsning som kan hentes ut fra Entro. Nedlastingen av energibruksdata fra Entro ble gjort av Natasa Djuric ved SINTEF, og forfatter fikk tilgang til denne dataen gjennom Excelark fra henne.

5.1 Kvalitet på data fra Entro

For å kunne gjøre en god og pålitelig evaluering av energibruken til en bygning er kvaliteten på tilgjengelig energibruksdata helt avgjørende. Entro systemet er bygd opp slik at data først loggføres i korttidshukommelsen over et døgn til klokken tolv på natten. Klokken tolv overføres dataene for det foregående døgnet fra "korttidshukommelsen til langtidslagring. Dette fører til at Entro opererer med to ulike former for utilgjengelig/manglende data. Har et døgn minst en korrekt data innrapportert fra måler blir data for hele døgnet overført til langtidshukommelsen klokken tolv, der feil eller manglende data blir markert med en strek. Hvis det ikke finnes korrekte innrapporterte data fra måler i foregående døgn bli det ikke overført noe data for dette døgnet. Ved nedlastede excelark for hver måler per måned fra Entro er ikke slike døgn uten korrekte data inkludert.

Det ble derfor satt opp en oversikt over antall manglende data, og prosentandelen manglende data, både for manglende data markert med streker og utelatte døgn. Dette ble gjort både for hver enkelt måler, og for hver måned i 2010. Resultatene er gitt i Tabell 9/Tabell 10.

	Jan.	Feb.	Mars	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Des.	Totalt
Manglende data markert med streker [stk.]	1422	1522	440	509	625	1598	258	906	0	1014	138	693	9125
Manglende data, utelatte døgn[stk.]	242	1392	768	1488	0	3334	48	42000	50400	8640	24	27096	135432
Antall timer per måned [stk]	52080	47040	52080	50400	52080	52080	50400	52080	50400	52080	50400	52080	613200
Manglende data markert med streker [%]	2,73	3,24	0,84	1,01	1,20	3,07	0,51	1,74	0,00	1,95	0,27	1,33	1,49
Manglende data, utelatte døgn [%]	0,46	2,96	1,47	2,95	0,00	6,40	0,10	80,65	100	16,59	0,05	52,03	22,09
Totalt manglende data [%]	3,20	6,19	2,32	3,96	1,20	9,47	0,61	82,38	100	18,54	0,32	53,36	23,57

Tabell 9, Manglende data per måned

Tabell 9 viser en total gjennomsnittlig prosentats manglende data på 23,57%, der juli og november har kun 0,61% og 0,32% manglende data, mens august, september og desember har hele 82,38%, 100% og 53,36% manglende data på grunn av at EOS var ute av drift i disse periodene. Til tross for at det finnes mye gode energibruksdata i 2010 er en totalt prosentandel manglende data på 23,57% for mye. Dette bør kunne bedres siden det ligger mye arbeid og investeringer bak målesystemet i dette bygget. I tillegg har ansatte i Entro og driftsansvarlige hos KLP Eiendom regelmessige møter for å evaluere energibruken i bygget. Nøyaktige energibruksdata er derfor nødvendig for optimal regulering og forbedring av de tekniske systemene i bygget.

Hva måles	Måler nr.	Manglende data markert med streker [stk.]	Manglende data pga. fjernet[stk.]	Manglende data markert med streker [%]	Manglende data pga. fjernet [%]	Totalt manglende data [%]
LYS	433.01	90	1966	1,03	22,44	23,47
	433.05	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.11	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.13	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.14	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.15	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.21	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.23	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.24	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.25	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.31	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.33	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.34	92	2256	1,05	25,75	26,80
	433.35	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.41	92	2256	1,05	25,75	26,80
	433.43	100	1548	1,14	17,67	18,81
	433.44	92	2256	1,05	25,75	26,80
	433.45	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.51	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.54	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.61	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.64	100	1848	1,14	21,10	22,24
	Stikk	433.01	100	1848	1,14	21,10
433.05		100	1848	1,14	21,10	22,24
433.11		100	1848	1,14	21,10	22,24
433.13		100	1848	1,14	21,10	22,24
433.14		100	1848	1,14	21,10	22,24
433.15		100	1848	1,14	21,10	22,24
433.21		87	1848	0,99	21,10	22,09
433.23		100	1848	1,14	21,10	22,24
433.24		100	1848	1,14	21,10	22,24
433.25		100	1848	1,14	21,10	22,24
433.31		100	1848	1,14	21,10	22,24
433.33		100	1848	1,14	21,10	22,24
433.34		92	2256	1,05	25,75	26,80
433.35		100	1848	1,14	21,10	22,24
433.41		100	1848	1,14	21,10	22,24
433.43		92	2256	1,05	25,75	26,80
433.44		100	1848	1,14	21,10	22,24
433.45	100	1848	1,14	21,10	22,24	

	433.51	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.54	100	1848	1,14	21,10	22,24
	433.61	113	1848	1,29	21,10	22,39
	433.64	92	2256	1,05	25,75	26,80
Kompressor	35.01	100	1848	1,14	21,10	22,24
Kondensator		238	1847	2,72	21,08	23,80
Kompressor	35.02	100	1824	1,14	20,82	21,96
Kondensator	35.02	203	2472	2,32	28,22	30,54
Fordamper	35.02	194	1848	2,21	21,10	23,31
Teknonett	433.06	223	2304	2,55	26,30	28,85
Varmesentra		325	2400	3,71	27,40	31,11
I						
Ventilasjon	35.01	92	2256	1,05	25,75	26,80
	35.02	100	1848	1,14	21,10	22,24
	35.03	100	2256	1,14	25,75	26,89
	35.04	92	1848	1,05	21,10	22,15
	35.05	100	1848	1,14	21,10	22,24
	35.06	100	1848	1,14	21,10	22,24
	35.07	100	1848	1,14	21,10	22,24
	35.08	100	1848	1,14	21,10	22,24
Heis	Nr. 1	100	1848	1,14	21,10	22,24
	Nr. 2	100	1848	1,14	21,10	22,24
	Nr. 3	100	1848	1,14	21,10	22,24
El. Biler		100	1848	1,14	21,10	22,24
Swecolager		123	1848	1,40	21,10	22,50
Fjernvarme ventilasjon		759	1896	8,66	21,64	30,31
Fjernvarme varmtvann		310	2304	3,54	26,30	29,84
Fjernvarme radiatorer		282	1824	3,22	20,82	24,04
Fjernvarme gulvvarme		236	2256	2,69	25,75	28,45
Hovedmåler el.		256	1824	2,92	20,82	23,74
Hovedmåler fjernvarme		284	1824	3,24	20,82	24,06

Tabell 10, Manglende data per måler

Tabell 9 viste at det er meget stor variasjon mellom antall manglende data mellom de ulike månedene i 2010. Den samme forskjellen finnes ikke mellom de ulike målerene i Tabell 10. Dette skyldes at mangelen på data først og fremst skyldes at hele EOS var ute av drift og rammer derfor alle målerene i samme periode. Likevel kan det bemerkes at måledataene for varmeforbruk (fjernvarme og kondensatorvarme) har en tendens til å ha høyere andel manglende data enn elektrisitetmålingene.

5.2 Opprinnelig og korrigert energibruk

Som vist i forrige delkapitel hadde energibruksdataene hentet fra Entro til dels dårlig kvalitet. Spesielt vil de lengre periodene uten måledata ha stor betydning for videre analyse av energibruken i bygget. De lengre periodene uten måledata var følgende:

- 2. april
- 12. og 13. juni

- 6. august kl.12.00 til 6. oktober kl.01.00
- 28. oktober kl.11.00 til 29. oktober kl. 01.00
- 1. desember kl. 17.00 til 16. desember kl. 01.00

Som følge av dette ble det utført en matematisk metode for reparering av manglende energibruksdata, samt fjerne utstikkere i den opprinnelige energibruken fra Entro. Metoden kalles neutral network og baseres på en matriseformasjon av alle eksisterende data, som brukes til å reparere mistet data. Denne datarepareringen ble utført av Natasa Djuric og er beskrevet i rapporten *Funksjonskontroll rapport ved Professor Brochs gate 2* (Djuric, 2011).

Korrigeringen ble ikke utført på hver enkelt måler i PB2, men heller utført på grupperinger av målere der dette kunne gjøres. Dette gjaldt spesielt målerene på belysning og stikk. Korrigerings av data ble derfor valgt utført på følgende målere/grupperinger:

Elektrisitet

- Hovedmåler
- Sum undermålere
- El. for kompressorer, system 35.01 og 35.02
- El. i undersentral
- 3 stk. heiser
- Elbiler
- Stikkontakter, del 1
- Stikkontakter, del 3
- Stikkontakter, del 4
- Stikkontakter, del 5
- El. til vifter i ventilasjonsanleggene
- Belysning, del 1
- Belysning, del 3
- Belysning, del 4
- Belysning, del 5
- El. forbruk serverrom
- El. forbruk Sweco lager

Fjernvarme

- Hovedmåler
- Sum undermålere
- Ventilasjon
- Radiator
- Gulvvarme
- Tappevann
- Kondensatorvarme fra kjølemaskin 35.01

Djuric konkluderer i rapporten at 20% av feil i energimålingene er korrigert med denne data reparasjonsteknikken. Feilen etter reparasjon av data ligger på mellom 8 – 24% for de ulike målerene (Djuric, 2011). Energibruksdataene holder derfor en høyere kvalitet etter reparasjonen og vil bli brukt i den videre analysen i denne rapporten der det er hensiktsmessig.

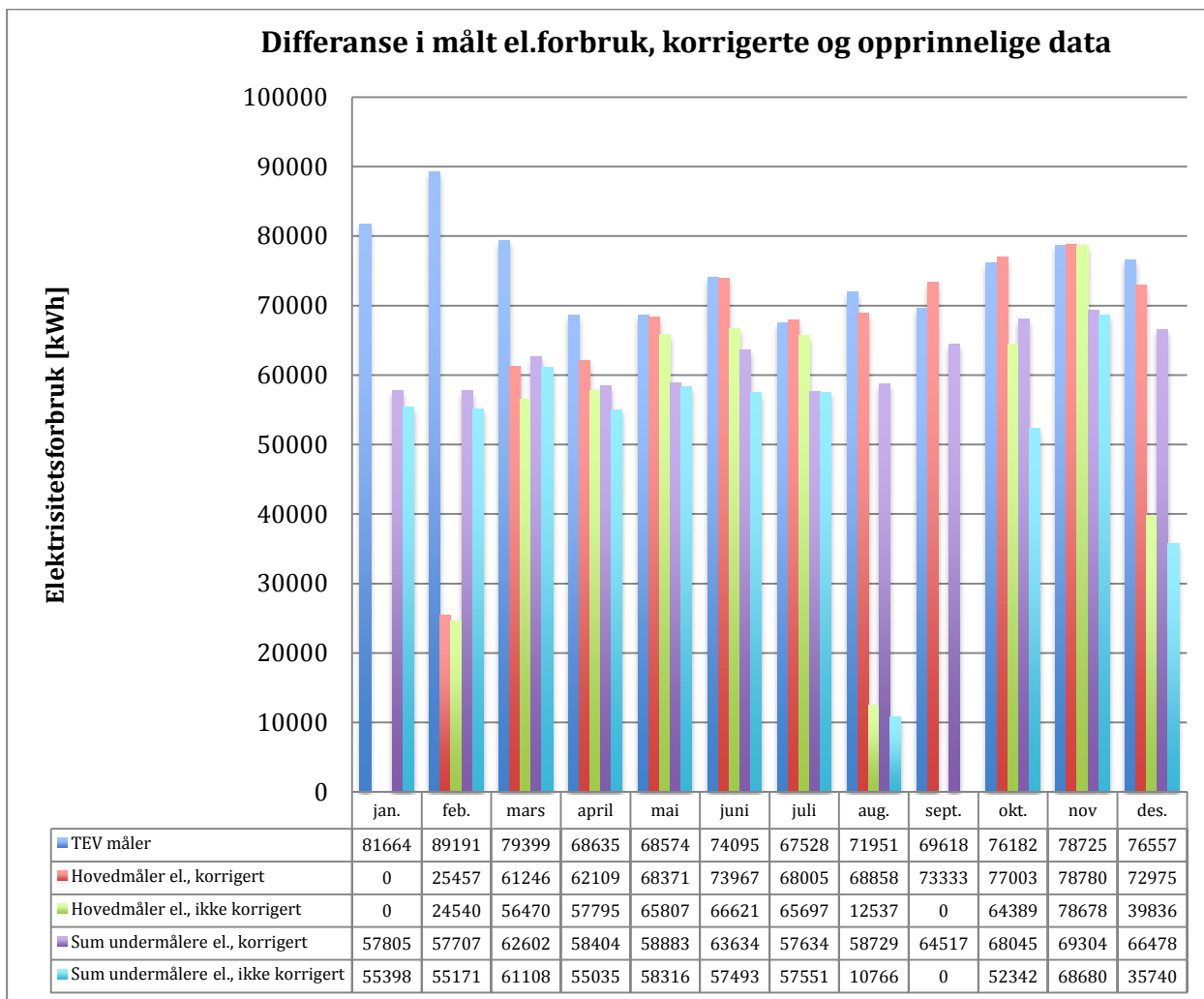
5.2.1 Elektrisitet

Figur 20 viser en sammenlikning mellom elektrisitetsforbruket målt med henholdsvis måleren fra Trondheim Energiverk (TEV,) korrigererte og opprinnelige data fra hovedmåler i Entro, samt både korrigererte og opprinnelige data der alle undermålerene i Entro er summert. Måledata fra TEV sin elektrisitetsmåler er den eneste måleren som det finnes timesverdier for hele 2010. Dette er altså måleren hvor det faktureres for elektrisitetsforbruket i bygningen. TEV kvalitetssikrer alle sine målere, men feil kan likevel vært tilstede. Likevel antas TEV sine målere å være de mest pålitelige i denne sammenheng. Som figuren viser måler TEV sin elektrisitetsmåler det høyeste forbruket i tilnærmet alle månedene i 2010.

Som Figur 20 viser finnes det ikke data fra hovedmåleren i Entro for januar. Siden perioden for data registrering i denne rapporten strekker seg fra 1.januar 2010 til 31 desember 2010 finnes det ingen verdier før januar å gjøre korrigeringer etter, slik Neutral Networks krever.

Etter korrigeringen av hovedmåleren og summen av undermålerene viser figuren at differansen mellom måleren fra TEV og de to nevnte er mindre, slik Djuric også konkluderte i sin rapport. De korrigererte verdiene representerer derfor et forbruk som er nærmere det antatt riktige forbruket. Selv i måneder nesten uten data på energibruk som i august og september gir valgt korrigeringsmetode et forbruk relativt nærme TEV sin måling. Det ser på bakgrunn av dette ut som korrigeringsmetoden øker kvaliteten på måledataene, og vil derfor bli brukt videre i evalueringen av byggets energibruk. Ved evaluering av total energibruk vil måleren fra Trondheim Energiverk være den mest hensiktsmessige å benytte.

En trend blant elektrisitetsmålingene i figuren er at hovedmåleren viser et høyere forbruk enn summen av alle undermålerene. Dette er tilfellet i samtlige måneder bortsett fra januar hvor hovedmåleren ikke har noen registrerte data , samt i februar hvor hovedmåleren viser veldig lave verdier. Grunnene til dette kan være mange, men det kan tyde på at det finnes forbruk i bygningen som ikke blir registrert på noen av undermålerne. I tillegg vil måleusikkerheten for summen av undermålerne være langt dårligere enn både hovedmåleren og TEV måleren.



Figur 20, Differanse mellom korrigert og opprinnelig målt el.forbruk, pluss TEV måler

5.2.2 Fjernvarme

Figur 21 viser samme fremstilling som Figur 20 men for fjernvarmeforbruket i PB2. For å kunne sammenlikne TEV måler, hovedmåler og summen av undermålere ble følgende likning brukt for summering av undermålerene:

$$Q_{FV} = Q_{RAD} + Q_{VENT} + Q_{GV} + Q_{TV} - Q_{KV}$$

der Q_{RAD} er forbruk til radiatorer, Q_{VENT} er forbruk til ventilasjon, Q_{GV} er til gulvvarme, Q_{TV} er tappevannsforbruket og Q_{KV} er overskuddsvarme fra kondensatoren i system 35.02 som tilføres fjernvarmekretsen.

I likhet med el.målingene finnes det heller ikke her måledata fra hovedmåleren i Entro for januar, og derfor heller ikke korrigerte verdier for denne måneden.

For fjernvarmeforbruket har vi ikke de samme klare trendene på differansen mellom måleren til TEV, hovedmåleren og summen av undermålere. Verdien på hovedmåleren i februar, både korrigert og opprinnelig ligger godt under både summen av undermålere og TEV måler. Ellers viser hovedmåler et høyt forbruk i mars og delvis i april. I månedene mai, juni, juli, august og september viser summen av undermålerene det høyeste forbruket. Spesielt i månedene juni, juli og august som er måneder med meget lavt fjernvarmeforbruk er differansen mellom TEV måler/hovedmåler og sum undermålere meget stor. I juli har TEV sin måler registrert et forbruk på 2224 kWh, hovedmåler korrigert gir 2278 kWh mens sum undermålere korrigert gir hele 16569 kWh i juli. Summen av de fire undermålerene for fjernvarme registrerer altså et forbruk som er over 7 ganger så høyt som måleren fra TEV.

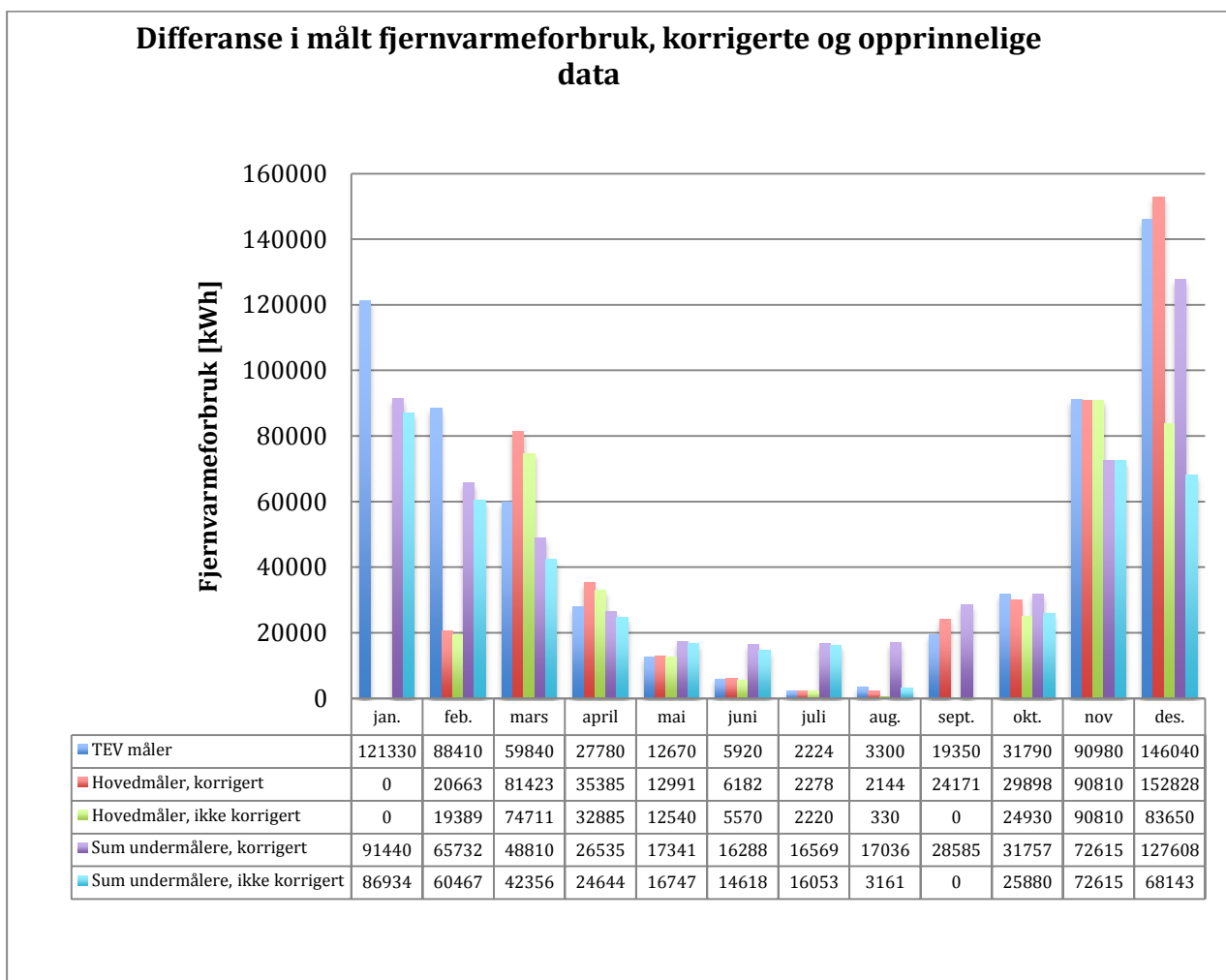
Grunnen til det høye registrerte forbruket på sum undermålere i perioder med meget lavt fjernvarmeforbruk kommer mest sannsynlig av at forbruket i disse månedene ligger lavere enn flowmålerens måleområde slik at forbruket ofte registreres som høyere enn det er. Dette er riktignok ikke blitt videre undersøkt av forfatter på grunn av begrenset mulighet for befaring, og avgrensning av oppgaven. Andre feilkilder kan være feil i monteringen av flow- og temperaturmålere. Det er ikke avdekket umiddelbare feil i monteringen bortsett fra at hele flowmåleren, inkludert telleverket er isolert. Siden måler og spesielt telleverk ikke skal ha høyere temperatur enn 55°C kan isoleringen føre til at denne temperaturen overskrides (Hammer, 2011).

I oktober er registrert forbruk relativt likt for alle målerene, med henholdsvis registrert forbruk på 31790, 29898 og 31757 kWh. I november er registrert forbruk i TEV måler og hovedmåler i Entro tilnærmet helt likt, mens sum undermåler viser ca. 20.2% lavere forbruk. Både korrigererte verdier og opprinnelige verdier for både hovedmåler og sum undermålere viser identiske verdier i november

I desember ligger den korrigert verdien av hovedmåleren i Entro med den høyeste verdien, med TEV måler og korrigert sum av undermålere henholdsvis ca.4.4% og 16,5% under.

En meget viktig faktor i denne sammenheng er at snøsmelleanlegg 320.003 ikke har egen fjernvarmemåler. Dette fører til at sum undermålere ikke regner med fjernvarmeforbruket til snøsmelt som kan være betydelig i vintermånedene fra oktober til og med mars. Dette kan forklare mye av differansen mellom TEV måler / hovedmåler og ned til summen av undermålere.

I tillegg skal det nevnes at det var mye testing og utprøving av frikjøling gjennom ventilasjonsanleggene sommeren 2010. Dette kan ha hatt en viss betydning for fjernvarmeforbruket til radiatorer og ventilasjon hvis innstillinger har vært feil eller anlegg ikke har fungert som de skulle. Likevel ser det ut fra registrert forbruk hos TEV måler og hovedmåler at ekstra fjernvarmeforbruk som følge av dette har vært minimalt eller ikke forekommet.



Figur 21, Differanse mellom korrigert og opprinnelig målt fjernvarmeforbruk, pluss TEV måler. Tallene i tabellen viser målt forbruk i kWh for de ulike målerne

5.3 Total energibruk

I dette kapitlet blir den totale leverte energiforbruket i PB2 gitt samt fordelingen av elektrisitet og fjernvarme gjennom 2010.

5.3.1 Levert energi

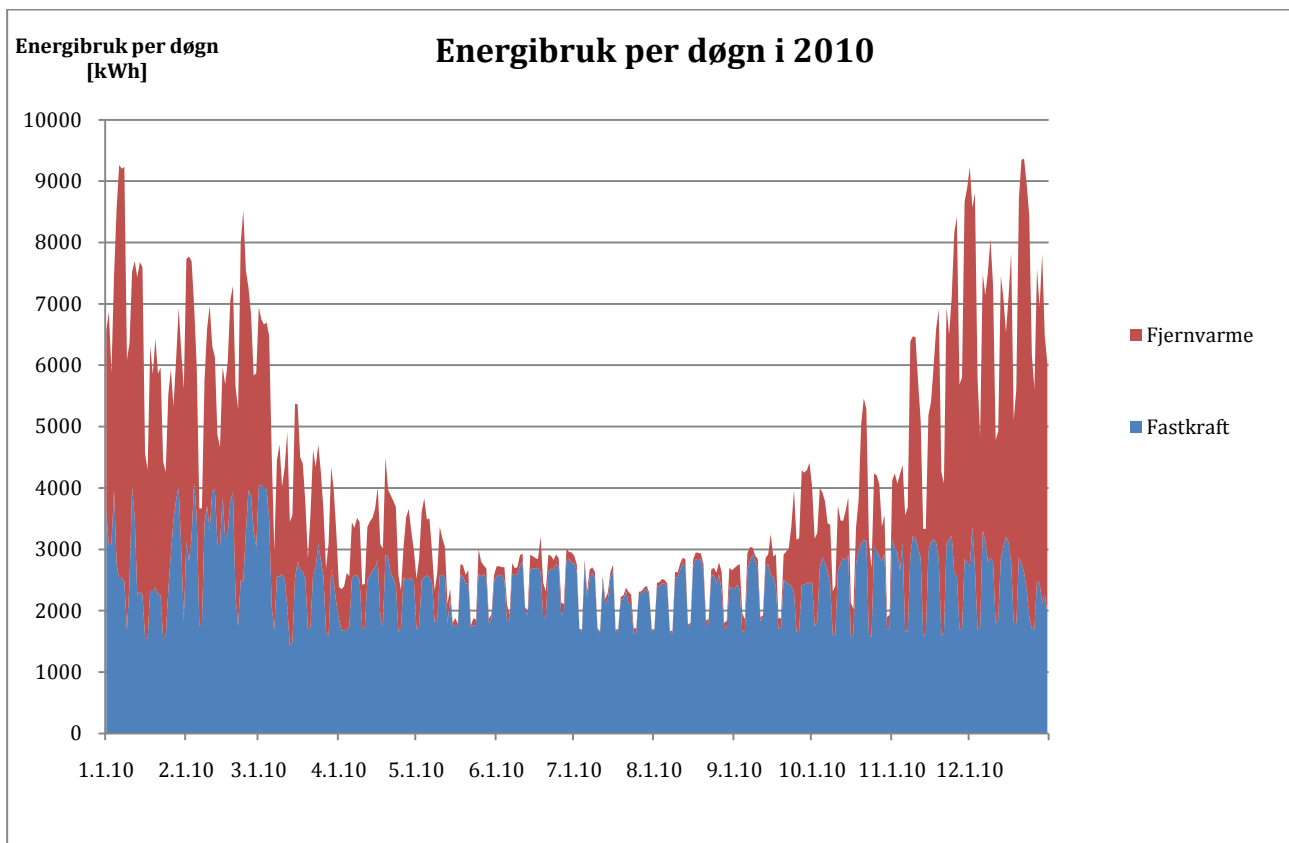
Tabell 11 viser den leverte energien til Professor Brochs gate 2. Tallene er fra Trondheim Elektrisitetsverk sine målere i bygget, mens den spesifikke energien er regnet ut fra KLP Eiendoms data på arealet av bygget, uten kjeller. Dette arealet er oppgitt til 13093 m² (KLP Eiendom, 2009).

	2010	
	Leverte energi [kWh/år]	Spesifikk leverte energi [kWh/år*m ²]
Fastkraft	902120	68,90
Fjernvarme	609634	46,56
Totalt	1511754	115,46

Tabell 11, Total leverte energi til PB2 i 2010. Basert på tall fra TEV måler.

Figur 22 viser den totale leverte energien til PB2 i 2010. Forbruket av elektrisitet (fastkraft) viser et relativt konstant forbruk gjennom hele året, med små unntak. Unntakene er februar da forbruket viser litt høyere en gjennomsnittet og i juli da forbruket ligger under gjennomsnitt. Forbruket i juli ligger mest sannsynlig lavere grunnet mindre folk på jobb i ferietider.

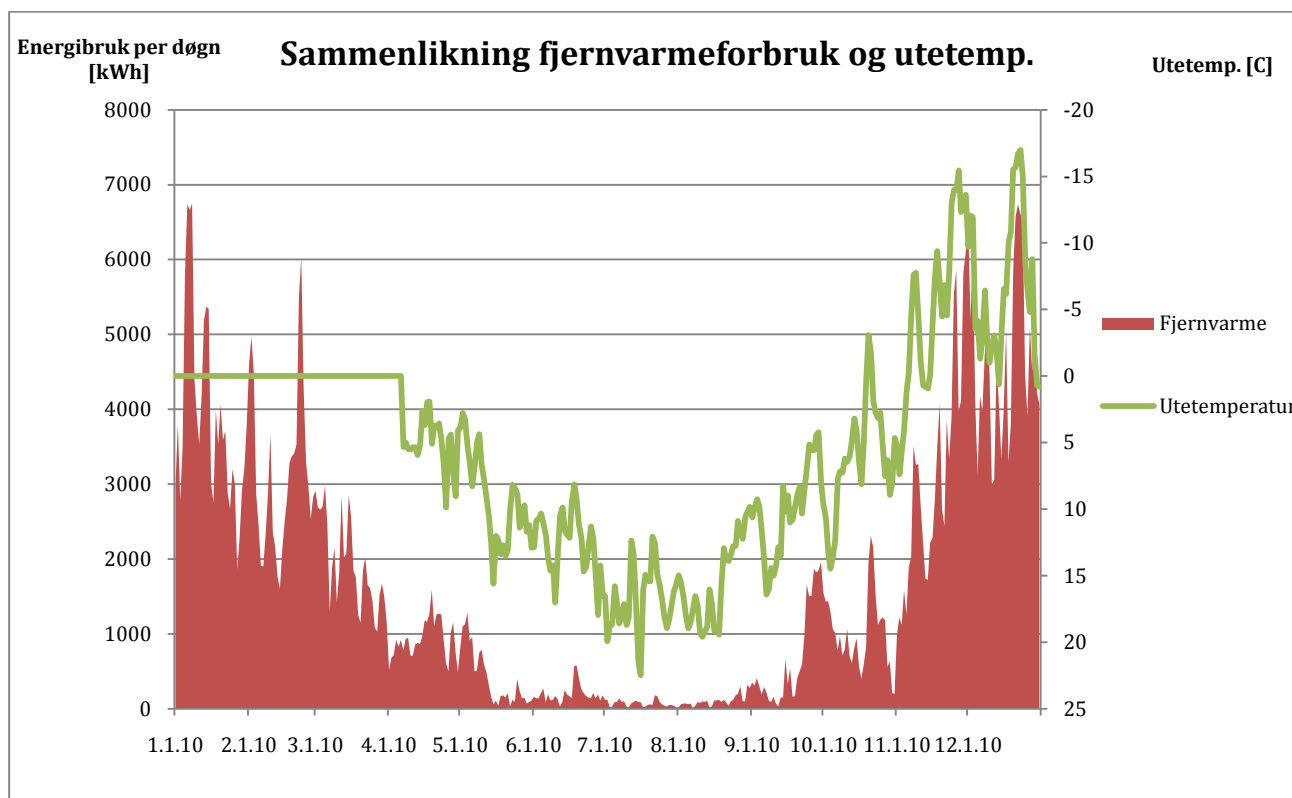
Fastkraft forbruket viser også klare skiller mellom hverdag og helg ved betydelig lavere forbruk i helgedagene. Dette viser at behovstyring av lys, ventilasjon og utstyr gir tydelige utslag på energibruken.



Figur 22, Levert energi per døgn, både fastkraft og fjernvarme for 2010.

Figur 23 viser fjernvarmeforbruket i 2010 (TEV måler) plottet mot gjennomsnittlig utetemperatur per døgn ved Miljøbygget. Fjernvarmeforbruket er som antatt langt mer variabelt gjennom året enn elektrisitetsforbruket. På grunn av mangel på informasjon om utetemperaturen i perioden fra 1. januar til 8. april 2010 er denne kun markert med en rett strekk på null grader celsius i grafen. Fra den 8. april og ut året viser grafen at utetemperatur og fjernvarmeforbruk er helt avhengig av hverandre, der fjernvarmeforbruket øker i takt med synkende utetemperatur.

I perioden fra midten av mai til midten av september da fjernvarmeforbruket er meget lavt antas det at tappevannsforbruket står for tilnærmet hele forbruket. Det kan derfor ut fra avlesing i grafen avslås at ved gjennomsnittlige døgntemperaturer over ca. 12°C har ikke Miljøbygget noe fjernvarmebehov. Dette er en lav verdi for skillet der oppvarmingsbehov er nødvendig, og gir en god indikasjon på at det er lagt ned mye arbeid i å redusere infiltrasjonstap, transmisjonstap og ventilasjonstap i PB2. Det skal bemerkes her at siden varmepumpen skal dekke grunnlasten i oppvarmingen av ventilasjonsluften vil det ikke være behov for fjernvarme her før ved lave temperaturer. Likevel antas det at det ikke er behov for oppvarming av ventilasjonsluften utover den roterende varmegjenvinneren ved 12°C.



Figur 23, Fjernvarmeforbruk samt utetemperatur i 2010. Døgnforbruk.

5.3.2 Graddagskorrigert energibruk

På grunn av varierende utetemperaturer fra år til år vil den temperaturavhengige energibruken i et bygg variere over ulike år. For at vi likevel skal kunne sammenlikne den temperaturavhengige energibruken i et bygg i ulike år er det nødvendig å korrigere dette i forhold til temperaturstatistikken. Det er altså kun den termiske energien som brukes til rom- og ventilasjonsluftoppvarming som skal korrigeres, og ikke temperaturuavhengig forbruk som energi til belysning, utstyr og tappevann.

Utgangspunktet for beregningen av graddagstallet er at bygningen ikke trenger oppvarming ved en utetemperatur høyere en 17°C . For å finne graddagstallet for et år blir differansen mellom 17°C og døgnmiddeltemperaturen for hvert døgn i året summert. Det er kun døgn der døgnmiddeltemperaturen en lavere en 17°C som regnes med. For 2010 var graddagstallet for Trondheim kommune $\text{GD} = 4838$. Normalt graddagstall for Trondheim kommune basert på tall fra 1981 – 2010 er $\text{GD}=4208$ (ENOVA, 2010). Det er i denne rapporten valgt å sammenlikne opp mot perioden 1981-2010 fremfor den internasjonale standarden 1961-1990 på grunn av at perioden 1981-2010 stemmer bedre med dagens klima. Graddagstallet for 2010 viser at 2010 var et kaldt år og har et avvik på hele 13% fra normalen 1981-2010. Graddagskorrigert energiforbruk for 2010 vil derfor gi betydelig lavere verdier en målt forbruk i 2010.

Graddagskorrigert energiforbruk finnes etter følgende formel:

$$\text{Graddagskorrigert forbruk} = \text{målt forbruk} \cdot \frac{\text{normalt graddagstall}}{\text{aktuelt graddagstall}}$$

Det ble ut fra dette graddagskorrigerede verdier for fjernvarmeforbruket til ventilasjon, radiatorkrets og gulvvarme funnet ut fra måleverdier fra undermålerene. Alternativt ble det også funnet graddagskorrigert fjernvarmeforbruk fra TEV-måler minus tappevannsforbruket fra undermåler. Ved denne metoden blir feilmålingene hos undermålerene i sommermånedene borte, mens fjernvarmeforbruk til snøsmelteanlegg blir inkludert. Siden snøsmelteanlegget ikke er en del av bygget, og som mest avhenger av nedbørsmengden i form av snø, skal ikke denne graddagskorrigeres. I Tabell 12 er resultatene fra graddagskorrigeringen gitt. Utrekning og graddagsdata er gitt i Vedlegg B.

	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	årssum
Fjernvarme ventilasjon	23498	13943	10894	6820	5807	8010	7989	8132	6516	6175	17250	43151	158185
GD korrigert FV ventilasjon	18373	11550	10406	6948	4978	6576	12113	10359	6579	6572	13000	32377	137586
Fjernvarme radiatorer	65287	47878	33737	17142	8921	5268	6582	6822	17071	19812	45840	73323	347683
GD korrigert FV radiatorer	51049	39661	32226	17465	7646	4326	9980	8690	17236	21084	34546	55017	302408
Fjernvarme gulvvarme	0	1198	1655	69	1	29	0	0	646	812	4445	6755	15608
GD-korrigert FV gulvvarme	0	992	1581	70	1	24	0	0	652	864	3350	5068	13576
Sum vent, rad og gulvvarme	88785	63018	46286	24031	14729	13307	14572	14954	24233	26799	67535	123228	521476
Sum GD korrigert vent, rad og gulvv.	69422	52204	44213	24483	12625	10926	22092	19049	24468	28520	50896	92462	453570

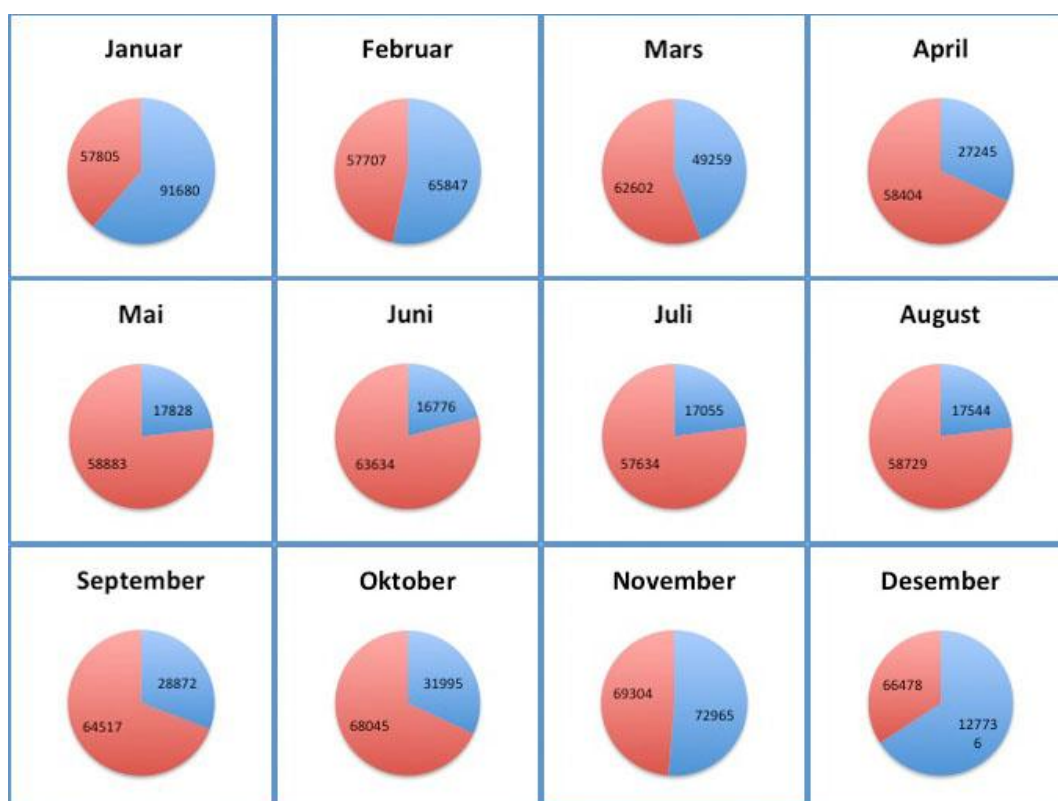
Tabell 12, Målte og graddagskorrigerede verdier for fjernvarmeforbruk til ventilasjon, radiatorkrets og gulvvarme.

6 Formålsdelt energibruk

Frem til nå er det i denne rapporten kun sett på det totale forbruket av elektrisitet og fjernvarme i Professor Brochs gate 2. Dette kapitlet tar først for seg fordelingen mellom forbruket av elektrisitet og fjernvarme i ulike måneder, og videre fordeling mellom de ulike postene innen hver energibærer. Til slutt blir flere grafer på energibruk over utvalgte uker og dager lagt frem. Korrigerte verdier fra undermålerne er brukt i dette kapitelet.

6.1 Andel el. og fjernvarme

I Figur 24 er fordelingen mellom elektrisitet (rødt) og fjernvarme (blått) illustrert for samtlige måneder i 2010. Det skal her bemerkes at siden undermålerene for fjernvarme som tidligere omtalt viser langt mer enn reelt forbruk i sommermånedene gir ikke denne illustrasjonen den korrekte fordelingen i mai, juni, juli og august. Likevel antas det tilnærmet riktig fordeling for øvrige måneder.

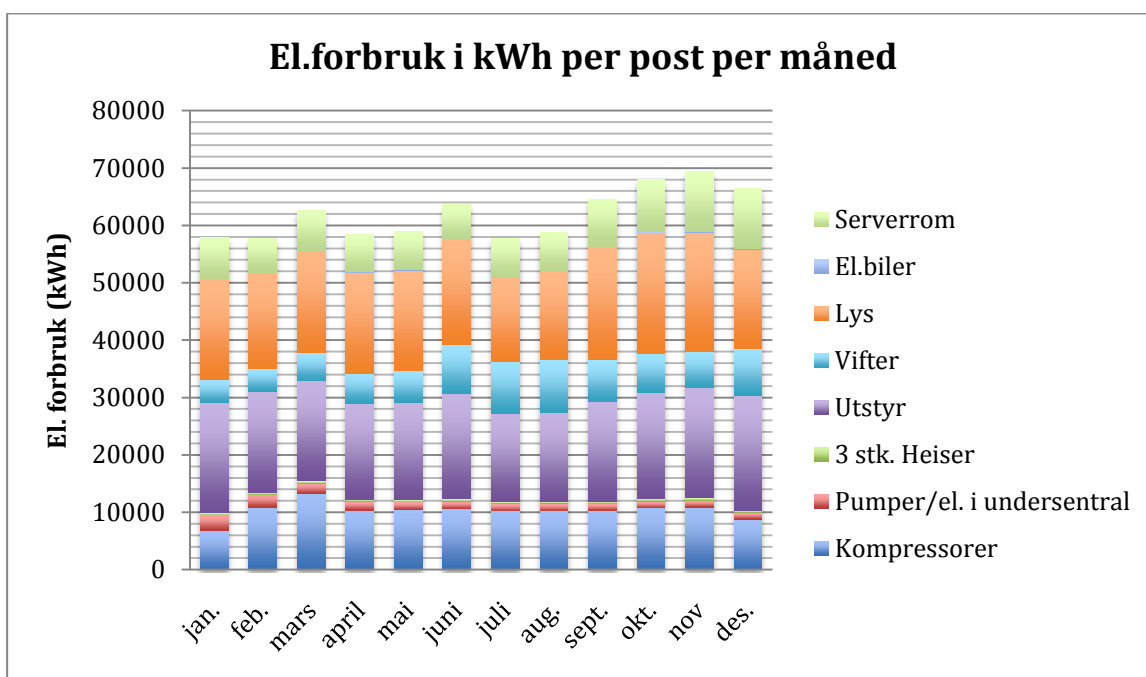


Figur 24, Andel elektrisitet og fjernvarme i alle måneder i 2010. Tall i kakediagram viser totalt forbruk av el. og fjernvarme i den respektive måneden. Rødt viser elektrisitetsforbruk og blått viser fjernvarmeforbruk. Sum av undermålere er brukt som kilde.

6.2 Elektrisitet

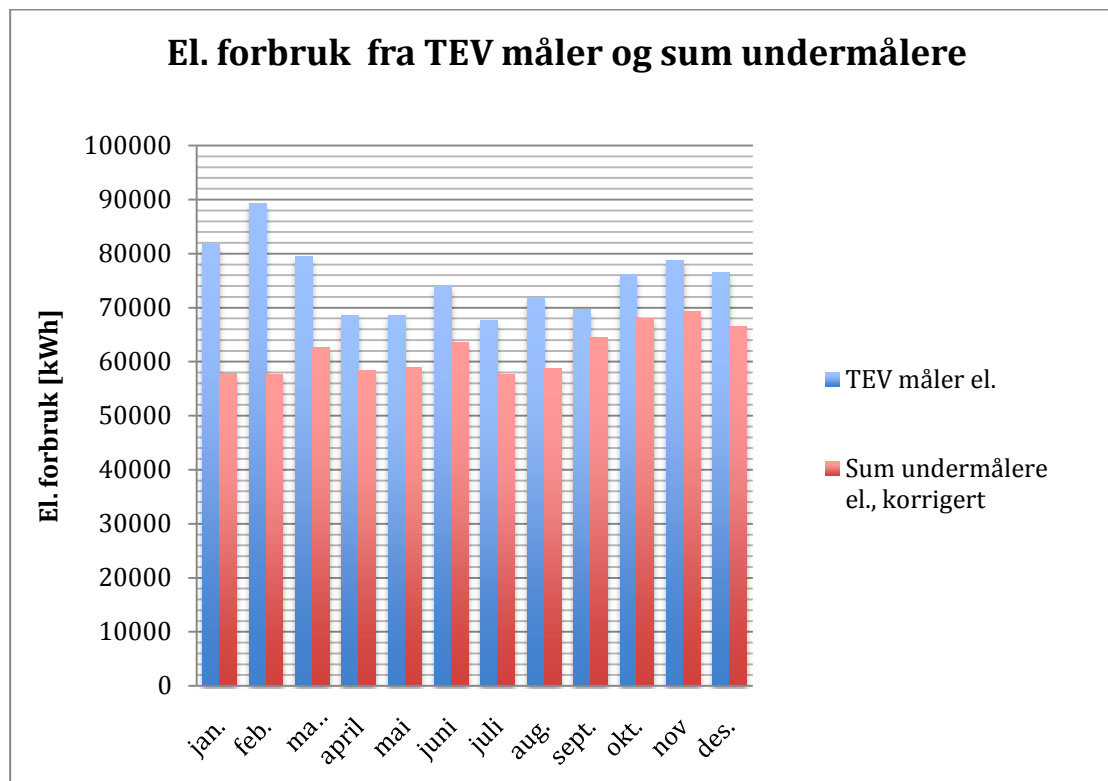
6.2.1 Elektrisitet fordelt på ulike poster

Figur 25 gir en mer detaljert oversikt over el. forbruket i Miljøbygget i 2010. Det er ingen av postene som skiller seg ut med markante endringer over året. Likevel kan det bemerkes et høyere forbruk til kompressorer i mars fremfor resten av året. Elektrisitetsbruk til ventilasjonsvifter er høyere i juni, juli og august. Dette skyldes mest sannsynlig utstrakt bruk og testing av frikjøling via ventilasjonsanlegget i disse månedene. Ifølge Roger Dahl ved KLP Eiendom hadde ikke bruken av frikjøling sommeren 2010 gitt gode resultater og skal bli optimalisert videre sommeren 2011 for å oppnå god frikjøling via ventilasjonsanleggene i PB2(Dahl, 2011).



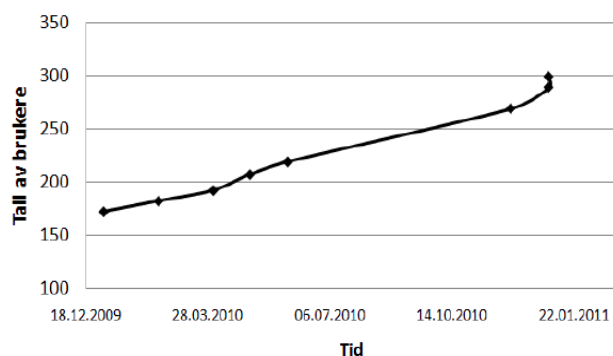
Figur 25, Elektrisitetsforbruk på ulike poster per måned i 2010. Basert på undermålere.

Figur 26 er ment for enkel sammenlikning mellom elektrisitetsforbruket målt med måleren fra TEV og den summerte verdien av alle undermålere for elektrisitet. Dette er også illustrert i Figur 20.



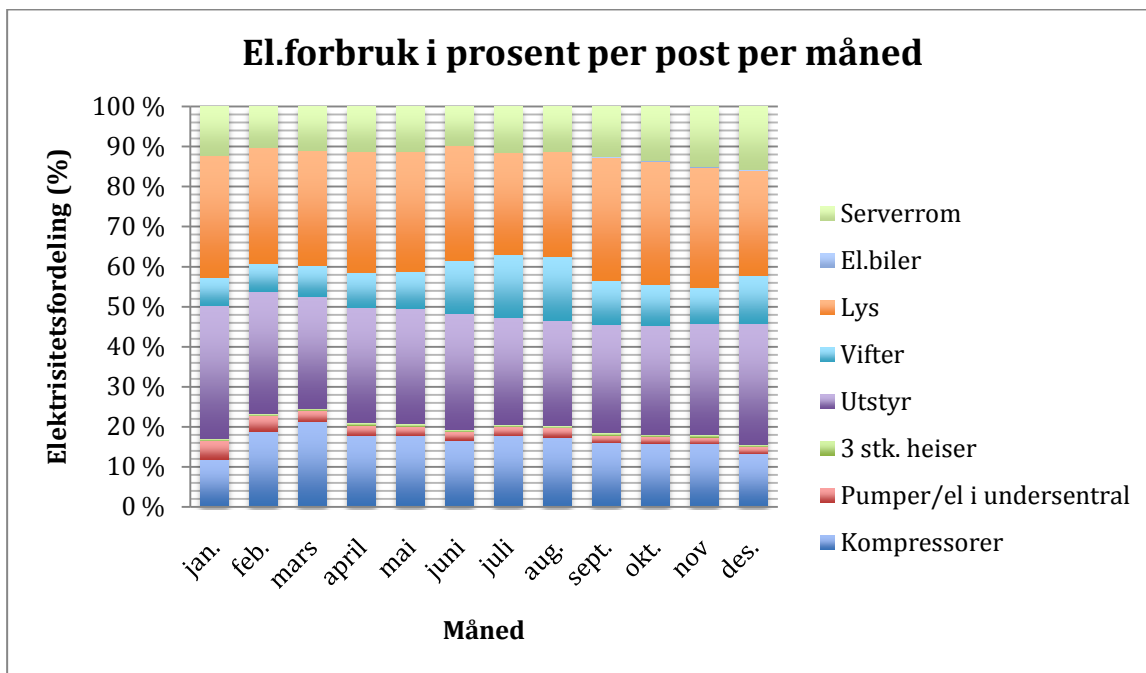
Figur 26, Elektrisitetsforbruk fra TEV måler og summen av undermålere

El. forbruket i PB2 hadde gjennom 2010 en slakk stigning ifølge Figur 25. Fra januar til desember økte el. forbruket med 15% mens antall brukere økte med hele 63% fra inngangen til januar 2010 til utgangen av desember 2010, som illustrert i Figur 27.



Figur 27, Antall brukere i PB2 (Djuric, 2011)

I Figur 28 vises samme elektrisitetsforbruk som i Figur 25 men med prosentvis fordeling av forbruk. Dette for lettere å se andel av de ulike postene per måned.

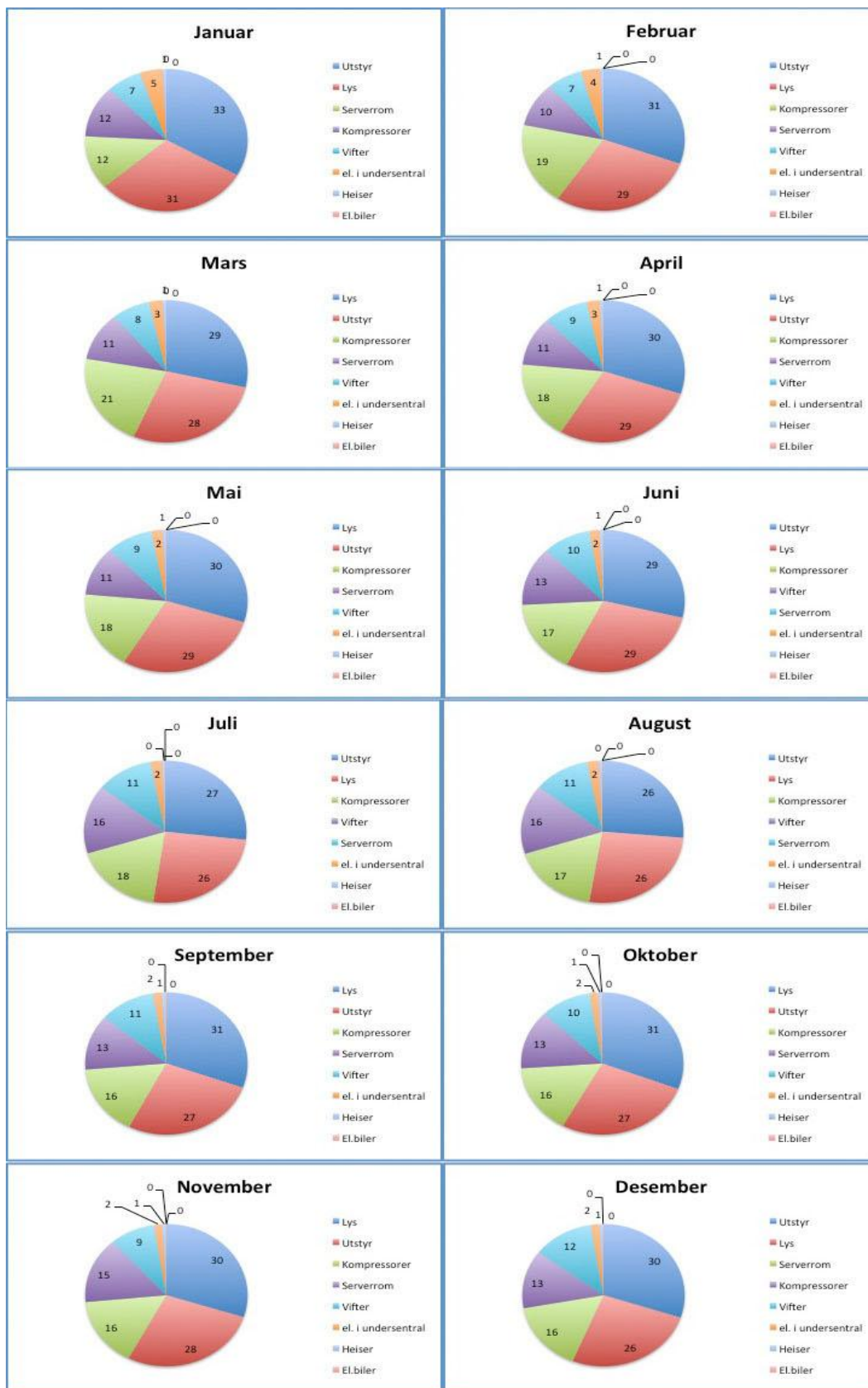


Figur 28, Elektrisitetfordeling i prosent for ulike poster per måned i 2010. Basert på undermålere.

6.2.2 Klassifisering av elektrisitetposter

Figur 29 viser også en oversikt over elektrisitetsbruken til ulike poster per måned. Forklaringene til venstre for hvert kakediagram er rangert fra høyest til lavest forbruk for den respektive måneden.

Lys og utstyr veksler mellom å ha det høyeste forbruket, der hver av de har det høyeste forbruket i 6 av 12 måneder. Elektrisitetsbruk til kompressorene ligger som den tredje største brukeren i 10 av 12 måneder, mens el. forbruk til serverrom er den fjerde største brukeren i 7 av 12 måneder. På grunn av utprøving av frikjøling via ventilasjonsanlegget ligger el. forbruk til ventilasjonsvifter på fjerdeplass i juni, juli og august. Ellers ligger viftebruk på femte plass i 9 av 12 måneder i 2010. Videre kommer el. i undersentral, heiser og el.biler på henholdsvis sjette, sjuende og åttende plass i samtlige måneder.



Figur 29, Klassifisering av elektrisitetsforbruk i alle måneder i 2010. Tall i kakediagram viser prosentvis forbruk. Basert på undermålere.

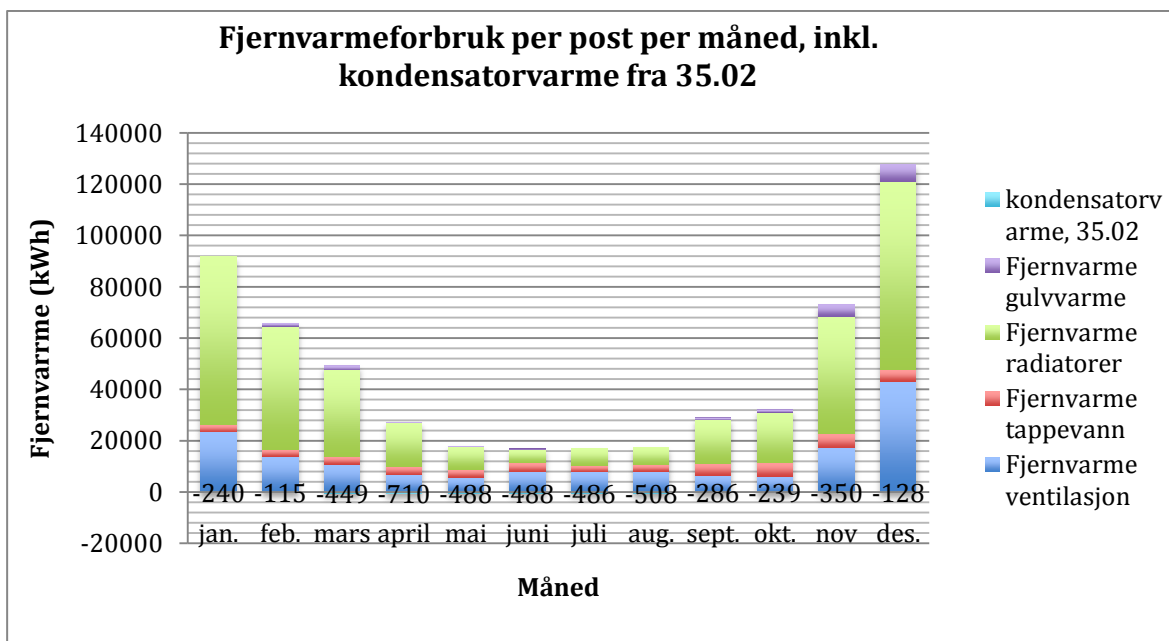
6.3 Fjernvarme

6.3.1 Fjernvarme fordelt på ulike poster

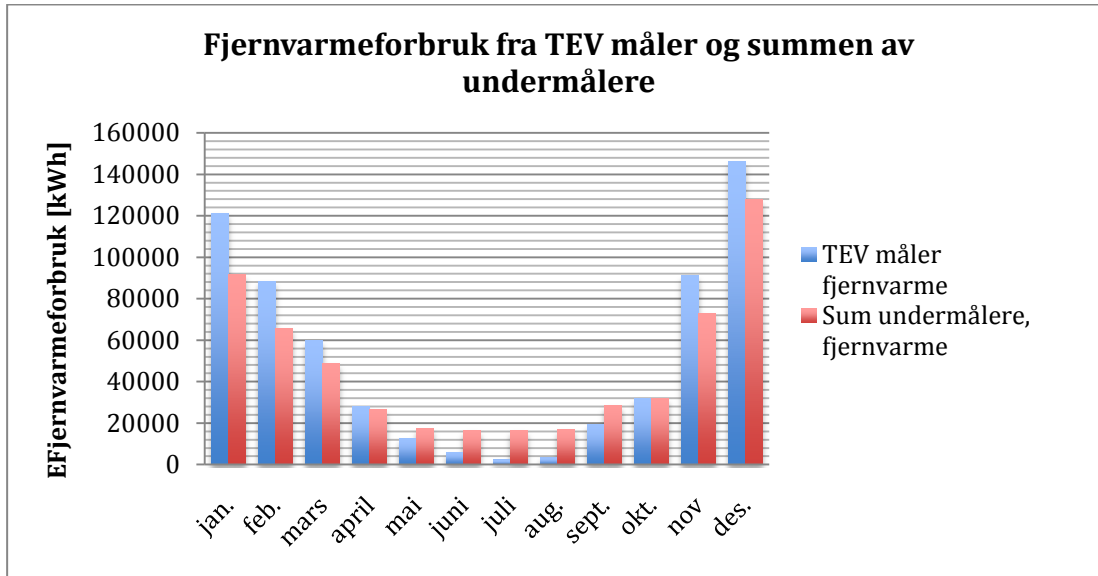
Som kjent er fjernvarmeforbruket veldig varierende over året, og slik Figur 30 viser er det spesielt radiatorer, gulvvarme og ventilasjonsluftoppvarming som varierer mest. Tappevannsforbruket er relativt konstant over året og varierer kun avhengig av brukeratferden til personene som jobber i Miljøbygget.

Tallene nederst på hver søyle representerer overskudds kondensatorvarme fra anlegg 35.02 som er tilført fjernvarmereturen i hovedkurs 320.001. Som figuren viser representerer ikke dette store tilskuddet. Grunnen til dette lave tilskuddet er mye på grunn av valgt kjølemedie, R410A, i kjølekretsen til system 35.02. På grunn av de termiske egenskapene til dette kjølemediet vil det i praksis si at det kun er mulig å få utnyttet kondensatorvarme via en gjenvinningsvarmeveksler hvis returtemperaturen i hovedkurs (320.001.RT51) er lavere enn 52,59°C (Djuric, 2011). Mer om dette i kapittel 9.

Som nevnt tidligere viser undermålerene for fjernvarmeforbruk til radiator og ventilasjon i juni, juli, august og delvis mai alt for høye verdier. Dette bidrar derfor til feilaktig inntrykk for disse månedene i Figur 30 og Figur 32. På grunn av denne feilen i sommermånedene pluss avvik i det fleste andre måneder i forhold til TEV måleren er det i Figur 31 gitt en illustrasjon på denne forskjellen.

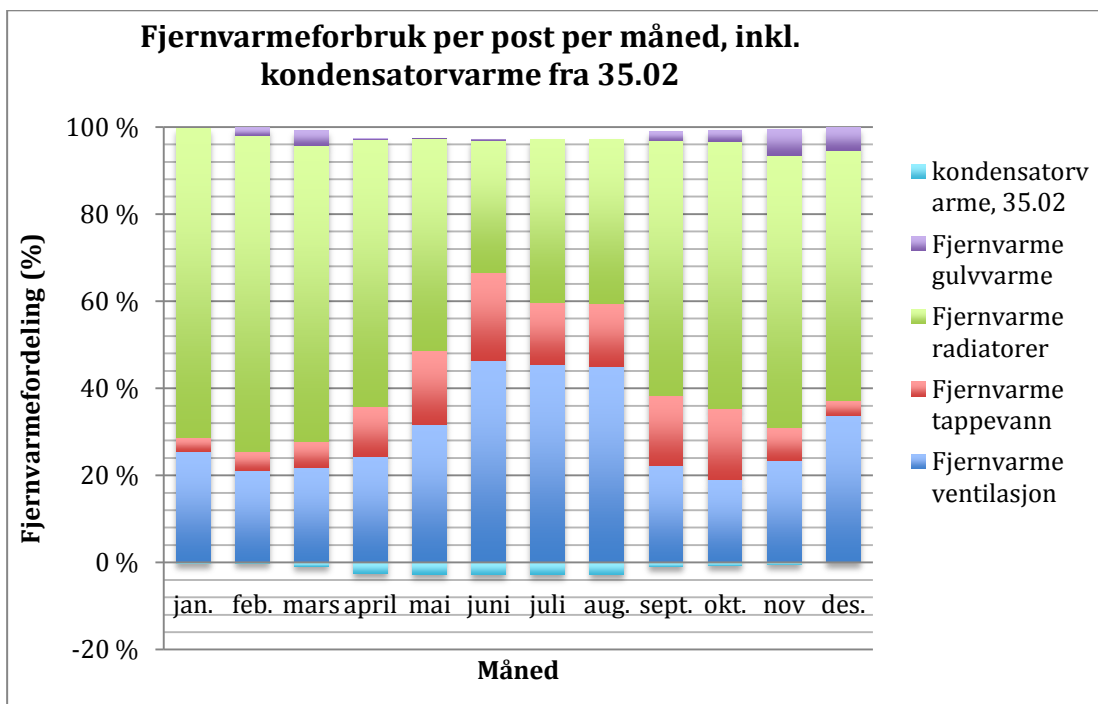


Figur 30, Fjernvarmeforbruk på ulike poster per måned i 2010. Basert på undermålere.



Figur 31, Fjernvarmeforbruk fra TEV måler og summen av de fire undermålerene for fjernvarme

Figur 32 viser prosentvis fordeling av fjernvarmeforbruk. Dette for lettere å se andel av de ulike postene per måned.



Figur 32, Fjernvarmefordeling i prosent for ulike poster per måned i 2010. Basert på undermålere.

6.3.2 Klassifisering av fjernvarme poster

I Figur 33 vises også en fordeling av fjernvarmeforbruket i 2010 der forklaringen til høyre for kakediagrammet er rangerte fra høyest til lavest forbruk.



Figur 33, Klassifisering av fjernvarmeforbruk i alle måneder i 2010. Tall i kakediagram viser prosentvis forbruk. Basert på undermålere.

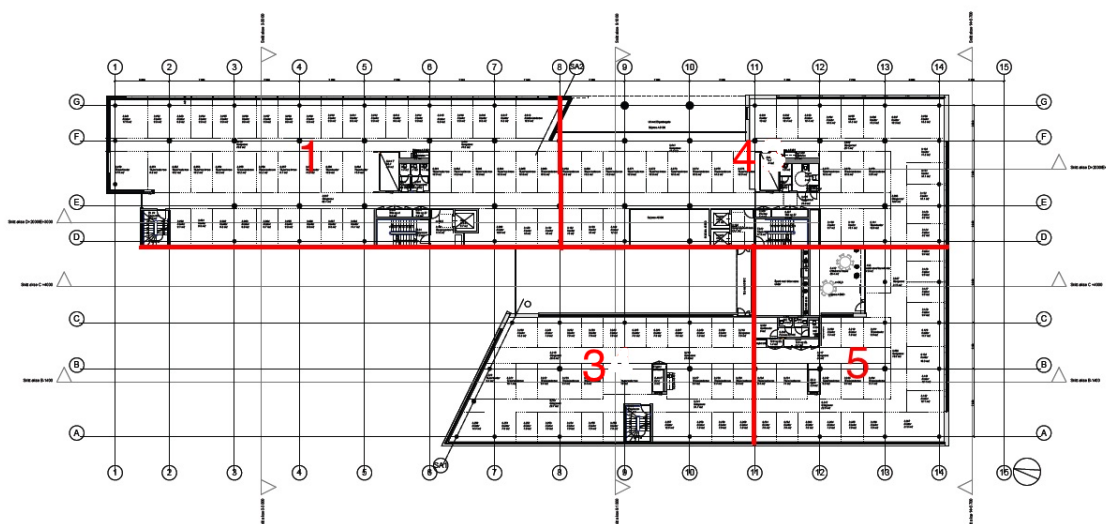
Fjernvarme til radiatorer er den posten som overlegent står for det høyeste forbruket i 9 av 12 måneder. I de tre siste månedene, juni, juli og august er fjernvarme til ventilasjon rangert som den høyeste forbrukeren. Som nevnt flere ganger tidligere er ikke fordelingen i disse tre månedene riktige som følge av feil måling hos undermålerne.

Videre ligger tappevannsforbruket som den tredje største forbrukeren av fjernvarme i samtlige måneder i 2010 med et relativt jevnt forbruk gjennom hele året. Hadde målingene for sommermånedene vært korrekte antas det at tappevannsforbruket hadde ligget som den største forbrukeren i disse varme månedene.

Gulvvarme i Miljøbygget ligger som fjerde største forbruker av fjernvarme i samtlige måneder i 2011. Siden gulvvarmen kun finnes i utvalgte arealer i 1. etg og kun brukes til komfortvarme representerer ikke gulvvarmen noe stort forbruk i bygningen. Likevel kan dette forbruket være høyere enn nødvendig, som forklart i kapittel 9.

6.4 Belysning og teknisk utstyr i de ulike bygningsdelene

Elektrisitet til belysning og stikkontakter i Professor Brochs gate 2 er bygd opp av fire fordelinger for ulike deler av bygget. Siden disse fordelingene er flettet litt inn i hverandre ut fra praktiske grunner og/eller ønsker fra leietakere er det vanskelig å få noe eksakt areal for hver av delene. I denne rapporten er det derfor på bakgrunn av prosjekteringstegninger og informasjon fra Roger Dahl brukt en fordeling som vist i Figur 34.



Figur 34, Fordelinger for belysning og stikk i Professor Brochs gate 2

Ut fra fordelingen i Figur 34 og arkitekttegninger for hver etasje, er arealer funnet for hver av delene i hver etasje. Resultatene er gitt i Tabell 13. Arealene er funnet ved å summere arealstørrelsen som var skrevet på arkitekttegningen for hvert kontor, gang eller annet

areal som inkluderes i oppvarmet areal. Ved summering av disse påskrevde arealene på arkitekttegningene inkluderes ikke skillevegger og sjakter, samt at enkelte arealer kan bli uteglemt. På grunn av dette velges det å stole på at det totale arealet oppgitt av KLP Eiendom på 13093 m² stemmer. Det ble derfor funnet en korreksjonsfaktor mellom utregnet totalt areal, og areal fra KLP Eiendom på 1,1933. Alle de utregnede arealene for hver bygningsdelen ble så multiplisert med denne faktoren slik at korrigerede arealer oppgitt i Tabell 13 ble funnet. Dette ble gjort for å finne størrelsen på hver bygningsdel som vist i Figur 34. Disse korrigerede arealene for hver bygningsdel blir bruket videre i denne rapporten for beregning av spesifikk energibruk.

Etasje	Oppvarmet areal i de ulike bygningsdeler [m ²]				
	Del 1	Del 3	Del 4	Del 5	Totalt
Kjeller	770	1576	633	517	3496
1	669	613	689	417	2388
2	669	419	345	417	1850
3	740	419	503	377	2039
4	740	633	613	342	2328
5	740	0	633	0	1373
6	526	0	468	0	994
Totalt, uten kjeller	4084	2084	3251	1553	10972
Totalt, med kjeller	4854	3660	3884	2070	14468
Korrigert areal	4873	2487	3879	1853	13093

Tabell 13, Oppvarmet areal i PB2 i de ulike bygningsdeler og etasjer

I Tabell 14 er det spesifikke elektrisitetsforbruket for belysning og til utstyr via stikkontakter gitt. Som tabellen viser er energibruken til belysning størst i del 3 og 5, som er østfløyen av bygget slik Figur 34 viser. Dette stemmer også godt med hva driftsansvarlig ved PB2, Roger Dahl, fortalte ved befaring. Hele bygningsdel 3 og 5 hadde vært i bruk nesten hele 2010 mens del 1 og 4 ble mer og mer i bruk i løpet av 2010. Spesielt del 1 har stått mye tomt i 2010 og fremdeles står 1. og 2. etasje i denne delen tomt. Dette vises også godt på energiforbruket til belysning og utstyr for denne bygningsdelen.

Siden belysningen i Professor Brochs gate 2 kun er styrt via tilstedeværelse og ikke noe dagslyskompensering vil ikke plasseringen av de ulike bygningsdelene ha noe innvirkning på energibruk til belysning.

Elektrisitetsbruk via stikkontakter varierer mye mellom bygningsdelene der forbruket i del 5 er betydelig høyere enn de tre andre. Dette skyldes mest sannsynlig energikrevende utstyr som kopimaskiner, printere og annet utstyr som er plassert og tilkoblet på et sted,

men som benyttes av ansatte i flere bygningsdeler. Det er også mange organisasjoner som leier i PB2, og som kan ha stor variasjon i bruken av utstyr. I tillegg vil brukeratferd hos de ansatte, de ulike organisasjoners systemer på energieffektivisering, samt utstyrets kvalitet ha stor betydning for energibruken til utstyr hos de ulike organisasjonene.

Bygningsdel 1 har i likhet som med belysningen betydelig lavere forbruk til utstyr enn de andre delene på grunn av flere tomme lokaler.

	Spesifikk elektrisitetsbruk i de ulike bygningsdelene [kWh/m ² år]				
	Del 1	Del 3	Del 4	Del 5	Hele bygget
Belysning	12	28	13	19	16
Stikk	6	11	21	42	16
Totalt	18	39	34	61	32

Tabell 14, Spesifikk energiforbruk til belysning og stikk i de ulike bygningsdelene. Korrigert areal fra tabell 9 er benyttet som areal.

6.5 Spesifikk vifteeffekt, SFP

En viktig størrelse ved et ventilasjonsanlegg er anleggets SFP-faktor. Dette er et mål på energibruken til viftedrift i ett eller flere ventilasjonsanlegg, i forhold til levert luftmengde.

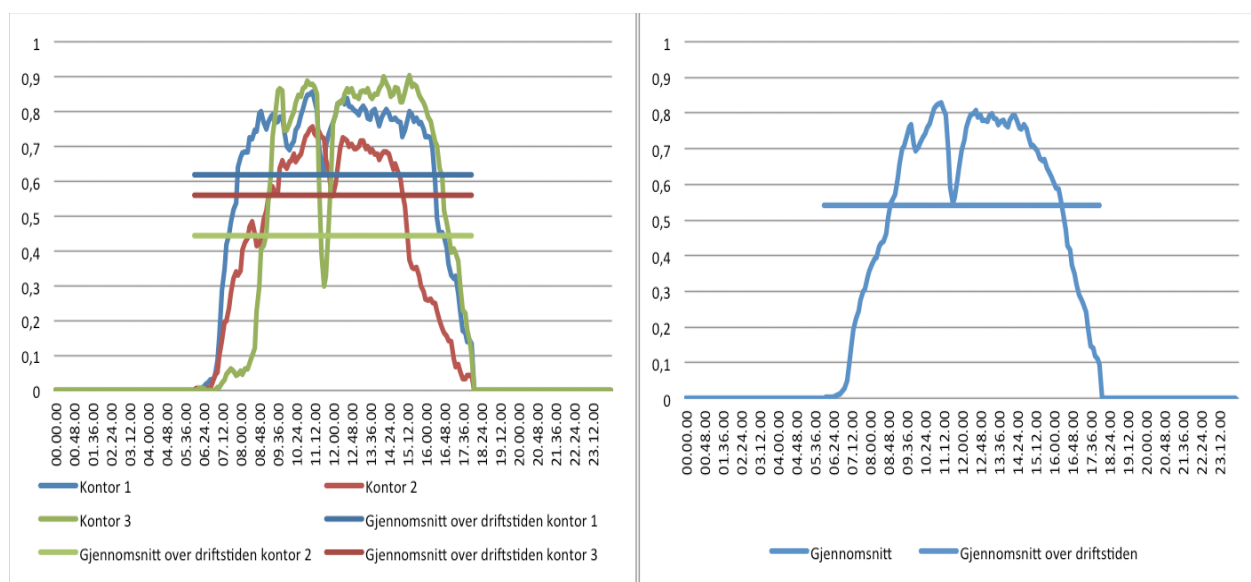
$$SFP = \frac{\sum P}{\dot{V}}$$

P angir her vifteeffekten til både tilluft- og avtrekksvifter i kW, mens V er levert netto luftmengde i m³/s.

Siden det er behovstyrt ventilasjon via tilstedeværelse eller CO₂ i Professor Brocks gate 2 må dette tas høyde for under beregningen av SPF-faktoren. På grunn av lite, eller vanskelig tilgjengelig informasjon rundt tilstedeværelse i bygningen vil denne beregningen kun bli et grovt anslag på SFP-faktorene for ventilasjonsaggatene.

I Miljøbygget er som nevnt tidligere ventilasjonsanlegget helt avslått mellom 18.00 og 06.00, mens driftstiden er satt mellom 06.00 og 18.00. I kontorlokalene som er styrt av tilstedeværelse er luftmengden satt til 12 m³/m²h ved personer tilstede på kontoret og 4 m³/m²h ellers i driftstiden. Det blir derfor gjort en beregning av SFP for denne driftstiden. Luftmengdene benyttet i beregningen er hentet fra en målprotokoll på avtrekksluftmengden fra samtlige avtrekk på de ulike aggregatene. Denne måleprotokollen ble utarbeidet av Sweco Grøner, nå Sweco, etter ferdigstilling av bygget i 2009 (Sweco, 2009)

For å kunne beregne en nøyaktig verdi for SFP for en bygning med behovstyrt ventilasjon vil et nøyaktig tall på tilstedeværelse være helt nødvendig. På grunn av manglende loggdata for tilstedeværelse var ikke dette mulig å oppnå i forbindelse med denne rapporten. Det ble gjort et utvalg på tre kontorer med tilgjengelig logg på tilstedeværelse og innetemperatur som ble brukt til en enkel beregning av tilstedeværelse. Figur 35 viser resultatet fra denne beregningen med gjennomsnittlig tilstedeværelse for de tre kontorene (t.v) og gjennomsnittet at de tre (t.h). De rette strekkene illustrerer gjennomsnittlig tilstedeværelse i driftstiden (06.00 – 18.00) for de tre kontorene, samt gjennomsnittet av de tre kontorene (t.h). Denne tilstedeværelsen ligger på 62%, 44% og 56% for de tre kontorene som gir et gjennomsnitt for de tre på 54% tilstedeværelse i driftstiden. På grunn av dette meget lille utvalget av kontorer beskriver ikke dette tilstedeværelsen til bygget som helhet. Spesielt siden alle tre kontorene mest sannsynlig befinner seg innen samme organisasjon/firma siden alle tre befinner seg i 4. etg i østre fløy, som vist i Figur 49.



Figur 35, (t.v) Gjennomsnittlig tilstedeværelse gjennom døgnet, samt gjennomsnittlig tilstedeværelse i driftstiden i tre kontorer gjennom hele 2010. (t.h) Gjennomsnitt av de tre kontorene gjennom døgnet og gjennomsnittet i driftstiden.

Johan Halvarsson ved SINTEF har gjennom arbeidet med sin doktoravhandling undersøkt tilstedeværelse i arbeidstiden i 12 ulike organisasjoner. Resultatene fra disse undersøkelsene ga en tilstedeværelse på mellom 30 og 70% hos disse organisasjonene. Dette viser en meget stor forskjell i tilstedeværelse mellom ulike typer organisasjoner/firmaer. Siden det er i størrelsesorden 10 ulike organisasjoner som leier i Miljøbygget vil antagelig tilstedeværelsen variere mye også her. Siden PB2 ikke har vært fullt utleid i 2010 må også dette tas høyde for under bestemmelsen av gjennomsnittlig tilstedeværelse for beregning av SFP-faktor. På bakgrunn av dette velges en gjennomsnittlig tilstedeværelse på 45% for beregning av gjennomsnittlig SFP-faktor i driftstiden. Det at driftstiden er satt til hele 12 timer per dag vil egentlig senke den gjennomsnittlige

tilstedeværelsen i driftstiden ytterligere, men på grunn av at det fortsatt går en redusert luftmengde i perioder uten tilstedeværelse vil dette veie opp for dette under beregningen av SFP-faktoren.

Det er valgt å beregne SFP-faktor i november 2010 på grunn av gode energibruksdata til viftene i de ulike aggregatene denne måneden, pluss at dette er en måned uten kjølebehov eller bruk av frikjøling. I tillegg begynte de fleste arealene i Miljøbygget å være i bruk mot slutten av 2010. Driftstiden i november er satt til 264 timer, altså 12 timer per dag ganger 22 virkedager. Resultatene er gitt i Tabell 15.

Aggregat nr.	Energibruk opprinnelig [kWh]	Gjennomsnittlig effekt [kW]	Luftmengde avtrekk [m ³ /h]	Luftmengde avtrekk [m ³ /s]	Tilstedeværelse [%]	SFP [kW/m ³]
36.01	861,0	3,26	15760,00	4,38	45,00	1,66
36.02	430,0	1,63	14850,00	4,13	45,00	0,88
36.03	689,0	2,61	10850,00	3,01	45,00	1,92
36.04	410,0	1,55	14820,00	4,12	45,00	0,84
36.05	1898,0	7,19	11280,00	3,13	45,00	5,10
36.06	549,0	2,08	12940,00	3,59	45,00	1,29
36.07	946,0	3,58	19772,00	5,49	45,00	1,45
36.08	497,0	1,88	10570,00	2,94	45,00	1,42
Totalt	6280,0	23,79	110842,00	30,79	45,00	1,72

Tabell 15, Gjennomsnittlige SFP-faktorer i driftstiden for de ulike aggregatene i Professor Brochs gate 2

Som tabellen viser ligger SFP faktorene for de ulike aggregatene lavt og relativt likt, med unntak av aggregat 36.05. Dette aggregatet forsyner plan 2 – 4 i del 3 (nordre del av vestfløy). Grunnen til at dette aggregatet får en SFP-faktor så mye større er meget overraskende. Ved en undersøkelse av energibruken til aggregat 36.05 i de andre månedene i 2010 viser at dette aggregatet også har høye forbruk til viftedrift i samtlige måneder men ikke like stor forskjell som i november. Det kan derfor stilles spørsmål om dette ventilasjonsanlegget fungerer optimalt. Unormalt høyt energibruk til viftedrift kan for eksempel tyde på store trykktap i aggregat eller kanalnett. Siden alle anleggene som forsyner kontorlokalene er styrt via optimizere skulle trykktapet bli lavt. Det kan derfor være en mulighet at optimizersystemet tilkoblet aggregat 56.05 ikke fungerer som tiltenkt. Er ikke minst ett av spjeldene i grensystemet tilnærmet fullt åpent til enhver tid vil trykket i kanalsystemet stige merkbart og energiforbruket til viftedrift vil øke. Dette anbefales undersøkt nærmere.

6.6 Målt energibruk mot prosjektert energibruk og Norsk standard

I dette kapitlet blir den målte energibruken i Miljøbygget evaluert opp mot målsetningen satt for bygget, energimerkeordningen og Norsk Standard.

6.6.1 Levert energi

I Tabell 16 er levert energi til PB2 i form av elektrisitet og fjernvarme oppgitt. Det er i denne tabellen brukt data fra Trondheim Energiverks målere i bygget (TEV målere) siden disse antas å være mest korrekte, og at disse representerer den leverte energien til bygget. Målsetning for total levert energi er funnet hos Enovas forbildeprosjekter (ENOVA, 2009).

En evaluering av den totale leverte energien gir at Miljøbygget ikke oppfyller målsetningen på 94 kWh/m²år i levert energi i 2010, mens grensen for å klare energimerke B på 126 kWh/m²år oppfylles. Mye av grunnen til at ikke målsetningen oppfylles er at energibruk til oppvarming er langt høyere en målsetningen på dette. Dette blir videre omtalt i neste kapittel.

Det skal her nevnes at fjernvarme til snøsmelteranlegget er inkludert i denne beregningen. Størrelsen på forbruket til snøsmelteanlegget er ikke kjent siden det ikke finnes noe egen måler på dette.

	TEV målere i PB2		Målsetning	Energimerkeordning
	[kWh/år]	[kWh/m ² år]	[kWh/m ² år]	[kWh/m ² år]
Elektrisitet	902120	68,9		
Fjernvarme	609634	46,6		
Total levert energi	1511754	115,5	94	A: <84 B: <126

Tabell 16, Levert energi og spesifikk levert energi for PB2 i 2010. Verdier fra TEV måler. Areal brukt: 13093 m²

Det skal også i denne sammenhengen nevnes at hadde arealet til parkeringskjelleren blitt inkludert i oppvarmet areal ville den spesifikke leverte energien til bygget blitt 92,2 kWh/m²år og hadde da også oppfylt målsetningen til bygget. Siden parkeringskjelleren er halvklimalisert ved at avkastluft fra kontorarealene tilføres parkeringskjelleren, pluss at kjelleren har en del belysning vil kjelleren ha et lite energiforbruk. Likevel er det valgt å ikke inkludere parkeringskjelleren i arealet som benyttes til å beregne spesifikk energi.

Som nevnt tidligere var 2010 et kaldt år slik at et graddagskorrigert forbruk av levert energi hadde vært lavere en total levert energi. Antas samme forhold mellom reelt og graddagskorrigert energiforbruk som i Tabell 17 blir den graddagskorrigererte verdien av spesifikk levert energi på 109,37 kWh/m²år.

6.6.2 Målt energi til underposter

For å bedre kunne evaluere målt forbruk mot målsetning er det i Tabell 17 satt opp en oversikt over registrert forbruk til ulike poster, både reelle og graddagskorrigerede, som er sammenliknet med målsetningen for bygget og standard inndata i NS3031, vedlegg A1 (Standard Norge, 2007).

Posten for romoppvarming inkluderer undermåler for radiator og gulvvarme. Under teknisk utstyr ligger undermålere for stikkontakter, heiser og el-biler, mens kjøling er elektrisitetsforbruk til kompressorene i anlegg 35.01 og 35.02. Siden anlegg 35.01 er en kombinert kjølemaskin og varmpumpe som brukes til oppvarming store deler av året viser verdien på kjøling et større forbruk enn det reelle forbruket til kjøling i PB2. Dette blir tatt med videre i analysen.

Det sees fra Tabell 17, som tidligere nevnt, at målt forbruk til romoppvarming er i størrelsesorden over tre ganger høyere en målsetning. Dette er litt overraskende tall siden det i Miljøbygget ble lagt mye vekt på en meget tett og godt isolert bygningskonstruksjon. Noe som kan forsvare litt av det høye forbruket til romoppvarming er at ca. 25% av bygget fortsatt stod tomt i 2010. Selv om lokaler stod tomme måtte temperatur holdes rundt 19°C for å unngå for mye varmetransport fra nærliggende lokaler (Dahl, 2011). På grunn av lite "gratisvarme" fra personer, utstyr og belysning i de tomme lokalene vil derfor energibruken til romoppvarming i disse lokalene kunne være høyere en for lokalene som var i bruk.

2010 var et kaldt år, slik graddagstallet for 2010 sammenliknet med normalen viste. Det er derfor mest riktig å sammenlikne krav og målsetninger mot graddagskorrigert forbruk i 2010. Likevel ligger posten for romoppvarming godt over målsetningen.

Det skal også nevnes at målsetningen for romoppvarming i Miljøbygget er satt meget lavt. I *Kriterier for passivhus- og lavenergibygg – Yrkesbygg (Dokka T.H. et al., 2009a)* foreslås maksimalt årlig oppvarmingsbehov i passivhus til 15 kWh/m²år. Denne verdien inkluderer da også oppvarming av ventilasjonsluft slik at målsetningen i PB2 da blir 20,5 kWh/m²år i årlig energibehov.

På grunn av mye arealer som ikke var utleid eller i bruk i 2010 har det vært mye ledig kapasitet i Miljøbygget i perioden det evalueres over. Dette resulterer i et lavere forbruk av tappevann, belysning, teknisk utstyr samt ventilasjonsvifter enn om bygget hadde vært fullt utleid. På bakgrunn av dette vil verdiene for nevnte poster antagelig være høyere i kommende år på grunn av høyere belastning på bygget. Dette faktum gjør at nevnte poster kommer urimelig gunstig ut i sammenlikningen i Tabell 17. Likevel antas ikke økningen av de ulike postene til å være større enn at de holder seg godt under målsetningen.

	Undermålere i PB2		Graddagskorrigert forbruk, Undermålere		Målsetning	Norsk standard, NS3031	Kriterier for lavenergi yrkesbygg
	[kWh/år]	[kWh/m ² år]	[kWh/år]	[kWh/m ² år]	[kWh/m ² år]	[kWh/m ² år]	[kWh/m ² år]
Romoppvarming	363291	27,7	315984	24,1	8,6		15 (totalt for både rom- og ventilasjonso ppv.)
Oppvarming ventilasjon	158185	12	137586	10,5	11,9		
Tappevann	43326	3,3	43326	3,3	5	5	
Vifter	78847	6,0	78847	6,0	20,7		
Pumper	18209	1,4	18209	1,4			
Belysning	214691	16,4	214691	16,4	25,1	25	
Teknisk utstyr	308438	23,6	308438	23,6	34,5	34	
Kjøling	123557	9,4	123557	9,4	8,2		10
Totalt	1308544	99,9	1240668	94,6	114		

Tabell 17, Sammenlikning av energiforbruk til ulike poster. Målte verdier fra undermålere i PB2. Areal brukt: 13093m²

6.7 Ukesforbruk

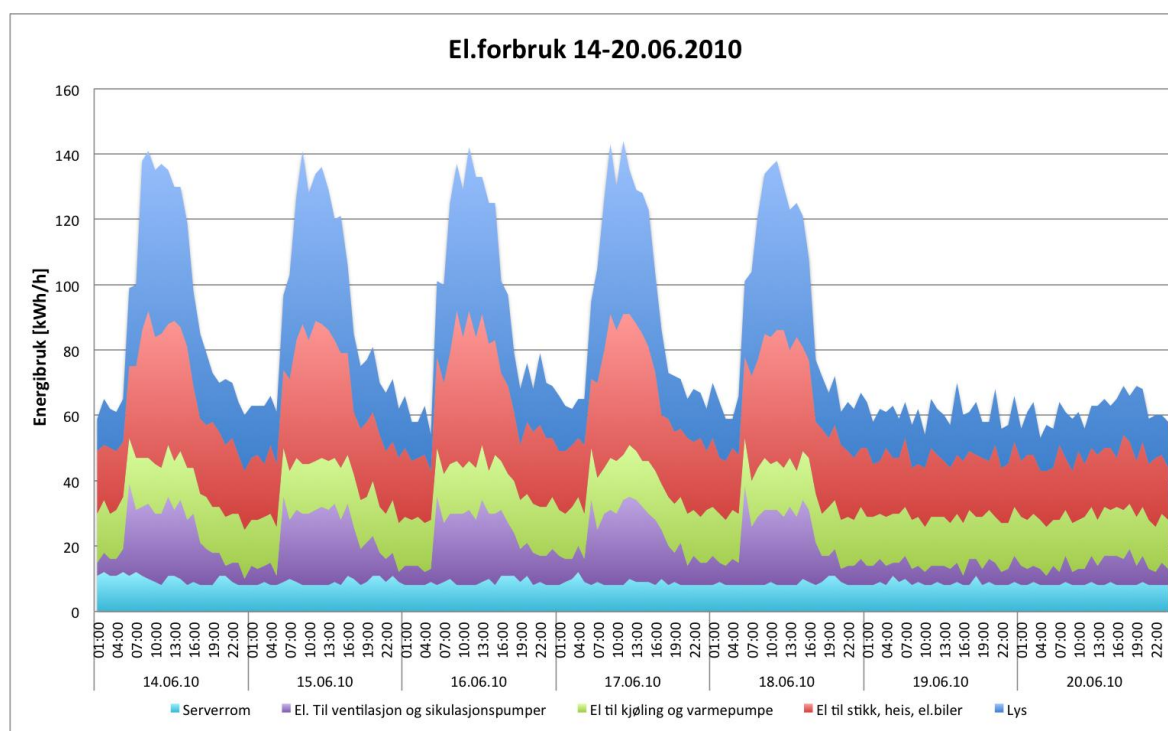
I dette kapitlet blir energiforbruket over en uke i juni, og en uke i november presentert for å få frem variasjonen av energibruk på døgn og ukeshasis. Det ble valgt uker der det var loggdata på energiforbruk for hele uken tilgjengelig, samt en kald og en varm periode. I tillegg ble ferier og helligdager unngått. Data presentert er derfor opprinnelige data slik at noe feilkilder angående korrigeringsprosessen ikke er tilstede. Data er presentert fra mandag til og med søndag.

Figur 36 og Figur 38 viser elektrisitetsforbruket i uke 24 og 47 i 2010. Som figurene viser varierer alle postene, med unntak av elektrisitet til serverrom ut fra driftstiden til bygningen. Dette tyder på at både behovstyringen av belysning og ventilasjon fungerer godt. Likevel kan det bemerkes at belysning og stikk/utstyr står for en betydelig del også utenfor driftstiden. Spesielt belysningen utenfor driftstiden i juni antas at kunne vært redusert i en lys sommermåned som juni. Dette blir videre diskutert i kapittel 9.

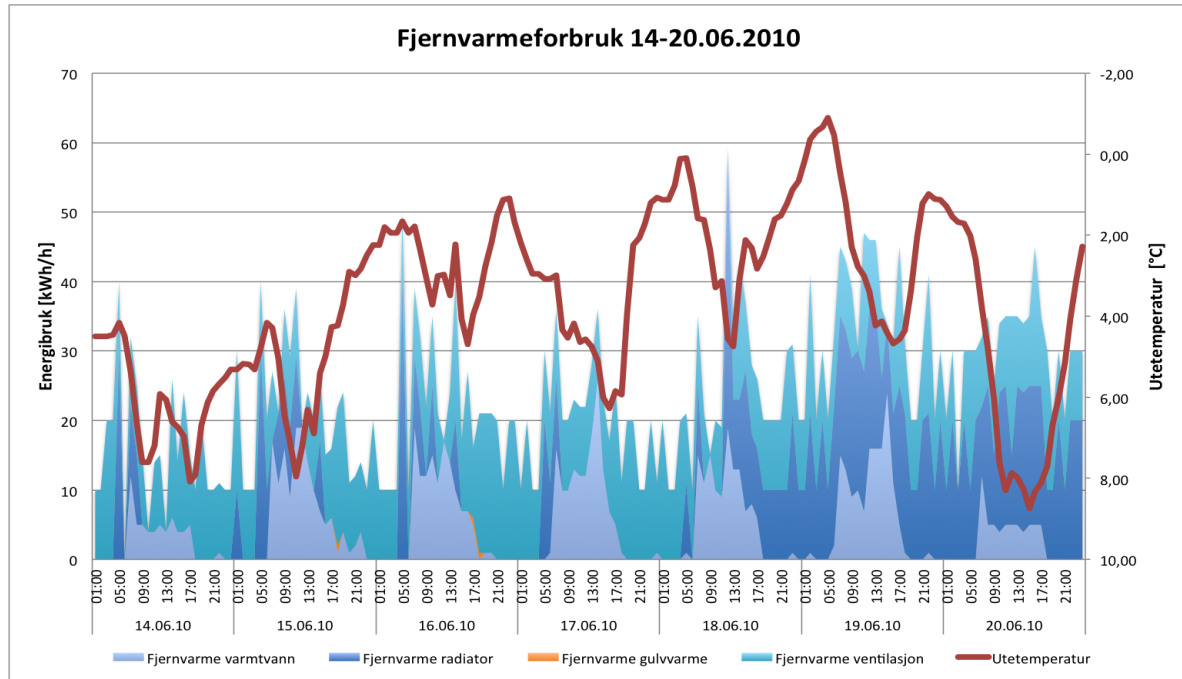
Fjernvarmeforbruket i de samme ukene er presentert i Figur 37 og Figur 39. Forbruket i uke 24 gir ikke noe korrekt bilde på forbruket denne uken på grunn av feil i fjernvarmemålingene i sommermånedene som omtalt tidligere, og blir ikke videre

kommentert. Fjernvarmeforbruket i uke 47 gir derimot et godt bilde på forbruket gjennom ei uke med synkende temperatur. Figur 39 viser tydelig at gulvvarmeforbruket varierer lite avhengig av driftstiden, samt raske endringer i utetemperaturen. Dette på grunn av meget treg regulering av slike systemer. Fjernvarmeforbruket til radiatorene varierer gjennom døgnet etter driftstiden, samt etter forandringer i utetemperaturen. Driftstiden påvirker dette forbruket på grunn av høyere settpunkttemperatur i driftstiden 06.00-18.00, enn utenfor.

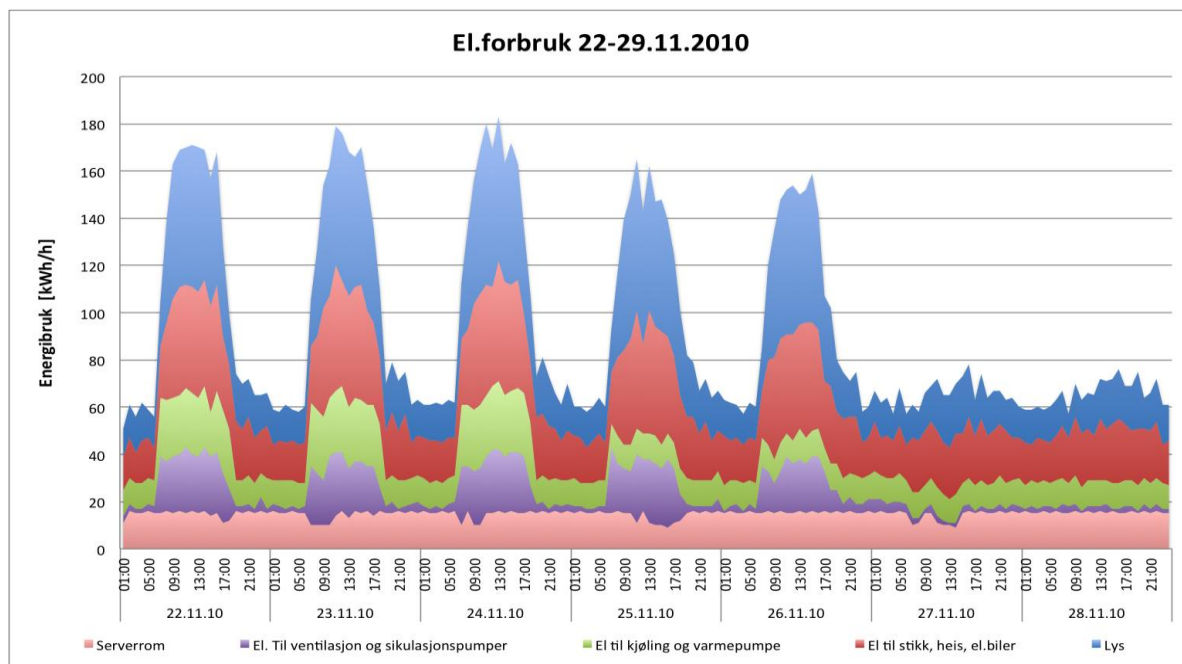
Fjernvarmeforbruket til ventilasjonsluftoppvarming er ut fra Figur 39 ekstremt avhengig av utetemperatur og driftstid. Siden ventilasjonsanleggene er helt avslått utenfor driftstid vil det heller ikke være noe fjernvarmeforbruk i denne perioden. Siden varmepumpen som dekker grunnlasten til ventilasjonsluftoppvarmingen slås automatisk av ved temperaturer kaldere enn -12°C , fører det til en effekttopp for fjernvarme til ventilasjonen ved lavere temperaturer enn -12°C . Dette sees tydelig fra figuren der fjernvarmeforbruket til ventilasjon er betydelig høyere torsdag og fredag da temperaturen ligger lavere enn -12°C .



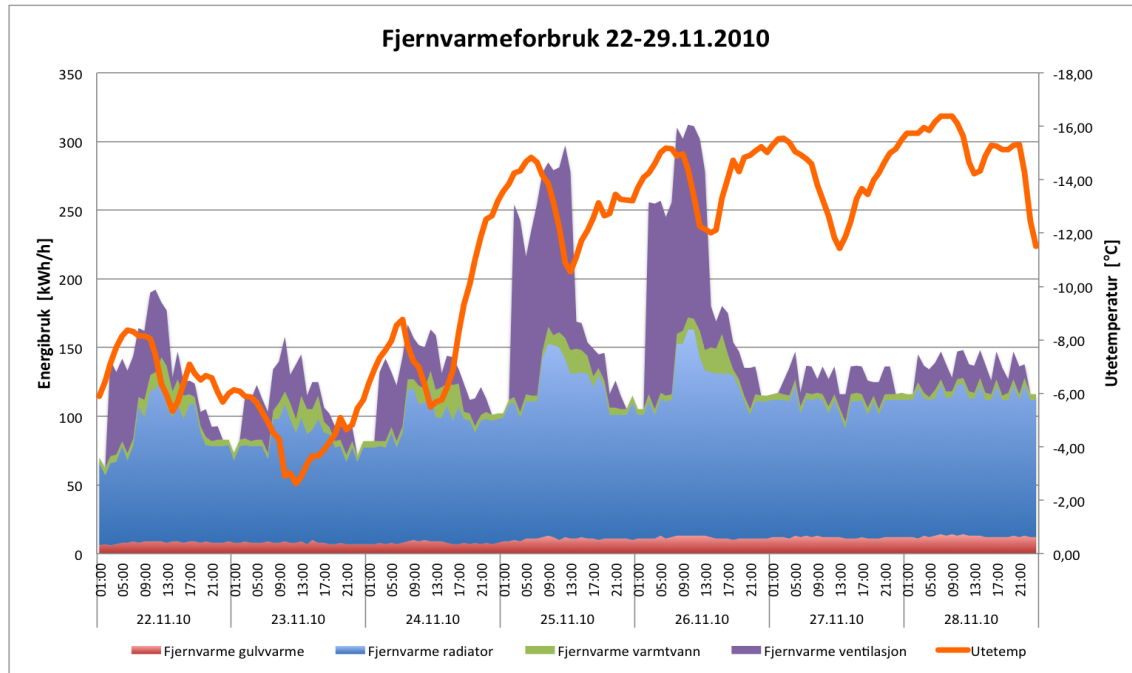
Figur 36, Elektrisitetsforbruk i uke 24 i 2010 for ulike poster.



Figur 37, Fjernvarmeforbruk i uke 24 i 2010 for ulike poster, samt gjennomsnittlige timeverdier for utetemperatur.



Figur 38, Elektrisitetsforbruk i uke 47 i 2010 for ulike poster.



Figur 39, Fjernvarmeforbruk i uke 47 i 2010 for ulike poster, samt gjennomsnittlige timeverdier for utetemperatur.

7 Drivende faktorer

I dette kapitlet blir det gjort en rask analyse på hvilke faktorer som har innvirkning /er drivende, på ulike energiposter i Miljøbygget. Det har gjennom bruk av Excel og logiske beslutninger blitt gjort en analyse på følgende drivende faktorerets betydning på ulike energiposter:

- tilstedeværelse
- utetemperatur
- solinnstråling
- brukeratferd og antall brukere
- kvalitet på bygg og utstyr

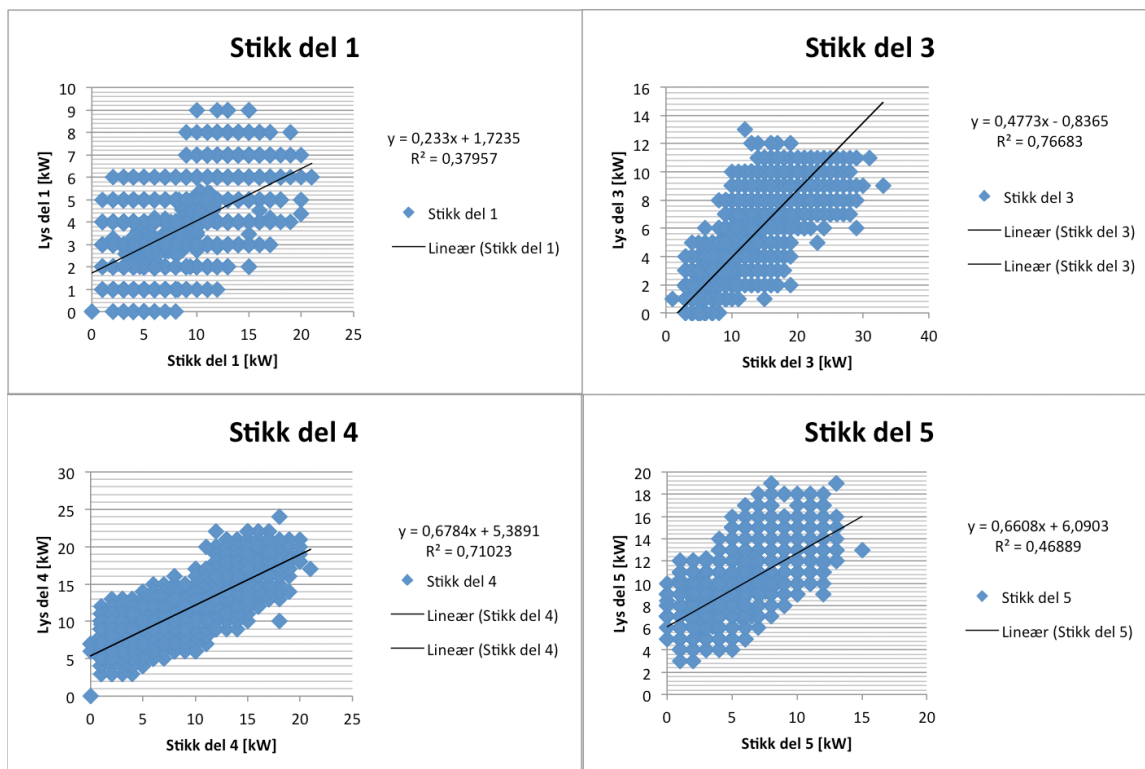
Det er korrigererte data fra undermålerene som danner datagrunnlaget i denne analysen. Feil i fjernvarmeforbruket på sommeren, som nevnt tidligere, vil derfor kunne være forstyrrende i sammenhenger der disse forbrukene er med.

7.1 Tilstedeværelse

Siden det er tilstedeværelsessensorer som styrer belsningen i samtlige kontorarealer i Miljøbygget ble elektrisitetsforbruket til belsning valgt som "referanse" på tilstedeværelse i bygget og andre forbruk ble sammenliknet opp mot forbruket til belsning. Denne antagelsen er ikke helt korrekt siden fellesarealer, møterom og annet ikke har tilstedeværelsesstyring av belsningen. Likevel er dette det nærmeste som er mulig å komme en registrering av tilstedeværelse med tilgjengelig datamengde.

Figur 40 viser sammenhengen mellom lys og stikk/utstyr i de ulike bygningsdelene. Figurene viser tydelig at effektforbruket til utstyr samsvarer godt med effektforbruket til belsning.

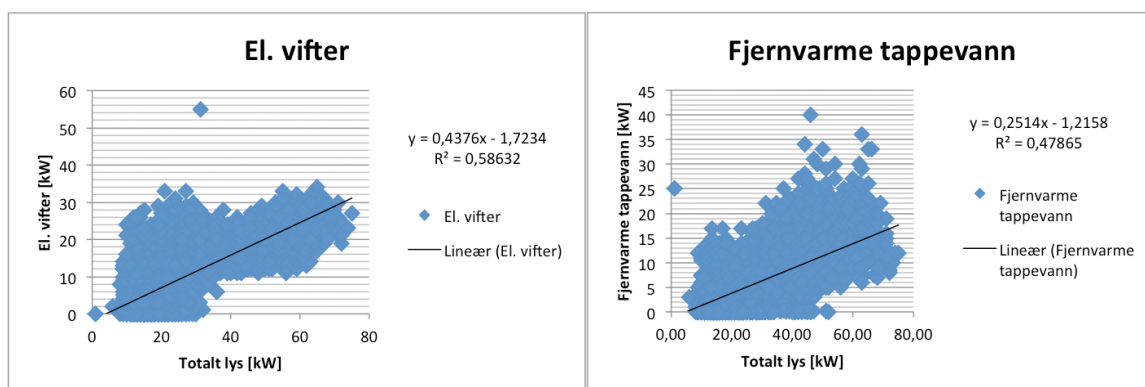
R^2 verdiene i figurene er et tall mellom 0 og 1 som beskriver hvor nært de beregnede verdiene for trendlinjen de virkelige dataene er. Jo nærmere 1, jo bedre er dataene tilnærmet hverandre.



Figur 40, Lys og stikk/utstyr i de fire ulike bygningsdelene i PB2 plottet mot hverandre. Data fra undermålere korrigert.

To andre forbruk som er sterkt avhengig av tilstedeværelse er vist i Figur 41. Ut fra figuren over elektrisitetforbruket til vifter kan det bekreftes at behovsstyringen av ventilasjonen fungerer svært godt, med økende forbruk til ventilasjonsvifter ved økende tilstedeværelse. Figuren viser også et relativt høyt forbruk til vifter ved lav tilstedeværelse/lavt forbruk til lys. Mye av dette vifteforbruket antas å være som følge av frikjøling sommeren 2010.

Tappevannforbruket øker også som antatt med økende tilstedeværelse og antall personer på jobb.



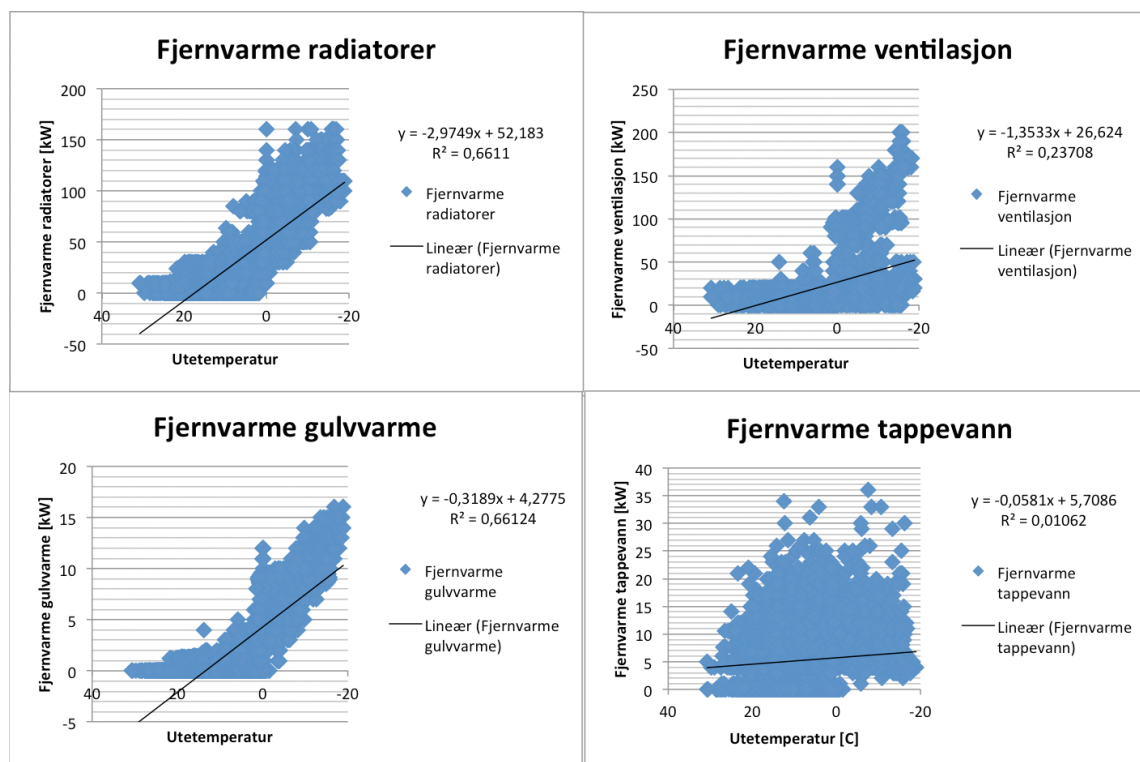
Figur 41, Elektrisitet til ventilasjonsvifter og fjernvarmeforbruk til tappevann plottet mot totalt lys. Data fra undermålere korrigert.

7.2 Utetemperatur

Utetemperaturen er en påvirkningsfaktor som i all tid har hatt stor påvirkning på energiforbruket til bygninger. Som følge av meget godt isolert og tett bygningskropp vil PB2 være mindre avhengig av utetemperaturen enn eldre bygninger uten de samme kravene til bygningskonstruksjonen. Likevel viser Figur 42 at fjernvarmeforbruket til romoppvarming, ventilasjon og gulvvarme er sterkt avhengig av utetemperaturen.

Som omtalt tidligere måler undermålerene et høyere forbruk enn det reelle i sommermånedene i 2010. Dette sees også i Figur 42 ved at det er registrert en moderat forbruk til radiator, gulvvarme og ventilasjon også ved høye temperaturer. Dette medfører derfor ikke riktighet, og må sees bort ifra.

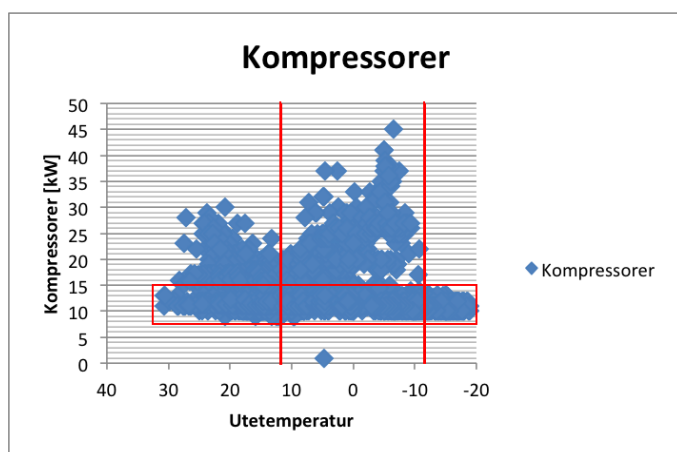
Fjernvarmeforbruket til ventilasjon skal som nevnt tidligere kun dekke spisslasten til oppvarming av ventilasjonsluften siden den roterende varmegjenvinneren og varmpumpeanlegget teoretisk skal yte 100% før fjernvarme benyttes. Likevel viser figuren at fjernvarmeforbruket begynner å stige betydelig allerede ved en temperatur rundt 0°C. Dette er litt overraskende siden en skulle tro at gjenvinner og varmpumpeanlegg skulle dekke forbruket ved denne temperaturen. Dette bekrefter funnene gjort i *Funksjonskontroll rapport ved Professor Brochs gate 2* der det ble oppdaget at ventil SB40 som styrer pådraget til varmebatteriet i ventilasjonsanleggene åpner før gjenvinner og varmpumpeanlegg yter 100% (Djuric, 2011). Mer om dette i kapittel 9.



Figur 42, Fire ulike fjernvarmeforbruk sortert og plottet mot utetemperatur. Data fra undermålere korrigert og utetemperaturmåler.

Et annet forbruk som antas varierende med utetemperaturen er elektrisitetsforbruket til drift av kompressorer i anlegg 35.01 og 35.02. Dette er vist i Figur 43. Kompressorforbruket vist i figuren er summen av forbruk fra kompressorer i varmpumpe (35.01) og kjølemaskin for server- og IT rom (35.02). Siden anlegg 35.02 dekker kjølebehovet til serverrom og annet teknisk utstyr med relativt konstant kjølebehov året rundt antas det at energiforbruket til dette anlegget også er relativt konstant. Forbruket markert med rød firkant i figuren representerer dette forbruket.

Forbruket over den røde firkanten representerer hovedsakelig kompressorer i varmpumpeanlegget og er langt mer avhengig av utetemperatur. Det laveste forbruket ligger rundt 12°C som også er temperaturen da bygget antas å ikke ha behov for oppvarming. Øker temperaturen øker kjølebehovet til kjøling av ventilasjonsluft og forbruket stiger. Ved temperaturer lavere enn 12°C øker behovet for oppvarming av ventilasjonsluften og forbruket stiger. Ved temperaturer lavere enn -12°C er varmpumpen innstilt på å slå seg av slik at ved temperaturer lavere enn dette skulle elektrisitetsforbruket til varmpumpeanlegget være tilnærmet null. Dette kommer godt frem i Figur 43.



Figur 43, Elektrisitetsforbruk til kompressorer i anlegg 35.01 og 35.02 plottet mot utetemperatur.

7.3 Solinnstråling

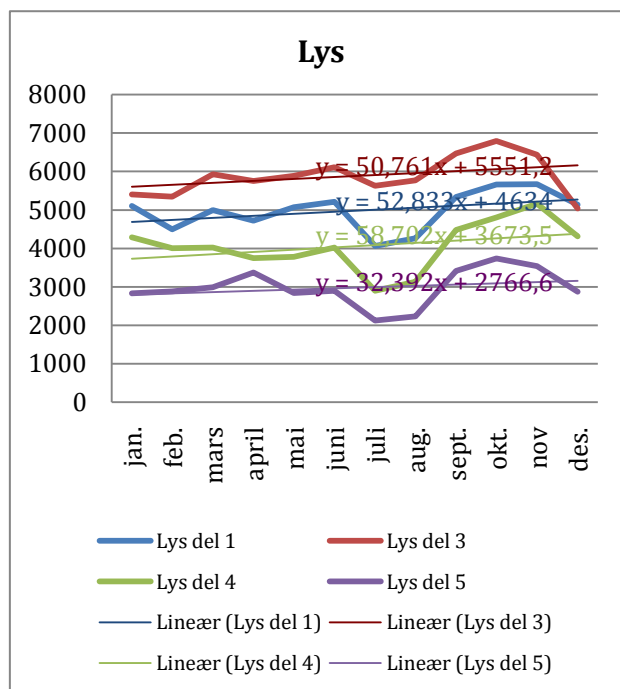
Solinnstråling på fasader og vinduer har betydning for energiforbruket i en bygning. Siden det ikke finnes målinger for denne solinnstrålingen eller måling av fjernvarmeforbruk og kjølebehov i hver enkelt bygningsdel er det ikke mulig å gjøre noe analyse på dette i PB2. Likevel kan følgende antas:

- solinnstrålingen har ingen betydning for elektrisitetsbehovet for belysning siden den kun styres av tilstedeværelse. Hadde det i tillegg vært dagslyskompensering ville solinnstrålingen har redusert forbruket, og da spesielt langs fasadene mot øst og sør som har størst solinnstråling i løpet av normal arbeidstid.

- Avhengig av kvaliteten på solskjermingen vil arealer mot sør, vest og delvis øst oppleve økt kjølebehov på sommerstid, mens fjernvarmebehovet kan bli redusert i perioder med varmebehov.

7.4 Brukeratferd og antall personer i bygget

Data på antall brukere i PB2 mottatt fra Håvard Stenberg, eiendomsforvalter i KLP Eiendom, viser at i inngangen til 2010 var det 155 ansatte som jobbet i bygget, mens det i utgangen av 2010 var dette antallet økt til hele 254 ansatte (Håvard Stenberg, 2011). Ut fra det faktumet at antall ansatte som daglig jobber i bygget økte med 63% gjennom året vil en også kunne anta en betydelig økning i energibruk til noen energiposter i løpet av 2010. I Figur 44 til Figur 47 blir energiforbruket til lys, teknisk utstyr, ventilasjonsvifter og serverrom gjennom 2010 illustrert. Dette er poster som antas å kunne øke som følge av økt antall ansatte.



Figur 44, Månedlig energibruk til belysning per bygningsdel

Trendlinjene i Figur 44 viser hvordan trenden i energibruken til belysning i de ulike bygningsdelene i PB2 beveger seg i løpet av 2010. Ut fra stigningstallet til trendlinjene finnes prosentvis økning av elektrisitetsbruk til de ulike bygningsdelene til å være 11 %, 13,6 %, 19 % og 14 %. Ut fra dette kan det konkluderes med at energibehovet til belysning økes som følge av økt antall ansatte som jobber i bygget. Likevel er ikke denne økningen i nærheten av den prosentvise økningen av antall ansatte.

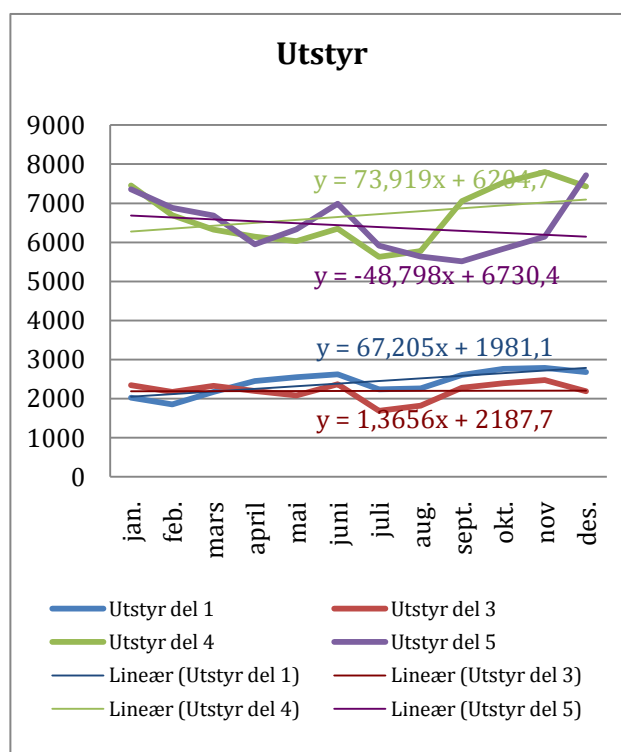
Det skal nevnes i denne sammenheng at på grunn av mye ferieavvikling i juli og august, pluss i slutten av desember er energiforbruket til belysning lavere i disse periodene, som figuren viser. På grunn av at disse periodene er på midten og på slutten av året vil trendlinjene ligge lavere enn de hadde gjort uten disse periodene med lavere forbruk. Den reelle økningen i energiforbruk til belysning gjennom 2010 er derfor høyere enn trendlinjene illustrerer. Til tross for dette er ikke økningen til lys like stor som økningen av antall ansatte. Dette kommer mest sannsynlig av at belysning i fellesarealer er upåvirket av antall folk på jobb.

For utstyr/stikkontakter er økningen i energiforbruk gjennom året ikke like jevn hos de fire delene av bygget som den var for belysningen. Trendlinjene i Figur 45 gir en økning på 40 %, 0,7 % og 14,3 % for bygningsdel 1, 3 og 4, mens bygningsdel 5 hadde en reduksjon på 8,7 % i elektrisitetsforbruket til utstyr i 2010 ifølge trendlinjene. Økningen i elektrisitetsforbruket er på bakgrunn av dette ikke i nærheten av økningen i antall ansatte i 2010. Likevel sees en økning i forbruket til utstyr som følge av denne økningen i antall ansatte.

Som figuren viser er elektrisitetsforbruket til utstyr i del 1 og del 3 relativt jevnt over året, med en liten nedgang i forbruk i juli, august og desember grunnet ferieavvikling. I del 4 og 5 er forbruket gjennom året langt mer variabelt med synkende forbruk fra januar til april, deretter økende igjen til juni, for deretter å synke igjen, og en økning i slutten av året. Grunnen til dette er ikke kjent.

Sammenliknes Figur 44 og Figur 45 ser enn at rekkefølgen på hvilke bygningsdeler som bruker mest energi til belysning bruker minst til utstyr. Det er her snakk om ganske store differanser mellom de ulike bygningsdelene slik at spørsmål rundt riktigheten av disse målingene kan stilles. Det elektriske anlegget i PB2 er som nevnt bygd opp med 20 kurser for lys og 20 kurser for stikkontakter/utstyr. Det finnes derfor en mulighet for at enkelte av disse kursene kan være tilkoblet noe annet en tiltenkt slik at forbruket på kretsen øker. Dette kan derfor forskyve forbruket fra for eksempel lys over til utstyr/stikk.

Likevel antas det at det er brukeratferd og mengden teknisk utstyr som blir benyttet hos de ulike leietakerne som gjør den store differansen i el.forbruk til utstyr. Gode rutiner eller systemer for å slå av utstyr i perioder det ikke blir brukt har stor betydning for energiforbruket. I tillegg har effektiviteten på det tekniske utstyret en avgjørende betydning for forbruket. Lengden på arbeidstiden har også stor innvirkning her.



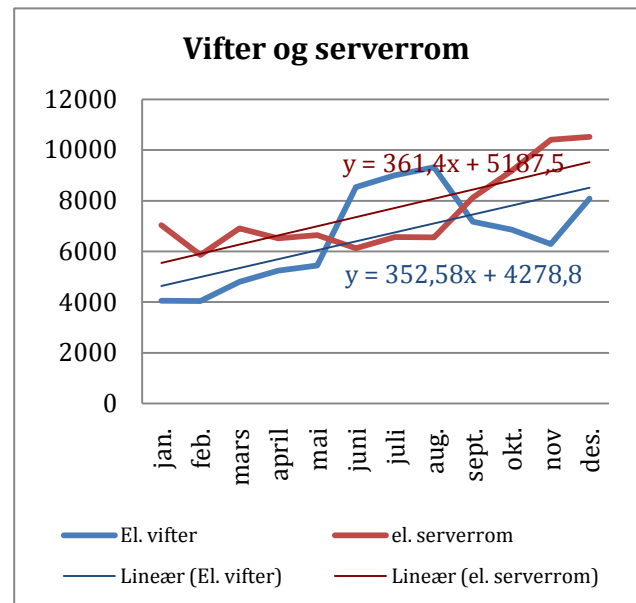
Figur 45, Månedlig energibruk til utstyr per bygningsdel

Energibehovet til drift av ventilasjonsvifter ser ut til å være sterkt avhengig av antall ansatte i bygget. Ut fra trendlinjen i Figur 46 har forbruket til ventilasjonsvifter økt med hele 98,8 % i 2010. På grunn av behovstyrt regulering av ventilasjonen skal luft kun tilføres etter behov, og økes i takt med personbelastningen. Som følge av økte luftmengder gjennom aggregat, kanaler og ventiler vil det oppstå et høyere tap i ventilasjonssystemet. Dette vil igjen kunne bidra til økt SFP-faktor i anlegget og elektrisitetsforbruket til viftedrift vil kunne øke mer enn luftmengdene.

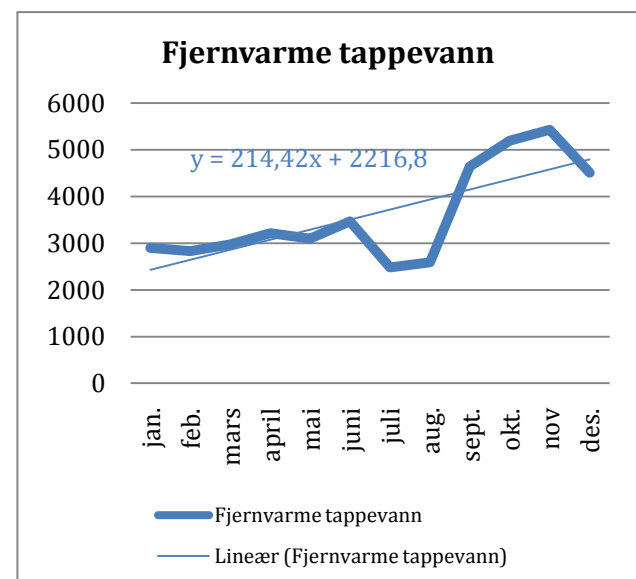
I juni, juli og august ble det som nevnt tidligere i rapporten utforsket med bruk av frikjøling gjennom ventilasjonsanlegget. Dette sees godt på elektrisitetsforbruket til viftedrift i disse månedene.

El forbruket til drift av serverrommet viser også en tydelig økning i forbruk grunnet større belastning og utvidelse av server grunnet flere ansatte i bygget. Økningen her er ifølge trendlinjen 83,6 %.

Det siste forbruket som er direkte drevet av antall ansatte er fjernvarmeforbruket til tappevann. I januar 2010 lå det månedlige forbruket på størrelsesorden 2896 kWh mens det i november 2010 var hele 5430 kWh. Dette er en økning på 87,5 % som faktisk er høyere en økningen av antall ansatte. Dette forbruket er i tillegg til vannbesparende utstyr kun bestemt av brukermønster og holdninger, og skal i teorien stige proporsjonalt med økningen av antall ansatte.



Figur 46, Månedlig energibruk til ventilasjonsvifter og serverrom



Figur 47, Månedlig fjernvarmeforbruk til tappevann.

7.5 Kvaliteter på bygg og utstyr

I tillegg til faktorene nevnt tidligere i dette kapitelet vil også kvaliteten på bygget og teknisk utstyr ha enorm innvirkning på energibruken. Det blir i Tabell 18 gitt en rask oversikt over bygningsdeler og utstyr som har innvirkning på netto energibehov, og hva de har innvirkning på. Det presiseres her at dette er faktorer som har innvirkning på netto energibehov slik at type varme-/kjøleanlegg har ingen innvirkning her.

Bygningsdel / teknisk utstyr	Betydning for netto energibehov
Økt isolasjonstykkelse i bygningskonstruksjon	Redusert behov for fjernvarme til radiatorer og gulvvarme
Økt tetthet i bygningskonstruksjon	Redusert behov for fjernvarme til radiatorer og gulvvarme
Høyere temperaturvirkningsgrad til varmegjenvinner	Reduser varmebehov for varmepumpe, og redusert fjernvarmeforbruk ventilasjon
Optimal behovsstyring av ventilasjon	Redusert el. forbruk ventilasjonsvifter, varmebehov VP og fjernvarmeforbruk ventilasjon
Høyere virkningsgrad på ventilasjonsvifter, og lavere trykkfall i ventilasjonsanlegg	Redusert el. forbruk ventilasjonsvifter
Effektiv belysning med optimal lysstyring	Redusert forbruk belysning
Lavenergi utstyr (PCer, kopimaskiner, printere, servere,	Redusert forbruk teknisk utstyr
Optimal solskjerming	Redusert kjølebehov, samt ingen reduksjon av gratisvarme fra solen i perioder med varmebehov
Utnyttelse av termisk masse	Redusert kjølebehov og oppvarmingsbehov
Vannbesparende armaturer	Redusert fjernvarmeforbruk tappevann
Redusere unødvendig sirkulasjon i væskekreter og redusere tap, samt høyere virkningsgrad på pumper.	Redusert forbruk til sirkulasjonspumper

Tabell 18, Bygningsdeler og utstyrs betydning for netto energibehov

8 Inneklima

Begrepet inneklima er definert av Verdens helseorganisasjon; WHO til å omfatte både termisk, atmosfærisk, akustisk, aktinisk og mekanisk miljø (Novakovic V. et al., 2007). En totalvurdering av inneklimaet i PB2 ville derfor være for stort i omfang og ligger utenfor temaet i denne oppgaven. Dette kapitlet vil derfor kun omhandle det termiske miljøet på utvalgte steder i bygningen der lufttemperaturen på det gitte stedet vil bli evaluert.

8.1 Termisk komfort

For å kunne evaluere inneklimaet i PB2 med tanke på de termiske forholdene er det nødvendig å introdusere noen størrelser og begreper:

For at inneklimaet skal kunne betegnes som godt er det en forutsetning at den enkelte person opplever termisk komfort med omgivelsene. *Termisk komfort er definert som en sinnstilstand der vi uttrykker full tilfredshet med de termiske omgivelsene.* Følgende dimensjonerende faktorer er avgjørende for at en person skal oppleve termisk komfort:

- luftens tørrkuletemperatur (lufttemperatur)
- strålingsutveksling mellom kropp og rom
- lufthastighet og turbulens
- luftens vanndampinnhold
- bekledning / isolasjon
- aktivitetsnivå / stoffskifte

De to siste faktorene vi da ofte variere mellom personene som oppholder seg i lokalene.

8.1.1 Bekledning

Bekledningen betegnes som et mål på isolasjon fra huden til klærnes overflate. Uttrykkes i enheten clo eller m^2K/W der $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2K/W$.

En oversikt over isolasjonsverdier for typiske bekledninger er gitt i Tabell 19.

Bekledning	Isoleringsevne	
	clo	m^2K/W
Shorts, underbukser, T-skjorter, lette sokker, sandaler	0,30	0,050
Lett kjole med ermer, underkjole, strømpebukser, truser	0,45	0,070
Lette bukser, skjorte	0,50	0,080

med korte ermer, underbukser, lette sokker, sko		
Skjørt, sjorte med korte ermer, truser, strømpebukser, sandaler	0,60	0,095
Skjørt, genser med rund hals, skjorte, truser, tykke knestrømper	0,90	0,140
Jakke, bukser, skjorte, underbukser, sokker, sko	1,00	0,155
Frakk, jakke, vest, bukser, skjorte, kort undertøy, sokker, sko	1,50	0,230

Tabell 19, Isoleringsverdier for typiske bekledninger (Novakovic V. et al., 2007)

Typiske verdier for bekledning i et normalt kontorbygg på sommeren ligger anslått til 0,5 – 0,7 clo, mens det på vinteren ligger på 0,8 – 1,2 clo. Standard verdi for design er ofte satt til 0,5 clo på sommeren og 1,0 clo på vinteren.

8.1.2 Aktivitetsnivå

Kroppens varmeproduksjon/stoffskifte varierer med aktivitetsnivået og uttrykkes i enheten met eller W/m². 1 met = 85,2 W/m². 1 met er energien som produseres per overflateenhet hos en stillesittende person i ro.

For sittende kontorarbeid er det anslått et stoffskifte på 1,1 – 1,5 met (Novakovic V. et al., 2007). Standard verdi for design i kontorbygg er 1,2 met (Hanssen, 2010).

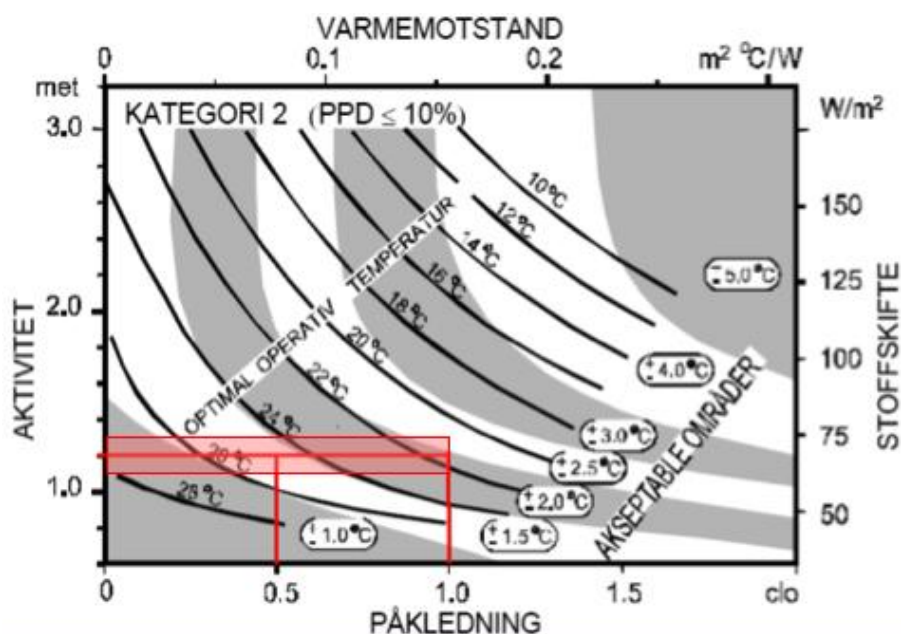
8.1.3 Operativ temperatur, t_o

Den operative temperaturen er den veide verdien av luftens tørrkuletemperatur t_a (normalt referert som lufttemperatur), og middelstrålingstemperaturen t_r . For lufthastigheter under 0,4 m/s og middelstrålingstemperatur under 50 °C er den operative temperaturen, t_o , gitt ved følgende formel:

$$t_o = 0,5 (t_a + t_r)$$

Figur 48 gir optimal operativ temperatur som funksjon av bekledning og aktivitetsnivå ved lufthastigheter lavere enn 0,15 m/s. Krysningpunktene mellom de røde linjene indikerer optimal operativ temperatur når standard verdi for design er valgt for kontorbygg. Dette gir operative temperaturer i størrelsesorden 25°C ±1,5°C for sommerforhold, og 21,5°C ±2,0°C for vinterforhold. Dette er temperaturer hvis vi antar PPD - predicted percentage of dissatisfied (forventet prosentandel misfornøyde) på mindre en 10%, som er "standard".

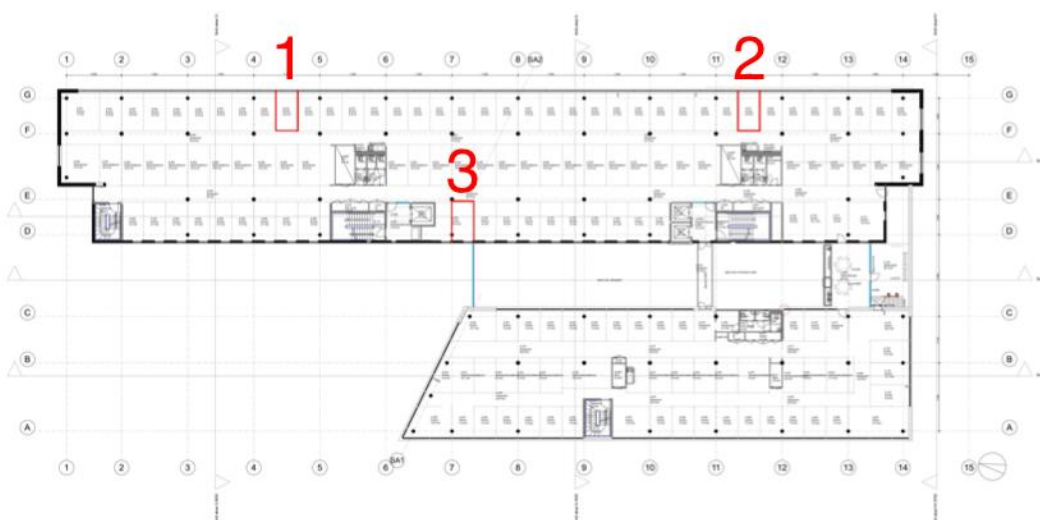
Det lyserøde feltet som er marker i figuren er intervallet mellom et aktivitetsnivå på 1,1 til 1,3 met. Noe som er vanlig i kontorlokaler som dette.



Figur 48, Optimal operativ temperatur som funksjon av bekledding og aktivitetsnivå (Novakovic V. et al., 2007)

8.2 Inneklima i Miljøbygget

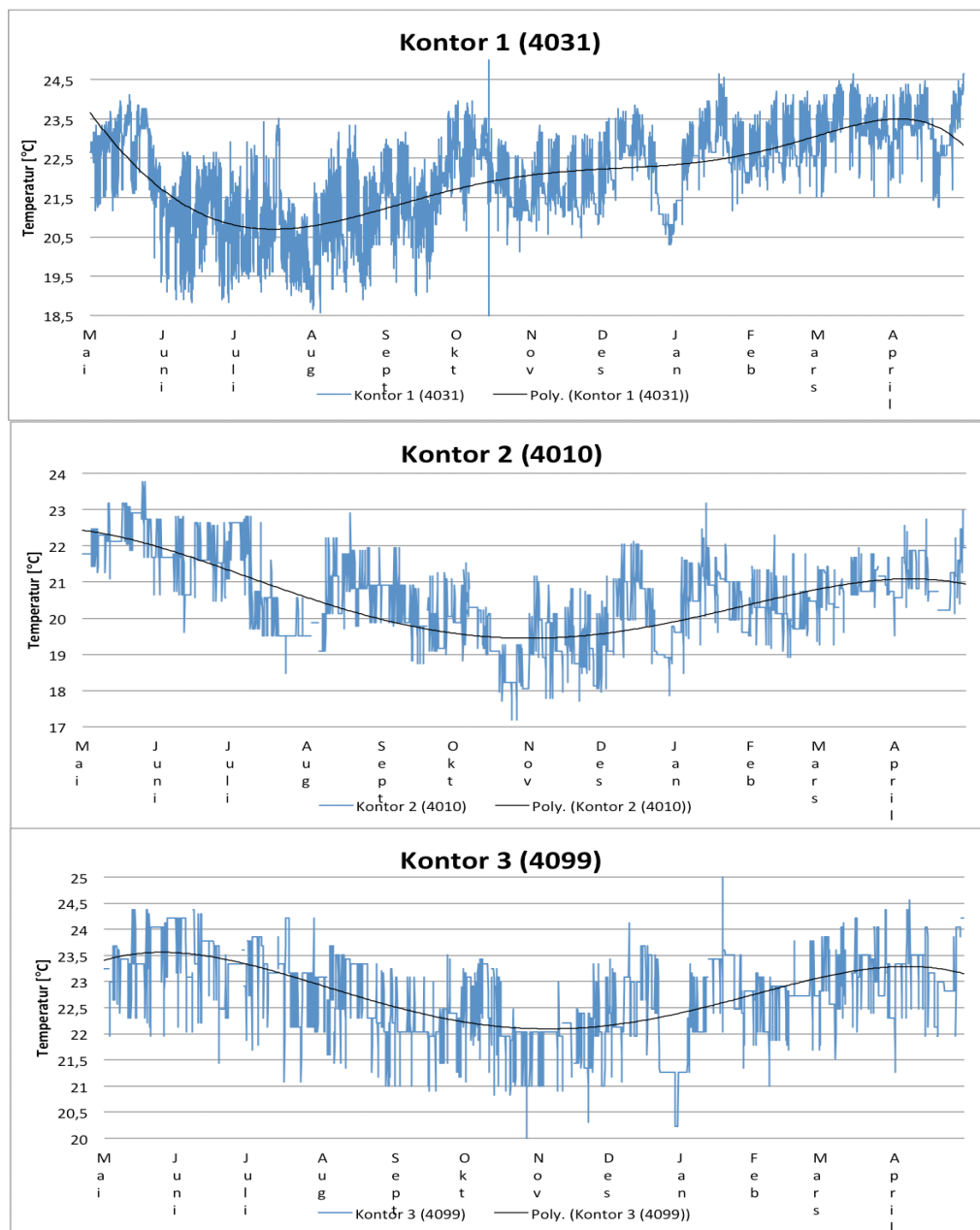
For å kunne gjøre en enkel analyse på inn klimaet i Professor Brochs gate 2 ble tre ulike kontorer i bygningen valgt ut. Med bakgrunn i tilgjengelig datamengde og plassering av kontorer ble de tre kontorene markert med rødt i Figur 49 valgt ut av Natasa Djuric. Hun stod også for datanedlastingen fra SD-anlegget. Alle tre kontorene befinner seg i 4. Etasje. Det hadde vært ønskelig å hatt data på flere kontorer i ulike etasjer og bygningsdeler men loggførte data på dette var ikke mulig å oppdrive.



Figur 49, Plassering av kontorer (merket med rødt) som analyseres mtp innnetemperatur. Etasje 4.

Figur 50 viser et plott av innnetemperaturen i de tre utvalgte kontorene i perioden mai 2010 til mai 2011. Loggdata på innnetemperatur og tilstedeværelse kunne ikke hentes ut for mer en 12 måneder tilbake i tid, slik at data for hele 2010 var derfor ikke tilgjengelig. På grunn av muligheten for individuell temperaturregulering på hver enkelt cellekontor vil personlige preferanser hos den ansatte på hvert kontor bestemme ønsket temperatur. Dette antas derfor å være grunnen til variasjonen i temperatur mellom kontorene. Dette vanskeliggjør også analysen av om oppvarming og ventilasjon/kjøling fungerer tilfredsstillende.

Som nevnt tidligere, og vist i Figur 48 ligger optimal temperatur for sommerforhold på $25^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ ved en aktivitet på 1,2 met og bekledning 0,5 clo. Selv om 0,5 clo er dimensjonerende bekledning ved sommerforhold blir det i praksis ofte benyttet mer klær også på sommertid grunnet påkrevd eller forventet bekledning i mange jobbsammenhenger. En lavere temperatur enn nevnt gir derfor en god innnetemperatur. Ut fra Figur 50 ser det ut som at temperaturen i de tre kontorene varierer mellom $18,5 - 24,5^{\circ}\text{C}$ i perioden mai til september, der kontor 1 har betydelig lavere temperaturer enn kontor 3. En mer detaljert fremstilling og diskusjon rundt dette kommer senere i kapitlet.



Figur 50, Innetemperaturer i de tre utvalgte kontorene fra mai 2010 til mai 2011..

Noe som kan bemerkes ut fra Figur 50 er temperaturprofilen til kontor 1 i denne perioden. Som grafen viser har kontor 1 lavere gjennomsnittstemperaturer i månedene juni, juli, august og september enn resten av perioden. Dette er svært forskjellig fra kontor 2 og 3, samt hva som har blitt omtalt tidligere i dette kapitlet. Å holde lave innetemperaturer på varme sommermåned, og høyere innetemperaturer i kalde deler av året er svært ugunstig for energibruken til klimatisering av bygningen. Grunnen til denne temperaturprofilen for kontor 1 er ikke kjent for forfatter men antas å være ønsket av bruker at kontoret.

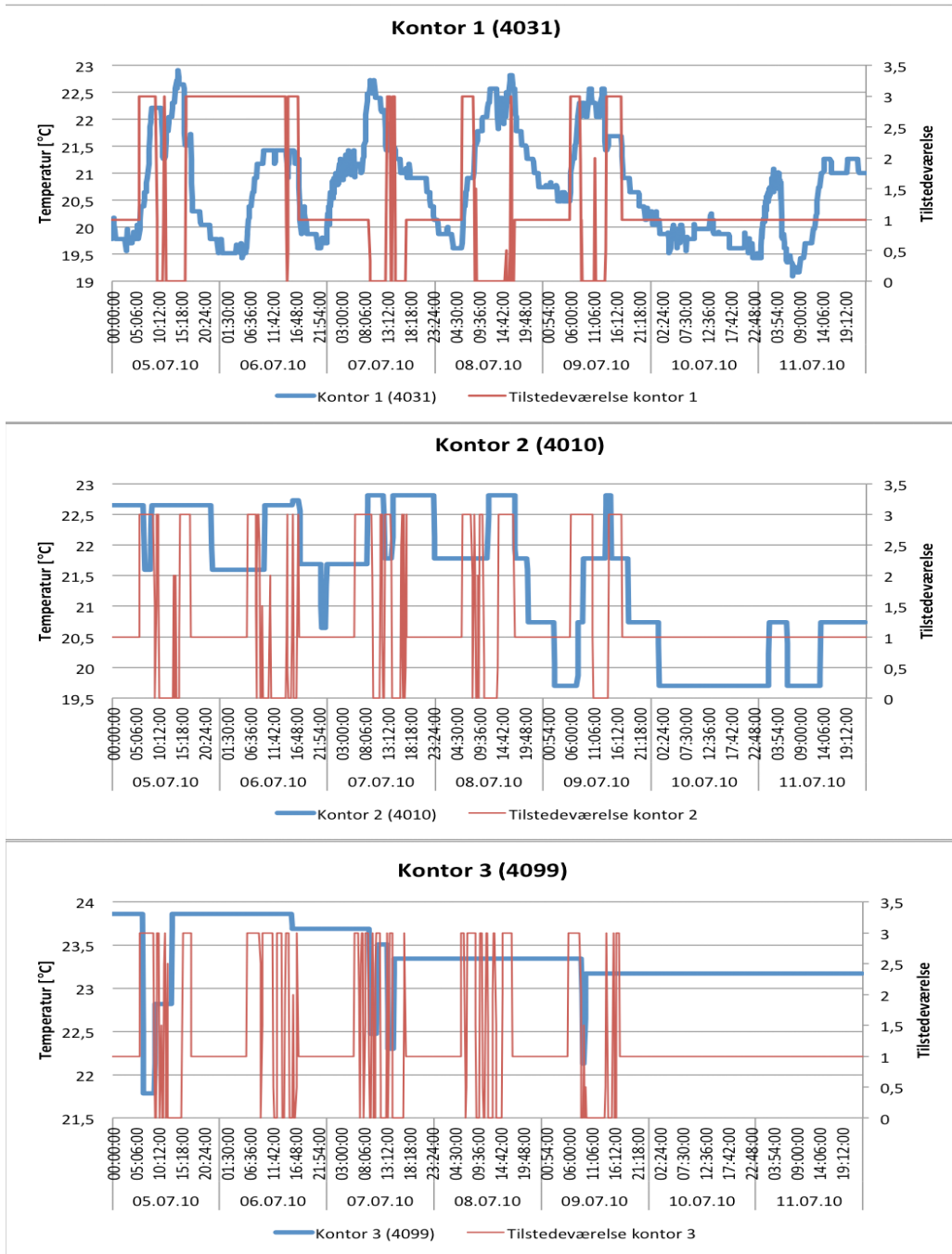
Figur 51 og Figur 52 viser innetemperaturen på de tre utvalgte kontorene i uke 27 og 47 i 2010. De røde grafene representerer tilstedeværelsen på kontorene der verdi 0

symboliserer personer tilstede på kontoret, 1 symboliserer ledig kontor utenfor driftstid mens 3 symboliserer ledig kontor i driftstiden (06.00-18.00). Innetemperaturene er plottet med 6 minutters tidsoppløsning. Det sees fra figurene at døgnprofilene for målt innetemperatur er veldig forskjellig mellom de tre kontorene. Hvorfor temperaturen i kontor 2 og 3 er blitt registrert med "sprang" etterfulgt med lengre perioder med konstant temperatur er uklart. Ut fra data for disse to kontorene er det ikke mulig å gi noen spesiell evaluering av innetemperaturen bortsett fra at det i perioder med tilstedeværelse i uke 27 ligger kontor 2 rundt en temperatur på 22,5°C, mens kontor 3 ligger rundt 23,5°C. Dette er begge temperaturer som antas å være gode innetemperaturer ved sommerforhold når det antas mer klær enn 0,5 clo.

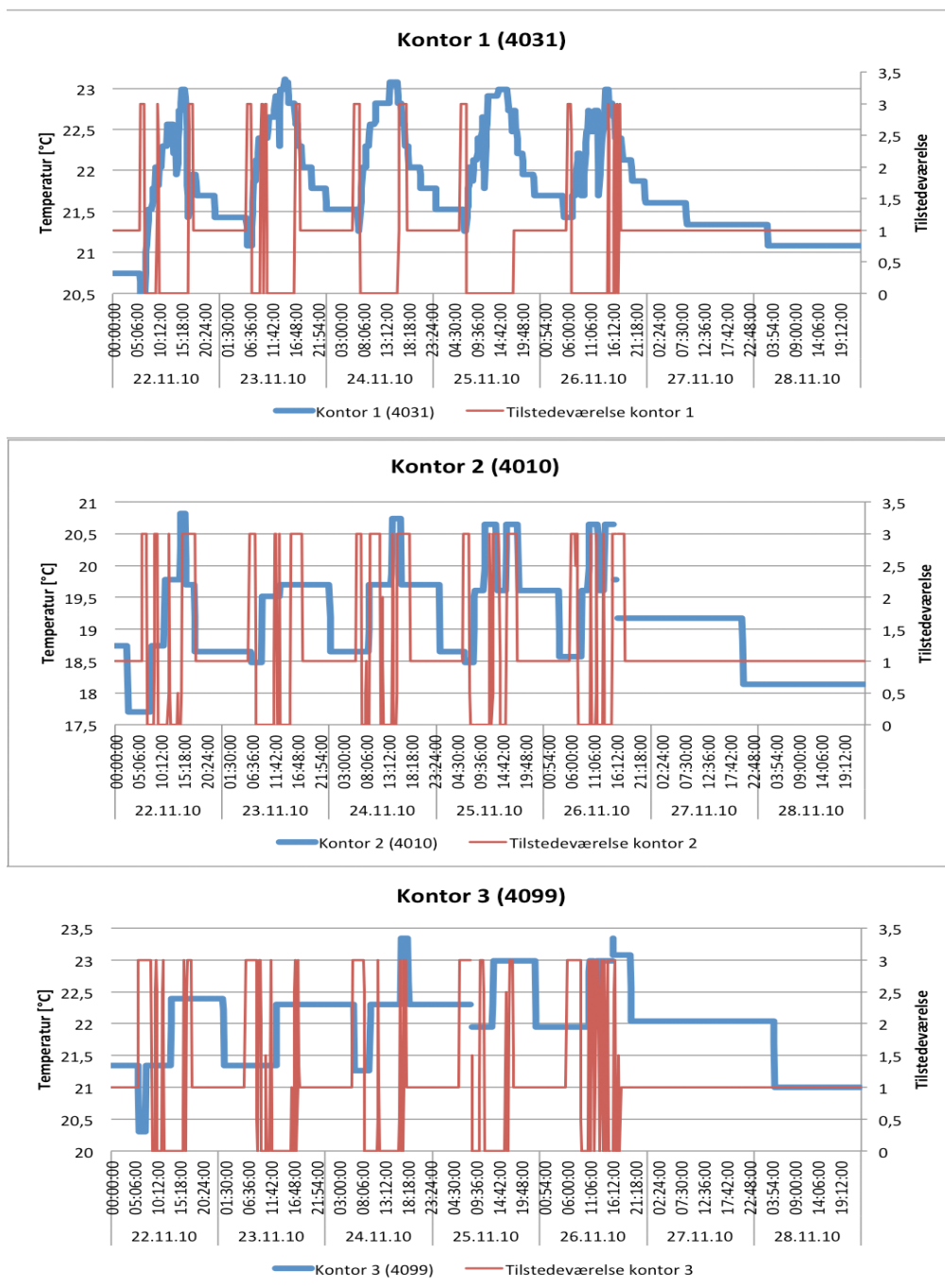
For vinterforhold for kontor 2 og 3 ligger innetemperaturen ved tilstedeværelse i uke 47 stort sett mellom 18,5°C til 20,5°C i kontor 2 og mellom 21,4°C til 23°C i kontor 3. Siden optimal innetemperatur ved stillesittende arbeid og bekleddning på 1 clo ligger på 21,5°C \pm 2,0°C ligger temperaturen i kontor 2 under dette intervallet i deler av tiden det er folk tilstede på kontoret. Om dette er bevist regulert av den ansatte som jobber på dette kontoret eller om det er feilinnstilling/feildimensjonert klimaanlegg i forbindelse med dette kontoret er ikke undersøkt.

I kontor 1 for uke 27 og 47 sees det tydelig at temperaturen på kontoret er lavere utenfor driftstiden, enn i driftstiden, både ved sommer og vinter forhold. Ved vinterforhold, uke 47, er nattsinking av temperaturen med 1-1,5°C et gunstig tiltak for å redusere energibruk til romoppvarming. Siden PB2 har en meget godt isolert bygningskropp, samt middels tung konstruksjon og god utnyttelse av termisk masse vil det ikke være mulig å senke temperaturen mye siden temperaturen synker sakte selv ved avslått oppvarmingssystem. Gjennom helgen vil temperaturen kunne senkes litt mer. Dette ser også ut til at blir gjort i kontor 1 ut fra figuren. I driftstiden ligger temperaturen i kontor 1 mellom 21,5°C og 23°C i denne uken i november, noe som ligger i øvre sjikt av optimal temperatur. Dette antas å være regulert av bruker.

Ved sommerforhold ligger temperaturen i kontor 1 mellom 20,5°C og 23°C i driftstiden, mens utenfor driftstid ligger den ned mot 19°C. Siden frikjøling via ventilasjonsanleggene ble brukt sommeren 2010 ble dette brukt også utenfor driftstiden for å utnytte kjølig natteluft og kjøle ned bygningen på nattetid. Selv i uke 27 som var ei uke med høye temperaturer stiger ikke temperaturen i kontor over 23°C. På bakgrunn av dette ser det ut til at kjølekapasiteten her er tilstrekkelig, og fungerer godt.



Figur 51, Innetemperatur og tilstedeværelse i uke 27 i 2010



Figur 52, Innetemperatur og tilstedeværelse i uke 47 i 2010

9 Forbedringspotensialet ved PB2, og de valgte tekniske løsningsers egnethet for bruk i Zero Emission Buildings (ZEB)

Miljøbygget i Professor Brochs gt. 2 kommer godt ut med tanke på energibruk sammenliknet med andre næringsbygg. Dette skyldes en meget god klimaskjerm og stor vekt på avanserte tekniske løsninger. Likevel finnes det svakheter og forbedringspotensial også ved dette bygget. Natasa Djuric har i sin rapport *Funksjonskontroll rapport ved Professor Brochs gate 2* gjort en funksjonskontroll på de tekniske anleggene i PB2 ved hjelp av simuleringer og avanserte algoritmer. Denne rapporten har vært hovedkilden for utarbeidelsen av dette kapitlet. Det blir i dette kapitlet hovedsakelig nevnt systemer som ikke fungerer som tiltenkt, og forbedringspotensialer til disse systemene. I tillegg blir de tekniske løsningene valgt i PB2 drøftet med hensyn til bruk i fremtidige nullutslippsbygninger.

9.1 Varmeanlegg

Varmeanlegget for romoppvarming i Professor Brochs gt. 2 er som beskrevet kun basert på bruk av fjernvarme gjennom radiatorer, samt litt gulvvarme i 1. etg. Det har ikke vært mulig for forfatter å oppdrive hvorfor denne løsningen ble valgt under planleggingsfasen av bygget. Ut fra behovet for levert energi til bygningen kommer denne løsningen dårlig ut i forhold til for eksempel bruk av en varmepumpeløsning som blir mye benyttet i Norge i dag. På grunn av avgrensning av oppgaven blir det ikke gått nøyere inn på valg av energikilde, men en evaluering av valgt oppvarmingssystem og mulige forbedringer på eksisterende løsninger i PB2.

Siden romoppvarmingen i Miljøbygget kun er basert på bruk av fjernvarme er det ikke installert akkumulatortanker i oppvarmingssystemet. Det er heller ikke lagt spesiell vekt på å få til lavtemperatur oppvarmingsanlegg. I tillegg viser Tabell 6 at radiatorkursen i bygget er levert med høyere tur/retur temperatur på vannet enn det ble prosjektert. I ZEB sammenheng er det viktig at oppvarmingsanleggene blir dimensjonert med så lave temperaturnivåer som mulig slik at lavtemperatur energikilder som solvarme, varmepumper, spillvarme eller andre lavtemperaturkilder kan benyttes.

Ved kontroll av massebalanse i undersentral utført av Natasa Djuric ble det oppdaget at massebalansen mellom vannmengdene oppgitt i dokumentasjonen for underanleggene ikke stemte med hovedkursen 320.001. Et verktøy utarbeidet i MATLAB ble utviklet for estimering av riktig vannmengde i underanleggene så massebalansen ble korrekt. En sammenlikning mellom vannmengden oppgitt i dokumentasjon og estimert vannmengde ble deretter satt opp. Resultatene her ga størst avvik i gulvvarmekretsen der estimerte vannmengder ble betydelig høyere enn i dokumentasjonen. Dette vil innebærer at gulvvarmekretsen alltid vil få høyere vannmengde enn den trenger og ønsket turtemperatur

fra dokumentasjonen aldri vil bli oppnådd. Siden gulvvarme er et lavtemperatursystem med temperaturdifferanse i tur/retur på 5°C kan et slikt avvik medføre en økning i gulvvarmeforbruk på hele 20% (Djuric, 2011).

Som tiltak for forbedring av oppvarmingssystemet i PB2, samt løsninger for bedre å være tilrettelagt for ZEB foreslås:

- måler på snøsmelteanlegg
- finne grunnen til de høye målingene av fjernvarmeforbruk til radiator-, ventilasjon- og gulvvarmekrets i måneder med lavt/ingen forbruk. Mest sannsynlig overdimensjonerte målere.
- gulvvarmekretsen bør optimaliseres slik at unødvendig fjernvarmeforbruk på grunn av feilregulering unngås.
- lavere tur/retur temperaturer i varmeanlegg, for å kunne utnytte lavtemperatur varmekilder, samt bedre utnyttelse av kondensatorvarme fra kjøleanlegg 35.02. Akkumulatortanker er nødvendig.
- forenklete vannbårne anlegg tilpasset meget lave varmebehov
- luftbåren oppvarming kan være aktuelt

Eksempler på varmeanlegg basert på lav temperatur på tur/retur vannet, forenklete vannbårne anlegg, samt luftbåren romoppvarming er beskrevet i forfatters prosjektoppgave (Sangnes A. O., 2010).

9.2 Kjøle- og varmepumpeanlegg

Det er i dag installert to kjøle-/varmeanlegg i Professor Brochs gate, der det kombinerte varmepumpe- og kjøleanlegget 35.01 dekker klimatisering av ventilasjonsluft, mens 35.02 dekker kjølebehov via fan-coils i server- og IT-rom.

For varmepumpesystem 35.01 er deler av installert anlegg forskjellig fra det prosjekterte. Dette innebærer at en del signaler, målinger og beskrivelser i SD-anlegget ikke stemmer med det installerte anlegget (Djuric, 2011). Djuric konkluderer også i sin rapport at energimålinger på kondensatorvarme fra dette anlegget ikke kan stemme. For eksempel viste de direkte målingene at varmepumpen avga varme selv i perioder da varmepumpen var avslått. Hun utviklet derfor en metode for indirekte måling av varmepumpeytelsen til anlegg 35.01. En kombinasjon av den direkte og den indirekte målingen, inkludert usikkerhetene til hver av de, dannet en fusjonsmåling som ga et godt bilde på varmeavgivelsen fra varmepumpen. Ut fra disse måledataene ble en COP faktor på 3 beregnet for anlegget, mot en gjennomsnittlig COP på 3,22 angitt fra leverandøren Reftec (Djuric, 2011). Dette er en relativt akseptabel COP faktor for en luft-vann varmepumpe, spesielt siden temperaturløftet for varmepumpen er relativt høyt.

Kjølemaskin 35.02 har en relativt lik belastning gjennom hele året siden denne dekker server- og IT-rom i PB2. På grunn av et relativt stort kjølebehov også i perioder med varmebehov i bygget ble dette anlegget utformet for å kunne levere kondensatorvarme til retursiden i fjernvarmekretsens sekundærside. Andelen nyttig kondensatorvarme er avhengig av kjølebehovet i bygget. Det er som nevnt tidligere installert fan-coils til å dekke et kjølebehov på 76,85 kW mot et kjølebehov på 60 kW som ble prosjektert. Kjøleanlegget ble i prosjekteringsfasen satt til å skulle dekke 200 kW. I Djuric 2011 er det simulert størrelsen på nyttig kondensatorvarme som kan tilføres fjernvarmekretsen. Ved simulering i Cool Pack ble det funnet ut at kondensatorvarmen kunne utnyttes hvis returtemperaturen i hovedkurs (320.001.RT51) er lavere enn 52,49°C. Dette er fordi kjølemedie R410A har kondenseringstemperatur på 62,49°C ved kritisk kondenseringstrykk på 40 bar. Det er da antatt at kondenseringstemperaturen trenger å være 10°C varmere enn returen i hovedkursen for å få tilstrekkelig varmeveksling. Andre antagelser er gitt i nevnte rapport.

Ut fra antagelsen om at Miljøbygget har oppvarmingsbehov ved temperaturer lavere enn 12° ble det beregnet at nyttig kondensatorvarme kunne dekke fra 23% til 70% av varmebehovet i bygget, ved kjølebehov mellom 60 og 200 kW (Djuric, 2011). Avhengig av kjølebehov er det derfor snakk om betydelige varmemengder. Som vist i Figur 30 er andelen nyttig kondensatorvarme som er registrert i 2010 tilnærmet ubetydelig. Disse målingene er heller ikke til å stole på.

Siden kjøleanlegg 35.02 er koblet til på sekundærsiden av varmeveksler LV01 900 kW, vil kondensatorvarmen kun kunne utnyttes i perioder med varmebehov til gulvvarme, radiatorkrets, snøsmelt eller ventilasjon. Hadde anlegg 35.02 vært tilkoblet slik at kondensatorvarmen også kunne brukes til forvarming av tappevann kunne denne overskuddsvarmen blitt utnyttet i en større del av året.

Tiltak for forbedring av kjøleanlegg i Miljøbygget, samt løsninger som er bedre egnet i ZEB:

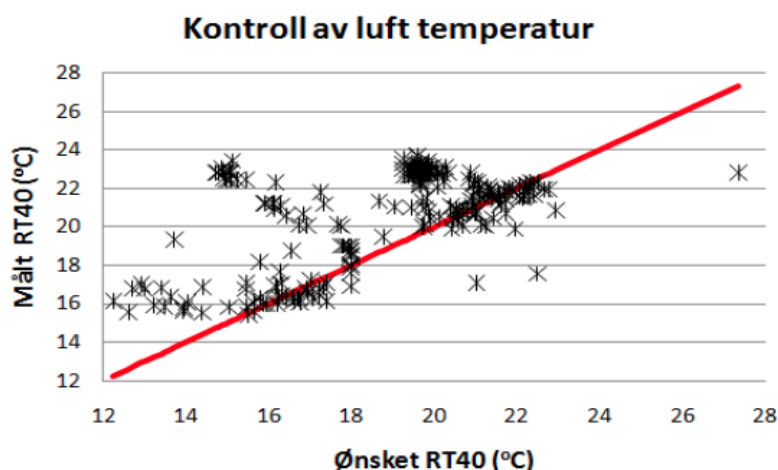
- utforming av kjøleanlegg 35.02 til å ha høyere kondenseringstemperatur slik at mer kondensatorvarme kan tilføres fjernvarmesystemet
- utforming av anlegg slik at kondensatorvarme fra kjøleanlegg 35.02 også kan dekke tappevannsoppvarming.
- kjøleanlegg basert på frikjøling mot grunnen, eventuelt optimal styring av frikjøling via ventilasjonsanlegg
- kjølebehov til server og IT-rom burde kunne dekkes av frikjøling på vinterstid

9.3 Ventilasjonsanlegg

Ved utforming av ventilasjonsanlegget i PB2 ble det lagt vekt på å minimere SFP-faktoren, der kravet var 2 kW/m³/s. Ved bruk av avansert optimizer styring av spjeld og vifter

brukes allerede det "beste" innen tilgjengelig teknologi på dette feltet. Dette vises også på det lave forbruket til ventilasjonsvifter presentert tidligere i denne rapporten. I tillegg viser målinger av overtrykk i tilluftkanaler ved ulike luftmengder i anlegg 36.01 at lavere luftmengde gir lavere tilluftstrykk, og motsatt (Djuric, 2011). Dette viser at optimizersystemet med optimal styring av tilluftstrykk fungerer bra for dette anlegget.

Ved kontroll av faktisk tillufttemperatur (måler RT40) mot ønsket tillufttemperatur ble fordeling i Figur 53 funnet (Djuric, 2011).



Figur 53, Avvik i målt tillufttemperatur i 36.01

Figuren viser at det ofte er store avvik mellom målt og ønsket tillufttemperatur fra anlegg 36.01 i driftsfasen, noe som kan indikere feil styring i varmepådrag i roterende varmegjenvinner eller i varmebatteriene. Det ble derfor foretatt en kontroll av varmepådrag av Natasa Djuric. Aggregat 36.05 ble valgt for evaluering i mars 2010 på grunn av at dette aggregatet var mest i bruk i perioden, samt at det var mye tilgjengelig data for dette anlegget i valg periode. Siden alle aggregatene i PB2 styres i sekvens som beskrevet under kapittel 4.1 skal den roterende varmegjenvinneren yte 100% før varmebatteriet tilkoblet varmepumpe skal bidra. Grafer over ventilposisjoner for pådrag til roterende varmegjenvinner pluss til de to varmebatteriene, gitt i vedlegg D, viser at varme- og kjølebatteriet LK40 har et vist pådrag selv om gjenvinner ikke yter 100%. Dette bidrar til unødvendig elektrisitetsforbruk til varmepumpen. Vedlegg E vises også at varmebatteri LV40 som er tilkoblet fjernvarme er i bruk selv om gjenvinner og varme- og kjølebatteri (LK40) ikke har oppnådd 100% pådrag. Dette resulterer i unødvendig fjernvarmeforbruk.

Djuric konkluderer også i sin rapport med fjernvarmeforbruk til ventilasjonsaggregatene utenfor driftstid selv om disse da skal være avslått. I løpet av mars 2010 ble det beregnet et forbruk til aggregat 36.05 på 1826 kWh i løpet av arbeidstiden og 445kWh utenfor arbeidstid. Den samme trenden er også sett hos de andre aggregatene i PB2. Dette forbruket

utenfor arbeidstid kan derfor bidra til et fjernvarmebruk til ventilasjon som er 20% høyere enn nødvendig (Djuric, 2011).

Figur 39 over fjernvarmebruk i uke 47 viser også et fjernvarmebruk til ventilasjon utenfor driftstid.

Funnene nevnt ovenfor resulterer i både økt fjernvarme- og elektrisitetsforbruk. Dette bør sees nærmere på for å kunne redusere energiforbruket til ventilasjonsluftoppvarming betydelig. Det skal her nevnes at bygget ikke ble tatt i bruk før september 2009 slik at evalueringsmåneden mars 2010 kun er 6 måneder etter dette. Reguleringsproblemer som dette kan derfor allerede være forbedret, men er viktig å kontrollere.

Siden ventilasjonsanleggene er helt avslått utenfor driftstid benyttes ikke frikjøling via ventilasjonen. Bruk av frikjøling via ventilasjonen utenfor driftstid vil resultere i høyere vifteforbruk men bruken av energikrevende mekanisk kjøling med tørrkjølere på taket vil kunne reduseres. Bruk av frikjøling vil derfor kunne vært et tiltak som ville redusert den totale elektrisitetsbruken.

Med tanke på bruk i ZEB kan anlegget valgt i PB2 absolutt være et aktuelt ventilasjonssystem med lavt vifteforbruk og redusert behov for fjernvarme ved hjelp av roterende varmegjennvinnere med meget høy virkningsgrad og luft-vann varmpumpe. Det er da en nødvendighet at systemet fungerer optimalt slik at unødvendige forbruk som nevnt unngås. På grunn av behovet for to varmebatterier, samt varmepumpen vil anlegget medføre relativt store investeringskostnader. Alternativt kunne en varmepumpe med borebrønner brukes til å dekke hele oppvarmingsbehovet i aggregatene, selv om dette ville medført enda høyere investeringskostnader. Likevel kan et slikt anlegg være økonomisk lønnsomt siden det kan dimensjoneres til å dekke hele eller størstedelen av romoppvarmingen og tappevann, i tillegg til ventilasjonsluftoppvarmingen. En vann-vann varmepumpe i PB2 som henter varme fra grunnen er også godt egnet til å dekke kjølebehovet til bygningen primært via frikjøling mot grunnen, samt mekanisk kjøling hvis dette er nødvendig. Ved et kontorbygg med et relativt stort kjølebehov til serverrom vil en slik investering kunne ha positiv nåverdi over levetiden hvis en god COP oppnås. Lavtemperatur varmeanlegg tilkoblet gode akkumulatortanker med god temperatursjiktning er en viktig faktor for å oppnå god COP faktor i varmepumpeanlegget.

Som tiltak til forbedring av ventilasjonsanlegget i PB2, samt endringer som er bedre tilrettelagt for bruk i ZEB foreslås:

- Bedre regulering av ventilasjonsoppvarmingen slik at gjenvinner yter 100% før varmebatteri tilkoblet varmepumpe stepper inn, samt at varmebatteri tilkoblet varmepumpe yter 100% før varmebatteri tilkoblet fjernvarme stepper inn.
- Kontroll av ventilasjonsanlegg 35.05 for å avdekke årsak til høy SFP (som behandlet under kapittel 5)
- Kontrollere årsak til fjernvarmebruk til ventilasjon utenfor driftstid

- Utstrakt bruk av frikjøling via ventilasjonen i perioder med kjølebehov

Siden det helt fra prosjekteringen av Professor Brochs gt. 2 har vært stor fokus på at kontorlokalene skulle være fleksible og lette å tilpasse for ulike leietakere har dette satt en del begrensninger for varme og klimatiseringssystemene i bygget. Spesielt at det med enkle grep skal kunne skiftes mellom åpent kontorlandskap og cellekontorer har gjort at noen ventilasjonsløsninger passer dårligere enn andre.

En oversikt over fordeler og ulemper rundt omrørings- og fortrenningsventilasjon er gitt i Tabell 20. I tillegg blir en type fortrenningsventilasjon der tilluften fordeles i store deler av etasjeskillene og tilføres rommet gjennom rister i gulvet inkludert i tabellen. Denne løsningen er brukt i det nye Sparebank 1 bygget i Søndre gate i Trondheim. Mer info disse ventilasjonsløsningene finnes i forfatters prosjektoppgave (Sangnes, A., O., 2010).

Ventilasjonsløsning	Fordeler	Ulemper
Omrørings-ventilasjon	<ul style="list-style-type: none"> - Setter ingen begrensninger for møblering. - Ingen tilførsel av luft i oppholdssonen, gir liten sjanse for trekk. - Mye brukt løsning 	<ul style="list-style-type: none"> - Setter krav til en hvis lufthastighet i tiluftsventilen slik at bruk av hybrid eller naturlig ventilering er ugunstig.
Fortrennings-ventilasjon	<ul style="list-style-type: none"> - Lavere lufthastigheter - Egned ved hybrid/naturlig ventilasjon - Høyere ventilasjonseffektivitet en omrøring grunnet sjikting av luftforurensningene - Mer effektiv ved store kjølebehov 	<ul style="list-style-type: none"> - Setter krav til møblering og oppholdssone - Mindre egned i mange små rom (f.eks cellekontorer)
Under-floor ventilasjon (omrøring)	<ul style="list-style-type: none"> - Som fortrenningsventilasjon - Meget gunstig utnyttig av termisk masse i etasjeskillere - Meget lave hastigheter og tap 	<ul style="list-style-type: none"> - Lite utprøvd - Kan oppstå problematikk rundt fuktighet og skitt i "tilluftsventilene" i gulvet

Tabell 20, Fordeler og ulemper med omrøring-, fortrenning- og under-floor ventilasjon

Bruk av under-floor ventilasjon kunne vært en aktuell ventileringsmetode i PB2 med plassering av tiluftsgitter slik at enkel etablering av cellekontorer kan gjøres i ettertid. Ved bruk av denne metoden kan frikjøling på nattetid senke temperaturen i betongen i perioder med kjølebehov slik at behovet for kjøling i driftstiden kan reduseres betydelig. Den termiske massen i etasjeskillene utnyttes derfor på denne måten meget godt. Bruk av

denne metoden kombinert med hybrid ventilasjon kan også være en meget gunstig løsning for PB2, gjerne i kombinasjon med passiv forvarming av ventilasjonsluften ved hjelp av en kulvert. Utdypende informasjon om dette kan også finnes i forfatters prosjektoppgave om energieffektive installasjoner.

9.4 Belysning og annet teknisk utstyr

I fremtidige nullutslippsbygninger vil det som nevnt være veldig viktig å redusere elektrisitetsbehovet mest mulig. Belysning og annet teknisk utstyr står i moderne kontorbygninger igjen med en betydelig del av den totale energibruken. Dette gjelder også i PB2 som vist i tidligere kapitler i denne rapporten. Mulige tiltak for å kunne redusere elektrisitetsforbruket til dette formålet blir behandlet i dette delkapitlet.

9.4.1 Belysning

De fleste nyere kontorbygninger bygd de senere årene har gode styringssystemer for belysningen i bygget. Dette er tilfellet også for Miljøbygget. Likevel er det også her muligheter for ytterligere forbedring ved å ta i bruk det ytterste innen tilgjengelig teknologi.

Det blir i Miljøbygget benyttet T5 lysrør med energieffektive armaturer i tilnærmet alle kontorlokaler. Utvalgte steder i glassgård, i "kirsebæret" samt fasade- og skiltbelysning benyttes LED teknologi. Størstedelen av belysningen i PB2 er derfor allerede lyskilder med høy lyseffektivitet. Bygningskonstruksjonen er også til en viss grad konstruert med tanke på utnyttelse av dagslys via glassgården mellom de to hovedfløyene. Som Figur 36 og Figur 38 viser er elektrisitetsforbruket til belysning betydelig lavere utenfor driftstiden enn i driftstiden som følge av tilstedeværelse og tidsstyring av belysningen. Likevel sees det at forbruket også utenfor driftstiden står for en betydelig del av den totale elektrisitetsbruken til belysning i PB2. Dette forbruket antas at kunne vært redusert betydelig.

Det ble i regi av Norges Forskningsråds Klimatek-program utarbeidet en rapport på blant annet besparelse ved å bruke dagslyskorrigert belysning i kontorer langs ulike fasader på et kontorbygg (Sørheim H. R. et al.) Det ble her konkludert med en total besparelse på 5 kWh/m²år som følge av dagslyskorrigering av belysningen på arbeidsplassen etter krav om en belysningsstyrke på 500 lux. Det er da tatt høyde for redusert besparelse i fellesarealer som korridorer og indre arealer i dype bygninger der belysningen ofte ikke vil kunne styres etter dagslystilgang. Det er her også tatt høyde for at oppvarmingsbehovet vil kunne øke som følge av redusert "gratisvarme" fra lyskilder.

I doktoravhandling til Milenka Lolovic ved NTNU blir Professor Brochs gate 2 behandlet. Her blir blant annet simuleringer rundt dagslysstyring av belysningen i denne bygningen simulert. Her blir en belysningsstyrke på 650 lux satt som krav på arbeidsplassen. Hun konkluderer her med en besparelse på 4,10 kWh/m²år i total besparelse som følge av

dagslyskorrigert belysning. Her er da en økning i oppvarmingsforbruk og en reduksjon i kjølebehov og belysning inkludert (Milenka Lalovic, 2010).

De to nevnte forskningsrapportene konkluderer begge med en betydelig sparing ved å bruke dagslyskompensert belysning i et kontorbygg, og vil være et tiltak som kunne redusert elektrisitetsforbruket i PB2 ytterligere.

En annen mulighet for redusert forbruk til belysning som antas å være aktuelt i nullutslippsbygg er utstrakt bruk av LED belysning. Bruk av dioder til generell belysning er lite utbredt i dag, der det eneste kontorbygget i Norge som er 100% belyst av LED er Stavanger Aftenblad. Hovedgrunnene til begrenset bruk av dioder som generell belysning innendørs har vært høy pris og ofte uønsket fargetemperatur fra lyskilden. Utviklingen innen LED belysning har de senere årene vært enorm slik at det i dag produseres dioder som gir samme fargetemperatur som tradisjonelle glødepærer og høykvalitets fluoriserende belysning (bl.a. T5 lysrør som i PB2) på rundt 2700 kelvin, samt en fargegjengivelse på 80. Etterhvert som LED teknologien blir mer utbredt, større salg og økt konkurranse vil prisen også gå ned. I perioden 2006-2009 sank prisene for lysdioder med hele 20% hvert år (Lyskultur, 2009). Fortsetter denne utviklingen vil LED kunne bli fremtidens lyskilde og godt egnet for bruk i ZEB. Mer rundt dette under belysning i kapittel 10.

Bruk av metoder for ytterlige utnyttelse av dagslyset vil være en vei å gå for å få til nullutslippsbygg. Det finnes mengder av måter å gjøre dette på, der alle inkluderer fasadeutforming og andre bygningsmessige tiltak. Dette faller utenfor tema i denne oppgaven og vil ikke bli gått inn på her.

Som mulige tiltak for ytterligere reduksjon av elektrisitetsforbruket til belysning i PB2, og som er mer tilrettelagt for fremtidige nullutslippsbygg foreslås derfor følgende:

- dagslyskorrigert belysning
- bruk av LED belysning
- redusere el.forbruk til belysning utenfor driftstid
- metoder for enda bedre utnyttelse av dagslyset via solsjakter og liknende.

9.4.2 Teknisk utstyr

Selv om bygningens klimaskjerm holder meget god standard, og alle tekniske bygningsintegreerte installasjoner er meget energieffektive, kan likevel energisløsing i form av ubevist bruk av energikrevende teknisk utstyr føre til et høyt energiforbruk i bygget. Ut fra kravene som ble stilt til PB2 og standardverdier gitt i tillegg A i NS3031 viste Tabell 17 at forbruket til teknisk utstyr i Miljøbygget lå godt under dette. Dette tyder på at det ikke foregår omfattende sløsing av elektrisitet til teknisk utstyr hos de ulike organisasjonene som leier i PB2. Likevel sees det av Figur 36 og Figur 38 at forbruket til teknisk utstyr utenfor driftstid står for en betydelig del. Dette er forbruk som antas brukt til utstyr som

står på, eller i standby, over natten. Teknisk utstyr i kontorbygg dreier seg hovedsakelig om data- og telekommunikasjonssystemer, PCer, kopimaskiner og skrivere. Energibruken mellom ulike apparater varierer svært mye avhengig av alder og kvalitet. I tillegg er det for eksempel slik at byttes den stasjonære PCen med skjerm ut med en bærbar PC, kan en besparelse i energibruk på hele 80% oppnås (EU ENERGY STAR). Der den stasjonære PCen inkludert skjerm antas å bruke 200W mot en energieffektiv bærbar pc med LCD eller LED skjerm med gjennomsnittlig effektforbruk på 30W.

I tillegg til energieffektivt utstyr er holdningene til energisparing hos de ansatte helt avgjørende for energibruk til teknisk utstyr. En befaring ved PB2 utenfor arbeidstid viste at flertallet av PCer kun var logget av og ikke avslått. Pc skjermene sto også kun i standby. To av to multifunksjonsskrivere som ble observert stod også i standby. Slike store multifunksjonsskrivere trekker mye strøm selv i standby siden det er flere enheter som må holdes varme for at maskinen raskt skal kunne tas i bruk igjen. Dette viser at tiltak for å redusere unødvendig energibruk til teknisk utstyr kunne redusert forbruket ytterligere i PB2. Tiltak som antas å kunne gi effekt for redusert elektrisitetsforbruk til teknisk utstyr, og som er viktig for fremtidige Zero Emission Buildings er:

- Kampanje for å skjerpe holdninger blant de ansatt til energisparing. PCer og annet personlig teknisk utstyr på arbeidsplassen skal skrues av ved arbeidsslutt, og ved lengre perioder uten bruk.
- Innstillinger på hver PC slik at denne slås av etter en bestemt tid uten bruk.
- I tilfeller med mange multifunksjonsskrivere tett samlet innen samme organisasjon kan noen få maskiner dekke hele organisasjonen i perioder med lite bruk. Dette kunne endret at alle maskinene stor klare til bruk i hele driftstiden. Utenfor driftstiden da ingen er på jobb skal maskinene være helt avslått. På morgenen før ansatt kommer på jobb må noen maskiner startes opp igjen slik at de er klare til bruk ved arbeidstart. Det anbefales automatiske systemer, som kan overstyres, til å regulere dette. Dette må tilpasses hver enkelt organisasjon i PB2 slik at dette ikke går på bekostning av produktiviteten på arbeidsplassen.

10 Behov for nye tekniske løsninger i næringsbygg i ZEB sammenheng

Selv om det i dag finnes mye tilgjengelige teknologiske løsninger for klimatisering og annet teknisk utstyr er det fortsatt stort behov for videreutvikling av eksisterende og nye løsninger for å nærme seg målsetningen om ZEB i kaldt norsk klima. I tillegg kreves samarbeid mellom ulike fagmiljøer og utvidet kompetanse hos de enkelte for å nå dette målet. Begge disse temaene blir tatt opp i dette kapitlet. Grundigere forklaringer rundt løsningene omtalt i dette kapitlet finnes i forfatters prosjektoppgave (Sangnes A. O., 2010).

10.1 utfordringer og mangler med dagens ventilasjonsløsninger

Selv om det finnes mange avanserte og gode komponenter og styringssystemer innen ventilasjon på markedet i dag er det likevel et stort behov for forbedringer og nye komponenter og løsninger. Dette kapitlet tar kort for seg hva bransjen ser på som de største manglene innen ventilasjon for å kunne oppnå ZEB i Norge, og hva det forventes å se tilgjengelig på markedet på kort sikt.

10.1.1 Komponenter i ventilasjonsanlegget

Utviklingen innen varmegjenvinnere har vært stor de senere årene med stadig høyere virkningsgrader innen de fleste typene. Likevel er det nesten bare de roterende varmegjenvinnerne som klarer å dokumentere en temperaturvirkningsgrad som oppfyller kravene i TEK10. Det har også blitt avdekket i studier utført i Norge, Sverige og Sveits at en roterende varmegjenvinner med dokumentert nominell temperaturvirkningsgrad på 80% har en effektiv virkningsgrad på 60 til 70%. Dette skyldes hovedsaklig at innjustering og drift av gjenvinneren avviker fra de ideelle forutsetningene/forholdene gitt ved produktdokumentasjonen (Lassen N. et al., 2009). Innjustering og drift er derfor et meget viktig punkt for å maksimere varmegjenvinningen fra roterende varmegjenvinnere.

I en prosjekt rapport utført av Erichsen & Horgen på bruk av roterende varmegjenvinnere i skolebygg blir blant annet følgende punkter konkludert (Petersen A. J. and Bryn I., 2008):

- De målte virkningsgrader er noe lavere enn hva som oppgis fra produsent. En sertifiseringsordning tilsvarende det som finnes i Tyskland ville skape mer oversikt og like forhold for alle leverandører av varmegjenvinnere¹.
- Det er et stort behov for bedre drifts- og vedlikeholdsrutiner

¹ Det tyske passivhusinstituttet sertifiserer passivhusprodukter, konstruksjoner, og også planleggere av passivhus som blir lagt tilgjengelig i en database på nett. Der kan utstedte sertifikater av passivhussertifiserte komponenter lastes ned, slik at egnede konstruksjoner og systemløsninger som er utviklet for passivhus lettere kan oppdrives og sammenliknes.

- Det er behov for overvåking av trykkforhold i gjenvinner og aggregat via SD-anlegg slik at gjenvinner kan driftes nærmere de ideelle forholdene.

Det forventes på kort sikt at de største forandringene innen komponentene i ventilasjonsanlegget vil skje innen (Lassen N. et al., 2009):

- Varmegjenvinnere som ikke får redusert virkningsgrad på kalde dager grunnet gjenfrysing, som derfor vil oppnå høyere årsvirkningsgrad.
- Høyere virkningsgrad på eksisterende gjenvinnere eller nye konsepter som ikke har risiko for overføring av luft og forurensinger mellom avtrekk og tilluft.
- Utforming av aggregatkomponenter som spjeld og filter med minimalt trykktap.
- Utforming av kanalsystemer med minimal friksjon, og lavt trykktap.
- Mer effektive vifter og viftemotorer, men også utstrakt bruk av naturlige drivkrefter gjennom alternative løsninger innen hybrid ventilasjon.

Når det gjelder hybride ventilasjonssystemer mangles det driftserfaring på nyere bygg oppført på dette prinsippet. I tillegg er det nødvendig med komponenter og teknologiske løsninger for bygningsintegrert ventilasjon slik at krav til blant annet sikkerhet, brann og lydoverføring tilfredsstilles (Mysen M. et al., 2003). Mer kompakte og stabile styringssystemer tilkoblet SD-anlegget for bygningsintegrerte ventilasjonsløsninger trengs på markedet. Også tommefingerregler og brukervennlige prosjekteringsprogrammer savnes innen dette temaet (Vik T. A. and H., 2001).

Hybride ventilasjonsanlegg er benyttet i flere skolebygg rundt om i landet, men det gitt klare signaler fra flere hold at det trengs mer forskning innen bruk av hybride ventilasjonsanlegg i kalde klima for øvrige bygningskategorier.

10.1.2 Styringssystemer og kompetanse

Det forventes en stor utvikling innen behovstyring av ventilasjonen både i bolig- og næringsbyggsammenheng i nær fremtid. Behovstyring bør i passivbygg og ZEB omfatte all formålsavhengig energibruk, som belysning, utstyr, ventilasjon, varme og kjøling (Lassen N. et al., 2009).

I næringsbygg er behovstyring av ventilasjonen en meget viktig del for å få et reelt lavt energibehov. Det finnes i dag ulike optimizersystemer tilkoblet ulike sensortyper for VAV. Et slikt system brukes som omtalt tidligere også i Miljøbygget. Utfordringene her ligger i riktig innregulering og hensiktsmessig styring av disse anleggene. Det finnes mange eksempler moderne anlegg som gir dårligere innelima og høyere energibruk en beregnet på grunn av dette (Eriksson M. and Mysen M., 2010).

En viktig komponent i et behovstyrt system er sensorene. CO₂-styring fungerer i dag ofte bra, men kan bli bedre. I en undersøkelse utført i USA på 208 ulike CO₂-sensorer viste det seg at 40% av sensorene hadde for stort avvik i forhold til kravene, og med store variasjoner i målingene (Mysen M, 2010). Denne store måleusikkerheten vil ved streng CO₂-styring av ventilasjonsanlegget ha merkbar innvirkning på energibruken. Det må i fremtiden derfor settes strengere krav til sensorer på markedet og en sertifiseringsordning for å kunne skille de ulike sensorkvalitetene fra hverandre er nødvendig.

Det har de senere årene blitt gjort flere prosjekter med mål om å utvikle et bedre grunnlag for dimensjonering av ventilasjonsanlegg med bakgrunn i samtidighet av personbelastningen i bygg av ulike byggkategorier og med ulikt bruksmønster. Likevel finnes det ikke tilstrekkelig informasjon rundt dette og en økt kunnskap om maksimale samtidige belastninger er sterkt ønskelig på bakgrunn av både dimensjonering av komponenter i ventilasjonsanlegget, og for å oppnå optimal styring av anlegget med tanke på minimering av energibruk (Mathisen H. M., 2010).

10.1.3 Prosjektering, service og vedlikehold

Prosjekteringen og kvalitet på produkter er selvfølgelig en veldig viktig del for å få et godt luftdistribusjonssystem. Likevel hjelper ikke dette hvis kvaliteten på den håndverksmessige monteringen av anlegget er dårlig. Det finnes utallige skrekkeksempler på montering av kanaler og utstyr som skaper store trykktap med tilhørende høye SFP verdier og driftskostnader, til tross for god prosjektering og dimensjonering. Økende kvalitetssikring i hele prosessen er derfor helt avgjørende for å oppnå energieffektive ventilasjonsanlegg i fremtiden og kan bygges opp etter fire punkter (Mysen M, 2010):

- Det er først og fremst viktig med en kravspesifikasjon fra byggherre, som skal være første grove beskrivelsen mot et velfungerende og energieffektivt behovstyrt anlegg.
- Videre en detaljert anbudsbeskrivelse fra rådgiver som sikrer systemleveranse og som ivaretar kommunikasjon, integrasjon, energioptimal styring, igangkjøring og funksjonskontroll mot testbare krav.
- Ved overlevering skal anlegget testes og dokumenteres i henhold til kravene som er satt.
- Etter anlegget har vært i drift en periode skal etterkontroll foretas, gjerne med bruk av SD-anlegget, og eventuelt et EOS-system (energioppfølgingsystem) for å dokumentere energibruken.

Med en slik prosess kommer det klart frem hvem som er ansvarlig for hva, og hvilke straffetiltak det kan medføre hvis ikke kravene og spesifikasjonene overholdes.

FDV (forvaltning, drift og vedlikehold) er også ekstremt viktig for å opprettholde kvaliteten på et anlegg. Ofte blir byggeier, bruker eller vaktmester på bygget uten tilstrekkelig

kompetanse satt ansvarlig for FDV, noe som resulterer i manglende vedlikehold og oppfølging av anlegget, slik at kvaliteten på anlegget reduseres betraktelig over tid. Det er derfor svært viktig med gode servicerutiner og tilstrekkelig kompetanse blant de ansvarlige for FDV, noe som kanskje best kan oppfylles med en serviceavtale med prosjekterende eller utførende for anlegget, eller egne servicefirmaer med kompetanse innen dette fagfeltet. En forbedring innen dette feltet er derfor nødvendig i fremtidige passivhus og ZEB.

10.1.4 Inneklima

Ventilasjonsanlegget har en viktig moderatoreffekt for fuktskader i bygg ved at luften blir tynnet ut, og fuktinnholdet og dermed relativ fuktighet i luften holdes på en lavt nivå. I tråd med at bygg blir stadig tettere får ventilasjonsanlegget en stadig mer kritisk funksjon ved at konsekvensene ved funksjonssvikt blir større. Det kan derfor stilles spørsmål rundt om dagens ventilasjonsløsninger er robuste nok eller om det er behov for andre kompensierende tiltak for risikoen for helseskadelig på et tilfredsstillende lavt nivå. Uansett er riktig drift en avgjørende faktor her (Lassen N. et al., 2009).

10.2 utfordringer og mangler med dagens varme- og kjølesystemer

Selv om det allerede ligger mye kunnskap og erfaringer i VVS-bransjen på utforming av anlegg for oppvarming og kjøling vil det her være stort behov for fornying og implementering av nye energieffektive løsninger. Mye av utfordringene her ligger også i å ta i bruk allerede eksisterende energieffektive løsninger. Økonomien i et byggeprosjektene er nesten alltid den avgjørende faktoren slik at energieffektive løsninger kan bli valgt bort på grunn av dette.

Følgende to delkapitler tar for seg noen av feltene det forventes å se størst endring på, og hvor de største behovene ligger innen tekniske systemer i kampen mot å nå ZEB.

10.2.1 Oppvarming

Ved valg av oppvarmingsmetode må hele bygget sees under ett slik at mest lønnsomme system blir valgt med tanke på tilgjengelige/aktuelle oppvarmingskilder. Vannbårne varmeanlegg foretrekkes grunnet større energifleksibilitet og slik at elektrisitetsforbruket kan minimeres. Det finnes ingen fasit på beste valg av oppvarmingssystem i passivhus eller ZEB i dag. Man sitter derfor igjen med et valg mellom bygningsintegrert oppvarming som gulvvarme eller takvarme, eller løsninger som varmelist, radiatorer eller konvektorer. Alle har sine fordeler og ulemper med tanke på kostnad, komfort og reguleringsegenskaper. Likevel er det behov i bransjen om klarere retningslinjer på valg av oppvarmingssystem, slik at investeringskostnaden ikke er det eneste avgjørende ved valg av dette.

Oppvarmingsbehovet i passivhus og ZEB er som kjent kraftig redusert i forhold til dagens standard. På bakgrunn av dette er der derfor mulig å forenkle det vannbårne anlegget innen alle bygningskategorier betraktelig. Dette er mulig med dagens tilgjengelige teknologi, men bransjen ser i den forbindelse behov for spesielt tilpassede produkter og løsninger slik at unødvendige kostnader og behov for detaljprosjektering kan unngås. Dette gjelder spesielt for yrkesbygg (Lassen N. et al., 2009).

Romoppvarming gjennom ventilasjonssystemet kan være en aktuell metode for å dekke nødvendig varmebehov i bygninger med ekstremt lavt varmebehov. Det er likevel behov for videre utredning, og demonstrering for forskjellige bygningskategorier og applikasjoner før dette kan anbefales i fremtidig bygningsmasse. Det er her nødvendig å finne eksisterende eller utvikle nye tilluftsventiler slik at kortslutningsventilasjon unngås, og tilstrekkelig ventilasjon oppnås. I tillegg er det en kjent sak at luftbåren oppvarming øker materialeemisjoner fra overflatematerialer i bygninger, men størrelsen og omfanget av dette ved lave overtemperaturer på tilluften er ikke videre kjent. I tillegg blir det i nyere bygg økt fokus på å benytte godt utprøvde materialer med lave emisjoner.

Innen styringssystemer er det behov for rimelige robuste, helhetlige og samkjørte kommunikasjonssystemer for behovstyring av varme/kjøling, samt belysning, utstyr og persiener. Kostnaden for slike systemer vil trolig reduseres i fremtiden etter hvert som etterspørselen og produksjonsvolumet øker (Lassen N. et al., 2009).

Til tross for utstrakt bruk av gode teknologiske energieffektive installasjoner avhenger mye av energibruken på brukernes adferd. Som et skritt for å ansvarliggjøre og stimulere til energisparing hos brukerne kan systemer for enkel visualisering av energibruk være en vei å gå. I store næringsbygg kan bygningen deles opp i mindre deler slik at energibruk til ulike poster enkelt kan oppfattes av de ansatte, og sammenlikninger mellom de ulike delene enkelt illustreres. I Miljøbygget i Professor Brochs gate 2 finnes et enkelt slikt system med en monitor i glassgården som viser energiforbruket for forrige uke.

Et annet felt hvor utviklingen trolig vil være stor, og hvor det trengs utvikling er innen energioppfølgingssystemer (EOS). Nøyte energimåling er viktig for å gi verdifull informasjon om effektivt bygningene utnyttes, og videre til hvordan bruken av bygget kan optimaliseres og hvor potensialet for energisparing er størst. Skal enn få fullt utbytte av slike systemer, noe som er nødvendig i ZEB sammenheng, er det helt avhengig at systemet med tilhørende målere er pålitelige og registrerer korrekt energiforbruk. Som vist tidligere i denne rapporten er ikke dette tilfelle i Miljøbygget.

Andelen varmetap fra varmedistribusjonssystemet har ved bygg med lavt energiforbruk lett for å øke. Det er derfor viktig å redusere dette varmetapet slik at dette andelsmessig skal

harmonisere med det lave formålsbehovet i passivhus og fremtidige ZEB (Lassen N. et al., 2009).

10.3 Kjøling i nullutslippsbygg

Kjølebehovet i passivhus og fremtidige ZEB i Norge skal kunne dekkes av passivkjøling primært og frikjøling sekundært (Lassen N. et al., 2009). Ved utstrakt bruk av eksponert termisk masse og gode løsninger for frikjøling skal dette være mulig på sikt. I denne sammenhengen er behovet for gode og stabile reguleringsystemer slik at optimal utnyttelse av passiv- og frikjøling oppnås. I bygninger med passive løsninger vil klimaforhold som temperatur, sol, vind og fukt i utgangspunktet ha større innvirkning på bygget, enn ved mekanisk klimatiserte bygg. Bruk av termisk masse og andre løsninger som skaper tidsforskyvninger mellom pådrag og respons har derfor stort behov for smarte kontrollsystemer for å kunne utnytte sparepotensialet uten at det skal gå på bekostning av innelimaet (SINTEF, 2005).

Det er helt essensielt med god styring og samkjøring av systemene i driftsfasen slik at de aktive og passive tiltakene arbeider med hverandre og ikke mot hverandre. Dette er primært en utfordring ved prosjektering og innregulering, men også for driftspersonell som har ansvar for den daglige driften (Byggforsk).

I tillegg til styringssystemer for den passive klimatiseringen av bygget ligger det utfordringer rundt bruken av frikjøling. Til tross for at frikjøling skal være "gratis" kjøling fra en kuldekilde vil det alltid være behov for sirkulasjon av et medie for å utnytte denne temperaturdifferansen. Det er derfor helt avgjørende at pumpe- eller ventilasjonssystemene er effektive slik at elektrisiteten til frikjøling av et sirkulasjonsmedie, eller frikjøling via ventilasjonsanlegget minimeres.

For å utnytte temperaturforskjeller utendørs gjennom en periode utnyttes varmelagringsevnen i termisk masse innendørs, vanligvis eksponert betong. Dette er store muligheter i fremtiden for å produsere lettere produkter med meget høy varmelagringsevne. Dette blir ikke gått nærmere inn på i denne rapporten siden dette ligger utenfor temaet til denne oppgaven.

10.4 utfordringer innen tappevannsforsyning i næringsbygg

Varmebehovet til romoppvarming og ventilasjonsoppvarming vil som kjent bli betydelig redusert i fremtidige lavenergi, passivhus og ZEB. Den samme reduksjonen finnes ikke for tappevannsbehovet. Dette innebærer at en betydelig innsats må legges ned for å redusere energibehovet til tappevannsoppvarming i ZEB. Hovedsakelig ligger dette i å utnytte energivennlige energikilder maksimalt, som solfanger, varmepumpeløsninger, bioenergi eller spillvarme. Hvor energien konkret skal komme fra ligger utenfor denne oppgavens problemstilling, slik at det kun er systemenes oppbygning etter energikilden som blir omtalt her.

På grunn av omfanget på denne oppgaven ble det ikke rom for å gå i dybden på dette temaet slik at det i dette kapitlet kun blir presentert noen overordnede tiltak som det er viktig å legge mer vekt på ved fremtidige tappevannsystemer i lavenergi, passivhus og ZEB.

10.4.1 Kombinerte systemer for tappevann, rom- og ventilasjonsoppvarming

Det finnes i dag mange ulike energieffektive løsninger for tappevannsoppvarming på markedet. utfordringen i fremtiden blir å implementere disse systemene inn sammen med oppvarmingsanlegget for bygningen. Hvor omfattende slike anlegg bør være er helt avhengig av størrelsen på anlegget. Ofte vil tiltak bli konkurrerende slik at gevinsten fra hver av de reduseres. Likevel kan dette være nødvendig for å kunne oppnå målsetning.

Akkumulatortanken er selve "hjertet" i ethvert vannbårent system (bortsett fra ved bruk av fjernvarme som energikilde). Det har vært en stor utvikling innen disse de senere årene der optimal temperatursjiktning i tanken, og minimalt varmetap har vært fokus. Likevel trengs videre utvikling der spesielt minimering av varmetap fra tank og distribusjonssystem blir vektlagt.

10.4.2 Sirkulasjonstap i tappevannskretsen

I større bygg med lengre avstander mellom der tappevannet varmes opp og der forbrukes skjer blir det lagt inn sirkulasjon av tappevann i rørene. Dette gjøres for at brukeren skal unngå transportforsinkelse fra oppvarmingssted til tappested. Som følge av denne sirkulasjonen vil alle varmtvannsrør i systemet ha høy temperatur hele tiden. Dette fører til at varmetapet i distribusjonsnettets vil være tilnærmet konstant, selv i perioder uten tappevannsforbruk. Dette tapet kan utgjøre store andeler av det totale oppvarmingsbehovet til tappevann, og da spesielt i bygninger med lavt forbruk av tappevann. I en dansk studie er det funnet omtrentlige andeler som dette tapet utgjør;

” Størstedelen af energiforbruget til varmt brugsvand går tabt i sirkulationssystemet. Nyttevirkningen er bestemt til 0,30-0,77 i boliger og mellom 0,08 og 0,46 i kontorbygninger og skoler” (Bøhn B., 2009).

Dette tapet vil derfor være en viktig faktor å redusere mest mulig i fremtidige ZEB.

10.5 Fremtidig utvikling innen belysning og annet teknisk utstyr

I fremtidige kontorbygninger med målsetning om null utslipp er det ekstremt viktig å redusere det el. spesifikke energibehovet til et minimum. I denne sammenhengen er det helt avgjørende at elektrisitetsbruken til belysning og annet teknisk utstyr som PCer, printere og annet utstyr som brukes på arbeidsplassen er minimert. Her har både energieffektiviteten på utstyret, styringssystemer og holdninger blant brukerne av bygget stor betydning. Dette blir kort omtalt i dette delkapittelet.

10.5.1 Belysning

Som nevnt under kapittel 9 er generell belysning ved bruk av dioder (LED) lite utbredt i dag, men veksten er stor. I størstedelen av verden forventes det at lysdiodene vil overta store deler av markedet i løpet av 5-10 år. Bare i USA forventes lysdiodene i 2025 å dekke over 40% av det samlede markedet for belysning. I dag ligger de mest effektive high-power diodene med fargetemperatur og fargegjengivelse tilpasset generell belysning på 60-80 lm/W. Allerede i 2015 forventes det at dioder klarer 188 lm/W med en fargegjengivelse på 70-80, samtidig som prisen vil synke betydelig (Lyskultur, 2010). Dette viser at sparepotensialet ved bruk av LED belysning i fremtiden er stort, og vil kunne være avgjørende for å minimere elektrisitetsforbruket til belysning.

10.5.2 Teknisk utstyr

EU har som kjent utarbeidet en standard energimerkeordning for utvalgte elektriske apparater slik at det skal bli lettere for forbrukerne å sammenlikne energibruken mellom ulike apparater. Apparatene som i dag inkluderes i denne merkeordningen er:

- oppvaskmaskiner
- vaskemaskiner
- tørketromler
- kjøleskap, fryserer og kombinasjoner av disse

Det kunne derfor i fremtiden vært aktuelt å inkludere også tekniske apparater som PCer, skrivere og kopimaskiner i denne merkeordningene der energibruk og innebygde systemer for å redusere energibruken blir evaluert. Dette ville gjort det lettere å være energibevis når innkjøp av slike apparater skulle gjøres.

10.6 EUs Økodesigndirektiv

6. Juli 2005 ble EUs direktiv for økodesign-krav til energibrukende produktet vedtatt (Europalov, 2011). Dette direktivet gir regler og kriterier som brukes til å stille krav til energibrukende produkter. Økodesigndirektivet setter ikke bindene krav på produkter, men det sørger for et rammeverk for å sette slike krav gjennom implementeringsmål. Det er etablert en liste med produktgrupper i dette direktivet der hver gruppe inneholder ulike produkter. Eksempler på produktgrupper som har betydning i bygningssammenheng er; ENER LOT 1 – Kjeler og kombikjeler, ENER LOT 2 – Varmtvannsberedere, ENER LOT 6 – Aircondition og ventilasjonssystemer og ENER LOT 11 – Elektromotorer, vifter og pumper. I dag er mange sett av krav allerede vedtatt for ulike produktgrupper, mens for andre produktgrupper trer kravene i kraft i løpet av inneværende år (Railio J., 2011).

Ved hjelp av Økodesign-krav til produkter vil fokuset på å produsere energieffektivt utstyr til bruk i bygninger bli skjerpet, og oppfordrer til forskning og utvikling av nye og mer energieffektive produkter og løsninger hos leverandørene. I følge beregninger gjort av EU vil for eksempel mer effektive elektromotorer som følge av strengere krav kunne spare EU-landene for hele 140 TWh årlig innen 2020 (Railio J., 2011). Dette er derfor et viktig direktiv i årene som kommer for å legge press på leverandører og produsenter til å produsere energieffektivt utstyr godt tilrettelagt for fremtidige nullutslippsbygg.

11 Helhetsvurdering av alternative løsninger for PB2 med tanke på energibruk, miljøeffekter og økonomi

I samråd med veileder Hans Martin Mathisen og biveileder Natasa Djuric ble punktet på sammenlikning av valgte løsninger i PB2 mot alternative løsninger med tanke på energibruk, miljøeffekter og økonomi valgt bort i denne oppgaven. Dette ble gjort på grunn av større vektlegging på andre felter i oppgaven som var av større interesse. I tillegg var det ikke mulig å oppdrive alternative løsninger som hadde blitt evaluert i prosjekteringsfasen av PB2, dette gjør det vanskelig og tidkrevende å gjøre detaljerte analyser på utslipp og økonomi på alternative løsninger. I tillegg var det ut fra energimålerne umulig å skille mellom forbruk til kjøling og oppvarming i varmepumpe, og det var heller ikke mulig å skille mellom forbruk til varmepumpeanlegget og kjølemaskinen.

12 Konklusjon

Det finnes totalt 72 energimålere i kontorbygget i Professor Brochs gate 2. 68 av disse er undermålere som måler et spesifikt forbruk, to hovedmålere måler det totale forbruket av elektrisitet og fjernvarme, mens de to siste er målere fra Trondheim Energiverk (TEV) som fjernvarme og elektrisitet faktureres etter. De registrerte målingene fra undermålerne og de to hovedmålerne i PB2 viser et langt lavere forbruk i 2010 enn målerne fra TEV, som antas å være mest korrekte. Dette skyldes unøyaktigheter eller direkte feil måling hos under- og hovedmålerne, at energioppfølgningssystemet (EOS) var ute av drift i perioder, samt at undermåler på snøsmelteanlegg mangler. En oversikt over manglete energibruksdata for 2010 viser at det ikke finnes energibruksdata for 23% av tiden i 2010.

TEV målerne i PB2 gir spesifikk levert energi til bygget på 115,5 kWh/m²år i 2010, der fjernvarme står for 46,6 kWh/m²år og elektrisitet 68,9 kWh/m²år. Dette gir energimerke B etter energimerkeordningen og er under halvparten av den gjennomsnittlige verdien for kontorbygg oppgitt i Enovas byggstatistikk. Likevel ligger forbruket av levert energi over målsetningen til bygget som kun er på 94 kWh/m²år. Siden 2010 vara et kaldt år forsvares forbruket litt, men på den andre siden sto deler av PB2 ubrukt i hele 2010, noe som skulle tilsi høyere forbruk til ulike poster i år da PB2 er fullt utleid.

På bakgrunn av den dårlige kvaliteten på måledata fra undermålerne ble en korrigeringsprosess ved bruk av neutral networks utført. Dette bedret kvaliteten på dataene med 20%. Likevel antas disse dataene å ha en feil på mellom 8 og 24 % også etter korrigeringen. Ut fra korrigerede data ble følgende resultater funnet for energiforbruk til ulike energiposter: romoppvarming 27,7 kWh/m²år, ventilasjonsluftoppvarming 12 kWh/m²år, tappevann 3,3 kWh/m²år, vifter og pumper 7,4 kWh/m²år, belysning 16,4 kWh/m²år, teknisk utstyr 23,6 kWh/m²år, samt kjøling 9,4 kWh/m²år. Det er i hovedsak romoppvarmingen som er betydelig høyere enn målsetning, og som bidrar til at den totale målsetningen ikke holdes.

En grov beregning på gjennomsnittlig SFP-faktor for ventilasjonsanleggene gav SFP-faktorer i området 0,845 til 5,10 kW/m³ for de 8 ventilasjonsanleggene. En gjennomsnittlig SFP-faktor for hele bygget ble funnet til 1,72 kW/m³. Den store variasjonen antas å komme fra lite utleide arealer for anlegget med lav SFP, og mulig feil på styringssystemet på anlegget med meget høy SFP. SFP-faktoren for hele bygget ligger godt innenfor kravet på 2 kW/m³.

Analysen på drivende faktorer i PB2 ga at tilstedeværelse i bygget har stor betydning på forbruket til belysning, teknisk utstyr, ventilasjonsvifter samt tappevann. Utetemperaturen påvirker fjernvarmeforbruket til radiator, gulvvarme samt til ventilasjonsluftoppvarming. I tillegg er varmpumpeanlegg 35.01 påvirket av utetemperaturen, med lavest forbruk rundt 12°C og økende ved høyere og lavere temperaturer. Brukeratferd og antall person som

jobber i bygget har også stor innvirkning på energibruk til vifter, serverrom, utstyr og tappevann.

Betraktninger av innetemperaturen i tre utvalgte kontorer i 4. etasje i østre fløy konkluderer med tilfredsstillende innetemperaturer. Det er stor variasjon mellom de ulike kontorene men dette er antatt å være regulert av bruker via temperaturregulator på veggen. Likevel skal det nevnes at kontor 1 har en ugunstig temperaturfordeling i perioden med tanke på energibruk, der temperaturer er lavere i perioder med kjølebehov enn i perioder med varmebehov.

Selv om PB2 er et meget energieffektivt bygg er det gjennom arbeidet med denne oppgaven funnet funn som bidrar til høyere energibruk enn nødvendig. Det kan her nevnes unødvendig forbruk til gulvvarme som følge av høyere vannmengder i kretsen en nødvendig og unødvendig bruk av varmepumpe og fjernvarme tilknyttet varmebatteriene i ventilasjonsaggregatene grunnet ikke optimal regulering. Andelen overskuddsvarmen fra kjøleanlegg for IT- og serverrom som tilføres retursiden i fjernvarmekursen er heller ikke så stor som tiltenkt. I tillegg ser forbruket til belysning og teknisk utstyr utenfor driftstiden å ha potensial for reduksjon.

Skulle PB2 blitt bygd med tanke på målsetning om nullutslipp vil tiltak som lavtemperatur varmeanlegg med akkumulatortanker tilkoblet solfanger og varmepumpe med borebrønner foreslås. I tillegg anbefales bruk av passiv kjøling primært og frikjøling med varmepumpebrønnene som varmesluk sekundært. Ventilasjonsluftoppvarming burde dekkes av høyeffektive roterende varmegjennvinnere primært, samt varmebatteri tilkoblet akkumulatortanker i varmeanlegget sekundært. Tilstedeværelse og dagslyskorrigert styring av høyeffektive lyskilder ville minimert forbruket til belysning.

Skal nullutslippsbygg kunne bli en realitet i kalde klima som i Norge vil behovet for videreutvikling av eksisterende, og nye løsninger være stort. Det kan her spesielt nevnes utvikling og mer kjennskap til høyeffektive varmegjennvinnere, forenklete lavtemperatur vannbårne systemer inkludert akkumulatortank, luftbåren oppvarming og frikjøling via ventilasjon, samt bruk av kulvert i hybride systemer for passiv forvarming/kjøling av ventilasjonsluft. Robuste og stabile styringssystemer er også helt essensielt for å oppnå optimalt samspill mellom de ulike systemene i bygget. For å redusere behovet til elektrisitet til belysning og teknisk utstyr til et minimum er både meget energieffektivt utstyr, gode styringsprinsipper og en holdningsendring blant brukerne nødvendig.

13 Forslag til videre arbeid

Som omtalt i denne rapporten gir ikke undermålerne i PB2 resultater som samsvarer med målerne til Trondheim Energi, i tillegg har også EOS anlegget vært ute av drift i flere perioder i løpet av 2010. En grundig studie på denne ustabiliteten og på hvorfor slike store variasjoner i målinger forekommer i PB2 ville vært en interessant og nyttig oppgave. Det kan her inkluderes en kartlegging på om det finnes forbruk i PB2, i tillegg til snøsmelteanlegget, som ikke måles av undermålere. Denne oppgaven krever full tilgang til EOS og SD anlegg, og at kandidaten har fullt innblikk i alle de tekniske systemene i bygget ned på detaljnivå.

En nøyere analyse og beregning av spesifikk vifteeffekt (SPF) for de ulike ventilasjonssystemene i PB2 ville også vært en meget nyttig oppgave. Dette krever ytterligere instrumentering i anleggene der blant annet luftmengder må registreres. I tillegg bør en utvidet analyse på tilstedeværelse i arealene dekket av de ulike aggregatene gjøres.

Bestemmelse av temperaturvirkningsgraden til de roterende varmegjenvinnerne i ventilasjonsaggregatene i PB2 ville også vært en aktuell oppgave. Dette krever også ytterligere instrumentering for å måle temperaturer før og etter gjenvinnerne.

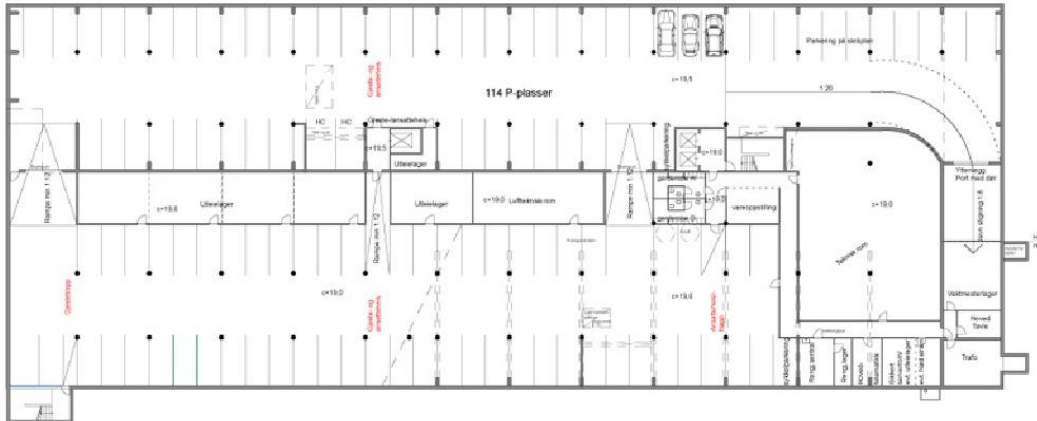
14 Kilder

- BYGGFORSK, S. Termisk masse og klimatisering av bygninger - En oversikt tilrettelagt for byggherrer, arkitekter og rådgivende ingeniører.
- BØHN B. 2009. *Varmt brugs vand; Måling af forbrug og varmetab fra cirkulationsledninger*, Statens byggeforskningsinstitut.
- DAHL, R. 2011. *RE: Omvisning Professor Brochs gate 2*.
- DJURIC, N. 2010. Systemtegninger av tekniske installasjoner i Professor Brochs gate 2. Trondheim.
- DJURIC, N. 2010 a. Kontinuerlig funksjonskontroll ved Professor Brochs gate 2. Trondheim.
- DJURIC, N. 2011. Funksjonskontroll rapport ved Professor Brochs gate 2. Trondheim: SINTEF.
- DOKKA T.H., KLINSKI M., HAASE M. & MYSEN M. 2009a. Kriterier for passivhus- og lavenergibygg - Yrkesbygg. Trondheim: SINTEF Byggforsk.
- ENOVA. 2009. *Professor Brochs gate 2* [Online]. Available: <http://www.miljøbygget.no/docs/forbildeprosjekt.pdf> [Accessed 23.02 2011].
- ENOVA. 2010. *Graddagstallene for 2010* [Online]. Available: <http://naring.enova.no/sitepageview.aspx?articleID=2224> [Accessed 16.02 2010].
- ERIKSSON M. & MYSEN M. 2010. Passivhus i Norge krever moderne energieffektiv ventilasjon. *VVS-dagene*. Lillestrøm.
- EU ENERGY STAR, -. M. A. E. K. *Stasjonær eller bærbar PC* [Online]. Available: http://www.eu-energystar.org/no/no_022.shtml [Accessed 23.05 2011].
- EUROPALOV. 2011. *Økodesigndirektivet: krav til miljøvennlig utforming av energiforbrukende produkter* [Online]. Available: www.europalov.no/rettsagt/okodesigndirektivet-krav-til-miljovennlig-utforming-av-energiforbrukende-produkter/id-1902 [Accessed 07.06 2011].
- HAMMER, K. 2011. *RE: Mailutveksling ang. Kamstrup energimålere*. Type to KAMSTRUP.
- HANSEN, S. O. 2010. Indoor Environment, Guidelines and Recommendations. *Foiler i TEP4245 Klimateknikk*.
- HØSEGGEN R. Z. 2009a. Energibegreper. *Forelesning i Klimateknikk*. NTNU.
- HØSEGGEN R. Z. 2009b. Kompetanse for bedre eiendomsforvaltning - med fokus på offentlig sektor, Hvordan bruke NS 3031 i forhold til TEK.
- HÅVARD STENBERG, E. I. K.-E. 2011. *RE: Data på antall ansatte i Professor Brochs gate 2*.
- KLP EIENDOM, T. 2007. Bok 1, Ytelsesbeskrivelse Professor Brochs gate2 Trondheim.
- KLP EIENDOM, T. 2009. Prof. Brochs gt. 2, digitalprospekt.
- KOMMUNAL OG REGIONALDEPARTEMENTET 2010. Forskrift om tekniske krav til byggverk, TEK10
- LASSEN N., FYLLINGEN A., MYSEN M., DOKKA T. H. & BORDEWICH L. 2009. Passivbygg som forskriftskrav i 2020. Oslo: Multiconsult.
- LYSKULTUR 2009. Lysdioder til Belysning 2009, - status for fremtidens lyskilde.
- LYSKULTUR 2010. Lysdioder til belysning, -status for fremtidens lyskilde.
- MATHISEN H. M. 2010. Krav til luftmengder - Hvordan oppfylle behovene med stadig strengere energikrav. *VVS-dagene 2010*. Lillestrøm.
- MILENKA LALOVIC 2010. Influence of user patterns on energy efficiency and indoor environment in buildings. Analysis using computer-based tools.
- MYSEN M 2010. reDuCEVentilation. Reduced energy use in Educational buildings with robust Demand Controlled Ventilation. *VVS-dagene*. Lillestrøm.

- MYSEN M., H., D. T., SCHILD P. G. & TJELFLAAT P. O. 2003. Bygningsintegrert ventilasjon - en veileder. Trondheim.
- NOVAKOVIC V., HANSEN S. O., THUE J. V., WANGENSTEEN I. & GJERSTAD F. O. 2007. *Enøk i Bygninger, Effektiv energibruk*, Trondheim, NTNU, SINTEF.
- NVE. 2010. *Energimerking* [Online]. Available: www.energimerking.no [Accessed 20.10 2010].
- PETERSEN A. J. & BRYN I. 2008. Forhold tilknyttet roterende varmegjenvinnere i skoler.
- RAILIO J. 2011. Økodesign-krav til produkter. *NORSK VVS, 5. utgave*.
- SANGNES A. O. 2010. Zero emission buildings - Energieffektive installasjoner. Trondheim: NTNU.
- SINTEF. 2005. *Prosjekt: Passiv klimatisering* [Online]. Trondheim. Available: <http://www.sintef.no/Byggforsk/Bygninger/Energi/PROSJEKT-Passiv-klimatisering/> [Accessed 23.11 2010].
- STANDARD NORGE 2007. NS 3031: Beregning av bygningers energiytelse, Metode og data. Standard Norge.
- SWECO 2009. Måleprotokoll Professor Brochs gt. 2.
- SØRHEIM H. R., RØDSETH A. & SØGNEN O. G. Fremtidens energisystemer i eksisterende og nye bygninger - Forprosjekt. Trondheim: SINTEF Energiforskning AS.
- ULSETH R. 2010. *RE: Samtale*.
- VIK T. A. & H., D. T. 2001. Hybrid ventilasjon - Muligheter og barrierer. Trondheim: SINTEF Bygg og miljø.

15 Vedlegg

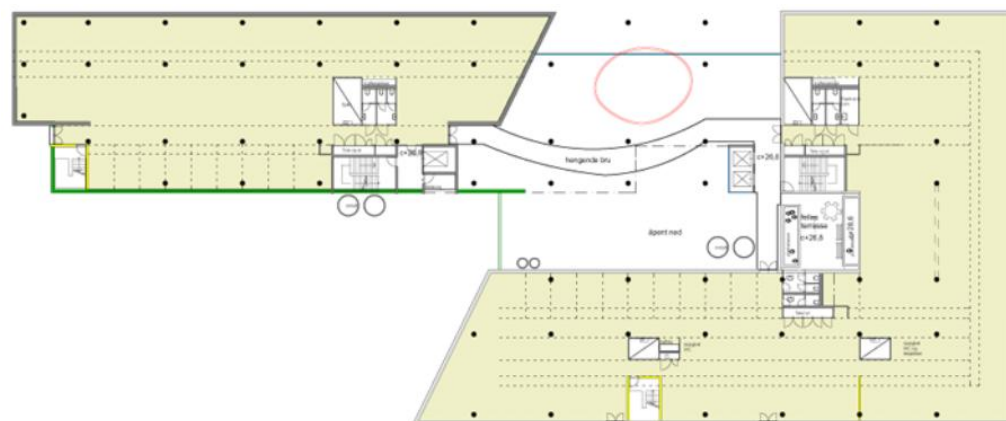
Vedlegg A



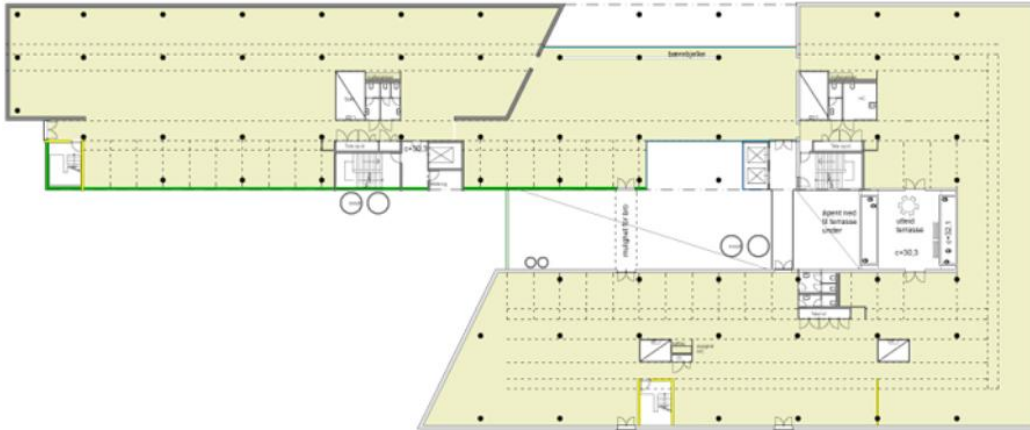
Figur 54, Planskisse kjeller



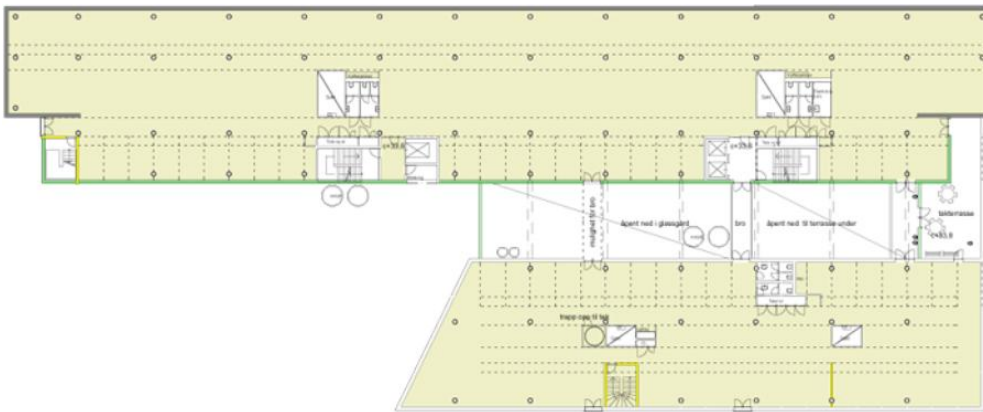
Figur 55, Planskisse 1. etg



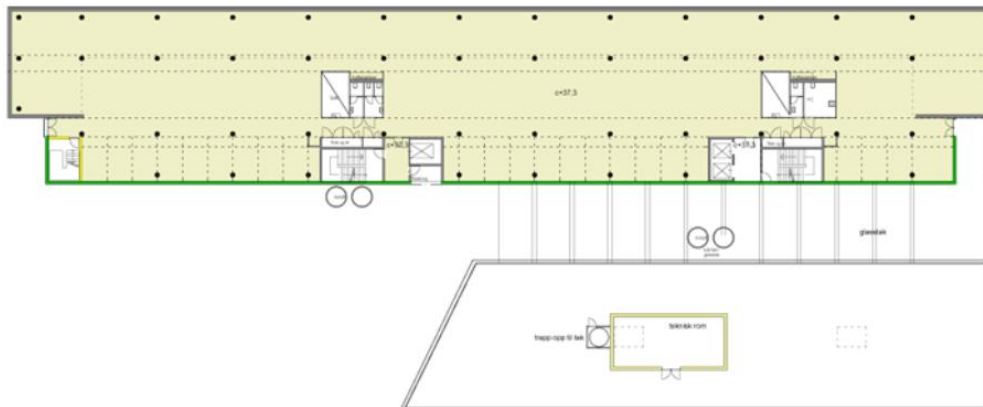
Figur 56, Planskisse 2. etg



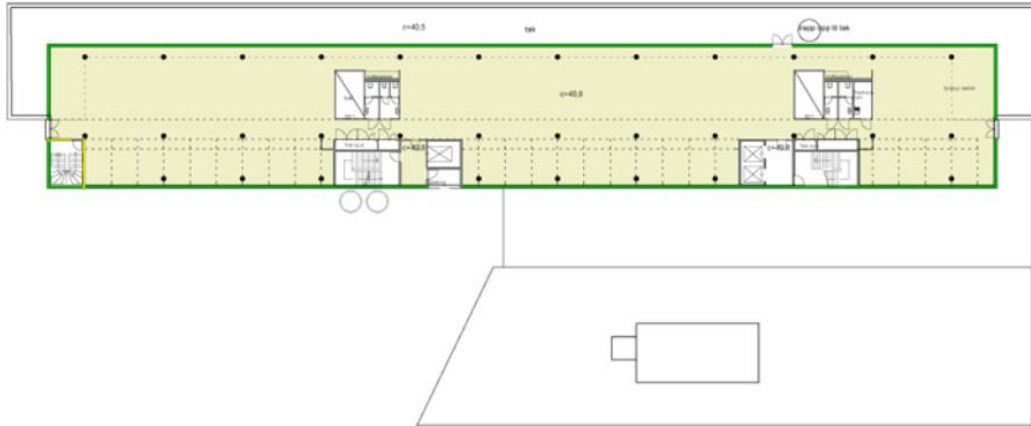
Figur 57, Planskisse 3. etg



Figur 58, Planskisse 4. etg



Figur 59, Planskisse 5. etg

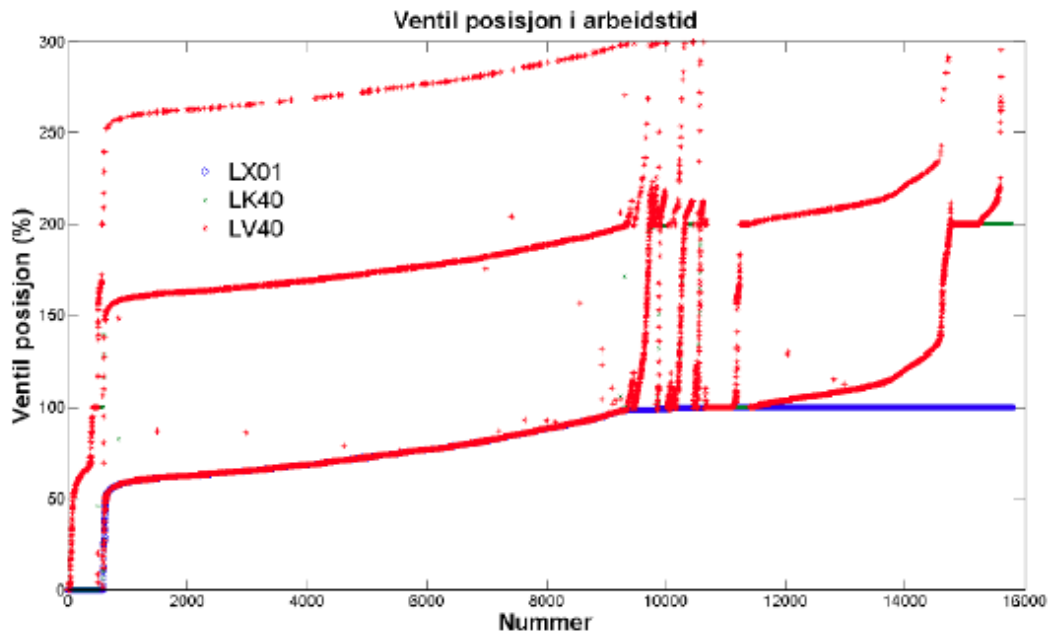


Figur 60, Planskisse 6. Etg

Vedlegg B Graddagskorrigering

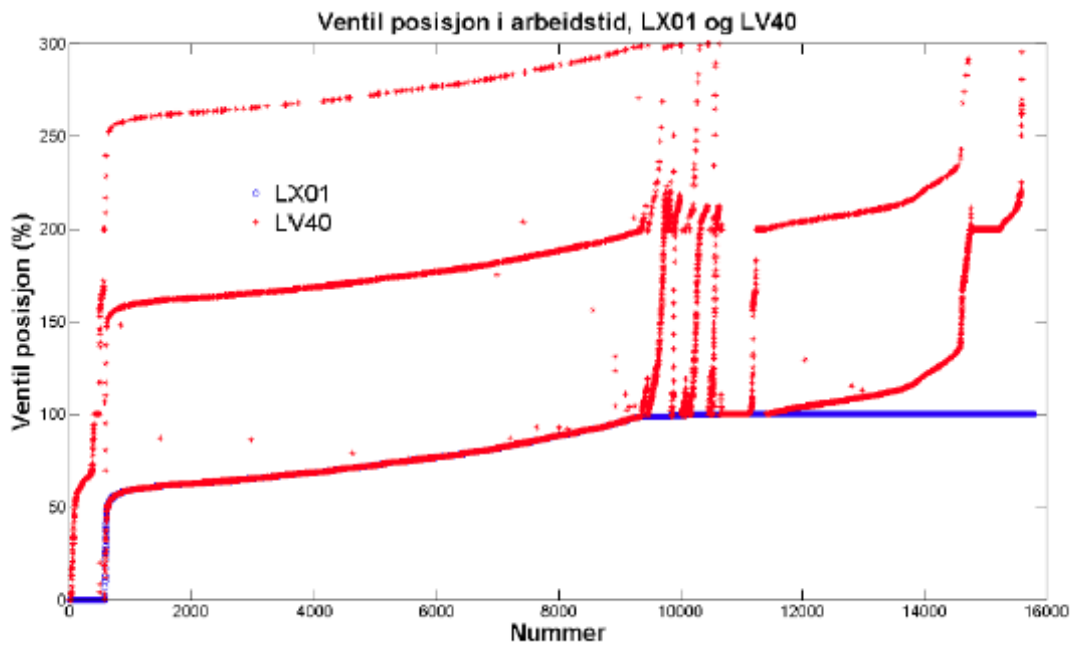
	Jan.	Feb.	Mars	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Des.	Årsbasis
Norm 1981-2010	588	531	512	379	252	156	94	107	208	348	468	565	4208
Graddager 2010	752	641	536	372	294	190	62	84	206	327	621	753	4838
Total fjernvarme (TEV måler)	121330	88410	59840	27780	12670	5920	2224	3300	19350	31790	90980	146040	609634
Fjernvarme tappevann (undermåler)	2895	2829	2973	3214	3100	3469	2483	2590	4639	5197	5430	4508	43326
Fjernvarmeforbruk uten TV	118435	85581	56867	24566	9570	2451	-259	710	14711	26593	85550	141532	566308
Graddagskorrigeret FV forbruk uten TV	92606	70895	54320	25028	8203	2013	-393	905	14854	28301	64472	106196	492563
Graddagskorrigeret FV forbruk inkl TV	95501	73724	57294	28242	11303	5481	2090	3494	19493	33498	69902	110704	535890
Fjernvarme ventilasjon	23498	13943	10894	6820	5807	8010	7989	8132	6516	6175	17250	43151	158185
Graddagskorrigeret FV ventilasjon	18373	11550	10406	6948	4978	6576	12113	10359	6579	6572	13000	32377	137586
Fjernvarme radiatorer	65287	47878	33737	17142	8921	5268	6582	6822	17071	19812	45840	73323	347683
Graddagskorrigeret FV radiatorer	51049	39661	32226	17465	7646	4326	9980	8690	17236	21084	34546	55017	302408
Fjernvarme gulvvarme	0	1198	1655	69	1	29	0	0	646	812	4445	6755	15608
Graddagskorrigeret FV gulvvarme	0	992	1581	70	1	24	0	0	652	864	3350	5068	13576
Sum vent, rad og gulvvarme	88785	63018	46286	24031	14729	13307	14572	14954	24233	26799	67535	123228	521476
Sum graddagskorrigeret vent, rad og gulv.	69422	52204	44213	24483	12625	10926	22092	19049	24468	28520	50896	92462	453570

Vedlegg C



Figur 61, Varmepådrag (gjenvinning, kjøle- og varmebatteri) i ventilasjonsanlegg 36.05 (Djuric, 2011)

Vedlegg D



Figur 62, Varmepådrag (gjenvinning, varmebatteri) i ventilasjonsanlegg 36.05 (Djuric, 2011)