

Gunhild Lund Bjørnås
Cecilie Torp Dahl
Ingebjørg Eggen Skarbøvik

Evaluering av energisystemet ved Heimdal videregående skole

Sammenligning av målte og prosjekterte verdier

Bacheloroppgave i Fornybar energi, ingeniør

Veileder: Kristian Myklebust Lien

Mai 2021



Gunhild Lund Bjørnås

Gunhild Lund Bjørnås
Cecilie Torp Dahl
Ingebjørg Eggen Skarbøvik

Evaluering av energisystemet ved Heimdal videregående skole

Sammenligning av målte og prosjekterte verdier

Bacheloroppgave i Fornybar energi, ingeniør
Veileder: Kristian Myklebust Lien
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for energi- og prosessteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet som en del av emnet *TFNE3001 Bacheloroppgave fornybar energi* ved NTNU i Trondheim. Emnet utgjør 20 studiepoeng og er en del av ingeniørstudiet Fornybar energi. Oppgaven er skrevet i samarbeid mellom Gunhild Lund Bjørnås, Cecilie Torp Dahl og Ingebjørg Eggen Skarbøvik og skal evaluere energisystemet ved Heimdal videregående skole.

Under betraktning av resultatene er det mest fokus på punkter som avviker fra de prosjekterte verdiene. Det vil på ingen måte si at prosjektet Heimdal videregående skole var mislykket. Høye ambisjoner for store energiposter i et pilotprosjekt er viktig for bransjens utvikling. Bygget ble satt opp som den mest klimavennlige skolen i Norge og har et lavt energibehov sammenlignet med tilsvarende bygg. Heimdal vgs. representerer et stort sprang i riktig retning når det kommer til å kutte klimagassutslipp knyttet til bygg.

Gruppen vil takke driftsansvarlig ved Heimdal videregående skole, Lars Emil Bjørkander, for nyttig informasjon og god hjelp til arbeidet. Vil vi rette en takk til seniorrådgiver i Skanska, Tore Wigenstad, og ansvarlig for energi og miljø i Trøndelag fylkeskommune, Torger Mjønes, for gode innspill og informasjon om prosjektet.

En stor takk til Synnøve, Brage og resten av kollektiv OB79 for korrekturlesing. Til slutt vil vi takke vår veileder førsteamanuensis ved institutt for energi og prosesseteknikk Kristian Myklebust Lien for støtte og god veiledning underveis i prosessen. Hans oppfølging og innspill har vært avgjørende for sluttproduktet av denne oppgaven.

Trondheim, 20. mai 2021

Gunhild Lund Bjørnås

Gunhild Lund Bjørnås

Cecilie Torp Dahl

Cecilie Torp Dahl

Ingebjørg Eggen Skarbøvik

Ingebjørg Eggen Skarbøvik

Sammendrag

I 2018 sto nye Heimdal videregående skole ferdig som et pilotprosjekt med høye energi- og miljøambisjoner. Bygget har et energisystem bestående av et CHP-anlegg, geotermiske varmepumper og solcelleanlegg. Hensikten med denne oppgaven er å evaluere energisystemet ved skolen og den tilhørende flerbrukshallen ved å sammenligne målte og prosjekterte verdier fra innsamlet data. På denne måten kan eventuelle avvik avdekkes og grunner til dem undersøkes og forklares. Det skal også vurderes tiltak som kan gjennomføres ved oppføring av tilsvarende bygg for å forbedre energiregnskapet med tanke på energi og miljø.

Sammenligning av målte og prosjekterte verdier viste at CHP-anlegget var i drift fra november til mars. Bruksmønsteret og størrelsen på varmeveksleren i Husebyhallen førte til at en mindre andel av produksjonen enn prosjektert resulterte i termisk eksport. Oppvarmingsbehovet til bygget var 130,4 % høyere enn prosjektert grunnet lengre brukstid, høyere settpunkttemperatur og trolig dårlig samspill mellom radiatorer og soneinndelt ventilasjon. Oppvarmingsbehovet til tappevann hadde et avvik på -78,0 % fra beregnet verdi. Usikkerhet i beregningsmetoder og høye standardverdier førte til at dette behovet ble prosjektert for høyt. Heimdal vgs. har bidratt som et av flere referansebygg til å revidere standardverdier til den nye standarden SN-NSPEK 3031:2020.

Over systemgrensen ble det totalt importert 4,8 % mindre energi enn beregnet, med 31,5 % mindre biogassimport og 114,5 % mer fjernvarmeimport. Energiregnskapet hadde et avvik på kun -7,7 % fra EPC-korrigerede verdier. Til tross for noen store enkeltavvik er dette akseptabelt i henhold til EPC-kontrakten. Skolen ble satt opp som en av Norges mest miljøvennlige skoler, og har som pilotprosjekt fungert godt med innovative løsninger. Prosjektet har bidratt til å styre bygg- og anleggsmarkedet i en mer miljøvennlig retning.

For å forbedre energiregnskapet kan flere tiltak vurderes. Ved å forlenge produksjonsperioden til CHP-anlegget vil den termiske eksporten øke og import av fjernvarme bli redusert. Under prosjektering av tilsvarende bygg anbefales det å se på en løsning med rominndelt ventilasjon til tross for dårlig erfaring med dette tidligere. For bygg med soneinndelt ventilasjon burde radiatorene kobles opp mot SD-anlegg for å enklere justere settpunkttemperatur mot ventilasjon. REFTEC-varmepumpen og energibrønnene kunne vært dimensjonert større for å kunne dekke en større del av oppvarmingsbehovet.

Abstract

In 2018 the new Heimdal vgs. was finished as a pilot project with high energy and environmental ambitions. The building's energy system consists of a CHP-system, geothermal heat pumps, and a photovoltaic system. The purpose of this thesis is to evaluate the school's energy system and the associated multi-purpose hall by comparing measured and estimated values from collected data. This way any deviations can be detected and their reasons examined and explained. There will also be considered measures to help minimize energy consumption and environmental impact of similar buildings.

A comparison of measured and estimated values revealed that the CHP-system was in operation from November to March. A smaller proportion than expected of the production resulted in thermal export, as a result of the usage pattern and size of the heat exchanger at Husebyhallen. The building's heating requirement was 130,4 % higher than estimated value due to extended annual operation of hours, higher set temperature and seemingly poor cooperation between the radiators and the sectioned ventilation system. The tap water heating requirement had a deviation of -78,0 % from estimated value. This heating requirement was estimated too high due to uncertainty in the calculation method and overestimated default values. Heimdal vgs. contributed as one of several reference buildings to update the default values in the new standard SN-NSPEK 3031:2020.

4,8 % less energy than estimated was imported over the system boundary, with 31,5 % less imported biogas and 114,5 % more import of district heating. The energy accounting had a deviation of only -7,7 % from the EPC-emended values. Despite certain larger deviations, these values are approved accordingly to the EPC-agreement. The school was constructed as one of Norway's most environmentally friendly schools, and has been a success being a pilot project with several innovative solutions. The project has contributed to influence the construction market in a more environmentally friendly direction.

Several measures can be considered to improve the energy accounting. By extending the usage pattern of the CHP-system the thermal export would increase and the import of district heating would decrease. While constructing equivalent buildings, a solution with room divided ventilation system is recommended despite bad experiences in the past. In buildings with sectioned ventilation systems, the radiators should be connected to the industrial control system so that the set temperature might be more easily adjusted toward the ventilation. To cover a bigger part of the heating requirement, the REFTEC heat pump and energy wells could have a larger design.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
Forkortelses- og symbolliste	vii
Begrepsliste	viii
Figurer	ix
Tabeller	x
1 Innledning	1
2 Heimdal videregående skole	2
2.1 Energieffektive bygg	3
2.1.1 Passivhus og lavenergibygg	3
2.1.2 Zero Emission Buildings	3
2.1.3 Karbonintensitet og beregningsprosedyre	4
2.2 Prosjektering av nye Heimdal videregående skole	6
3 Komponenter i energisystemet	7
3.1 Combined Heat and Power-anlegg	7
3.2 Biogass	8
3.2.1 Biogass på Skogn	8
3.3 Varmepumper	9
3.3.1 Geotermiske varmpumper	10
3.4 Solceller	11
3.5 Fjernvarme	11
3.6 Ventilasjon og oppvarming	11
3.6.1 Oppvarming av tappevann	12
3.7 Energisystemet ved Heimdal videregående skole	12
4 Økonomi	15
4.1 EPC-kontrakt	15
4.2 Plusskundeavtale	15
4.3 Strøm- og fjernvarmepriser	16
4.4 Biogasspris	16
5 Skoleåret 19/20	17
5.1 Drift av Heimdal videregående skole	17
5.2 Værforhold	18
6 Metoder	21
6.1 Systemgrensen	21
6.2 Behandling av data og avgrensninger	21
6.3 Temperaturkorrigering	22
6.4 Utrekning av avvik	23
6.5 Manglende data og tap	23
7 Sammenligning av målte og prosjekterte verdier	24
7.1 Energiproduksjon	24
7.1.1 Solceller	24
7.1.2 CHP	25

7.2	Energibehov innenfor systemgrensen	27
7.2.1	Oppvarmingsbehov bygg og tappevann	27
7.2.2	Energibehov	31
7.3	Import og eksport av energi	33
7.3.1	Elektrisk import	34
7.3.2	Biogassimport	35
7.3.3	Fjernvarmeimport	35
7.3.4	Elektrisk eksport	37
7.3.5	Termisk eksport	38
7.4	Energiregnskap	39
8	Erfaringer fra prosjektet	40
8.1	Oppvarmingsbehov	40
8.1.1	Oppvarming av bygg	41
8.1.2	Oppvarming av tappevann	44
8.2	Varmepumpe	45
8.3	CHP og biogass	47
8.3.1	Biogassimport	47
8.3.2	Termisk eksport	48
8.4	Fjernvarme	49
8.5	Elektrisk	50
8.5.1	Solcelleanlegg	50
8.5.2	Elektrisk energibehov	51
8.5.3	Elektrisk import og eksport	52
8.6	Årlig energiregnskap	52
8.7	Vurdering av prosjektet	53
9	Diskusjon	55
9.1	Oppvarming	55
9.2	CHP og biogass	56
9.3	Fjernvarme	57
9.4	Elektrisk energi	57
10	Videre arbeid	59
11	Konklusjon	60
	Referanser	61
A	Hovedtall	I
B	Hovedtall sammenstilt	II
C	Energiregnskap	III
D	EPC energiregnskap detaljert	IV
E	Oppfølging juni	V
F	Oppfølging juli	VI
G	IWMAC Energisystem	VII
H	Temperaturkorrigering	X
I	Møtoreferat Lars Emil Bjørkander 04.02.21	XI

J	Møtereferat Lars Emil Bjørkander 03.03.21	XIII
K	Møtereferat Lars Emil Bjørkander 19.04.21	XIV
L	Møtereferat Torger Mjønes	XVI
M	Møtereferat Tore Wigenstad	XVIII
N	Opphavsrettsnotis Standard Norge	XXIII

Forkortelses- og symbolliste

Forkortelser	Forklaring
CHP	Combined Heat and Power / Kraftvarmemaskin
EPC	Energy Performing Contract / Energisparekontrakt
HVO	Hydrogenert Vegetabilsk Olje
ICE	Internal Combustion Engine / Intern forbrenningsmotor
IEA	International Energy Agency / Det internasjonale energibyrådet
LBG	Liquified Biogas / Flytende biogass
PH	Passivhus
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance / Årsvarmefaktor
SD-anlegg	Sentral Driftskontrollanlegg
SPF	Seasonal Performace Factor / Årlig gjennomsnittlig varmefaktor
TEK	Forskrift om tekniske krav til byggverk
Vgs.	Videregående skole
ZEB	Zero Emission Building
Standard	
NS	Norsk Standard
NSPEK	Norsk Spesifikasjon
SN	Standard Norge
TR	Teknisk Rapport
TS	Teknisk Spesifikasjon
ZEB	
C	Constuction, klimagassutslipp knyttet til konstruksjon
E	End of life, klimagassutslipp knyttet til slutfasen
EQ	Equipment, klimagassutslipp knyttet til utstyr
M	Materials, klimagassutslipp knyttet til materialer
O	Operation, klimagassutslipp knyttet til drift
Symbol	
f	Korreksjonsfaktor
Q	Termisk energi [kW]
T	Temperatur [$^{\circ}C$]
W	Arbeid [kW]

Begrepsliste

Begrep	Forklaring
Anaerob nedbrytning	Nedbryting uten tilgang på oksygen
Basistemperatur	Utetemperaturen der oppvarmingsbehovet starter
Brukstid	Tidsrom et bygg har personbelastning
Desentralisert ventilasjonsanlegg	Ventilasjonsanlegg med flere luftinntak og aggregat
Effektledd	Kostnadsledd for fjernvarme ut fra timen med høyest effektuttak
Energibrønn	Dypt borehull i bakken der sirkulerende væske henter termisk energi
Energiledd	Variierende kostnadsledd for produsenter av elektrisitet
EPC-kontrakt	Kontrakt mellom oppdragsgiver og entreprenør som garanterer energibesparelse
Fastledd	Fast kostnadsledd for produsenter av elektrisitet
Fotoemisjon	Elektroner løsner fra overflaten til et stoff som blir truffet av lys
Geotermisk	Termisk energi under jordoverflaten
Halvlederdioder	Komponent som leder strømmen i en bestemt retning
Innmatningstariff	Kostnad for produsenter av elektrisk energi som eksporterer mer enn 100 kW
Middeltemperatur	Gjennomsnittlig temperatur i et tidsrom
Netto energibruk	Forbruk av energi etter fratrekk
Rågass	Biogass som dannes fra anaerob nedbryting før rensing
SD-anlegg	Energiovervåkningssystem som kan regulere og styre prosesser i et bygg
Sentralisert ventilasjonsanlegg	Ventilasjonsanlegg med ett felles luftinntak og aggregat
Settpunkttemperatur	Bestemt temperatur oppvarmingskildene skal opprettholde
Spillvarme	Termisk energi som ikke utnyttes under kraftproduksjon
Systemgrense	Bestemt avgrensning av hva som inkluderes i energiregnskapet
Tariff	Fastsatt pris eller sats
Varmegjenvinner	Komponent som samler opp ekstern varme
Varmevexler	Komponent som overfører varme mellom to sirkulerende medier

Figurer

2.1	Oversiktsbilde av Heimdal vgs.	2
2.2	Beregningsprosedyre for utregning av klimagassutslipp	5
3.1	Illustrasjon av energibrønn	10
3.2	XRGI 20-maskin	13
7.1	Elektrisk produksjon fra solceller	25
7.2	Produksjon CHP-anlegg	26
7.3	Oppvarmingsbehov bygg og tappevann	27
7.4	Oppvarmingsbehov bygg	28
7.5	Temperaturkorrigert oppvarmingsbehov bygg	29
7.6	Oppvarmingsbehov tappevann	30
7.7	Total energiimport	33
7.8	Elektrisk import	34
7.9	Fjernvarmeimport	36
7.10	Elektrisk eksport	37
7.11	Termisk eksport	38

Tabeller

2.1	Ambisjonsnivåer ZEB	4
2.2	Karbonintensitet	5
5.1	Skolerute året 19/20	17
5.2	Estimerte basistemperaturer for forskjellige bygningsstandarder	19
5.3	Gjennomsnittstemperaturer skoleåret 19/20	19
5.4	Solskinnstid skoleåret 19/20	20
7.1	Elektrisk produksjon solceller	25
7.2	Produksjon CHP	26
7.3	Totalt oppvarmingsbehov bygg og tappevann	27
7.4	Oppvarmingsbehov bygg	28
7.5	Temperaturkorrigert oppvarmingsbehov bygg	30
7.6	Oppvarmingsbehov tappevann	30
7.7	Sammenstilling av energibehov	32
7.8	Total energiimport	33
7.9	Total eksport	34
7.10	Elektrisk import	34
7.11	Total import biogass	35
7.12	Fordeling av fjernvarme	36
7.13	Elektrisk eksport	37
7.14	Termisk eksport	38
7.15	Energiregnskap skoleåret 19/20	39

1 Innledning

Fylkestinget i Trøndelag vedtok i 2016 en målsetning om å kutte klimagassutslipp i egen organisasjon med 50 % innen 2020 sammenlignet med 2009[1]. Særlig innen byggebransjen, som på verdensbasis står for 40 % av klimagassutslippene, er det mye å gå på. Trøndelag fylkeskommune hadde lagt klare politiske føringer om at Trøndelag skulle være ledende innen utvikling av klimavennlig energi, levemåter og virksomheter. I dialog med ZEB, Zero Emission Buildings, var det planlagt en ombygging av Heimdal videregående skole fra 70-tallet, men kravene for funksjonalitet gjorde at det ble bestemt å sette opp et nybygg med høye energi- og miljøambisjoner. I 2018 sto nye Heimdal vgs. og Kolstad arena klar til bruk som den mest klimavennlige skolen i Norge.[2]

Denne bacheloroppgaven har som formål å evaluere energisystemet ved Heimdal videregående skole ved å sammeligne målte og prosjekterte verdier for å avdekke eventuelle avvik. Opphavet til avvikene skal undersøkes og forklares. I tillegg skal det vurderes hvordan drift av skolen har fungert og tiltak som kan gjennomføres for å forbedre energiregnskapet. Resultatene kan tas inn i vurdering ved oppføring av tilsvarende bygg. Både energiproduksjon og energibruk innenfor byggets systemgrense er målt for skolens andre driftsår og sammenlignet med verdiene fra prosjekteringsfasen. Dette gjør det mulig å avdekke usikkerheter i normale verdier i slike bygg eller om driften av bygget kan forbedres.

Oppgaven er disponert med en innføring i hvordan skolen opprinnelig ble prosjektert som et nullutslippsbygg, de ulike komponentene i energisystemet, samt informasjon om hvordan skolen og flerbrukshallen ble driftet skoleåret 19/20. Videre er oppgavens begrensninger og manglende data presentert. Det er tatt utgangspunkt i at leseren har kunnskap tilsvarende pensum i alle fellesemner ved studiet Fornybar energi.

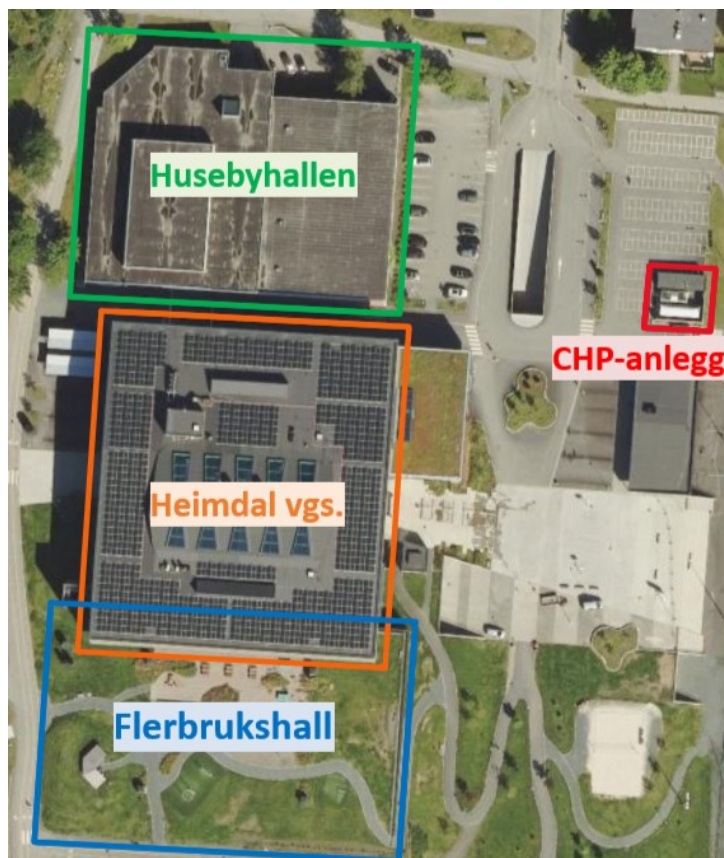
Det presenteres data hentet fra målere i bygget, satt sammen av Skanska for skoleåret 19/20, og legges frem sammenstilte månedlige data for ulike energiposter og komponenter til energisystemet. Det er videre lagt frem resultater for energiproduksjon, energibehov, import, eksport og det totale energiregnskapet for den evaluerte perioden. Til slutt er resultatene og avvikene mellom de målte og prosjekterte verdiene diskutert sammen med erfaringer fra driftsansvarlig, Skanska og Trøndelag fylkeskommune.

2 Heimdal videregående skole

Heimdal videregående skole ligger i bydelen Heimdal i Trondheim. Skolen åpnet for bruk høsten 2018 og er en av Norges mest miljøvennlige skoler med flere innovative løsninger. Bygget er et samarbeidsprosjekt mellom Trøndelag fylkeskommune og entreprenør Skanska, som hadde ansvar for drift første bruksår. Deretter tok fylkeskommunen over driften av skolen. Skolen har installert et energisystem bestående av to varmepumper, solceller og et CHP-anlegg, Combined Heat and Power-anlegg, drevet på biogass.[3]

Skolen har undervisningsareal på $19\,000\text{ m}^2$ med plass til 1 020 elever og flere linjer med varierende størrelse på klassene. Bygget har i tillegg en flerbrukshall på $7\,750\text{ m}^2$ med plass til 2 000 tilskuere. Flerbrukshallen, også kalt Kolstad arena, er konstruert delvis under bakkenivå. Skolen har avtale om å selge termisk energi til Husebyhallen, et bygg med både svømmebasseng og idrettshall. Husebyhallen ligger vegg i vegg med Heimdal videregående skole. Et oversiktsbilde over skolen, flerbrukshallen, Husebyhallen og CHP-anlegget er vist i figur 2.1.[3-5]

Energieffektive bygg kan kategoriseres ut fra hvilke krav som er satt til energibehov og energi-produksjon innenfor systemgrensen. Det er også spesifikke beregningsmetoder for å beregne på klimagassutslipp knyttet til bygg og karbontilbakebetaling. Ulike energieffektive bygg og kravene satt fra ZEB er beskrevet i dette kapitlet. Ambisjonsnivået og prosjektering av Heimdal vgs. er også lagt frem.[6, 7]



Figur 2.1: Flyfoto fra 2020 av Heimdal vgs. og området rundt. ©norgebilder.no[8] Informasjonsbokser er redigert inn.

2.1 Energieffektive bygg

I følge Europaparlamentet og Energy Performance Building Directive er nullutslippsbygg definert som et bygg med lavt energibehov der store deler kan dekket av fornybar energiproduksjon, produsert enten innenfor eller i nærheten av systemgrensen. Flere slike bygg med effektiv og lav energiforbruk kreves for å redusere både klimagassutslipp og bruk av elektrisk og termisk energi.[9]

Rundt 40 % av energiforbruket i Europa brukes i bygg. Siden byggsektoren stadig øker i størrelse er det viktig at forbruket reduseres for å møte mulige utfordringer med energiforsyning. Satsing på teknologi innenfor dette feltet har stort potensiale for både reduksjon av klimagassutslipp og utvikling av flere arbeidsplasser.[9]

2.1.1 Passivhus og lavenergibygg

Byggestandardene for energibruk i bygninger skiller mellom ulike begreper, deriblant lavenergibygg og passivhus. Slike bygg har vesentlig mindre energibehov enn vanlige bygg. I følge standarden NS 3701:2012 kan et lavenergi skolebygg ha et oppvarmingsbehov opp til $30 \frac{kWh}{m^2\bar{a}r}$ og kravet for idrettsbygg er $35 \frac{kWh}{m^2\bar{a}r}$ [10]. Dette er spesifikt energibehov til romoppvarming per år. For passivhus er kravet $20 \frac{kWh}{m^2\bar{a}r}$ eller mindre for både skolebygg og idrettsbygg.[6, 10]

Kjennetegn på passivhus er bygninger med høy kvalitet, godt inneklima og lavt energibehov. Bygget skal kunne holde godt på varme ved bruk av god isolasjon, tetthet og få kuldebroer. Det er mest lønnsomt å iverksette disse tiltakene under konstruksjon av bygget på grunn av den lange levetiden og ekstra kostnader som påløper ved endring på bygningskroppen i ettertid.[6]

2.1.2 Zero Emission Buildings

Zero Emission Buildings, ZEB, er et forskningscenter basert i Trondheim. Senteret har SINTEF Byggforsk og SINTEF Energi som forskningspartnere og NTNU som vertsinstusjon. Deres mål er å fjerne klimagassutslipp knyttet til bygninger ved å bidra med kunnskap, løsninger og produkter for nye og eksisterende bygg. En bygning med ZEB-garanti vil kompensere for utslipp av klimagasser i løpet av sin levetid, både for produksjon, drift og riving.[11]

ZEB har definert seks ambisjonsnivåer for bygg ut fra forskjellige valgte systemgrenser. Disse er beskrevet i tabell 2.1. De ulike nivåene fastsetter hvor mye energi bygget skal kompensere for med fornybar energiproduksjon i løpet av sin levetid.[7]

Tabell 2.1: Ambisjonsnivåene til ZEB og deres respektive systemgrenser. Hvert nivå fastsetter mengde klimagassutslipp bygget skal kompensere for i løpet av sin levetid. O står for Operation, EQ for Equipment, M for Materials, C for Construction og E for End of life.[7]

Ambisjonsnivå	Systemgrense
ZEB-O÷EQ	Kompenserer for klimagassutslipp knyttet til drift av bygningen, unntatt energi som blir brukt til utstyr.
ZEB-O	Kompenserer for klimagassutslipp som fremkommer under drift av bygget.
ZEB-OM	Kompenserer for klimagassutslipp som oppstår under driftsfasen av bygget, samt innebygde utslipp i form av materialer.
ZEB-COM	Kompenserer for klimagassutslipp knyttet til drift, materialer og konstruksjon av bygget.
ZEB-COME	Kompenserer for klimagassutslipp knyttet til slutfasen av bygget i tillegg til drift, materialer og konstruksjon.
ZEB-COMPLETE	Kompenserer for klimagassutslipp for hele livssyklusen til bygget.

2.1.3 Karbonintensitet og beregningsprosedyre

Energi fra fjernvarme, strømmettet og biogass har forskjellige mengder utslipp av drivhusgasser knyttet til produksjon, og kan måles i CO₂-ekvivalenter. De forskjellige drivhusgassene kan erstattes av en større eller mindre mengde CO₂-ekvivalenter som inkluderer utslipp knyttet til utvinning, prosessering, lagring, transportering, distribuering og levering av energi.[7]

Det er vanskelig å definere en bestemt karbonintensitet for elektrisk energi fra strømmettet, spesielt i Norge med import og eksport av kraft til og fra Europa i perioder med ulik etterspørsel[12]. Selv om for eksempel vannkraft som fornybar kilde ikke har utslipp knyttet til produksjon, har det tidligere vært utslipp knyttet til bygging av kraftverket, og det kan være vanskelig å beregne utslippene med tanke på kraftverkets levetid. Utregning av karbontilbakebetaling for et bygg er avhengig av hvilken karbonintensitet som er benyttet for elektrisitet fra strømmettet. Sett på Norge som et isolert strømmett, vil karbonutslippene være på rundt 10-15 $\frac{gCO_2}{kWh}$. Den nordiske miksen ligger derimot på rundt 100 $\frac{gCO_2}{kWh}$, og kan være fornuftig å bruke på grunn av at Norge selger og kjøper kraft fra nabolandene.[7]

Ettersom bygg har en levetid på opp til 60 år, må det analyseres hvordan kraftmarkedet kommer til å utvikles i denne perioden. Det er mange forskjellige scenario med ulikt utfall, men studier ZEB tar utgangspunkt i har konkludert med at en karbonintensitet på 132 $\frac{gCO_2}{kWh}$ for strømmettet er et fornuftig utgangspunkt. Det er tatt i betraktning at det norske kraftnettet kommer til å integreres mer med det europeiske, og at karbonintensiteten til det europeiske kraftnettet kommer til å minke i løpet av de neste 60 årene.[7]

I et bygg med energiproduksjon innenfor systemgrensen vil det som regel være forskjell på produksjon og forbruk, slik at de må importere eller eksportere energi. Dette vil variere fra time til time, dag til dag og fra år til år. ZEB har kommet frem til en tilnærming der de ser på kraftnettet som et batteri med lik karbonintensitet for både eksport og import av energi. I tabell 2.2 er det en oversikt over karbonintensiteten de forskjellige energibærerne ved Heimdal

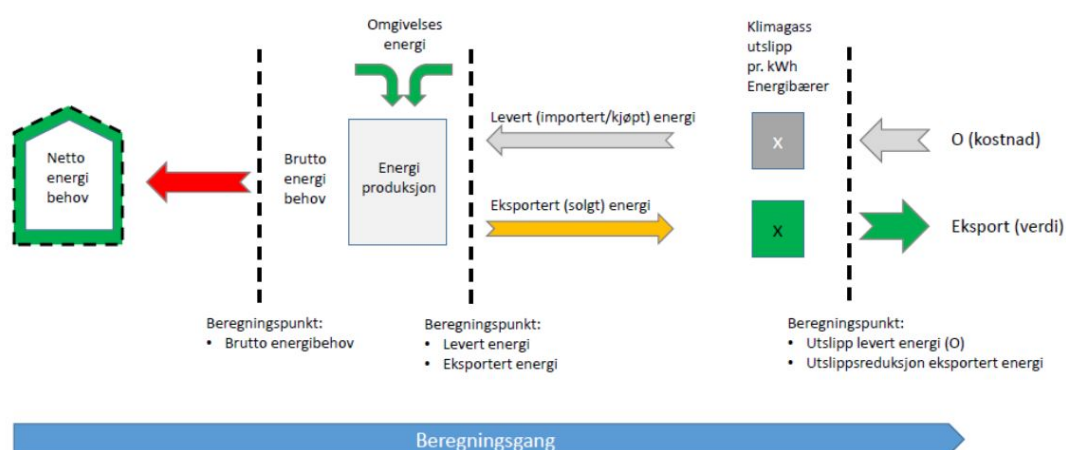
vgs. representerer for import og eksport. ZEB valgte en karbonintensitet på $130 \frac{gCO_2}{kWh}$ for energi fra strømmettet ut fra analysene de har tatt utgangspunkt i.[7, 13]

Tabell 2.2: Karbonintensiteten til forskjellige energibærere Heimdal vgs. representerer for import og eksport over systemgrensen.[13]

Energibærer	Karbonintensitet [$\frac{gCO_2}{kWh}$]
Elektrisk import	130
Fjernvarme import	100
Biogass import	25
Termisk eksport fra CHP	-100
Elektrisk eksport fra solceller	-130
Elektrisk eksport fra CHP	-100

For å beregne utslippene knyttet til importert energi og utslippsreduksjonene til eksportert energi brukes beregningsprosedyren illustrert i figur 2.2. Første beregningspunkt er brutto energibehov, energien som trengs for å dekke energibehovet før tap i rør. Under posten energiproduksjon i figuren kommer levert energi for Heimdal vgs. fra solcellene, CHP-anlegget og varmepumpene. Varmepumpene henter energi fra energibrønner som øker energieffektiviteten. Dette er forklart nærmere i delkapittel 3.3.1.[14]

Ved neste beregningspunkt kommer importert energi fra fjernvarmenettet, strømmettet og importert biogass og eksportert energi fra overproduksjon fra solcelle- og CHP-anlegget. I tabell 2.2 er klimagassutslippene for hver energibærer oppgitt. Ved siste beregningspunkt multipliseres klimagassutslippene sammen med importert og eksportert energi fra hver komponent. Produktet representerer mengden klimagassutslipp bygget står for under drift.[14]



Figur 2.2: Beregningsprosedyre for utregning av tilbakebetaling og kostnad for klimagassutslipp fra ulike energibærere.[14]

2.2 Prosjektering av nye Heimdal videregående skole

Heimdal videregående skole hadde ambisjonsnivået ZEB-O+20%M, altså en ambisjon om at bygget skal dekke sitt eget energibehov under drift, og i tillegg tilbakebetale 20 % av klimagassutslipp knyttet til materialer i bygget. Ambisjonsnivået ble senere nedjustert til ZEB-O. Skolen har store arealer fordelt over flere plan, og et stort energibehov som er forsøkt redusert så mye som mulig.[15]

Som løsning på et effektivt energiforsyningssystem ble det først sett på å integrere geotermiske varmepumper til oppvarming av bygget og tappevann. Da denne løsningen ikke gjorde at energimålet ble oppnådd ble det i tillegg sett på bruk av solceller. Det kunne vært en god løsning å utnytte taket på flerbrukshallen til solcelleareal, men siden denne er nedgravd er den benyttet til uteplass. Arkitekten ønsket ikke å integrere solceller på fasaden til bygget så det ble kun installert solceller på taket til skolebygget. Disse løsningene var ikke tilstrekkelig for å nå det satte ambisjonsnivået.[15]

To småskala CHP-maskiner drevet på biogass ble introdusert som et tredje element for å oppnå ZEB-ambisjonsnivået. CHP-anlegget supplerer med energi til oppvarming og elektrisitet, i tillegg til å levere overskuddsenergi til Husebyhallen[15]. Småskala biogassdrevne CHP-maskiner er lite brukt i Norge og anlegget ble et pilotprosjekt. Det var kjent på forhånd at dette ville være dyrere enn strøm. Under prosjektering ble det antatt at pris på biogass ville ligge på rundt $1 \frac{kr}{kWh}$ [16].[17]

Flerbrukshallen skulle være nedgravd under bakken og var en faktor som bidro til at ambisjonsnivået ble nedjustert underveis i prosjekteringen. Størrelsen og plasseringen av hallen var to av grunnene til at målsetningen ikke ble oppnådd. Materialene brukt til bygging ble dermed skilt ut i et eget regnskap. Ambisjonsnivået lå deretter på ZEB-O, hvor det i tillegg skulle inkluderes brukerutstyr.[15]

Mye fokus på klimafotavtrykk fra materialbruk under prosjektering av Heimdal vgs. resulterte i stor bruk av lavkarbonbetong. Sammenlignet med et tilsvarende referansebygg har skolen 25 % lavere klimafotavtrykk fra materialene brukt i bygget. For bygg med lav energibruk vil materialdelen bli en stadig større del av det totale fotavtrykket i løpet av byggets levetid.[16]

Skanska ønsket at Heimdal vgs. skulle ha et ventilasjonssystem med ventilasjonsregulering i alle rom. Fylkeskommunen hadde dårlig erfaring med dette og ønsket derfor et soneinndelt system. Sonene inkluderer opp til seks rom som blir ventilert av samme aggregat. Ved et soneinndelt ventilasjonssystem vil bruken av ventilasjonen styres likt ut fra det rommet med høyest temperatur eller CO₂-innhold i sonen. I tillegg skulle det installeres radiatorer til oppvarming i de fleste rom. Under prosjektering av Heimdal vgs. var innetemperaturen satt til 21°C, og simuleringer ble gjort for denne temperaturen.[15]

3 Komponenter i energisystemet

I følge kravene til Europaparlamentet om hva som defineres som et nullutslippsbygg, er det krav om at store deler av energibehovet må dekket av fornybare kilder innenfor systemgrensen. Dette innebærer karbonnøytral produksjon av termisk og elektrisk energi, energiøkonomiske systemer og import og eksport av energi over systemgrensen.[9]

Energisystemet ved Heimdal vgs. består av et CHP-anlegg, varmepumper og solcelleanlegg. Teori om hvordan de ulike komponentene fungerer samt spesifikke løsninger som er valgt ved skolen blir presentert i dette kapitlet.[3]

3.1 Combined Heat and Power-anlegg

Varmekraftmaskiner er maskiner som kun produserer elektrisk energi ved bruk av en turbin eller et stempel. I disse maskinene går varme tapt når damp blir kjølt ned gjennom kondensering. En CHP-maskin, eller kraftvarmemaskin, utnytter derimot denne varmen til å produsere vannbåren varme i tillegg til elektrisk energi. CHP-maskiner er mer energieffektive enn tradisjonell fjernvarme og elektrisk oppvarming. Virkningsgraden til disse maskinene er høyere enn en varmekraftmaskin ettersom varmen fra forbrenningen under elektrisitetsgenerering blir gjenvunnet.[18, 19]

Et CHP-anlegg består av tre hovedkomponenter, en motor, generator og et varmegjenvinnings-system. Motoren omdanner brenselet til mekanisk og termisk energi. Flere typer motorer kan brukes som denne komponenten, deriblant en intern forbrenningsmotor, ICE. Generatoren transformerer den mekaniske energien til elektrisitet og varmegjenvinningsystemet samler opp den produserte varmen.[20]

En fordel med CHP-maskiner er at spillvarme fra kraftproduksjon kommer til nytte. CHP-anlegg har også mindre tap i ledninger, ettersom elektrisiteten blir benyttet på produksjonsstedet og ikke fraktet over store avstander. Dette bidrar til mindre behov for utbygging av store elektriske nettverk. CHP-maskiner er mer klimavennlige og økonomisk lønnsomme løsninger sammenlignet med tradisjonelle varmekraftverk.[20]

CHP-maskinene kan kategoriseres etter kapasitet. En mikro-CHP har mindre enn 50 kW effekt, småskala CHP har mellom 50 kW og 1 MW kapasitet, og CHP-maskiner har over 1 MW effekt. Småskala CHP-maskiner har stort potensiale for bruk i større bygninger som næringsbygg, sykehus eller skolebygg for pålitelig og nærliggende kraftforsyning.[19, 20]

Sammenlignet med klassisk energiproduksjon med virkningsgrad på 60 %, kan et CHP-anlegg ha virkningsgrad på opp mot 96 % [21, 22]. I tradisjonelle kraftproduksjonsmaskiner vil rundt 33 % av energien bli utnyttet til elektrisitetsproduksjon og de resterende 67 % går til spille [20]. Det er andelen som normalt går til spille som kan hentes opp ved å installere varmevekslere og som gjør anlegget til en kraftvarmemaskin. Europaparlamentet har derfor oppfordret til større bruk av CHP-maskiner i europeiske land for å bedre utnytte brennstoffets energiinnhold og unngå tap.[19, 23]

I Norge er det svært få kraftvarmeverk på grunn av den rikelige tilgangen til vannkraft. Danmark var allerede i 2008 det landet i verden med størst andel kraft fra kraftvarmeverk med over 50 % av total produksjon. Dette var i hovedsak på grunn av en politikk som la til rette for en slik utvikling. Utbygging av kraftvarmeverk basert på bioenergi kommer av et ønske om å redusere bruken av fossil energi og elektrisitet til oppvarming.[19, 21]

3.2 Biogass

Biogass er en type biologisk brensel produsert av biomasse fra blant annet planter, bioavfall eller andre sideprodukter fra industri og landbruk. Gassen blir dannet fra anaerob nedbryting av biomassen, som vil si nedbryting uten tilgang på oksygen. Den produserte gassen består hovedsaklig av metan, karbondioksid og vanndamp, samt spor av hydrogensulfid og andre gasser. Energiinnholdet til rågassen er mellom 5 og 6 $\frac{kWh}{Nm^3}$, tilsvarende halvparten av naturgass.[24, 25]

I Norge ble det i 2018 produsert rundt 500 *GWh* biogass fra anaerob nedbryting. Miljødirektoratet har anslått at Norge har et potensiale for å firedoble denne produksjonen innen 2030. Det største potensialet for produksjonsøkning er forventet å være fra matavfall og avløps slam. En økning i produksjon av biogass kan bidra til å erstatte naturgass, ettersom de har de samme anvendelsesområdene.[26]

Biogass kan brukes til samme formål som naturgass, og utslipp fra forbrenning av gassen er vanndamp og CO₂. Til sammenligning er biogass regnet som karbonnøytralt, fordi biomassen brukt under produksjon tar opp like mye CO₂ i sitt livsløp som det slippes ut ved forbrenning. For at gassen kan anvendes i en motor uten å gjøre materiell skade er det ønskelig å fjerne karbondioksid, hydrogensulfid og vanndamp fra rågassen. Dette for å øke andelen ren metan så langt det lar seg gjøre. Prosessen gjør også at energiinnholdet til gassen øker til rundt 10 $\frac{kWh}{Nm^3}$ for gass med 100 % metan.[24, 25, 27–29]

3.2.1 Biogass på Skogn

På Skogn i Levanger kommune har Biokraft AS bygd et produksjonsanlegg for flytende biogass, forkortet til LBG fra Liquefied Biogas. Anlegget bruker hovedsakelig avfall fra fiskeoppdrett, avløpsvann og slam fra papirfabrikken lokalisert i nærheten som råstoff. Gassen de produserer skal blant annet bidra til å erstatte fossilt drivstoff i busser og tungtransport i Norge, og dermed kutte klimagassutslippene i tungtransportsektoren. Den produserte biogassen kjøles ned til flytende form ved -160°C som reduserer volumet kraftig og gjør transport av gassen enklere.[30]

Anlegget på Skogn produserer 25 millioner Nm^3 biogass i året, tilsvarende 60 000 tonn CO₂-ekvivalenter, eller utslipp fra 25 000 dieserbiler. De planlegger å doble kapasiteten til 250 *GWh* med to nye anlegg innen utgangen av 2022. Biogassen brukes hovedsakelig som drivstoff, men kan også brukes som brensel i CHP-maskin.[31]

3.3 Varmepumper

En varmepumpe leverer varme ved å transportere energi fra et lavere til et høyere temperaturnivå ved å tilføre elektrisk energi. Varmekilden til varmepumper kan være uteluft, sjøvann, jord- og grunnvarme og spillvarme fra industri. En varmepumpe består av to varmevekslere, en turbin og en kompressor. Et arbeidsmedium henter varme fra kilden og avgir varmen i bygget.[32]

Teoretisk ytelse til varmepumpen beskrives med SCOP-faktor, seasonal coefficient of performance eller årsvarmefaktor. Denne er gitt ved forholdet mellom levert termisk energi og forbruk av elektrisk energi. SCOP-faktoren er beregnet ved bruk av varmepumpens karakteristiske parametre gitt av fabrikken. Verdien er et kvalitetskriterie for varmepumpen, og det er ønskelig med så høy SCOP-faktor som mulig.[32, 33]

SPF, seasonal performance factor, er definert som årlig gjennomsnittlig varmfaktor. Denne faktoren er beregnet på samme måte som SCOP-faktoren, som forholdet mellom levert termisk energi og forbruk av elektrisitet. SPF gir en realistisk varmfaktor for systemet for den gitte perioden, og verdien vil være lavere enn SCOP-faktoren. Verdien er avhengig av temperaturforskjellen mellom varmekilden og leveranssted. SPF er dårligere for varmepumper til oppvarming av tappevann enn bygg, ettersom det trengs en større temperaturdifferanse og mer energi for å oppnå ønsket temperatur på vannet.[34]

$$SCOP = \frac{Q_{ut}}{W_{syklus}} \quad (3.1)$$

$$SPF = \frac{Q_{ut,m\ddot{a}lt}}{W_{syklus,m\ddot{a}lt}} \quad (3.2)$$

Ligning 3.1 viser utregning for SCOP-faktor og ligning 3.2 utregning for SPF-verdi. Den termiske energien levert av varmepumpen er gitt ved Q_{ut} og arbeidet på syklusen er gitt ved W_{syklus} . En SPF på 3 betyr for eksempel at det er avgitt tre ganger mer varme enn det er tilført elektrisitet. Jo høyere verdien på SPF er, desto bedre er varmepumpen og høyere blir energisparingene.[32]

Oppvarming fra varmepumpe er foretrukket fremfor elektrisk oppvarming ettersom de leverer flere ganger mer termisk energi enn det tilføres elektrisitet. Internasjonalt har bruken av varmepumper økt, noe som det internasjonale energibyrået, IEA, har oppfordret til, da dette vil redusere klimagassutslipp fra byggsektoren. For termisk energiproduksjon er det ofte varmepumpeanlegget som er dimensjonert for å dekke grunnlasten. Varmepumper har høye investeringskostnader, men lave kostnader knyttet til drift, vedlikehold, brensel og utslipp.[35, 36]

3.3.1 Geotermiske varmepumper

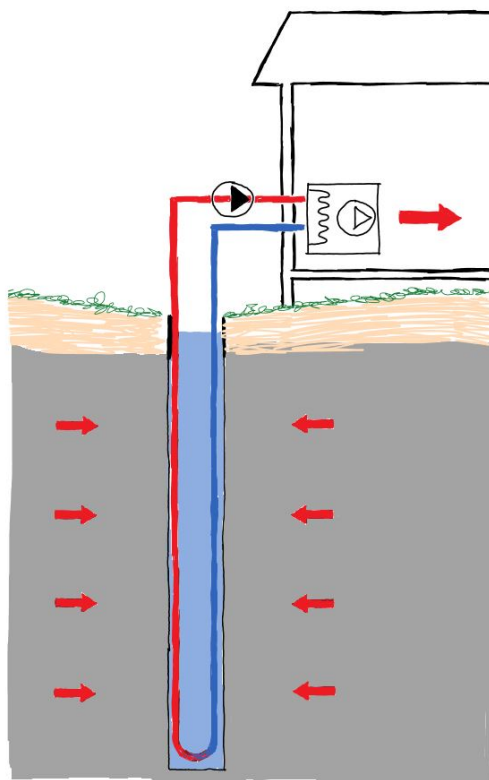
Temperaturen i det øverste laget i bakken varierer med årstiden, men dypere er temperaturen stabil gjennom året. Det er mulig å hente ut geotermisk energi fra omgivelsene i grunnen. Energien kan hentes ut ved å bore en energibrønn i bakken og bruke rør med frostsikker væske i sirkulasjon til en varmepumpe, også kalt geotermisk varmepumpe. Systemet med en energibrønn og varmepumpe er illustrert i figur 3.1. I figuren er det illustrert hvordan energien vil sige til brønnen fra omgivelsene.[37]

Geotermisk varmepumpe er en type væske-til-vann-varmepumpe. For å utnytte den geotermiske energien fra bakken i bygg er det en forutsetning at det kan brukes vannbåren varmedistribusjon til tappevann, vannbåren gulvvarme og radiatorer. Vannbåren varmedistribusjon bidrar til enklere og mer lønnsom utnyttelse av geotermisk energi i større bygg, som forretningsbygg, leilighetskompleks eller flyplasser.[37]

I Norge har berggrunnen høyere og mer stabil middeltemperatur enn uteluften på vinteren[36]. Høyere middeltemperatur gjør at temperaturløftet blir lavere, og dermed blir SPF bedre. Varmepumpen kan også fungere som kjølemaskin ved å hente overskuddsvarme fra bygget om sommeren og pumpe energien ned i brønnen. På denne måten vil energibrønnen fungere som energilagring, og varmen kan hentes opp om vinteren og utnyttes i bygget ved behov. Dette bidrar også til å øke årsmiddeltemperaturen til varmekilden og øker effektiviteten til varmepumpen ytterligere.[36, 39]

Energien i energibrønnene er selvforsynt slik at energien som blir hentet ut av energibrønnen konstant blir erstattet av varme som befinner seg i berget rundt brønnen. Dette forutsetter at anlegget er riktig dimensjonert og ikke tar ut mer energi enn det som strømmer til. Geotermiske varmepumper har levetid på rundt 20 år, og det er kun utskiftning på sentrale komponenter som er nødvendig. Energibrønnene holder mye lengre.[39]

Geotermiske varmepumper har høyere investeringskostnader enn varmepumper som bruker uteluft som varmekilde. Dette på grunn av at det er nødvendig med graving og boring i grunnen til energibrønnene. Ettersom anlegget har høye investeringskostnader er det stor fordel å utnytte anlegget når det først er installert.[36]



Figur 3.1: Illustrasjon av energibrønn. Merk at figuren er endret i forhold til originalen.[38]

3.4 Solceller

Solceller omdanner lys til elektrisk strøm ved hjelp av lysfølsomme halvlederdiodes. En halvlederdiode er en komponent som leder strømmen i en bestemt retning[40]. Solcellen baseres på fotoemisjon der et halvledermateriale plasseres mellom to elektroder. Fotoemisjon skjer når lys treffer et stoff og elektroner løsner fra overflaten[41]. Kombinasjon av flere solceller koblet sammen gir større effekt, men krever større areal.[42]

Virkningsgraden på solceller er typisk 15-24 %. Dette er forholdet mellom solenergien som treffer solcelleoverflaten og det som blir omdannet til elektrisk strøm. Den teoretiske virkningsgraden på silisiumsolceller er opp til 28 %. Prisen på solceller er antatt å synke i årene fremover, i takt med økt produksjon.[42]

Den viktigste faktoren som påvirker elektrisk produksjon fra solceller er solinnstråling[43]. I Norge produserer solcellen mest om sommeren når sola står høyt og det er flere soltimer i døgnet. Solcellene produserer altså mest når det er lavt behov for elektrisitet. Dette kan føre til at det blir produsert mer enn nødvendig og overskuddsenergien blir ført ut på strømmettet. Dersom store solcelleanlegg produserer større mengder elektrisitet når det er lite behov kan det bli store effekttopper.[44]

3.5 Fjernvarme

Fjernvarme er et system hvor oppvarmet vann sirkulerer i isolerte rør ut til forbrukere. Den termiske energien i vannet kan overføres til tappevann eller brukes til oppvarming i boliger og næringsbygg. For oppvarming i bygg overføres den termiske energien til vannbåren varme og sirkulerer som gulvvarme eller i radiatorer. Rørsystemet ut fra fjernvarmesentralen består av et rør for varmt turvann og et for avkjølt returvann[45]. Energikildene for fjernvarme i Norge var i 2019 hovedsaklig varme fra avfallsforbrenning, flisfyringsanlegg, varmpumpeanlegg, elektrokjeler og spillvarme.[46, 47]

I Trondheim står Statkraft Varme for produksjon av fjernvarme og videre distribusjon ut til kundene. Forbrenningsanlegget er lokalisert på Heimdal, hvor de varmer opp vann til fjernvarmenettet ved å benytte spillvarme fra brenning av hovedsaklig restavfall. Produsert termisk energi fra fjernvarmeanlegget dekker 30 % av oppvarmingsbehovet til byen.[48]

3.6 Ventilasjon og oppvarming

Ventilasjonsanlegg er viktige for å regulere temperatur, fuktighet og luftkvalitet i et bygg og kan være sentraliserte eller desentraliserte[49]. Sentraliserte ventilasjonsanlegg er anlegg som har ett felles luftinntak og ett aggregat i bygget. Tilluftstemperaturen og luftmengden blir styrt sentralt for et slikt anlegg. Desentraliserte anlegg deler bygget inn i deler hvor hver del individuelt kan styre luftmengden og tilluftstemperaturen. Disse anleggene har flere luftinntak og egne aggregat for hver sone. I følge standarden NS 3701:2012 er det krav om at passivhus skal ha gjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinnere på minst 80 % hvert år for ventilasjonsanlegg[10]. Varmegjenvinning av ventilasjonsluft er viktig for å effektivisere energibruk i bygg uten ekstra byggetekniske tiltak.[50]

Soneinndelt ventilasjon er en type desentralisert anlegg som deler bygget inn i flere soner hvor hver sone har eget luftinntak og aggregat som varmer opp ventilasjonsluften. Temperatur- og CO₂-følere i rommene bestemmer når ventilasjon av sonen skal begynne. Dersom det er forhøyet nivå i en del av sonen, vil det også bli ventilert luft i resterende sone selv om det ikke er behov. Et voksent menneske avgir varme til omgivelsene tilsvarende cirka 90 watt[51]. Dette medfører at rom med mye personbelastning krever mindre oppvarming fra andre oppvarmingskilder. Motsatt vil det kreve mer oppvarming om det er lite personbelastning og stort volum i rommet. Dette medfører at rom med lav personbelastning trenger høyere settpunkttemperatur.[15, 52]

Et sentralt driftskontrollanlegg, SD-anlegg, er et energiovervåkningssystem som ved hjelp av sensorer og reguleringsenheter kan styre prosesser og maskiner i et bygg. Driftsansvarlig ved bygget kan ved hjelp av anlegget endre temperaturkurver og settpunkter, lese av temperaturer og se igjennom logger. Ved eventuelle driftsfeil varsles driftsansvarlig på telefonen. Regulering av bygget kan enkelt gjøres gjennom en web-basert løsning. Systemet kan bidra til et bedre inneklima, reduserte driftskostnader og redusert energibruk.[53]

3.6.1 Oppvarming av tappevann

I standardene NS 3031:2014 og SN/TS 3031:2016 er det oppgitt like verdier for årlige standardverdier for energibehov ved oppvarming av tappevann. I standardene er standardverdien for spesifikt energibehov til idrettsbygg satt til $50 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$ og skolebygg satt til $10 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$. Dette er normerte verdier som kan brukes i kontrollberegninger mot offentlige krav.[54, 55]

SINTEF har i en artikkel basert på resultater fra prosjektet VarmtVann2030 skrevet at NS 3031 burde baseres på brukervaner og personbelastning, fremfor areal som de tidligere standardene baseres på. Dette resulterte i en ny standard, SN-NSPEK 3031:2020, med nye standardverdier for energibehov til oppvarming av tappevann. I SN-NSPEK 3031:2020 er årlig energibehov for tappevann i idrettsbygg redusert til $10 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$ og for skolebygg til $5 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$. [56, 57]

Våren 2020 skrev studentene Rømo og Plassen bacheloroppgave der de undersøkte om energibehovet til varmt tappevann i idrettsbygg angitt i NS 3031:2014 og SN/TS 3031:2016 var for høyt. De brukte teoretiske vurderinger og praktisk utøvelse for å vurdere energibruken i syv idrettsanlegg, deriblant flerbrukshallen ved Heimdal vgs. Undersøkelsene konkluderte med at energibehovet for tappevann i idrettsanlegg var på rundt en femtedel av normativ verdi angitt i standardene fra 2014 og 2016. De kunne også konkludere med at de nye standardverdiene i SN-NSPEK 3031:2020 på $10 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$ er bedre og mer korrekte enn de gamle.[58]

3.7 Energisystemet ved Heimdal videregående skole

Heimdal vgs. har installert 1 938 m² solceller på taket med helling mot øst og vest. På en solfylt måned kan solcellene produsere opp mot 70 000 kWh, og overproduksjon kan selges til strømmettet. I tillegg har skolen installert et CHP-anlegg bestående av to småskala CHP-maskiner med en installert effekt på 58,7 kW hver, og til sammen 117,4 kW[22]. 33 % av produksjonen til CHP-anlegget er elektrisk energi, 67 % er termisk energi og anlegget har en beregnet virkningsgrad på 85 %.[5, 15, 59]

CHP-maskinene installert ved Heimdal vgs. er to XRGI 20 motorer, levert av EC Power AS. Figur 3.2 viser en av CHP-maskinene som er installert på skolen, og viser selve motoren til maskinen. Motoren er en ICE produsert i Danmark. Systemet har en energieffektivitet på opp mot 96 %. XRGI-systemet består av en motor, en Q-heat distributør og et iQ-kontrollpanel. Distributøren absorberer varme fra motoren og distribuerer den til en vannkrets eller oppbevaringstank. Kontrollpanelet kontrollerer at systemet møter kravene og analyserer brukervaner for å optimalisere systemet automatisk.[22]



Figur 3.2: En av XRGI 20-motorene, som en del av en CHP-maskin, installert ved Heimdal vgs. Bildet er tatt av Gunhild Lund Bjørnås.

CHP-maskinene går på LBG fra biogassanlegget på Skogn. Den termiske energien fra produksjonen blir eksportert til en høyvarmeveksler i Husebyhallen, før den resterende varmen blir brukt av en lavvarmeveksler ved skolen og deretter ført tilbake til anlegget. Størrelsen på CHP-anlegget er dimensjonert etter behovet til Husebyhallen[16]. Husebyhallen har høyere oppvarmingsbehov enn CHP-anlegget klarer å levere, og det må suppleres med fjernvarmeimport for å dekke behovet[15].[3]

Skolen har 21 energibrønner som henter varme 250 meter ned i bakken og overfører energi til de to geotermiske varmepumpene[5]. Varmepumpen som leverer energi til oppvarming

av bygget er levert av REFTEC. Skolen har også installert en CO₂-varmepumpe til oppvarming av tappevannet, levert av Winns. I perioder med høyere behov for oppvarming enn CHP-anlegget og varmepumpene kan dekke, har skolen mulighet til å importere fjernvarme fra søppelforbrenningsanlegget på Heimdal.[60]

Heimdal vgs. importerer elektrisk energi fra strømmettet når solcelle- og CHP-anlegget ikke klarer å dekke behovet, spesielt i vinterhalvåret når solcellene har lavest produksjon. Skolen har mulighet til å importere og eksportere elektrisk energi avhengig av om det er mangel eller overskudd. Dette er avgjørende for at skolen skal klare å nå ambisjonene om å være et nullutslippsbygg.[13]

Hele bygget har LED-lys med bevegelsessensorer. Disse lysene må manuelt skrues på med en bryter, men vil automatisk slås av avhengig om det er bevegelse i rommet eller ikke. Skolen har også installert screeninggardiner for å skjerme for sola på plan tre og fire. På plan to og deler av plan tre i bygget er det integrert elektrokromatiske glass, delvis for å unngå hærverk på screeninggardinene.[3]

De elektrokromatiske glassene blir mørkere ved å påføre spenning og fungerer som solskjerming. Hvor mørke glassene blir, er avhengig av mengden påført spenning og skjer automatisk avhengig av mengden sol og solinnstrålingsvinkelen. Reguleringen kan også overkjøres og kontrolleres av driftsansvarlig på bygget. De elektrokromatiske glassene er delt i to soner som kan bli mørkere avhengig av hvor høy eller lav sola er. Glassene bidrar på denne måten med å regulere lysinnstråling, oppvarming av bygget og innsyn.[61]

Ventilasjonsanlegget til skolen er desentralisert og består av 54 individuelle anlegg. Hvert anlegg står for ventilasjonen i opp til seks rom og utgjør en sone. En slik inndeling av ventilasjonssystemet krever at alle rom i sonene har lik personbelastning for at systemet skal fungere optimalt[15]. Flerbrukshallen har seks ventilasjonsanlegg som kan kobles og styres sammen. Hvor mange anlegg som kjører samtidig i hallen er avhengig av aktiviteten, som ved idrettsarrangement, eksamen eller konserter.[3]

Heimdal vgs. bruker SD-anlegget IWMAC som gir driftsansvarlig mulighet til å regulere ventilasjon, temperatur og energibruk. Systemet gir beskjed ved feil på tekniske anlegg og varsler avvik på komponentene. Oversiktsbilder for energisystemet inkludert varmepumpene, fjernvarme og CHP-anlegget ved Heimdal vgs. i IWMAC er vist i vedlegg G.[62]

Skolen har installert fem hovedmålere og rundt 200 undermålere. Hovedmålerne registrerer importert og eksportert termisk og elektrisk energi samt gassimport. Undermålerne registrerer energiforbruk fra ventilasjonsanlegget, belysning og elektrisk utstyr, energibehov fra tappevann og varmepumpe, produksjon fra solcelleanlegget og CHP-anlegget i tillegg til flere små målinger.[59]

4 Økonomi

I 2016 ble det satt en kostnadsramme for det nye skolebygget og flerbrukshallen på 1,1 milliarder kroner[63]. Merkostnadene for energisystemet lå på 73 millioner kroner der Enova støttet fylkeskommunen med 21,5 millioner. I dette kapitlet vil EPC-kontrakten mellom fylkeskommunen og Skanska bli beskrevet og konsekvenser av den. Det blir beskrevet hvordan plusskundeavtalen fungerer, og kostnader rundt strøm, fjernvarme og biogass blir presentert.[5]

4.1 EPC-kontrakt

Energisparekontrakt, EPC eller Energy Performing Contract, er en kontrakt som inngås mellom entreprenør og oppdragsgiver i forkant av et prosjekt. EPC-modellen garanterer energibesparing for oppdragsgiver når det skal gjennomføres et energieffektiviseringstiltak. Fordelen med en EPC-kontrakt er garanterte energibesparelser der investeringen blir betalt av besparelsen. Oppdragsgiver forholder seg til en enkelt entreprenør som tar risikoen. Dette fører til en rask gjennomføring av prosjektet.[64]

EPC kan deles inn i en analyse-, en gjennomføring- og en sparegarantifase. Analysen innebærer at entreprenøren beskriver energieffektiviserings- og driftsbesparingstiltak som kan gjennomføres. I en prosjektutviklingsrapport skal kostnadene til tiltakene beskrives, samt hvordan de skal følges opp. Gjennomføringsfasen beskriver virkeliggjørelsen av tiltakene i prosjektutviklingsrapporten. Sparegarantien gjelder ikke før overtagelse dersom annet ikke er avtalt. Sparegarantifasen består av drift og vedlikehold slik at funksjonen ivaretas og oppfyller kravene beskrevet i kontrakten. Dette garanterer at ønsket årlig energibesparelse oppnås.[64]

Trøndelag fylkeskommune som oppdragsgiver har en EPC-kontrakt med entreprenøren Skanska for prosjektet Heimdal videregående skole[3]. I energiregnskapet til Heimdal vgs. er det energiposter som faller innenfor og utenfor EPC-kontrakten. Det som faller inn under kontrakten er oppvarming av rom og ventilasjonsluft, termisk energi til tappevann og elektrisk energi til vifter, belysning, brukerstyr og pumper. I tillegg kommer eksportert termisk og elektrisk energi fra solcelle- og CHP-anlegget. Energiposter som faller utenfor kontrakten innebærer snøsmelting av nedkjøringsrampe til parkeringskjeller og trapp utenfor hovedinngang, oppvarming av driftsgarasje, elektrisitet til parkeringskjeller, lading av el-bil og utebelysning. Kontrakten mellom fylkeskommunen og Skanska varer i fem år etter skolen ble satt i drift og aksepterer et avvik på 10 % mellom målte og prosjekterte verdier for netto energiforbruk.[5]

4.2 Plusskundeavtale

En plusskunde er en produsent av elektrisitet som både produserer til eget forbruk og eksporterer ved større produksjon enn behov. Ved for lite egenproduksjon importeres elektrisitet. En plusskunde kan i følge *Forskrift om kontroll av nettvirksomhet* ikke overstige en effekteksport på 100 kW. Produsenter av elektrisitet betaler tariffen for innmating av kraft til kraftnettet. For kraftprodusenter består tariffen av et energiledd og et fastledd. Energileddet varierer gjennom året i motsetning til fastleddet som er en fast bestemt sum. Holder Heimdal vgs. seg under grensen på 100 kW betaler de ikke fastleddet av innmatingstariffen for eksportert strøm.[65, 66]

4.3 Strøm- og fjernvarmepriser

Total kostand for strøm består av kraftpris, nettleie, forbruksavgift og merverdiavgift[67]. Merverdiavgiften er på 25 % av totalbeløpet og forbruksavgiften til skattetaten var i 2019 $15,83 \frac{\text{øre}}{\text{kWh}}$ [68, 69]. I følge statistisk sentralbyrå var gjennomsnittlig kostnad for kraftpris og nettleie for undervisningsbygg $68,9 \frac{\text{øre}}{\text{kWh}}$ i 2019[70]. Summeres kostnadene blir det en gjennomsnittlig kostnad på $1,06 \frac{\text{kr}}{\text{kWh}}$ [68–70]. Strømprisene varierer med etterspørsel og er som regel dyrere om vinteren når det er kaldt, enn om sommeren[71].

Kostnader for fjernvarme til næringskunder i Trondheim er delt opp i to ledd, et effektledd og et energiledd. Effektleddet regnes ut fra den timen med høyest målt effektuttak i løpet av måneden. Prisen varierer gjennom året, hvor sommer har lavere kostnader enn vinter. Sommer er definert fra mai til oktober og vinter er definert fra november til april. Energileddet består av spotpris, energiprisen på nettleie, påslag og forbruksavgift. Totale kostnader for fjernvarme ligger normalt gjennomsnittlig $1-2 \frac{\text{øre}}{\text{kWh}}$ under strøm per måned[72].[48]

4.4 Biogasspris

Heimdal vgs. betalte skoleåret 19/20 rundt $1,37 \frac{\text{kr}}{\text{kWh}}$ for biogass[60]. Fremtidig prisutvikling på biogass har stor usikkerhet ettersom markedet er i en tidlig fase og under stadig utvikling. Biogassprisen vil normalt bestemmes av markedet som betaler mest. Det best betalende markedet er i dag veitransportmarkedet, og her vil biogass konkurrere med avansert HVO, Hydrogenert Vegetabilsk Olje. Biodrivstoff blir delt opp i konvensjonelle biodrivstoff og avansert biodrivstoff. Konvensjonelle biodrivstoff produseres av råstoff som også kunne vært brukt til dyrefôr eller mat og avansert biodrivstoff er produsert av overskuddsprodukter som avfall og rester fra landbruk, skogbruk eller næringsmiddelindustri.[26, 73]

Miljødirektoratet tror at prisene på avansert biogass og HVO vil følge hverandre i årene fremover, og prisen er i dag omtrent den samme. Prisen på avansert HVO vil ifølge en rapport Argus Consluting har gjort for Miljødirektoratet stige rundt 20 % frem mot 2030, og det antas at prisen på biogass vil øke tilsvarende. Grunnen til at prisen er forventet å øke er begrenset tilgang på råstoff og økt etterspørsel.[26]

5 Skoleåret 19/20

I det andre driftsåret til Heimdal vgs. tok fylkeskommunen over driften av skolen og flerbruks-hallen. Gjennom et skoleår er det variasjoner i både værforhold og personbelastning i bygget som følge av fridager og ferier. Dette påvirker hvordan bygget driftes og er beskrevet nærmere i dette kapittelet.[3]

Skolerute for Heimdal vgs. skoleåret 19/20 er oppgitt i tabell 5.1. Tabellen gir informasjon om fridager og ferier. Slutten av skoleåret er påvirket av at alle skoler i Norge 12. mars 2020 stengte ned på grunn av Covid 19-pandemien. Skolene var stengt frem til 27. april, da det startet en gradvis gjenåpning. Det hadde vært totalt ni uker med stengte skoler frem til slutten av juli. Nedstegningen kan påvirke data som er benyttet i oppgaven.[74, 75]

Tabell 5.1: Skolerute for Heimdal vgs. skoleåret 19/20.[74]

Måned	Hendelse	Dato
August	Planleggingsdag ansatte og fri for elever	12.-14.
	Første skoledag etter sommerferie	15.
Oktober	Høstferie	7.-11.
November	Studie- og planleggingsdag	29.
Desember	Siste skoledag før jul	20.
Januar	Planleggingsdag ansatte og fridag for elever	3.
	Første skoledag etter nyttår	6.
Februar	Vinterferie	17.-21.
Mars	Planleggingsdag ansatte og fridag for elever	9.
April	Påskeferie	6.-14.
Mai	Arbeidernes fridag	1.
	Kristi himmelfartsdag	21.
	Inneklemte dager	22.
Juni	2. pinsedag	1.
	Siste skoledag før sommerferie	19.

5.1 Drift av Heimdal videregående skole

Energisystemet på Heimdal videregående skole driftes hele døgnet, men det er aktivitet på skolen og flerbrukshallen mellom klokken 05:30 og 23:00. Brukstiden til skolen er avhengig av aktivitet på bygget og kan variere fra dag til dag. Skoleåret 19/20 viste det seg at brukstiden for bygget var lengre enn prosjektert. Brukstid er i denne oppgaven definert som tidsrommet bygget har personbelastning.[3]

I følge prosjekteringene var det beregnet at CHP-anlegget skulle kjøre på halv effekt gjennom hele året. Det ble derimot valgt å kjøre det på tilnærmet full effekt fra november til mars da oppvarmingsbehovet og elektrisitetsbehovet var størst. Dette resulterte i at både den termiske og elektriske energien ble utnyttet bedre og at anlegget ikke bidro til elektriske effekttopper om sommeren[15]. Anlegget kan kjøre på et lavere gir eller kun benytte en av maskinene ved lavt

behov og styres av behovet til Husebyhallen. Biogasstanken fylles opp med biogass til 92-93 % av full tank ved hver fylling. Før oppstart av anlegget på høsten avkjøles gasstanken ved å fylle den med nitrogen. Tanken må fylles på nytt omtrent hver sjettede uke og fylles normalt opp rundt tre ganger i løpet av sesongen. På våren kjøres anlegget til tanken er tom og står slik frem til november.[3]

Radiatorene styres manuelt og justeres sammen med ventilasjonen til en gitt settpunkttemperatur. Temperaturen varierer fra rom til rom. Justeringen gjøres ved å stille inn hver enkelt radiator i alle rom. Under nedstengingen av skolen i mars ble ventilasjonen kun kjørt en time på morgenen og en time på kvelden.[3]

Varmepumpene kjører hele året og gir energi til tappevann og oppvarming av skolebygget. På sommerhalvåret blir det pumpet varme ned til energibrønnene i bakken som kan utnyttes på vinteren og bedrer energieffektiviteten. Varmepumpene er temperaturstyrt og bruken avhenger også av driften. Ved driftsfeil på varmpumpene kobles fjernvarme inn. Solcellene produserer elektrisitet når det er sol, og produserer mest om sommeren når solen er høyest, sterkest og skinner en større del av døgnet. Oppstår det tilfeller av overskudd som går over eksportgrensen til plusskundeavtalen, må produksjonen til anlegget strupes ned. På vinteren er det lite sol og dermed lite produksjon fra solcellene.[15, 60]

5.2 Værforhold

Værforhold og klima påvirker energiforbruket til et bygg. Dette gjelder spesielt oppvarmingsbehovet til bygget, både romoppvarming og ventilasjonsvarme. Den viktigste variabelen som påvirker oppvarmingsbehovet er temperatur, men det kan også avhenge av relativ fuktighet, vind og solinnstråling. Solinnstråling påvirker i tillegg belysning, ettersom behov for kunstig belysning minker når det er naturlig lys utendørs. Været kan også påvirke energibruk til kjøling og oppvarming av tappevann.[76]

Ettersom værforhold varierer er det mulig å korrigere målt eller prosjektert energiforbruk til oppvarming av bygg i henhold til målte temperaturer, slik at datagrunnlaget er sammenlignbart. I standarden SN/TR 3069:2019 er formel 5.1 oppgitt for utregning av månedlig korreksjonsfaktor, $f_T(i)$, der i er tall for gitt måned. $T_{ute,basis}$ er basistemperatur, $T_{ute,normal,i}$ er normaltemperatur for måneden og $T_{ute,målt,i}$ er målt utetemperatur i måneden. Alle temperaturer er oppgitt i °C.[77]

$$f_T(i) = \frac{T_{ute,basis} - T_{ute,normal,i}}{T_{ute,basis} - T_{ute,målt,i}} \quad (5.1)$$

I *Etterprøving av bygningers energibruk* utarbeidet av Entro AS og SINTEF Byggforsk, skrevet som underlag til standarden SN/TR 3069:2019, er det i tillegg til formel 5.1 for korreksjonsfaktor lagt til formel 5.2.[76]

$$f_T(i) = 1, \text{ hvis } (T_{ute,basis} - T_{ute,normal,i}) < 1 \text{ eller } (T_{ute,basis} - T_{ute,målt,i}) < 1 \quad (5.2)$$

Korreksjonsfaktoren benyttes for å normalisere målt eller prosjektert forbruk. Ved korriger-
ing av målt forbruk multipliseres korreksjonsfaktoren med målt forbruk og ved korriger-
ing av prosjektert forbruk divideres prosjektert forbruk på korreksjonsfaktoren.[77]

Basistemperaturen til et bygg er ved den utetemperaturen oppvarmingsbehovet starter. Tempe-
raturen vil variere for forskjellige bygningsstandarder og estimerte verdier for forskjellige stan-
darder er oppgitt i tabell 5.2.[77]

Tabell 5.2: Estimerte basistemperaturer for forskjellige bygningsstandarder. PH er forkortelse for pas-
sivhus og TEK for Forskrift for tekniske krav til byggverk.[77]

Bygningsstandard	$T_{ute,basis}$ [°C]
TEK 17 / PH-nivå	9
TEK 10	13
TEK 97	15
TEK 87 og tidligere	17

Tabell 5.3: Gjennomsnittstemperaturer for månedene august 2019 til juli 2020, deres normaltempera-
turer og avviket dette utgjør, samt målt maksimal- og minimumstemperatur. Temperaturene er målt
ved målestasjonen på Saupstad og normaltemperaturen er gjennomsnittstemperaturen per måned siden
1991.[78]

Måned	$T_{gj.snitt}$ [°C]	T_{normal} [°C]	Avvik [°C]	T_{maks} [°C]	T_{min} [°C]
August 2019	14,5°	13,7°	0,8°	28,2°	4,3°
September 2019	9,1°	10,0°	-0,9°	21,3°	0,8°
Oktober 2019	3,2°	5,0°	-1,8°	12,5°	-5,9°
November 2019	-2,4°	0,7°	-3,1°	7,2°	-13,1°
Desember 2019	-0,3°	-1,7°	1,4°	7,9°	-9,3°
Januar 2020	1,8°	-1,8°	3,6°	12°	-6,2°
Februar 2020	0,2°	-1,7°	1,9°	8,2°	-13,2°
Mars 2020	1,3°	0,4°	0,9°	10,5°	-7,3°
April 2020	3,6°	4,4°	-0,8°	17°	-7,9°
Mai 2020	6,6°	8,7°	-2,1°	25°	-1,8°
Juni 2020	17,2°	11,9°	5,3°	30,8°	5°
Juli 2020	12,4°	14,4°	-2,0°	24,4°	4,7°

Tabell 5.3 viser gjennomsnittstemperaturene for alle månedene i skoleåret sammenlignet med
normaltemperaturene. Normaltemperaturen er gjennomsnittstemperaturen på samme sted hver
måned siden 1991. Tabell 5.4 viser antall solskinnstimer i løpet av skoleåret 19/20, sammen med
gjennomsnittlig solskinnstimer per måned de siste fem årene.[78]

Tabell 5.4: Antall solskinnstimer per måned fra august 2019 til juli 2020, gjennomsnittlig solskinnstid og avviket mellom de. Målingene er tatt fra en målestasjon lokalisert på Gløshaugen i Trondheim. Gjennomsnittlig solskinnstid er regnet ut basert på data fra de siste fem årene.[78]

Måned	Solskinnstid[h]	Gj.snitt solskinnstid[h]	Avvik[h]
August 2019	198,4	166,8	31,6
September 2019	133,9	129,7	4,2
Oktober 2019	128,6	116,3	12,3
November 2019	56,0	46,5	9,5
Desember 2019	14,2	16,6	-2,4
Januar 2020	19,7	34,2	-14,5
Februar 2020	77,0	70,5	6,5
Mars 2020	99,5	123,4	-23,9
April 2020	143,6	204,6	-61,0
Mai 2020	193,4	236,5	-43,1
Juni 2020	344,9	234,3	110,6
Juli 2020	181,6	229,2	-47,6

6 Metoder

Informasjon om skolen og drift er gitt fra driftsansvarlig ved Heimdal vgs., Lars Emil Bjørkander, gjennom et besøk på skolen i februar og to digitale møter. Informasjon er også innhentet gjennom samtaler med Tore Wigenstad fra Skanska og Torger Mjønes fra Trønderlag fylkeskommune. Godkjente møtereferat fra møtene er vedlagt i vedlegg I, J, K, L og M.

Data brukt i denne oppgaven er hovedsaklig hentet fra Skanskas detaljerte oversikt over produksjon, import, forbruk og eksport fra de forskjellige energipostene ved hjelp av IWMAC. Data er presentert i et Excel-ark og er lagt ved oppgaven i vedlegg A, B og C. Målte og prosjekterte verdier er oppgitt på månedsbasis i vedlegg B, men verdiene for biogassimport er beregnet ut fra volum av leveringer og fordelt utover året etter produksjon.

6.1 Systemgrensen

Heimdal videregående skoles systemgrense for energisystemet trekkes rundt skolebygget og flerbukshallen, inkludert CHP-anlegget. Målte og beregnede verdier i datagrunnlaget er hentet innenfor grensen. Forbruket av energi innenfor systemgrensen innebærer elektrisitet til brukerstyr, belysning, pumper og vifter og både termisk og elektrisk energi til oppvarming av rom, tappevann og uteareal. For EPC-kontrakten inngår ikke termisk energi til nedkjøringsrampe, trapp ute og driftsgarasje, samt elektrisk energi til scooter, lading av elbil og utebelysning. Disse verdiene inngår i oppgavens målte og beregnede termiske og elektriske behov, men trekkes fra under utregning av energiregnskapet for EPC-kontrakten. Energi som flyttes over systemgrensen regnes som import og eksport.

6.2 Behandling av data og avgrensninger

For bedre oversikt over verdiene og trender gjennom året, ble verdiene fra energipostene i Skanskas oversikt bearbeidet i Excel, og det ble fremstilt grafer med målte og prosjekterte verdier måned for måned. Det ble oppdaget små differanser mellom oppgitte summerte verdier på årsbasis og manuell summering av de månedlige verdiene. Det er i hovedsak valgt å benytte manuelle summeringer av data måned for måned fremfor oppgitte summeringer i tilfeller der det er mulig, ettersom det er usikkert hvor oppgitte summeringer kommer fra.

Datagrunnlaget inneholder verdier korrigert med tanke på EPC-kontrakten. De korrigerte verdiene er estimert fra den reelle brukstiden til bygget som ble prosjektert kortere enn det viste seg å være. Korrigerte verdier er korrigert på årsbasis og ikke månedsbasis, ettersom de benyttes for energiregnskap i forbindelse med EPC-kontrakten som kun ser på årsverdier. Kombinasjonen med at korrigeringsene er gjennomført etter prosjektering og at det ikke er data på månedsbasis resulterte i valg om å hovedsaklig benytte prosjekterte verdier i denne oppgaven fremfor korrigerte, med unntak av energiregnskapet.

I årlig energiregnskap er det valgt å bruke oppgitte summeringer for elektrisk eksport på grunn av manglende verdi i august. De oppgitte totale tallene ble derfor sett på som mer nøyaktige og det forekommer avvikende totale verdier mellom tabellen for total elektrisk eksport og energiregnskapet.

I energiregnskapet for skoleåret 19/20 er verdiene hentet fra fjernvarme importert fra regnearket i vedlegg B og ikke summert fra fjernvarme til oppvarming av bygg og tappevann gjennom året. Det er mulig fordelingen av fjernvarmeimporten ikke samsvarer med virkeligheten, men antas i oppgaven å være tilnærmet riktig.

Fjernvarme hadde avvikende verdier fra august til oktober. Det var ikke målt bruk av fjernvarme til hverken bygg eller tappevann. Likevel var det importert til sammen i overkant av 20 000 kWh i denne perioden. Det ble valgt å inkludere denne fjernvarmeimporten i oppvarmingsbehovet til bygg. Grunnen til det var at trendene gjennom året viste størst forbruk av fjernvarme til oppvarming av bygg, mens oppvarmingsbehovet for tappevann kunne dekkes av tappevannsvarmepumpen.

For utregning av SPF-verdi for Winns CO₂-varmepumpen ble det valgt å ekskludere verdiene for månedene april og mai, hvor SPF var henholdsvis 1,55 og 0,5. Disse verdiene ble vurdert unaturlige ettersom de avviker mye fra resterende verdier.

På grunn av Covid-19-pandemien har datasettet benyttet i oppgaven avvikende verdier fra mars 2020 til juli 2020. Grunnen til dette er at skolen ble stengt ned, og energiforbruket er ikke representativt for normal bruk i denne perioden.

6.3 Temperaturkorrigering

Temperaturkorrigering av oppvarmingsbehov av bygg er nødvendig ettersom værforhold varierer. Enkelte år kan være kjøligere enn vanlig og vil føre til høyere oppvarmingsbehov, og andre kan være varmere og føre til mindre. Det er derfor gjennomført en temperaturkorrigering ved å benytte formel 5.1 fra kapittel 5.2 til å finne en korreksjonsfaktor for hver måned. Temperaturer benyttet i utregningen er hentet fra seklima.no og finnes i tabell 5.3. Prosjekteringene av Heimdal vgs. oppfyller kravene til passivhusstandard og det er derfor valgt basistemperatur 9°C i henholdt til passivhusnivå i tabell 5.2.

Det er valgt å korrigere prosjektert oppvarmingsbehov ettersom det i denne bacheloroppgaven fokuseres på å sammenligne målt oppvarmingsbehov med prosjektert. Det er prosjekterte verdier som er satt som referanseverdier og målte verdier vurderes opp mot disse. Prosjekterte verdier korrigeres for å bedre kunne sammenlignes med målt ut fra faktiske værforhold i perioden. Utregninger er gjort i Excel og finnes i vedlegg H. Oppvarmingsbehov til bygg hver måned er sammenlagte verdier funnet i vedlegg B for varme levert til skolen fra CHP-anlegg, fjernvarme til oppvarming og varme produsert fra varmepumpe.

I september og mai var $T_{ute,basis} - T_{ute,normal,i}$ eller $T_{ute,basis} - T_{ute,målt,i}$ mindre enn 1. Ved å bruke formel 5.1 fra standard SN/TR 3069:2019 ble de korrigerede prosjekterte verdiene unormalt høye eller lave. Det ble derfor besluttet å benytte formel 5.2 på disse månedenes korreksjonsfaktor. Ved å benytte formelen vil ikke det prosjekterte oppvarmingsbehovet i september og mai korrigeres, men det unngår unaturlige verdier.

6.4 Utregning av avvik

For å sammenligne de målte og beregnede verdiene er det i de fleste tilfeller regnet ut avvik fra de beregnede verdiene. Utregningen er utført slik det er vist i ligning 6.1. Avviket er oppgitt i prosent, M er målte data og B er beregnede verdier.

$$avvik = \frac{M - B}{B} \cdot 100 \% \quad (6.1)$$

6.5 Manglende data og tap

Opplysningene på grafene viser fordelingen på månedsbasis. Dette gir ikke et bilde av alt som kan oppstå i løpet av en måned og er ikke nødvendigvis representativt for alle dagene i måneden. Gjennom året har månedene forskjellig antall dager, og skolebygg er periodevis stengt i forbindelse med ferier. Dette er tatt i betraktning under vurdering av data.

Det er ikke fordeling av elektrisk forbruk måned for måned i datagrunnlaget. Dette gir usikkerhet i hvordan forbruket er fordelt utover året. Sammenligning av elektrisk forbruk med resterende data er derfor vanskelig. Det er i denne oppgaven for elektrisk forbruk forsøkt å se sammenhenger på årsbasis fremfor månedsbasis.

Fjernvarmeimport til oppvarming av tappevann hadde i begynnelsen ikke eget målepunkt. Fordeling av fjernvarmeimport til oppvarming av tappevann i datagrunnlaget er derfor estimerte verdier. Egen måler er i ettertid installert.

SCOP-faktor til varmepumpene skal opprinnelig ta utgangspunkt i karakteristiske parametre oppgitt av fabrikken. Datablad for varmepumpene har vært vanskelig å få tilgang til, så i denne oppgaven er SCOP-faktoren beregnet med utgangspunkt i prosjekterte totale månedlige verdier for produsert termisk energi og tilført elektrisitet oppgitt i vedlegg B.

7 Sammenligning av målte og prosjekterte verdier

Under planleggingen av Heimdal videregående skole ble det gjort beregninger for energisystemet, hvor mye de forskjellige komponentene skulle produsere og forbruke, og hvor mye energi som skulle eksporteres og importeres. For å nå de satte ZEB-ambisjonene må disse beregningene totalt sett stemme nokså godt med målingene under drift. I dette kapitlet er det presentert grafer med målte verdier satt opp mot prosjekterte. Til hver graf er det tabeller med totale verdier og avvikene mellom de. Alle verdier oppgitt i dette kapitlet er bruttoverdier.

Grafene er satt sammen med sammenstilte verdier fra enkeltkomponenter, energibehov og total eksport og import over systemgrensen. Samtlige grafer er fremstilt med målte verdier til venstre i mørke farger og de prosjekterte verdiene til høyre i lyse farger måned for måned. Data for målingene er fra august 2019 til juli 2020 og er oppgitt i *kWh*. Verdiene i grafene er hentet fra regnearket i vedlegg B og verdier for energiforbruk er hentet fra vedlegg A og B. Verdier for beregning på årlig energiregnskap er hentet fra vedlegg B og C og målinger for elektrisk eksport er hentet fra vedlegg D. Detaljert forbruk for juni og juli er presentert i vedlegg E og F.

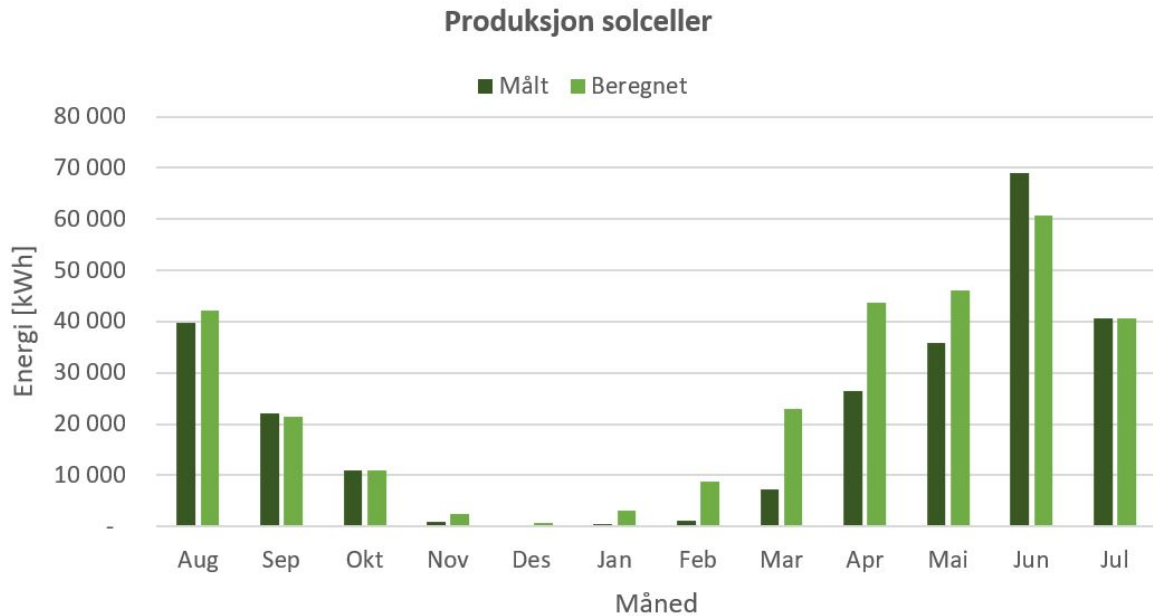
7.1 Energiproduksjon

På Heimdal videregående skole er det solcelle- og CHP-anlegget som produserer energi. CHP-anlegget produserte kun fra november til april i skoleåret 19/20 og solcellene produserte mest om sommeren. Produksjon innenfor systemgrensen er avgjørende for et nullutslippsbygg, der eksport av overskuddsenergi vil kompensere for elektrisk og termisk import fra strøm- og fjernvarmenettet.

Varmepumpene produserer også termisk energi fra elektrisk energi, men er valgt å ikke inkluderes i dette delkapitlet fordi varmpumpene kun produserer til eget forbruk uten mulighet til å eksportere energi. Produksjon fra varmpumpene er heller ikke inkludert i ZEB-regnskapet fordi det ikke eksporteres.

7.1.1 Solceller

Solcellene på taket til Heimdal vgs. produserer mest elektrisitet i perioder med mye solinnstråling. Dette medfører at det meste av produksjonen skjer i sommerhalvåret. Produksjonen fra solcellene bidrar til å dekke skolens elektrisitetsbehov og i perioder med overskudd kan det eksporteres til strømmettet.



Figur 7.1: Målt og beregnet månedlig elektrisk produksjon fra solcelleanlegget skoleåret 19/20.

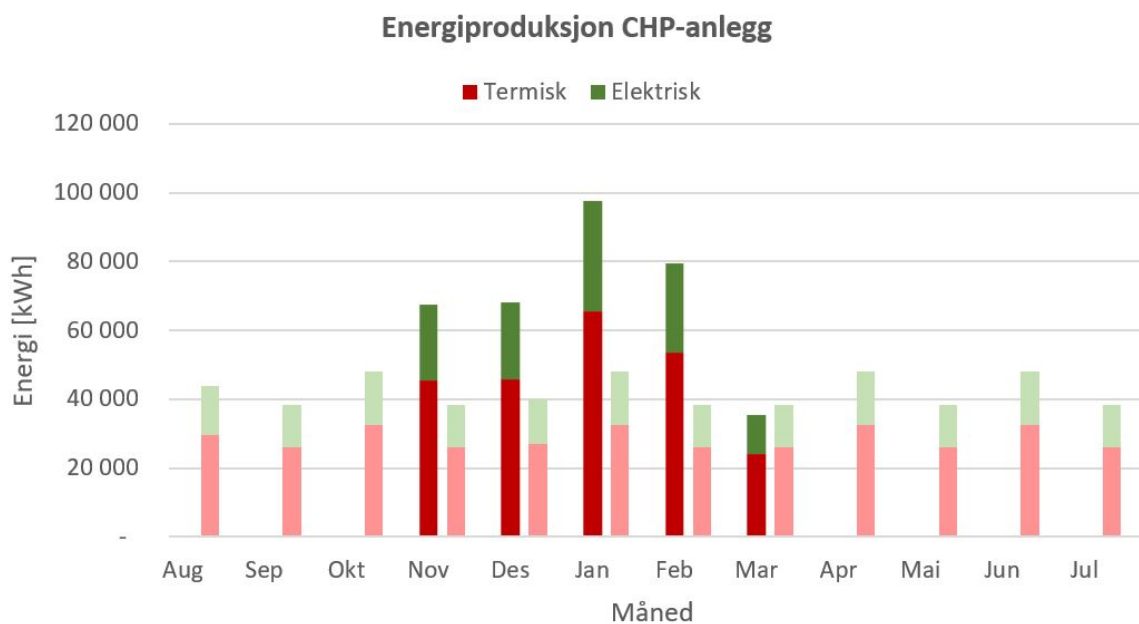
Tabell 7.1: Årlig målt og beregnet elektrisk energi produsert fra solcelleanlegget og avviket mellom de.

Målt [kWh]	Beregnet [kWh]	Avvik
254 697	303 585	-16,1 %

Produsert elektrisk energi fra solcelleanlegget er vist i figur 7.1. Grafen i figuren viser at de målte verdiene for produksjon stort sett var mindre enn de prosjekterte. Dette ga et totalt avvik på -16,1 %, vist i tabell 7.1. Solskinnstid er en uforutsigbar faktor som varierer fra år til år, og små avvik i produksjon fra solcelleanlegget er normalt.

7.1.2 CHP

CHP-anlegget, bestående av to motorer, produserer 33 % elektrisk og 67 % termisk energi. Den termiske energien blir først utnyttet i en høyvarmeveksler ved Husebyhallen og regnes som eksport ut fra systemgrensen. Den resterende varmen blir ført tilbake til skolen og utnyttet ved en lavere temperatur.



Figur 7.2: Målt og beregnet månedlig elektrisk og termisk produksjon fra CHP-anlegget skoleåret 19/20. Mørke farger er målte verdier og lyse farger er beregnede verdier.

Tabell 7.2: Målt og beregnet termisk og elektrisk produksjon fra CHP-anlegget, total produksjon og avviket mellom de.

	Målt [kWh]	Beregnet [kWh]	Avvik
Termisk	234 324	342 602	-31,6 %
Elektrisk	114 517	163 661	-30,0 %
Totalt	348 841	506 263	-31,1 %

I figur 7.2 kommer det frem at CHP-anlegget kun var i bruk i vintermånedene fra november til mars. Prosjekteringen tilsier at CHP-anlegget skulle produsere gjennom hele året uten sesongvariasjoner. Det totale avviket mellom prosjekterte og målte verdier fra tabell 7.2 var på 31,6 % for termisk og 30,0 % for elektrisk produksjon. Total produksjon var mindre selv om det i vinterhalvåret var produsert 1,7 ganger mer enn beregnet. Økningen i produksjon kan begrunnes med at behovet for termisk energi er størst på denne tiden av året når det er lavere utetemperatur og mer behov for oppvarming.

I januar var det målt størst total produksjon fra CHP-anlegget på 97 611 kWh. I løpet av de 744 timene i januar ga dette en gjennomsnittlig effekt på 131 kW, 13,6 kW mer enn merkeeffekt. Om dette er en målefeil eller reelle verdier er usikkert.

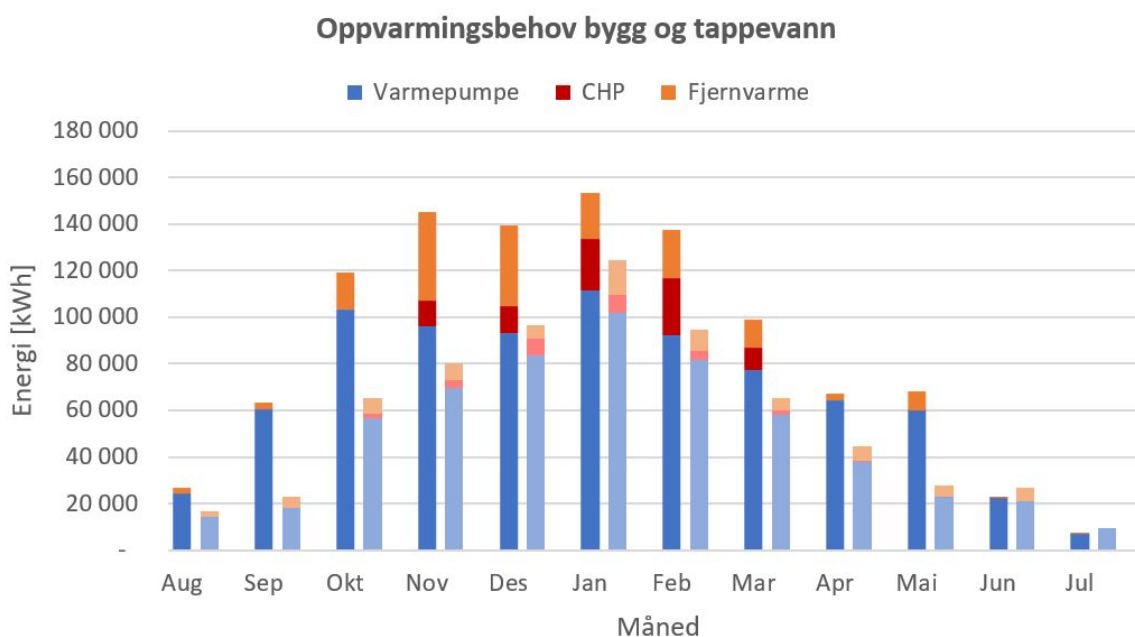
7.2 Energibehov innenfor systemgrensen

Energibehovet i bygget og flerbrukshallen presentert i dette delkapittelet, inkluderer både behov for termisk og elektrisk energi. Energibehovet blir dekket av energi levert av varmpumpene, CHP-anlegget og solcelleanlegget, samt importert fjernvarme og elektrisk energi. Hvilke poster den termiske og elektriske energien går til er beskrevet i tabell 7.7.

7.2.1 Oppvarmingsbehov bygg og tappevann

Skolens totale oppvarmingsbehov blir dekket av varmpumper, termisk energi fra CHP-anlegget og fjernvarme. Oppvarmingsbehovet består av romoppvarming gjennom radiatorer, gulvvarme og ventilasjon, oppvarming av tappevann, og termisk energibehov utenfor EPC-kontrakt.

Det er først og fremst varmpumpene som benyttes til oppvarming og deretter blir energi fra CHP-anlegget benyttet. Termisk energi fra CHP-anlegget går kun til oppvarming av bygg og har lavere temperatur etter det har passert høyvarmeveksleren i Husebyhallen. Fjernvarme blir benyttet når det ikke er tilstrekkelig termisk energiproduksjon fra varmpumpene eller CHP-anlegget. Energien fra fjernvarmen blir benyttet til oppvarming av bygget og tappevann.



Figur 7.3: Målt og beregnet månedlig oppvarmingsbehov til bygg og tappevann skoleåret 19/20. Mørke farger er målte verdier og lyse farger er beregnede verdier.

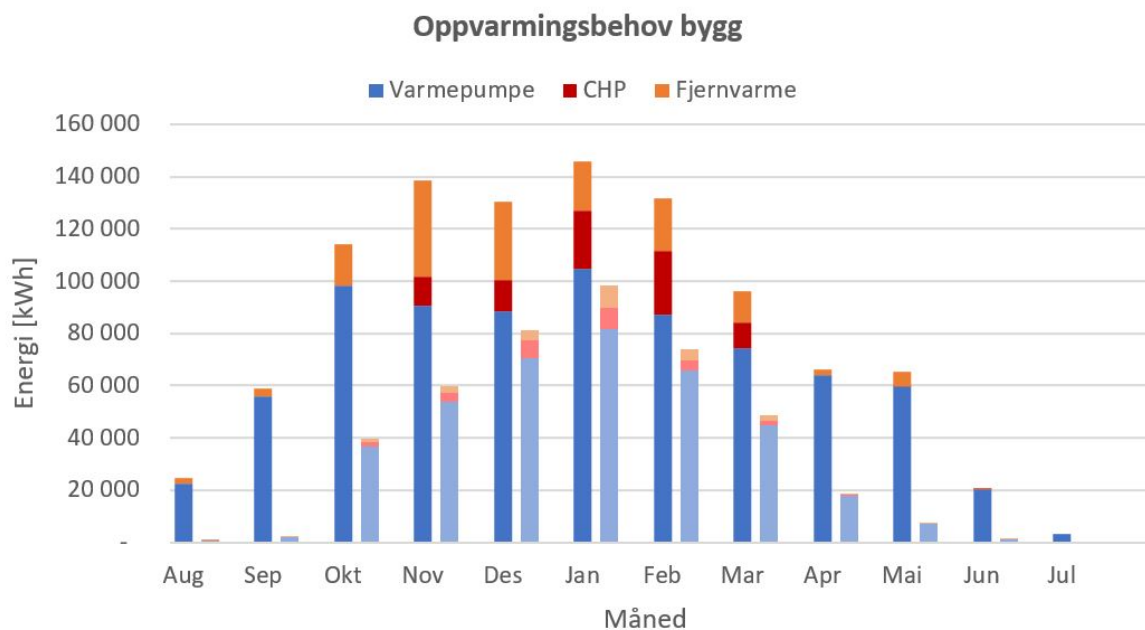
Tabell 7.3: Målt og beregnet oppvarmingsbehov til bygg og tappevann fra varmpumpe, CHP-anlegg og fjernvarme, totalt energibehov og avviket mellom de.

	Målt [kWh]	Beregnet [kWh]	Avvik
Varmepumpe	812 642	575 730	41,1 %
CHP-anlegg	79 210	26 461	199,3 %
Fjernvarme	156 924	73 150	114,5 %
Totalt energibehov	1 048 776	675 341	55,3 %

Det fremkommer fra figur 7.3 at målte verdier for oppvarmingsbehov til bygg og tappevann var høyere i alle månedene, med unntak av juni og juli. Varmepumpene sto for 77,5 % av det totale oppvarmingsbehovet, CHP-anlegget sto for 7,6 % og fjernvarme 15,0 %. Varmepumpene produserte 41,1 % mer enn prosjektert, som vist i tabell 7.3. CHP-anlegget og fjernvarme hadde store avvik på henholdsvis 199,3 % og 114,5 %.

Figuren viser at prosjektert oppvarmingsbehov til bygg og tappevann fra varmpumper var beregnet å være størst om vinteren, og dette stemmer overens med målte verdier. Likevel var de målte verdiene for oppvarming vesentlig høyere enn de beregnede. Det kommer tydelig frem i figuren at varmpumpene sto for den største delen av termisk energi til oppvarming med CHP og fjernvarme som supplerende kilder.

Sammensatt graf av mengden målt og beregnet energi for de ulike kildene til oppvarming av bygg er vist i figur 7.4. Energi fra varmpumpen kommer fra REFTEC-varmpumpen, fjernvarme er importert fra fjernvarmenettet og energien fra CHP-anlegget er resterende varme etter Husebyhallen har tatt mottatt etter eget behov.



Figur 7.4: Målt og beregnet månedlig oppvarmingsbehov til bygg skoleåret 19/20. Mørke farger er målte verdier og lyse farger er beregnede verdier.

Tabell 7.4: Målt og beregnet oppvarmingsbehov til bygg fra varmpumpe, CHP-anlegg og fjernvarme, totalt energibehov og avviket mellom de.

	Målt [kWh]	Beregnet [kWh]	Avvik
Varmepumpe	769 334	382 130	101,3 %
CHP-anlegg	79 210	26 461	199,3 %
Fjernvarme	146 790	23 378	527,9 %
Totalt energibehov	995 334	431 969	130,4 %

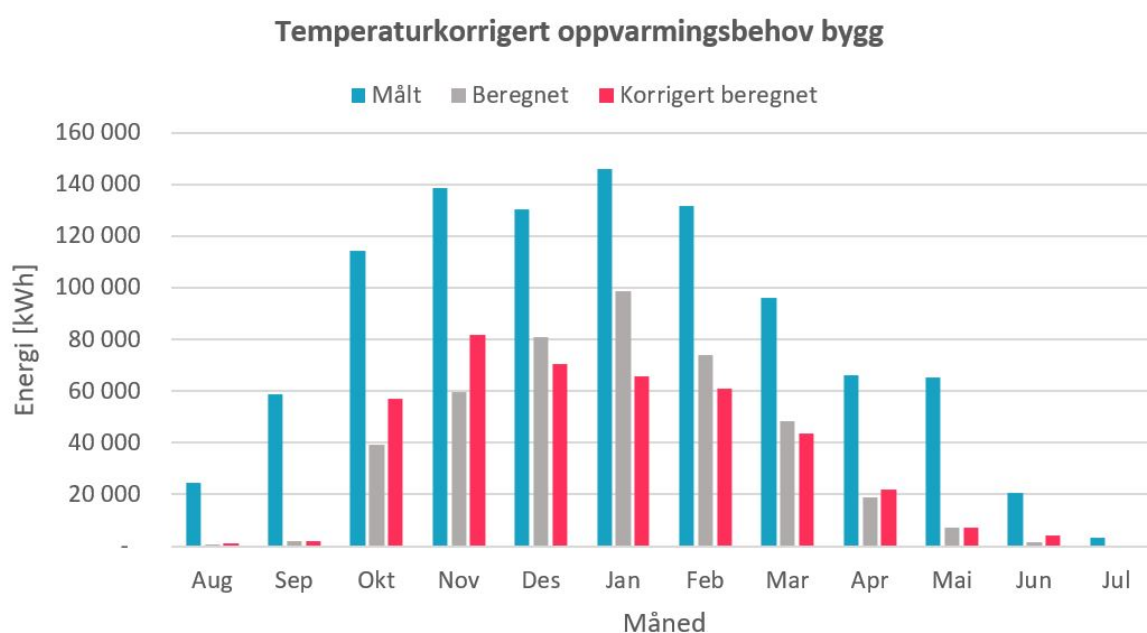
Figur 7.4 og tabell 7.4 viser et betydelig større oppvarmingsbehov for skolen enn beregnet. Målt oppvarmingsbehov var høyere enn beregnet i alle månedene med forholdsmessig størst forskjell i sommermånedene. Totalt var det målt 130,4 % mer energi til oppvarming enn prosjekteringene.

REFTEC-varmepumpen gir oppvarming til bygget fra energibrønnene. Under prosjektering av varmepumpen ble det beregnet at den skulle få tilført 103 679 kWh elektrisitet, og levere 382 130 kWh termisk energi til bygget. Ved å bruke formel 3.1 ga dette en SCOP-faktor på 3,69 for hele perioden. SPF for denne perioden ble beregnet til 3,60 fra formel 3.2. Det er lavere enn beregnet SCOP-faktor, men i dette tilfellet var det et veldig lavt avvik på -2,4 %.

CHP-anlegget var i drift fra november til mars, men var prosjektert til å kjøre hele året. I figur 7.4 og tabell 7.4 er det tydelig at det ble brukt mer energi enn prosjektert fra CHP-anlegget til oppvarming av bygget i perioden. I løpet av vinteren ble det benyttet tre ganger så mye energi som prosjektert innenfor systemgrensen fra CHP-anlegget for hele året.

Det var i utgangspunktet prosjektert at en liten andel av oppvarmingsbehovet til bygget skulle dekkes av fjernvarme. I praksis viste det seg at det ble benyttet 527,9 % mer energi fra fjernvarme enn prosjektert, som vist i tabell 7.4. Dette gjelder i vinterhalvåret fra november til mars, da oppvarmingsbehovet var størst. Det gjenspeiler at fjernvarmen ble benyttet som spisslast i perioder med stort behov.

Temperaturkorrigert oppvarmingsbehov beregnet i henhold til formel 5.1 og 5.2 er presentert i figur 7.5. Utregninger gjort i Excel er oppgitt i vedlegg H. Korrigerede beregnede verdier gir bedre grunnlag for sammenligning med målte verdier ut fra målte temperaturer gjennom året. Beregnede verdier er vedlagt i figuren som referanse. I tabell 7.5 er det gjengitt totalt målt og korrigert prosjektert oppvarmingsbehov med temperatur som grunnlag, samt avviket mellom de.



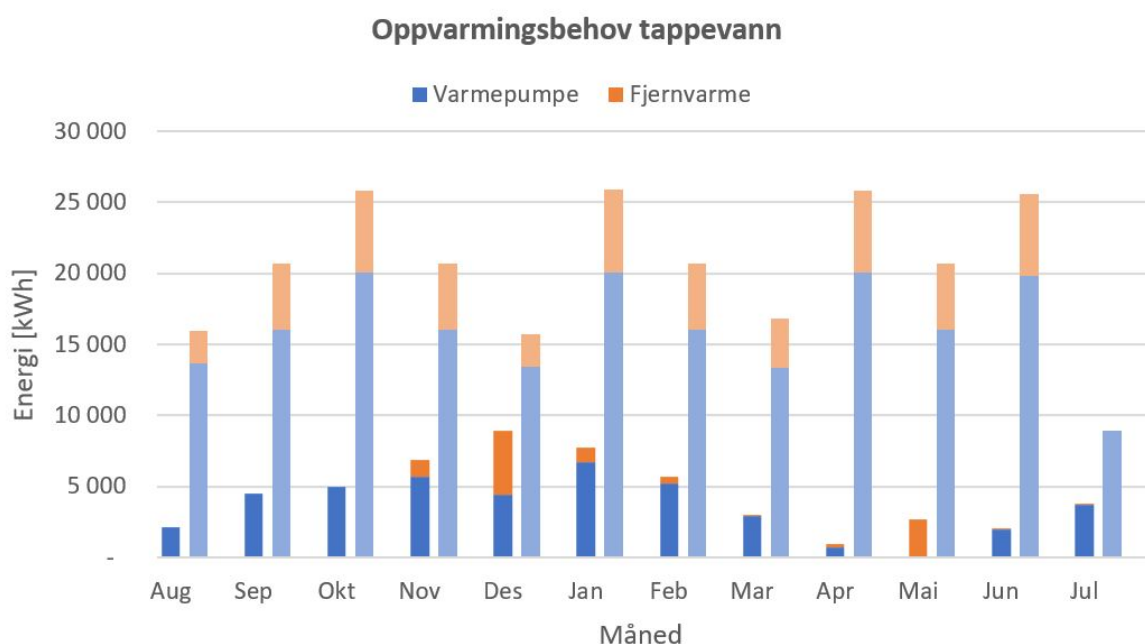
Figur 7.5: Temperaturkorrigerede beregnede verdier for oppvarmingsbehov til bygg satt opp mot målte og beregnede verdier skoleåret 19/20.

Tabell 7.5: Totalt temperaturkorrigert oppvarmingsbehov av bygg med beregnet avvik.

Målt [kWh]	Korrigert beregnet [kWh]	Avvik
995 334	416 202	139,1 %

Figuren viser at det totalt var målt et høyere energibehov til oppvarming av bygget enn både beregnet og temperaturkorrigert oppvarmingsbehov. Med utgangspunkt i temperatur skulle målt oppvarmingsbehov vært lavere enn prosjektert. Avviket mellom målt og korrigert beregnet på 139,1 % er større enn avviket mellom målt og faktisk prosjektert på 130,4 %. Dette vises i tabell 7.5 og 7.4.

Oppvarming av tappevannet til skolen og flerbrukshallen blir dekket av Winns CO₂-varmepumpen og fjernvarme. Det er i første omgang varmepumpen som blir benyttet for å varme opp tappevannet, og deretter benyttes fjernvarme ved behov. Målte og beregnede verdier av energibehovet for oppvarming av tappevann på månedsbasis er vist i figur 7.6. Verdier for totalt oppvarmingsbehov og avvik i løpet av året er oppgitt i tabell 7.6.



Figur 7.6: Målt og beregnet månedlig oppvarmingsbehov til tappevann skoleåret 19/20. Mørke farger er målte verdier og lyse farger er beregnede verdier.

Tabell 7.6: Målt og beregnet oppvarmingsbehov til tappevann fra varmepumpe og fjernvarme og avviket mellom de.

	Målt [kWh]	Beregnet [kWh]	Avvik
Varmepumpe	43 308	193 600	-77,6 %
Fjernvarme	10 134	49 772	-79,6 %
Totalt energibehov	53 442	243 372	-78,0 %

Figur 7.6 viser at det var målt betydelig lavere energibehov til oppvarming av tappevann enn beregnet hver måned. Totalt sett var det brukt mindre enn en fjerdedel av prosjektert energibehov, et avvik på -78,0 % fra beregningene. Varmepumpen sto for 81 % av oppvarmingen og fjernvarme sto for de resterende 19 %. I de fleste måneder sto Winns CO₂-varmepumpen for den største delen av oppvarmingsbehovet, men i desember og mai dekket fjernvarme en betydelig større andel av behovet. Dette kan være på grunn av driftsfeil på varmepumpen i disse periodene.

Winns CO₂-varmepumpen hadde en beregnet SCOP-faktor på 3,5. Denne verdien er beregnet fra formel 3.1 med utgangspunkt at det var prosjektert å tilføre 55 317 kWh elektrisitet og at varmepumpen skulle levere 193 600 kWh termisk energi til tappevannet. SPF for perioden ble 2,95 fra formel 3.2 og avviker med -15,7 % fra SCOP-faktoren. Dersom verdiene for april og mai blir inkludert i beregningen av SPF, gir dette en SPF-verdi på 2,87.

7.2.2 Energibehov

Skolens og flerbrukshallens totale energibehov skoleåret 19/20 er lagt inn i tabell 7.7. Tallene er hentet fra vedlegg A, med unntak av tallene for elektrisk energiforbruk til REFTEC- og Winns CO₂-varmepumpen som er lagt sammen av månedlige verdier fra vedlegg B. Energibehovet er fordelt mellom poster for skolen, flerbrukshallen og energiposter utenfor EPC-kontrakten. For hver post er det definert om det er termisk eller elektrisk energibehov, og det er definert både totalt energibehov i kWh og årlig spesifikt energibehov i $\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$ for målte og beregnede verdier. Verdien for driftsgarasjen er antatt ettersom målingen ikke er komplett for året, og er markert i rødt.

De største energipostene for skolen var oppvarming, belysning og brukerstyr. Oppvarming var posten med høyest energibehov og hadde 127,7 % høyere målt energibehov enn prosjektert. Spesifikt energibehov for denne posten var målt til 28,6 $\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$ mot en beregnet verdi på 12,6 $\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$. Målt elektrisk energibehov for brukerstyr var litt høyere enn beregnet og energibehovet til belysning var noe lavere. Det største avviket for postene som tilhører skolen var behovet for elektrisk energi til pumper, hvor det ble brukt 206,0 % mer energi enn prosjektert. Målt verdi for pumper har ett målepunkt og ble fordelt på skole og flerbrukshall basert på areal. Verdien inkluderer elektrisitet benyttet til pumper for energibrønn, tørrkjøler og heiser, samt sirkulasjonspumper.

Flerbrukshallen hadde totalt mindre energibehov enn skolen. De største postene var oppvarming gulvvarme, belysning og brukerstyr. Oppvarming gulvvarme, inkludert oppvarming av gulvvarme i garderobe og dusj, hadde 113,8 % høyere målt energibehov enn beregnet. Flerbrukshallen hadde også litt lavere energibehov for belysning og litt høyere energibehov for brukerstyr enn prosjektert. Oppvarming til tappevann var en post som hadde høyt beregnet spesifikt energibehov på 20,9 $\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$. Det målte energibehovet var halvert av dette, med spesifikt energibehov på 7,0 $\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$.

Termisk energi til nedkjøringsrampe og trapp ute var den største energiposten som ligger utenfor EPC-kontrakten. Denne posten hadde høyere målt energibehov enn prosjektert. Energibehovet, som inkluderer energi til parkeringskjeller, scooter, lading av el-bil og utebelysning,

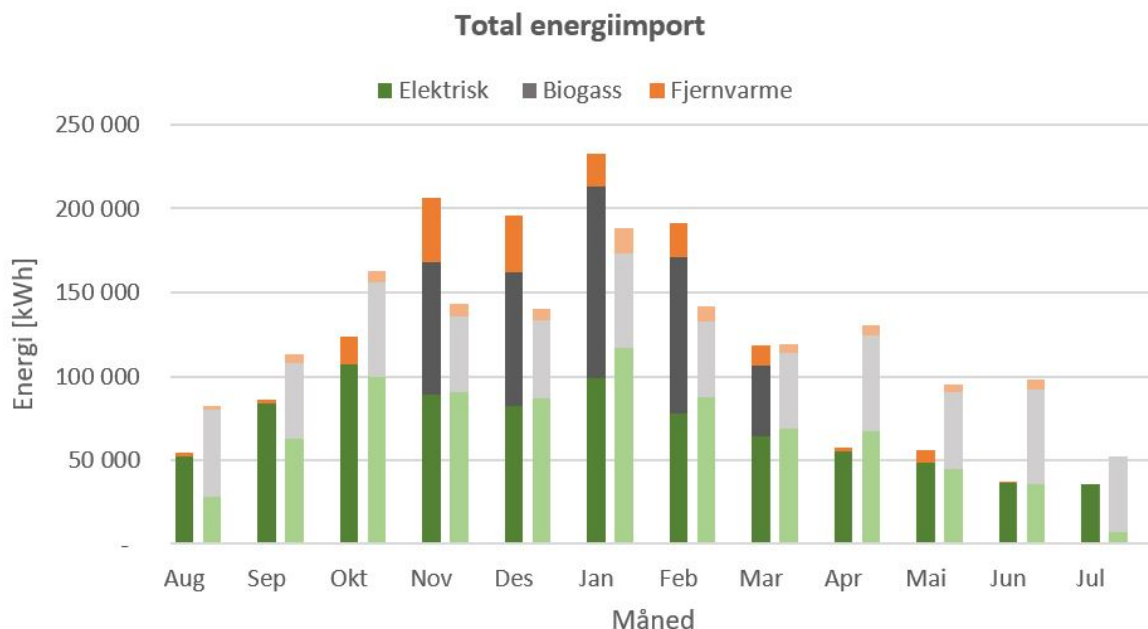
var 74,3 % lavere enn prosjektert. Energiforbruket til REFTEC-varmepumpen som brukes til oppvarming av bygget, var 106,1 % høyere enn prosjekteringene, og energiforbruket til Winns CO₂-varmepumpen til tappevannet var 72,7 % lavere.

Tabell 7.7: Sammenstilling av energibehov for skolen, flerbrukshallen, energiposter utenfor EPC-kontrakt og elektrisk energiforbruk til energiproduksjon. Tall er hentet fra vedlegg A. Merk at tall for REFTEC- og Winns CO₂-varmepumpen er lagt sammen av månedlige verdier i vedlegg B. Rødt tall indikerer antatt verdi ettersom målingen ikke var komplett for året.

Skole	Målt [kWh]	Målt [$\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$]	Beregnet [kWh]	Beregnet [$\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$]	Avvik
Oppvarming (termisk)	540 869	28,6	237 525	12,6	127,7 %
Oppvarming ventilasjon (termisk)	25 174	1,3	46 618	2,5	-46,0 %
Tappevannsoppvarming (termisk)	26 871	1,4	75 221	4,0	-64,3 %
Vifter (elektrisk)	59 316	3,1	66 915	3,5	-11,4 %
Belysning (elektrisk)	142 565	7,5	175 225	9,3	-18,6 %
Brukerutstyr (elektrisk)	231 785	12,2	206 651	10,9	12,2 %
Pumper (elektrisk)	37 720	2,0	12 327	0,7	206,0 %
Sum energibehov	1 064 300	56,2	820 482	43,4	29,7 %
Flerbrukshall					
Oppvarming gulvvarme (termisk)	72 550	9,4			
Oppvarming gulvvarme garderobe og dusj (termisk)	12 844	1,7	39 936	5,2	113,8 %
Oppvarming ventilasjon (termisk)	33 783	4,4	36 607	4,7	-7,7 %
Tappevannsoppvarming (termisk)	53 742	7,0	161 495	20,9	-66,7 %
Vifter (elektrisk)	27 845	3,6	53 240	6,9	-47,7 %
Belysning (elektrisk)	109 670	14,2	179 549	23,2	-38,9 %
Brukerutstyr (elektrisk)	57 327	7,4	46 746	6,0	22,6 %
Pumper (elektrisk)	15 367	2,0	3 167	0,4	385,2 %
Sum energibehov	383 128	49,6	520 740	67,4	-26,4 %
Energiposter utenfor EPC-kontrakt					
Nedkjøringsrampe (termisk)	193 980	7,3	44 997	1,7	139,5 %
Trapp ute (termisk)			35 981	1,4	
Driftsgarasje (termisk)	45 000	1,7	4 776	0,2	842,2 %
Parkeringkjeller (elektrisk)			43 800	1,6	
Scooter (elektrisk)			33 990	1,3	
Lading av el-bil (elektrisk)	67 388	2,5	159 940	6,0	-74,3 %
Utebelysning (elektrisk)			24 966	0,9	
Sum energibehov	306 368	11,5	348 450	13,1	-12,1 %
Energiforbruk til energiproduksjon					
REFTEC varmepumpe (elektrisk)	213 689	8,0	103 679	3,9	106,1 %
Winns CO ₂ -varmepumpe (elektrisk)	15 108	0,6	55 317	2,1	-72,7 %
Varmesentral (elektrisk)	53 087	2,0	40 000	1,5	32,7 %

7.3 Import og eksport av energi

Total energiimport inkluderer elektrisk energi fra strømmettet, fjernvarme fra fjernvarmenettet og beregnet import av biogass til CHP-anlegget. Biogassimport er beregnet ut fra hvor stort volum LBG Heimdal vgs. har fått levert og regnet om til kWh med et energiinnhold på $10 \frac{kWh}{Nm^3}$. Dette er fordi det ikke finnes en måler for uttak av biogass fra gasstank til CHP-anlegget.



Figur 7.7: Målt og beregnet månedlig energiimport skoleåret 19/20. Biogassimport er beregnet verdi fra formel 7.1 og fordelt på månedsbasis ut fra produksjon. Mørke farger er målte verdier og lyse farger er beregnede verdier.

Tabell 7.8: Målt og beregnet energiimport av elektrisitet, biogass og fjernvarme, total import og avviket mellom de.

	Målt [kWh]	Beregnet [kWh]	Avvik
Elektrisk import	830 262	796 577	4,2 %
Biogassimport	408 000	595 610	-31,5 %
Fjernvarmeimport	156 924	73 150	114,5 %
Total import	1 395 187	1 465 337	-4,8 %

I figur 7.7 er det presentert en sammenligning mellom målte og beregnede verdier for total energiimport i perioden. Biogassimport er fordelt ut fra prosentvis produksjon. Figuren viser at det var avvik for hver måned med høyere import enn prosjektert fra november til februar og mindre import resten av året. Totalt gjennom året ble avvikene jevnet ut til -4,8 %, vist i tabell 7.8. I figuren kommer det frem at det var prosjektert import av biogass gjennom hele året, men at det kun ble importert i månedene november til mars. Fjernvarme ble importert mer enn prosjektert i vintermånedene, mens elektrisk import var jevnere med de prosjekterte verdiene. Tabellen viser også den totale importen av elektrisitet, biogass og fjernvarme, og avvikene mellom målte og prosjekterte verdier.

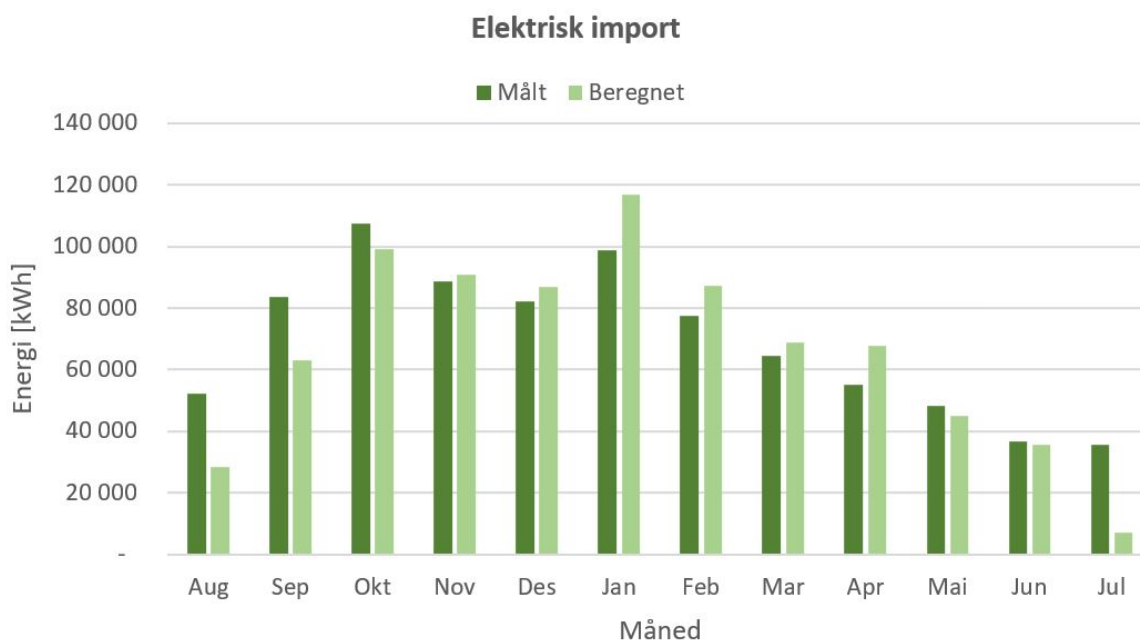
Total eksport er presentert i tabell 7.9 med fordeling mellom elektrisk og termisk eksport gjennom hele skoleåret. I perioden var det totalt eksportert 205 986 kWh over systemgrensen. Sammenlignet med beregningene på 361 538 kWh fremkom det et avvik på -43,0 %. Den termiske eksporten sto for den største delen av avviket. Grunner til dette kan være redusert import av biogass eller behovet til Husebyhallen. Elektrisk eksport hadde et mindre avvik på -12,9 %.

Tabell 7.9: Målt og beregnet elektrisk, termisk og total eksport fra solcelle og CHP-anlegget og avviket mellom de.

	Målt [kWh]	Beregnet [kWh]	Avvik
Elektrisk eksport	53 277	61 202	-12,9 %
Termisk eksport	152 709	300 336	-49,2 %
Total eksport	205 986	361 538	-43,0 %

7.3.1 Elektrisk import

Elektrisk import brukes i de elektriske komponentene i bygget, som belysning, brukerutstyr, oppvarming via varmepumpe, vifter og pumper. Den elektriske importen dekker det resterende behovet for elektrisk energi etter produksjon fra solcelle- og CHP-anlegget.



Figur 7.8: Målt og beregnet månedlig importert elektrisk energi fra strømmettet skoleåret 19/20.

Tabell 7.10: Målt og beregnet total elektrisk import og avviket mellom de.

Målt [kWh]	Beregnet [kWh]	Avvik
830 262	796 577	4,1 %

Elektrisk import måned for måned er vist i figur 7.8. Til tross for at det var enkelte avvik, med august og juli som de største, var det totale avviket kun på 4,1 %. Avviket samt den totale målte og beregnede elektriske importen er vist i tabell 7.10.

En tydelig trend i figuren er at det var importert mindre elektrisitet enn beregnet i månedene november til mars når CHP-anlegget var i drift. Tilsvarende var det importert mer i de resterende månedene når anlegget ikke produserte energi. I figuren kommer det også frem at det var beregnet minst import i sommermånedene, trolig på grunn av lite oppvarmingsbehov i sommerferien og høy elektrisk produksjon fra solcelleanlegget. I tillegg var det prosjektert elektrisk produksjon fra CHP-anlegget gjennom hele året som førte til at den elektriske importen ble prosjektert lavere.

7.3.2 Biogassimport

Heimdal vgs. fikk importert biogass tre ganger hver sjette uke i løpet av vinteren på rundt 13 600 Nm³ hver. Det ga i følge ligning 7.1 en total biogassimport på 408 000 kWh, ved antatt energiinnhold for biogassen på 10 $\frac{kWh}{Nm^3}$.

$$E = 3 \cdot 13\,600 \text{ Nm}^3 \cdot 10 \frac{\text{kWh}}{\text{Nm}^3} = 408\,000 \text{ kWh} \quad (7.1)$$

Sammenlignet med produksjonen ga dette en total virkningsgrad på 85,4 %, en elektrisk virkningsgrad på 28,1 % og en termisk virkningsgrad på 57,4 %.

Tabell 7.11: Målt og beregnet total import av biogass og avviket mellom de. Målt verdi er regnet ut fra ligning 7.1.

Målt [kWh]	Beregnet [kWh]	Avvik
408 000	595 610	-31,5 %

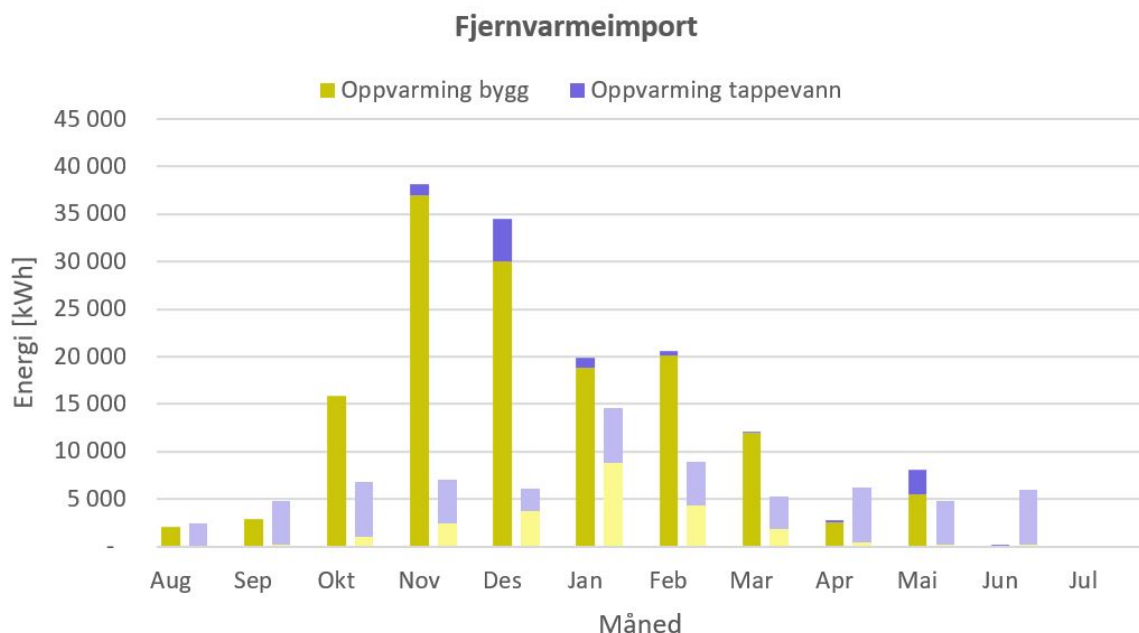
Tabell 7.11 viser at det i løpet av vinteren var importert 187 610 kWh mindre enn beregnet. Dette ga et totalt avvik på -31,5 %. CHP-anlegget kjørte kun i fem av tolv prosjekterte måneder, og det var importert mer biogass enn prosjektert hver av disse månedene. Dette er fordi anlegget produserte tilnærmet maksimalt denne korte perioden.

7.3.3 Fjernvarmeimport

Den termiske energien importert fra fjernvarmenettet brukes til oppvarming av bygg og tappevann. Varmen importeres fra forbrenningsanlegget på Heimdal via distribusjonsnettet til Statkraft Varme. Fjernvarme blir brukt som supplerende energikilde i perioder energien fra varmegjælpene og CHP-anlegget ikke dekker behovet.

Grafen i figur 7.9 presenterer fordelingen av fjernvarme til oppvarming av bygg og tappevann. Fjernvarmeimport til oppvarming av bygg og tappevann hadde et felles målepunkt og fordelingen

mellom disse er estimert. Figuren viser store avvik hvor november og desember hadde de største avvikene fra prosjekterte verdier på henholdsvis 427 % og 451 %.



Figur 7.9: Målt og beregnet månedlig fjernvarmeimport skoleåret 19/20. Fjernvarmeimport hadde et felles målepunkt og fordelingen av fjernvarme til oppvarming av bygg og tappevann er estimert. Mørke farger er målte verdier og lyse farger er beregnede verdier.

Tabell 7.12: Målt og beregnet import av fjernvarme til oppvarming av bygg og tappevann, totalt behov for fjernvarme og avviket mellom de.

	Målt [kWh]	Beregnet [kWh]	Avvik
Oppvarming bygg	146 790	23 378	527,9 %
Oppvarming tappevann	10 134	49 772	-79,6 %
Totalt energibehov	156 924	73 150	114,5 %

Tabell 7.12 viser den totale mengden målt og beregnet fjernvarmeimport, hvor den var fordelt, samt avviket. Totalt ble det importert 114,5 % mer fjernvarme enn beregnet. Majoriteten av målt fjernvarmeimport var brukt til oppvarming av bygg. Totalt var det brukt over 100 000 kWh mer enn prosjektert til denne posten, og det ga et stort avvik på 527,9 %. Avviket kan sees i sammenheng med at det totale oppvarmingsbehovet til bygget var mye høyere enn prosjekteringene og at fjernvarme ble benyttet som spisslast.

Importert fjernvarme til oppvarming av tappevann var prosjektert høyere enn til oppvarming av bygg, som vist i tabell 7.12. I samsvar med at det totale oppvarmingsbehovet til tappevann var lavere enn prosjektert, var også import av fjernvarme til denne posten lavere. Dette var en betydelig reduksjon og ga et avvik på -79,6 % fra beregningene.

7.3.4 Elektrisk eksport

Solcelle- og CHP-anlegget står for den elektriske produksjonen i bygget, og strømmen kan eksporteres til strømmettet ved overskudd. Elektrisk eksport er fremstilt i grafen i figur 7.10 med målte og beregnede verdier for hver måned gjennom perioden. I august var målingen satt til null og markert med rødt i regneaket i vedlegg D. Dette tyder på at det er manglende måling denne måneden.



Figur 7.10: Målt og beregnet månedlig elektrisk eksport skoleåret 19/20.

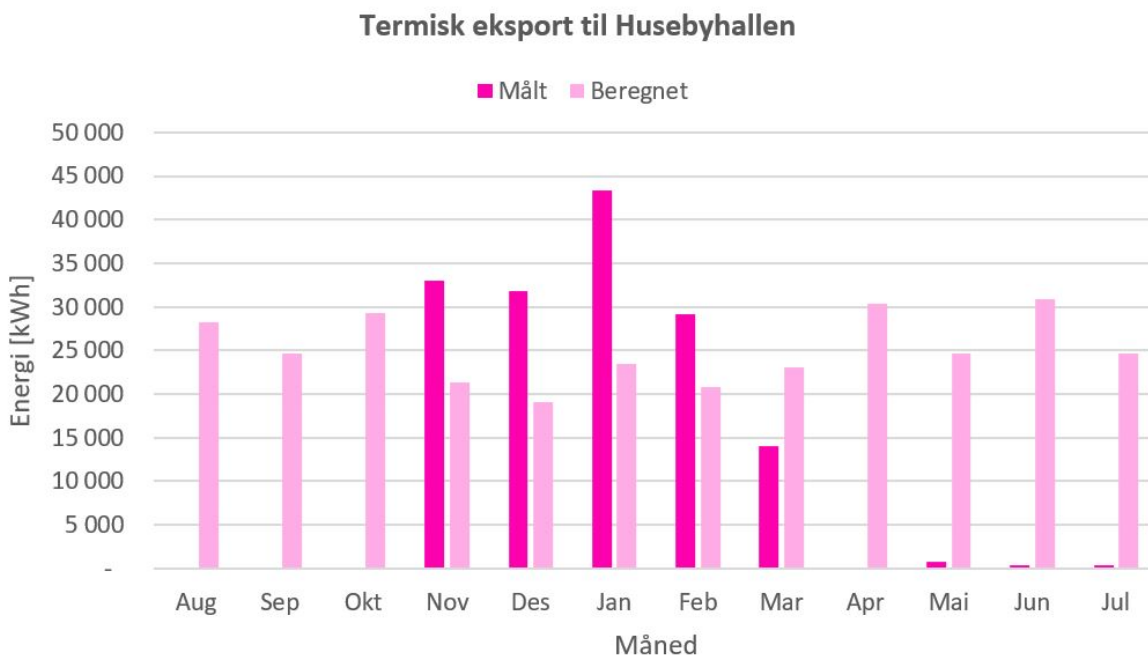
Tabell 7.13: Målt og beregnet total elektrisk eksport og avviket mellom de.

Målt [kWh]	Beregnet [kWh]	Avvik
53 277	61 202	-12,9 %

Eksporten av elektrisk energi var i denne perioden registrert mellom april og juli, samt september, med størst eksport i juni og juli. I august var det beregnet 14 000 kWh elektrisk eksport. Den fraværende målte verdien denne måneden gjør totale verdier og avvik usikre. Differansen mellom beregnet og målt verdi i tabell 7.13 var 7 925 kWh. Total elektrisk eksport hadde gjennom året et avvik på -12,9 %. Mellom november og mars var det ikke målt elektrisk eksport. Det betyr at CHP-anlegget kun bidro med termisk eksport til Husebyhallen og ikke eksporterte elektrisk energi til strømmettet.

7.3.5 Termisk eksport

Den termiske energien eksportert ut fra systemgrensen til Heimdal vgs. er produksjonen fra CHP-anlegget som går til Husebyhallen. Dette er eneste mulighet for termisk eksport fra skolen. Månedlig eksport er fremstilt i figur 7.11. Eksporten fulgte produksjonsmønsteret til CHP-anlegget fra grafen i figur 7.2. I månedene mai, juni og juli var det registrert små mengder eksport, men dette antas å være en feilmåling da CHP-anlegget produserte mindre enn eksportert.



Figur 7.11: Målt og beregnet månedlig termisk eksport til Husebyhallen skoleåret 19/20.

Tabell 7.14: Målt og beregnet total termisk eksport og avviket mellom de.

Målt [kWh]	Beregnet [kWh]	Avvik
152 709	300 336	-49,2 %

I tabell 7.14 er den totale termiske eksporten for hele perioden fremstilt. Totalt var det et avvik på -49,2 %, som tilsvarer at det kun var eksportert halvparten av mengden termisk energi sammenlignet med beregningene. Dette kan ha sammenheng med den korte produksjonsperioden til CHP-anlegget og størrelsen på varmeveksleren i Husebyhallen.

7.4 Energiregnskap

Gjennom året har Heimdal vgs. importert og eksportert termisk og elektrisk energi over systemgrensen i perioder det har vært overskudd eller underskudd av energi. Netto energiforbruk er differansen mellom kjøpt og solgt energi. Tabell 7.15 viser energiregnskapet til skolen i perioden august 2019 til juli 2020. Regnskapet inkluderer målte, beregnede og EPC-korrigerede verdier. EPC-korrigerede verdier er inkludert i tabellen for å illustrere resultatet av EPC-avtalen mellom Skanska og Trønderlag fylkeskommune. De gir også et bilde på hvor stor endring korrigeret brukstid gir i netto energiforbruk.

Tabell 7.15: Energiregnskapet skoleåret 19/20 med målte, beregnede og korrigerede verdier i henhold til EPC-kontrakten. Oppgitte verdier er manuelle summeringer fra vedlegg B og elektrisk eksport er oppgitt summering fra vedlegg C.

	Målt [kWh]	Beregnet [kWh]	EPC-korr [kWh]
Elektrisk import	830 262	796 577	932 675
Fjernvarmeimport	156 881	74 636	105 437
Biogassimport	408 000	595 610	589 151
Total importert energi	1 395 143	1 466 823	1 627 263
Termisk eksport	152 709	300 336	281 336
Elektrisk eksport	59 023	58 026	46 938
Total eksport	211 732	358 362	328 274
Netto energiforbruk	1 183 411	1 108 461	1 298 989
Poster utenfor EPC-kontrakt	306 368	348 450	348 450
Sum import - eksport - EPC	877 043	760 011	950 539

Regnskapet viser at skolens netto energiforbruk var høyere enn beregnet. Det var importert over dobbelt så mye fjernvarme som beregnet og eksportert rundt halvparten av beregnet termisk eksport. I tillegg var det importert vesentlig mindre biogass enn prosjektert.

Tabellen viser at forholdet mellom biogassimport og termisk eksport var prosjektert til 50 %. Målingene viser at andelen biogassimport som resulterte i termisk eksport kun utgjorde 37 %. Dette vil si at en større andel av den termiske energien ble brukt innenfor systemgrensen.

Når total eksport og poster utenfor EPC-kontrakten ble trukket fra total import ga dette et avvik på 15,4 % fra beregningene. Korrigerede verdier fra EPC-kontrakten ble endret etter lengre brukstid. Avviket mellom målt og EPC-korrigerede verdier var -7,7 %. Det vil si at bygget hadde bedre energiregnskap etter korrigeringen. Dette avviket er innenfor grensen for akseptabelt avvik til EPC-kontrakten mellom Skanska og Trøndelag fylkeskommune.

8 Erfaringer fra prosjektet

I denne delen av oppgaven blir det reflektert rundt resultatene fra kapittel 7 og teksten refererer til figurer og tabeller. Det blir reflektert rundt energibruk, energiproduksjon samt eksport og import av energi, og mulige grunner til avvikene og hvilke konsekvenser de medfører. Årsregnskapet blir vurdert og det blir kommentert på hvordan samspillet mellom energisystemene har fungert.

Kapittelet har inkludert resultater fra samtaler med driftsansvarlig ved Heimdal videregående skole, Lars Bjørkander, energi- og miljøansvarlig Torger Mjønes fra Trøndelag fylkeskommune og seniorrådgiver Tore Wigenstad fra Skanska. Under samtalene kom det frem erfaringer fra prosjektering og drift av skolen. For å enklest mulig skille mellom partene er utsagnene i denne delen av oppgaven representert som utsagn fra Skanska og Trøndelag fylkeskommune. Utsagnene er hentet fra møtene og er meninger og erfaringer fra enkeltpersonene. Dette betyr ikke nødvendigvis at det er konsensus til disse utsagnene fra hele selskapet de representerer.

8.1 Oppvarmingsbehov

Totalt oppvarmingsbehov til Heimdal vgs. skoleåret 19/20 er presentert i grafen i figur 7.3 og viser sammenstillingen av målt og prosjektert energibehov til oppvarming av tappevann og bygg. Grafen viser store avvik i form av for høyt målt behov sammenlignet med prosjektert behov for alle månedene sett bort fra juni og juli. Totalt var det 55,3 % avvik fra prosjekteringen. Dette var et vesentlig avvik med flere mulige forklaringer.

I de adskilte grafene for oppvarming av bygg i figur 7.4 og oppvarming av tappevann i figur 7.6 fremkommer det store avvik. Oppvarming av bygg hadde høyere verdier enn prosjektert og tappevann hadde lavere. Den sammenstilte grafen i figur 7.3 vil likevel ikke utjevnes i stor grad på grunn av at oppvarmingsbehovet til tappevann utgjorde en liten mengde energi sammenlignet med oppvarmingsbehovet til bygg.

Den store andelen energi til oppvarming tydeliggjør viktigheten av at oppvarmingsbehovet blir beregnet så nøyaktig som mulig under prosjektering. Det bidrar til at de forskjellige postene i energisystemet blir dimensjonert korrekt og dermed minker behovet for import av termisk og elektrisk energi over systemgrensen. En konsekvens av at oppvarmingsbehovet var høyere enn dimensjoneringen er økt bruk av spisslast. Denne energibæreren er sistevalg ettersom den er minst gunstig med tanke på klima og økonomi.

Varmepumpene den bærende oppvarmingskilder for bygg og tappevann, som vist i figur 7.3, og leverte 77,5 % av det totale energibehovet til oppvarming. Figuren viser at det var beregnet lite bruk av termisk energi fra CHP-anlegget og fjernvarme sammenlignet med varmpumpene. Selv om varmpumpene produserte mer enn prosjektert, var det likevel brukt en del mer fjernvarme og termisk energi fra CHP-anlegget som spisslast for å dekke behovet.

En viktig faktor for korrekt beregning av oppvarmingsbehov er brukstid. For skolebygget ble det antatt kortere brukstid enn det viste seg å være, og det kan ha ført til for lave prosjekteringer. Selv om behovet time for time var riktig kan et økt antall timer med personbelastning ha ført til økt energibehov. Det er forskjeller på brukstid fra bygg til bygg, og det kunne vært nyttig med

bedre dialog mellom entreprenør, byggherre, driftsansvarlig og personell om hvilke tider bygget skulle være i bruk. På denne måten kunne feil beregning av brukstid vært unngått.

Når det målte oppvarmingsbehovet til tappevann og bygg legges sammen utjevner de hverandre til en viss grad. Det at oppvarmingsbehovet til tappevann var betydelig lavere enn prosjektert kan ha ført til at høyt energibehov på andre energiposter kan forekomme uten å bli oppdaget. Overforbruk på andre poster kan derfor forekomme uten å gi utslag på det totale oppvarmingsbehovet.

I tabell 7.7, under *Energiposter utenfor EPC-kontrakt*, var totalt behov for termisk energi til snøsmelting av nedkjøringsrampen og trapp ute bereget til rundt 80 000 kWh. Målt verdi for behovet i perioden var på 200 000 kWh, med et avvik på 139,5%. Denne posten ligger utenfor EPC-kontrakten, men er med på totalbildet og er inkludert i oppvarmingsbehovet til bygg i figur 7.3 og 7.4.

Snøsmelting er en faktor som kan bli neglisjert både på grunn av lavt oppvarmingsbehov til tappevann og at det er vanskelig å oppdage om det står på. Den kan bruke energi store deler av året uten å bli lagt merke til, ettersom oppvarming av bakken bare er merkbart når det er is og snø. Snøsmelting styres av sensorer som måler temperatur og nedbør, og disse sensorene har i følge driftsansvarlig vært utfordrende å justere[52]. Nedjustering av sensorene har tidligere ført til tilfeller av is og glatt nedkjøringsrampe til parkeringskjeller og driftsgarasje[52]. Hvis sensorene er justert for høyt kan snøsmelting starte unødvendig og termisk energi sløses bort. Ettersom det kan være vanskelig å sette riktig settpunkt, kan feil justering være grunnen til større behov enn prosjektert.

8.1.1 Oppvarming av bygg

Det har vært flere oppfølgingsmøter mellom Skanska og Trønderlag fylkeskommune etter at skolen ble ferdigstilt og driftsfasen startet[16]. En gjentagene tematikk på møtene var det store oppvarmingsbehovet bygget har vist seg å ha[16]. Oppvarmingsbehovet er vist i figur 7.4, hvor det kommer frem at behovet til oppvarming av bygget var gjennomgående større enn prosjekteringen.

Komponenten som sto for den største delen av oppvarmingen var REFTEC-varmepumpen, med høyest produksjon i januar. Det var relativt jevn produksjon fra varmepumpene gjennom hele vinteren, med små variasjoner. Variasjonene i produksjonen kan skyldes forskjellig brukstid hver måned, måleusikkerhet som følge av oppløsning av grafene og varierende temperatur i energibrønnene.

Varmepumpen er den foretrukne oppvarmingskilden på grunn av lite tilført elektrisk energi i forhold til produsert termisk energi, og det faktum at skolen produserer deler av denne elektriske energien selv. Den kjørte i skoleåret 19/20 tilnærmet maksimalt gjennom vinteren. Likevel vises det i figur 7.4 at fjernvarme og CHP ble brukt for å supplere oppvarmingsbehovet til bygget. I tabell 7.4 kommer det frem avvik på 199,3 % og 527,9 % for henholdsvis CHP-anlegget og fjernvarme. Dette tyder på at varmepumpen hadde nådd maksimal ytelse og at spisslast måtte benyttes i betydelig større grad enn beregnet.

Brukstiden til bygget har i driftsfasen vært lengre enn prosjektert. Dette har bidratt til det økte oppvarmingsbehovet. Lengre brukstid enn prosjektert betyr at oppvarming av bygg og oppvarming av ventilasjonsluft måtte kjøre lengre enn planlagt, og dette ga utslag på målt oppvarmingsbehov sammenlignet med beregnede verdier i figur 7.4.

Trøndelag fylkeskommune har også sett at brukstiden det ble operert med i prosjekteringene er for kort. De ser at brukstiden i praksis er lengre enn det som er oppgitt i standarden NS 3031, særlig med tanke på ventilasjon. Det er blant annet renhold på morgenen som fører til en forlenget brukstid. De utforsket derfor muligheten for å kun ventilere soner renholderne oppholdt seg i, men det viste seg å være logistikkmessig utfordrende å utføre i praksis.[16]

Radiatorne, som står for en del av romoppvarmingen på skolen, må synkroniseres med ventilasjonsluften slik at de ikke motvirker hverandre. Hvis ventilasjonsluften kommer inn i rommet med en temperatur lavere enn settpunkttemperaturen på radiatorne, vil radiatorne kontinuerlig avgi termisk energi for å oppnå ønsket temperatur. Det er derfor viktig å justere ventilasjonen og radiatorne sammen. Ventilasjonen er koblet opp til SD-anlegget og kan justeres fra IWMAC systemet, men radiatorne må justeres manuelt[3]. Feil justering av radiatorne opp mot ventilasjon kan være en grunn til det store energibehovet til oppvarming.

En annen grunn til det store oppvarmingsbehovet kan være styringen av ventilasjonsanlegget. Hvert av de 54 anleggene i bygget står for ventilasjon av opp til seks rom. I det tilfellet hvor kun ett av de seks rommene er i bruk vil ventilasjonen skru seg på i alle seks. Temperaturen i rom med høy personbelastning vil være høyere enn i rom som ikke er i bruk ettersom personer avgir 90 kW effekt. Ventilasjonsluften vil derfor være kjøligere enn settpunkttemperaturen for radiatorer og ventilasjon i rommet for å kjøle ned varmen som kommer fra personer. Kombinasjonen med ventilerings av tomme rom og forskjell i temperatur fra ventilasjonsluft og innstilling på radiator kan føre til unødvendig oppvarming og økt oppvarmingsbehov.

Entreprenøren Skanska ønsket at Heimdal vgs. skulle ha et ventilasjonssystem med rominndeling slik at ventilasjonen blir styrt ut fra behovet til hvert enkelt rom[15]. Trøndelag fylkeskommune hadde dårlige erfaringer med et slikt ventilasjonssystem fra et annet skolebygg, og ønsket derfor soneinndeling der bruken av ventilasjon skulle bli styrt likt ut fra det rommet med høyest CO₂-innhold eller temperatur i sonen[15]. Det at resultatet ble et ventilasjonssystem med soneinndeling, og ikke rominndeling, kan ha vært en faktor som forklarer det store oppvarmingsbehovet i bygget. Siden klassene i forskjellige studieprogram på Heimdal vgs. er av varierende størrelse kan det være en utfordring med ujevn personbelastning i klasserom under samme ventilasjonsone.

Det soneinndelte ventilasjonssystemet ser ut til å ha vært en av hovedgrunnene til det høye oppvarmingsbehovet til bygget. I følge tabell 7.7 var oppvarmingsbehovet til både skolebygget og flerbrukshallen dobbelt så høyt som prosjektert. Hvis hoveddelen av dette var grunnet ujevn personbelastning i rommene innenfor en sone kan det stilles spørsmål om valg av ventilasjonsløsning var riktig. Fylkeskommunen ønsket ikke ventilasjon av hvert enkelt rom grunnet tidligere problemer med løsningen, men soneinndelt ventilasjon kan i Heimdal vgs. ført til et høyere oppvarmingsbehov enn prosjektert. Problemene med de ulike løsningene for ventilasjon burde veies opp mot hverandre ved oppføring av fremtidige bygg. I en energieffektiv skole kan det være gunstig med den løsningen som fører til minst energibehov.

Under prosjektering av skolen ble det beregnet oppvarmingsbehov ut fra en settpunkttemperatur på 21°C. Det ble under oppfølgingsmøter mellom Skanska og fylkeskommunen sett på muligheter for å minke oppvarmingsbehovet i bygget[16]. Det ble derfor vurdert å senke temperaturen[16]. Dette lot seg ikke gjøre med hensyn til komforttemperatur, særlig ettersom det er flere klasserom i samme temperatursone[16]. Etter tilbakemeldinger driftsansvarlig hadde mottatt angående for kalde klasserom, ble temperaturen i stedet justert opp i flere soner[52]. Dette førte naturligvis til et økt oppvarmingsbehov og kan ha bidratt til avviket mellom de målte og prosjekterte verdiene. Erfaringer fra drift sa også at det var vanskelig å kontrollere hvor mye varme hver enkelt radiator leverte og dermed også finne hvilke rom eller soner som hadde størst behov for oppvarming[15].

Entreprenøren undervurderte behovet for radiatorene som oppvarmingskilde under prosjektering[15]. Radiatorene ble derfor ikke koblet til SD-anlegget for å gi mulighet til å justere temperatur eksternt og gi oversikt over hvilke radiatorer som forbruker mest termisk energi[15]. Dette burde vært gjort for å enklere justere settpunkttemperaturen på radiatorene, slik at de justeres bedre mot ventilasjonsanlegget. Ved å overvåke og regulere systemet gjennom et SD-anlegg kunne det også enklere blitt justert etter personbelastning og behov.

Temperaturkorrigering av oppvarmingsbehovet til bygg i figur 7.5 viser at været skoleåret 19/20 ikke teoretisk sett bidro til høyere oppvarmingsbehov. Avviket mellom målte og korrigerede prosjekterte verdier er 8,7 % høyere enn avviket mellom målte og prosjekterte. Temperaturene dette året burde derfor teoretisk sett ført til et lavere oppvarmingsbehov enn prosjektert. Det er motsatt av det som er målt og det tyder på at det var andre faktorer enn temperatur som bidro til det høye oppvarmingsbehovet til oppvarming av bygg.

Januar hadde høyest oppvarmingsbehov av bygg i hele perioden. Dette samsvarer ikke med grafen med temperaturkorrigeringer. I følge grafen skulle januar hatt et vesentlig redusert oppvarmingsbehov ut fra temperaturene denne måneden, og lavere enn både november og desember. Grunnen til det store energibehovet er vanskelig å finne fra tilgjengelig data. Det er mulig målefeil, ujevn personbelastning i rom innenfor sonene eller mye termisk energi til andre energiposter, som snøsmelting, kan ha virket inn.

Med utgangspunkt i temperatur som hovedfaktor for oppvarmingsbehov ser det ut til at oppvarmingsbehovet ble påvirket av nedstegningen i mars 2020. Oktober hadde i følge tabell 5.3 en gjennomsnittlig temperatur på 3,2°C, mars hadde 1,3°C og april hadde 3,6°C. Ut fra dette burde april og oktober hatt nesten like stort oppvarmingsbehov, men figur 7.4 viser rundt 32 000 kWh i differanse for de to månedene. I figuren ligger oktober og mars på omtrent samme oppvarmingsbehov totalt, selv om gjennomsnittstemperaturen i mars var lavere. Det er derfor mulig månedene mars og april skulle hatt et enda større oppvarmingsbehov, men unngår det på grunn av nedstegning av bygget under Covid-19-pandemien.

Tatt i betraktning at skolen var stengt deler av perioden og hadde redusert personbelastning kan det soneinndelte ventilasjonssystemet ha bidratt til større oppvarmingsbehov enn nødvendig. En gradvis gjenåpning av skolen kan ha resultert i en svært ujevn personbelastning på rommene innenfor de ulike sonene. Det er ikke utenkelig at kun ett klasserom var i bruk i en sone og opp til fem rom sto tomme. Da ville ventilasjonen gått på i alle rom og økt oppvarmingsbehovet til

radiatorer i de fem tomme rommene. Dette gjelder spesielt for mai og juni, ettersom skolen var stengt store deler av april.

Månedene august, september, juni og juli hadde alle i følge tabell 5.3 en normal gjennomsnittstemperatur over 9°C. Disse månedene har i figur 7.4 et veldig lavt prosjektert oppvarmingsbehov. Det prosjekterte oppvarmingsbehovet kan forklares i sammenheng med teorien i kapittel 5.2 om at det teoretisk sett ikke er nødvendig med oppvarming når det er over 9°C. I de resterende månedene hvor normaltemperaturen sank under denne grensen var det derimot prosjektert et betydelig høyere energibehov til oppvarming av bygget.

I månedene med normaltemperatur over 9°C kan det se ut til at det i prosjekteringene ikke var tatt hensyn til at temperaturen ofte synker under denne grensen i løpet av måneden. September hadde i følge tabell 5.3 en normaltemperatur på 10°C, men for skoleåret 19/20 var gjennomsnittstemperaturen 9,1°C. Minimumstemperaturen for denne måneden var på 0,8°C, og det indikerer at temperaturen var under grensen for når det er behov for oppvarming. Dette kan være en grunn til at det målte energibehovet i september til oppvarming av bygget presentert i figur 7.4 var flere ganger høyere enn det prosjekterte behovet.

8.1.2 Oppvarming av tappevann

Målt og beregnet energi brukt til oppvarming av tappevann, presentert i figur 7.6, viser store avvik. Totalt hadde de målte verdiene et avvik på -78,0 % mot prosjekteringene fra tabell 7.6. Varmepumpen sto for det meste av oppvarmingsbehovet.

Det har i følge teori i kapittel 3.6 vært store endringer i standarder for beregning av energibehov for tappevann de siste årene. Standardene NS 3031:2014 og SN/TS 3031:2016 opererer begge med en anbefaling for årlig spesifikk energibehov på $50 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$ for energiberegning av tappevann i idrettsbygg og $10 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$ for skolebygg. I 2020 kom SN-NSPEK 3031:2020 med en ny anbefaling som var på $10 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$ for idrettsbygg og $5 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$ for skolebygg. Dette var en vesentlig reduksjon for beregning av energibehov, og tyder på at beregninger av energibruk til tappevann har en stor usikkerhet.

I bacheloroppgaven av Rømo og Plassen ble energibehov for tappevann i ulike idrettsbygg satt opp mot hverandre[58]. Deres konklusjon var at standardverdiene for årlig energibehov for oppvarming av tappevann oppgitt i NS 3031:2014 og SN/TS 3031:2016 var for høye og redusering til $10 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$ i SN-NSPEK 3031:2020 er et mer passende utgangspunkt for idrettsbyggene de har inkludert i oppgaven. Dette styrker teorien om at det er usikkerhet i beregninger av energibehov til tappevann som er grunnen til de store avvikene hos Heimdal vgs. Denne teorien er også støttet opp av resultatene fra prosjektet VarmtVann2030 omtalt i artikkelen fra SINTEF[56].

Heimdal vgs. hadde beregnede verdier på $4,0 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$ og $20,9 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$ for spesifikt energibehov til oppvarming av tappevann for henholdsvis skolen og flerbrukshallen, oppgitt i tabell 7.7. Skolen var satt opp før SN-NSPEK 3031:2020 ble utgitt og under prosjektering var energibehovet i følge Skanska beregnet med utgangspunkt i verdier oppgitt i NS 3031:2014 og SN/TS 3031:2016, selv om beregnet termisk energibehov til tappevann var lavere enn verdiene oppgitt i standardene[15]. De visste av erfaring under prosjektering at behovet pleide å være vesentlig lavere enn

standardene og tok utgangspunkt i en reduksjon til $20,9 \frac{kWh}{m^2 \cdot \ddot{a}r}$. Dette har i ettertid vist seg å være for liten reduksjon, men de var nærmere den nye standarden enn den gamle.

Fylkeskommunen hadde lenge sett at verdiene i standarden NS:3031 var for høye, så under prosjekteringen gikk de inn og korrigerer noen av verdiene de visste var åpenbart feil[16]. Likevel ga det målte oppvarmingsbehovet store avvik mot de prosjekterte. I ettertid av driftsstart til Heimdal vgs. har standarden blitt revidert. Verdiene til skolen har spilt en rolle i revideringen som et av flere referansebygg for å få kunnskap om den faktiske oppvarmingsbruken i bygg til bruk i den nye standarden[16]. Den nye standarden har blant annet inkludert timeprofiler.

Usikkerheten i beregningsmetoden kan ha vært utslagsgivende for de store avvikene mellom målte og beregnede verdier for oppvarming av tappevann for skolen. Det er mulig avviket ville vært betydelig mindre dersom beregningene hadde blitt gjort på grunnlag av brukervaner som er anbefalt i SINTEFs artikkel[56] eller ved tilgang på den reviderte standarden. Normerte verdier i SN-NSPEK 3031:2020 stemmer bedre overens med målte verdier for Heimdal vgs. enn verdiene i NS 3031:2014 og SN/TS 3031:2016.

Oppvarming av tappevann påvirkes av tappevannsforbruket. I figur 7.6 er det vist et høyere oppvarmingsbehov om vinteren enn om sommeren, med en topp i desember. Oppvarmingsbehovet kan forklares med høyere tappevannsforbruk på denne tiden ettersom det typisk gjennomføres mer innendørs aktiviteter. Dette kan være for eksempel innendørs kroppsøving eller turneringer. Ved mer innendørs aktiviteter kan det benyttes mer tappevann til dusjing ved skolen, og dermed øke oppvarmingsbehovet.

Mars og april hadde lave målte verdier for energibehov til oppvarming av tappevann. Dette gjelder spesielt april, som hadde lavest målt oppvarmingsbehov av tappevann gjennom hele året. Grunnen til avvikene disse to månedene er trolig nedstengningen av skolen på grunn av Covid-19-pandemien. Skolen stengte i midten av mars og sto tom nesten hele april. Det var derfor ikke behov for varmtvann i denne perioden og oppvarmingsbehovet var minimalt i april og redusert i mars.

8.2 Varmepumpe

REFTEC-varmepumpen var den bærende energikilden for oppvarmingsbehovet til bygget og sto for den største andelen sammenlignet med CHP-anlegget og fjernvarme. Den prosjekterte energimengden fra varmepumpen var ikke tilstrekkelig for å dekke oppvarmingsbehovet selv om det ble brukt 101,3 % mer enn prosjektert verdi, gitt i tabell 7.4. Tabellen viser at varmepumpen hadde det meste avviket av de tre komponentene som blir brukt for å dekke oppvarmingsbehovet. De to andre komponentene hadde større avvik ettersom de ble brukt som supplerende kilder og skal dekke det resterende behovet utover varmepumpens kapasitet.

Varmepumpen kjørte tilnærmet maksimalt i vinterhalvåret som vist i figur 7.4. Figuren viser relativt jevn produksjon fra oktober til februar. Ettersom oppvarmingsbehovet til skolen var mye høyere enn prosjektert, er det naturlig at varmepumpen som den foretrukne energikilden kjørte så mye som mulig. Varmepumpe og energibrønnene kunne trolig vært dimensjonert til å produsere enda mer energi ut fra skolens målte energibehov, for å unngå den store bruken av de

supplerende energikildene. Ettersom varmpumpen var dimensjonert for lavere behov enn målte verdier, er det viktig å disponere bruk for å unngå å tømme energibrønnene.

Energibrønnene har i følge Skanska periodevis hatt litt lavere temperatur enn antatt. I skoleåret 19/20 var det ikke registrert slike tilfeller, men under første driftsår var det derimot tilfeller med for lave temperaturer i energibrønnene, da varmpumpene ble kjørt i en lengre periode med minusgrader. Det var en bekymring for at energibrønnene ville tappes for energi og det ble satt en stoppgrense for varmpumpene. De sluttet å kjøre når returvannet hadde en temperatur på to til tre minusgrader.[15]

Årlig SPF for REFTEC-varmpumpen var 3,60, en relativt høy verdi for varmpumper, og stemmer godt med SCOP-faktoren på 3,69. I skoleåret 19/20 var det ingen kjente driftsproblemer med denne varmpumpen og ingen hendelser hvor det kunne vært fare for at energibrønnen ble tømt. Dermed har varmpumpen ytet som forventet, også fordi den har produsert mer energi enn prosjektert.

Winns CO₂-varmpumpen hadde en årlig SPF på 2,95. Verdien var lavere enn beregnet SCOP-faktor på 3,5. En grunn til den lave verdien i forhold til SCOP-faktoren kan være at det var mindre behov for oppvarming av tappevann. Ved mindre behov er det mulig at varmpumpen ble driftet på en lavere effekt enn det som er optimalt. Dette kan ha resultert i at forholdet mellom tilført elektrisitet og levert varme ga en lavere SPF.

En grunn som kan påvirke SPF til Winns CO₂-varmpumpen er driftsfeil. I følge driftsansvarlig var det driftsproblemer ved denne varmpumpen ved flere anledninger[52]. April og mai var i følge figur 7.6 de to månedene med lavest produsert varme fra Winns CO₂-varmpumpen. Figuren viser at det var supplert med fjernvarme begge disse månedene. Mai hadde tilnærmet ingen produksjon fra varmpumpen, noe driftsansvarlig senere har bekreftet. Dette indikerer en mulighet for at det var driftsfeil på varmpumpen denne måneden som vil påvirke SPF. Forbruket i april kan forklares av nedstengingen på grunn av Covid-19-pandemien. Ettersom skolen sto tom denne måneden var det heller ikke nødvendig med så mye energi til oppvarming av tappevannet.

Begge varmpumpene henter energi fra samme kilde i energibrønnene. Likevel hadde Winns CO₂-varmpumpen betydelig lavere SPF enn REFTEC-varmpumpen. En grunn til dette er at det er nødvendig med et høyere temperaturløft for å få ønskelig temperatur til tappevannet enn for luften i bygget. Høyere temperaturløft gjør at SPF for varmpumpen blir dårligere, som beskrevet i kapittel 3.3.

Produksjonen av termisk energi fra varmpumpene er ikke med på å kompensere for klimagassutslipp i ZEB sine beregninger, selv om de produserer opp mot fire ganger mer termisk enn de forbruker av elektrisk energi. De er derimot verdifulle når det kommer til effektivisering av oppvarming av bygg, som vil gi mindre bruk av elektrisitet og dermed mindre import fra strømmettet.

8.3 CHP og biogass

CHP-anlegget produserer 33 % elektrisk og 67 % termisk energi og fordelingen av produksjonen er presenter i figur 7.2. Figuren viser at det året 19/20 var produksjon fra CHP-anlegget fra november til mars. Det ble totalt produsert mindre energi fra anlegget enn det som var planlagt for skoleåret, men i perioden CHP-anlegget hadde produksjon produserte de 1,7 ganger mer enn prosjektert. Anlegget ble kun kjørt på vinteren når etterspørsel etter termisk energi er størst og solcellene hadde minst produksjon av elektrisk energi. Den produserte energien ble både eksportert til Husebyhallen og brukt av Heimdal vgs. Anlegget kan kjøres maksimalt så lenge Husebyhallen har behov for energi, og kan kjøres på et lavere gir dersom behovet avtar.

En av fordelene med at CHP-anlegget kun produserte i vintermånedene er at det ikke bidro til de store elektriske effekttoppene som kan oppstå om sommeren. Når det er gode solforhold kan solcelleanlegget produsere med overskudd og eksportere til strømmettet. Dersom det er lite behov for elektrisk energi innenfor systemgrensen i slike perioder kan store effekttopper føre til at eksporten overskrider plusskundeavtalen på 100 kW, beskrevet i kapittel 4.2. Løsningen i slike tilfeller er å strupe ned overproduksjonen av elektrisitet[15]. Dette er ikke ønskelig ettersom anlegget i slike tilfeller ikke utnyttes maksimalt. Produksjon av elektrisitet fra CHP-anlegget om sommeren kunne bidratt til flere tilfeller av overproduksjon og det kan derfor være positivt at anlegget kun kjører på vinteren når solcellene har mindre produksjon. Det er heller ikke behov for så mye termisk energi om sommeren slik det kommer frem i grafen i figur 7.3.

CHP-anlegget var et av hovedelementene i pilotprosjektet siden bruken av slike maskiner er lite utbredt i Norge. De visste på forhånd at det kom til å bli dyrere å drifte enn ved import av strøm og fjernvarme, men fylkeskommunen mener det til nå er innenfor et akseptabelt prisnivå[16]. Det har heller ikke vært store utfordringer under drift, og anlegget har hittil fungert som det skal. Med dette som grunnlag kan CHP-anlegget sies å være et vellykket element i pilotprosjektet til tross for ulik drift fra prosjekteringene.

8.3.1 Biogassimport

Beregnet målt biogassimport gir et avvik på -31,5 % fra prosjekteringene oppgitt i tabell 7.11. CHP-anlegget kjørte kun fem måneder dette året men leverte en høyere effekt enn prosjektert i produksjonsperioden. Selv om den totale biogassimporten var lavere enn prosjektert, var det høyere behov for biogass enn beregnet i denne perioden.

Prisen på biogass var en del høyere enn de hadde regnet med, men i følge fylkeskommunen var økningen fra den antatte prisen på $1 \frac{kr}{kWh}$ til $1,37 \frac{kr}{kWh}$ akseptabel[16]. Kostnadene knyttet til biogass var derfor ikke en avgjørende årsak til at CHP-anlegget kun kjøres på vinteren. Større behov for termisk og elektrisk energi i vinterhalvåret later til å være den største grunnen til endringen i bruksmønster fra prosjekteringene.

I følge Miljødirektoratet vil prisen på biogass trolig øke med rundt 20 % frem mot 2030 på grunn av begrenset tilgang på råstoff og økt etterspørsel[73]. Hvis prisen øker over et prisnivå fylkeskommunen ikke ser på som akseptabelt, kan det tas en vurdering om CHP-anlegget burde

fases ut og gradvis erstattes av fjernvarme og importert elektrisitet. Dette vil påvirke ZEB-regnestykket negativt på grunn av det lave karbonavtrykket LBG representerer. I tillegg kan dette føre til mindre eksport av energi produsert innenfor systemgrensen.

Uten at det nødvendigvis var en grunn til endringen i bruksmønster, er det mer økonomisk gunstig å importere biogass på vinteren. Prisen på biogass varierer ikke gjennom året i motsetning til prisen på strøm og fjernvarme, som er dyrere mellom november og mars enn i sommerhalvåret. Derfor kan det være økonomisk gunstig å importere biogass for produksjon av termisk og elektrisk energi på vinteren for å delvis erstatte import av fjernvarme og elektrisitet.

8.3.2 Termisk eksport

Den eneste muligheten skolen har til å eksportere termisk energi er å selge til Husebyhallen. For at ZEB-regnestykket skal gå opp er termisk eksport en viktig faktor for å kompensere for klimagassutslipp. Likevel var det kun eksportert halvparten av mengden termisk energi til Husebyhallen sammenlignet med prosjekteringene i skoleåret 19/20. Termisk eksport skulle etter beregningene stå for 83 % av den totale eksporterte energien, men endte opp med å stå for kun 74 % dette skoleåret. Fra tabell 7.14 kommer det frem at den termiske eksporten hadde et avvik på -49,2 % fra beregningene, altså kun halvparten av prosjekteringen.

Sammenlignet med prosjekteringene var en mindre andel av den målte termiske produksjonen fra CHP-anlegget eksportert til Husebyhallen. Forholdet mellom termisk eksport og biogassimport minket fra 50 % til 37 % fra prosjekterte til målte verdier. Dette tyder på at Husebyhallen ikke hadde behov eller kapasitet til å motta mer enn de prosjekterte verdiene for termisk eksport, og en større andel ble brukt innenfor systemgrensen. I møte med Skanska ble det bekreftet at høyvarmeveksleren i Husebyhallen var litt liten sammenlignet med den målte produksjonen til CHP-anlegget[15]. Dette resulterte i at den termiske eksporten ikke kunne øke i takt med den økte produksjonen i vintermånedene. I utgangspunktet er behovet til Husebyhallen høyt nok til å ta i mot all termisk energi produsert fra CHP-anlegget, men kapasiteten til veksleren gjør at det ikke kan ta i mot ønsket mengde[15].

Ved å forlenge produksjonsperioden til CHP-anlegget fra september til april, vil det kunne øke den termiske eksporten til Husebyhallen. I denne perioden er det som presentert i tabell 7.4 behov for termisk energi. Et forlenget bruksmønster krever ikke endringer i systemet. Fylkeskommunen kan velge å ikke importere mer biogass og heller kjøre på et lavere gir, for å fordele produksjonen slik høyvarmeveksleren i Husebyhallen er dimensjonert etter. Hvis de har mulighet økonomisk til å importere mer biogass er det også en mulighet for at CHP-anlegget skal kunne kjøre for fullt i en forlenget periode. Dette vil da være med den hensikten å utnytte mer av den termiske energien innenfor systemgrensen for å redusere import av fjernvarme.

I det store bildet er det uvesentlig hvor energien fra CHP-anlegget blir utnyttet. Så lenge den erstatter bruk av fjernvarme er det ubetydelig om varmen blir utnyttet i Husebyhallen eller i skolebygget. Både Heimdal vgs. og Husebyhallen har et større oppvarmingsbehov enn hva CHP-anlegget klarer å levere, og alt av produsert termisk energi blir benyttet.

8.4 Fjernvarme

Grafen i figur 7.9 viser hvordan importen av fjernvarme var fordelt på månedsbasis skoleåret 19/20, og det fremkommer store avvik mellom målte og beregnede verdier. Totalt sett var det importert 114,5 % mer fjernvarme enn hva som var beregnet med størst import i november og desember. Fjernvarme har hovedsaklig vært benyttet til oppvarming av bygg, med 527,9 % mer bruk enn beregnet.

Prosjekteringene viser at det over hele året skulle importeres mest fjernvarme til oppvarming av tappevannet enn bygg, men målingene viser svært lite bruk til dette. I figur 7.6 kommer det frem at mesteparten av oppvarmingsbehovet til tappevann ble dekket av varmpumpen. Oppvarmingsbehovet var 78 % mindre enn beregnet og det førte til mindre behov for spisslast enn prosjektert. Den termiske energien produsert av CHP-anlegget ble kun brukt til oppvarming av bygg og førte til at fjernvarme ble benyttet som eneste supplerende oppvarmingskilde for tappevann.

Selv om fjernvarme ikke ble benyttet til oppvarming av tappevann i like stor grad som prosjektert, har det vist seg å være en god og stabil reserveløsning. I mai sto Winns CO₂-varmpumpen stille nesten hele måneden og fjernvarme sto for nesten all oppvarming av tappevann. Det har også ved flere anledninger vært behov for en liten andel fjernvarme som spisslast de resterende månedene.

Det meste av fjernvarmen ble brukt til oppvarming av bygg. Avviket på 527,9 % kan i hovedsak sies å være grunnet oppvarmingsbehovet som i tabell 7.4 viste seg å være 130,4 % høyere enn prosjekteringene. Siden fjernvarme er en spisslast og både CHP-anlegget og varmpumpene kjørte maksimalt i perioder med stort oppvarmingsbehov, var eneste muligheten til å dekke behovet å importere fjernvarme. Fjernvarme vil være den kilden med størst avvik fra beregningene, etter som varmpumpene har vist seg å ikke være riktig dimensjonert for det faktiske energibehovet. På samme måte ble det målt mye mindre bruk av fjernvarme til oppvarming av tappevann siden denne budsjettposten hadde mye lavere målinger enn prosjektert.

November og desember hadde høyest forbruk av fjernvarme. Månedene er ut fra tabell 5.3 de kaldeste i perioden. Etersom temperatur er den viktigste faktoren for oppvarmingsbehov er det naturlig at disse to månedene hadde størst behov for energi til oppvarming. I følge figur 7.4 var varmpumpen tilnærmet i full drift disse månedene og i perioder med kald temperatur vil spisslast være nødvendig for å dekke hele behovet for oppvarming. I følge tabell 5.2 starter oppvarmingsbehovet til et passivhus ved temperaturer under 9°C. Behovet for spisslast vil øke med økt temperaturredifferanse fra 9°C, dersom temperaturen er lavere enn basistemperaturen. November var 2,1°C kaldere enn desember og hadde følgelig høyere behov for spisslast.

I et økonomisk perspektiv er det rimeligere å importere fjernvarme enn å produsere termisk energi fra biogass med CHP-anlegget. Biogass viste seg å være dyrere enn anslått under prosjektering med en pris på $1,37 \frac{kr}{kWh}$. Prisen på fjernvarme ligger vanligvis en til to øre under prisen på strøm som har en gjennomsnittlig pris på $1,06 \frac{kr}{kWh}$. Det de selger den termiske energien for til Husebyhallen ligger også vanligvis på samme pris som fjernvarme. For Heimdal vgs. er det derfor ubetydelig i et økonomisk perspektiv om den termiske energien kommer fra CHP-anlegget eller fra importert fjernvarme.

Driftsansvarlig mente det hadde vært billigere og enklere i et driftsperspektiv å kun ha fjernvarme og varmepumpe som oppvarming[3]. Dette hadde påvirket ZEB-regnestykket negativt slik det er forklart i delkapittel 2.1.3. Fra tabell 2.2 har fjernvarme en anslått karbonintensitet på $100 \frac{gCO_2}{kWh}$, biogass er anslått til $25 \frac{gCO_2}{kWh}$, men energien ut fra anlegget ligger på rundt $30 \frac{gCO_2}{kWh}$ grunnet virkningsgraden på 85,4 %. For at bygningen skulle nå ZEB-ambisjonene, er det viktig å eksportere energi produsert innenfor systemgrensen.

8.5 Elektrisk

Det er avgjørende at energiproduksjon foregår innenfor systemgrensen for at bygget skal kunne driftes som et nullutslippsbygg og kompensere for 20 % av materialbruk, slik ambisjonene var satt under prosjektering. Ambisjonsnivået ble senere senket til ZEB-O inkludert energi til brukerutstyr uten at det påvirker det faktum at energiproduksjon burde kreve minst mulig ressurser og ha best mulig virkningsgrad. Solcellene produserte elektrisk energi med mesteparten av produksjonen på sommeren, mens CHP-anlegget produserte elektrisk energi kun i vintermånedene. På denne måten var det relativt jevn produksjon av elektrisk energi gjennom året.

8.5.1 Solcelleanlegg

Solinnstråling er relativt forutsigbart på årsbasis. Dette gjenspeiles i grafen i figur 7.1, selv om avviket var på -16,1 %. I grafen følger verdiene for målt og beregnet solcelleproduksjon de samme trendene, med små avvik de fleste månedene. Solcelleproduksjon er sterkt avhengig av værforhold og må derfor forventes å variere fra år til år. Solcellene produserte mest i juni, som i følge tabell 5.4 var måneden med mest solskinnstid. Tabellen viser også at det fra mars til og med mai 2020 var mindre solskinnstid enn normalen de siste fem årene og kan forklare de negative avvikene i produksjonen disse månedene.

På grunn av den flate vinkelen på solcellepanelene vil de bli dekket med snø i perioder i vinterhalvåret. Snøen blir ikke fjernet fra panelene, som fører til redusert produksjon. Det vil være en avveining fra drift om det lønner seg å bruke tid på å fjerne snø fra panelene. På grunn av lite solskinnstid og lav sol som treffer panelene med veldig spiss vinkel, vil det mest sannsynlig ikke gi stor gevinst til tross for at panelene er fri for snø.

Det var prosjektert mer eller samme mengde elektrisk produksjon enn målt i samtlige måneder sett bort fra juni. Dette bidro til avviket på -16,1 % totalt. Avviket vil sannsynligvis kunne jevne seg ut etter flere år med målinger, ettersom været varierer fra år til år. Dette forutsetter at de prosjekterte verdiene stemmer godt overens med gjennomsnittlig solinnstråling over flere år.

En mulighet for økt produksjon fra solcelleanlegget kan være å installere paneler på sørsiden av veggen i tillegg til de på taket. Dette gir bedre utnyttelse av den lave solen i vinterhalvåret samtidig som omgivelser med snø vil gi økt refleksjon av lyset. I tillegg vil ikke vertikale solcellepanel kunne dekkes av snø. Det vil derimot føre til ytterligere økte effekttopper på sommeren og kan gi overproduksjon når skolebygget er stengt på grunn av sommerferie. Da må det finnes en løsning på hvordan overskuddsenergien kan lagres for at ikke produksjonen må dempes slik den gjør i

dag. På grunn av plusskundeavtalen er den elektriske eksporteffekten begrenset til 100 kW. Flere solcellepanel vil også resultere i økt materialbruk. Det er derfor avgjørende at produksjonen øker så mye på vinteren at de kan tilbakebetales både økonomisk og i et klimaperspektiv.

Solcellepanel festet på fasaden var ikke ønsket av arkitekten. For å utnytte den lave solen på vinteren og samtidig unngå for høye effekttopper å sommeren, kunne det vært en mulighet å installere solceller på fasaden fremfor på takareal ved oppføring av tilsvarende bygg i fremtiden. Denne løsningen kan komme bedre ut i klimaregnskapet for å jevne ut produksjonen gjennom året.

8.5.2 Elektrisk energibehov

Elektrisk energibehov presentert i tabell 7.7 viser at det var store avvik for enkelte poster. Totalt var det større energibehov enn prosjektert for skolen. Avviket til skolen kan forklares med det store oppvarmingsbehovet til bygget. Flerbrukshallen hadde totalt mindre energibehov enn prosjektert, hvor det reduserte energibehovet til oppvarming av tappevann er mest bemerkelsesverdige.

Energipostene utenfor EPC-kontrakten hadde høyest negativt avvik av de elektriske postene i denne tabellen. Avviket på -74,3 % bidro til en vesentlig reduksjon i elektrisk energibehov, og kan ha ført til at økt energibruk i andre poster ikke oppdages.

Lading av el-bil var en post som i følge Skanska hadde hatt en vesentlig reduksjon i elektrisk energibehov etter parkeringen gikk fra å være gratis til å bli solgt til Trondheim kommune som innførte en betalingsløsning[15]. Det var prosjektert at litt av energien skulle gå til lading av el-bil for å unngå effekttopper om sommeren[15], men denne posten hadde en vesentlig reduksjon i følge tabell 7.7. Den målte verdien for lading av el-bil i tabellen er lagt sammen med elektrisk energi til parkeringskjeller og utebelysning, så det virkelige energibehovet fremkommer ikke.

Elektrisk energibehov til pumper hadde størst prosentvis økning på 206,0 % for skolebygget og 385,2 % for idrettsbygget. Det er usikkert hva avvikene kommer av. Etersom posten inkluderer pumper til energibrønnene kan det økte behovet sees i sammenheng med økt bruk av REFTEC-varmepumpen til oppvarming av bygg. Ved økt bruk av varmepumpen øker bruk av pumpene i energibrønnene og kan være grunnen til en del av avvikene.

Økt bruk av REFTEC-varmepumpen har også ført til 106,0 % økning i elektrisk energi inn i varmepumpen. Denne økningen er i samsvar med avviket for produsert termisk energi fra varmepumpen på 101,3 % i tabell 7.4. Elektrisk forbruk inn til Winns CO₂-varmepumpe var derimot redusert med 72,7 % i samsvar med med avviket på -77,6 % for produsert termisk energi til tappevann fra varmepumpen i tabell 7.6. Differansen i avvikene kan være grunnet annen SPF-verdi enn SCOP-verdien gitt ved beregningene.

8.5.3 Elektrisk import og eksport

Den elektriske importen fra strømmettet, vist i figur 7.8, har korresponderende trender fra målte til beregnede verdier, med et totalt avvik på kun 4,1 % fra tabell 7.10. Elektrisk strømforbruk ser fra grafen ut til være relativt forutsigbart, men forrige delkapittel viste at det er store avvik innenfor de enkelte energipostene.

I månedene CHP-anlegget hadde produksjon ble det importert mindre elektrisk energi fra strømmettet enn beregnet. I de resterende månedene ble det importert mer. Dette vises i både grafen i figur 7.7 og 7.8. Et slikt mønster er å forvente da CHP-anlegget produserte med maksimal effekt fra november til mars i stedet for med halv effekt hele året slik det var prosjektert. April er det eneste unntaket fra mønsteret, men nedstegningen gjorde at energibehovet ikke er representativ for normal bruk. Bruksmønsteret CHP-anlegget hadde skoleåret 19/20 tyder på at den elektriske produksjonen fra CHP-anlegget reduserer behovet for elektrisk import i perioder der strømprisene er dyrest.

Juli, august og september hadde store avvik mellom målte og prosjekterte verdier for elektrisk import. Vedlegg F presenterer energibehovet i juli. I vedlegget var det totale målte elektriske behovet 60 949 *kWh* og det prosjekterte 43 436 *kWh*. I tillegg var det ingen elektrisk produksjon fra CHP-anleggene og det ble benyttet mindre egenprodusert elektrisitet fra solceller enn prosjektert. Mindre bruk av egenprodusert elektrisk energi fra solcellene kan tyde på at det ble benyttet en del energi om natten. Samlet sett ga dette en høyere import av elektrisitet og avvik fra prosjekterte verdier.

I januar var det importert en god del mindre elektrisitet enn beregnet. Figur 7.2 viser størst elektrisk produksjon fra CHP-anlegget i januar og figur 7.10 viser at ingenting av denne produksjonen ble eksportert. Det er derfor grunn til å tro at egen produksjon av elektrisitet førte til mindre import av elektrisitet denne måneden.

CHP-anlegget har ikke produsert elektrisk energi i overskudd slik at det har bidratt til eksport til strømmettet. Det betyr at all elektrisk produksjon fra anlegget ble utnyttet innenfor systemgrensen i perioden fra november til mars. Ut fra figur 7.8 ble det også importert store mengder elektrisk energi fra strømmettet denne perioden. Den elektriske produksjonen fra CHP-anlegget bidro dermed ikke til overproduksjon og nedstruping av produksjonen ved å overskride eksportgrensen til plusskundeavtalen.

8.6 Årlig energiregnskap

Det årlige energiregnskapet for skoleåret 19/20, presentert i tabell 7.15, viser målte, beregnede og EPC-korrigerede verdier. Her kommer det igjen frem store avvik mellom målte og beregnede verdier med fjernvarme og biogassimport som de største. Energiregnskapet innenfor systemgrensen regnes ut ved å trekke fra eksport og poster utenfor EPC-kontrakten fra importert energi. For å oppnå et godt energiregnskap er det ønskelig at summen skal være så lav som mulig.

For å garantere at ønsket årlig energibesparelse blir oppnådd må entreprenør Skanska og fylkeskommunen som oppdragsgiver samarbeide for at driften av bygget ikke avviker mye fra prosjekteringene. De målte verdiene kunne i følge EPC-kontrakten ikke avvike med mer enn 10 %

fra prosjekterte verdier uten at det ble iverksatt tiltak[15]. Hvis de målte verdiene ligger under prosjekteringene med mer enn 10 % får entreprenøren belønning for dette[15].

EPC-korrigerede verdier ble justert etter en mer reell brukstid til skolebygget og flerbrukshallen. Det var derfor korrigert med blant annet mer elektrisk import og import av fjernvarme. Avviket mellom målt og prosjektert energibruk innenfor EPC-kontrakten var 14,6 % og ville vært utenfor grensen for akseptabelt avvik i avtalen. Etter korrigeringen av brukstid ble avviket -7,7 % og er godt innenfor grensen i kontrakten. Ved å korrigere etter riktig brukstid ble det store oppvarmingsbehovet dekket uten at det gikk ut over energiregnskapet og EPC-kontrakten.

EPC-kontrakten har tvunget entreprenør Skanska til å garantere energibesparing ettersom entreprenøren sitter på det økonomiske ansvaret. En slik kontrakt kan være med på å utvikle teknologi ved å ta i bruk gode løsninger som er lite i bruk. Kontrakten kan også være en faktor som gjør at bestilleren av et byggeprosjekt tørr å satse på høye ambisjoner innen energi og miljø. Selve kontrakten har også vært et pilotprosjekt for fylkeskommunen i den forstand at EPC-kontrakt hovedsaklig er brukt under oppgradering av eksisterende bygg[16].

Fylkeskommunen er fornøyd med EPC-kontrakten og har videreført den til nye prosjekter. Den fører til at partene i et slikt prosjekt har et tett samarbeid for å følge opp at bygget holder seg innenfor gitte energirammer. Skanska er enig i at EPC-kontrakten har fungert etter sin intensjon til tross for at det har vært krevende å oppnå energimålene i avtalen. Grensen på 10 % avvik mellom målte og prosjekterte verdier har vært viktig for å ikke henge seg opp i smådetaljer. For Skanska har kontrakten vært et ekstra kvalitetssikringselement i det de leverer, og de har hatt et tett samarbeid med de som drifter skolen slik at begge parter prøver å begrense forbruket av energi.[15, 16]

8.7 Vurdering av prosjektet

Energisystemet ved Heimdal videregående skole, bestående av et solcelleanlegg, geotermiske varmepumper og et CHP-anlegg, har i følge driftsansvarlig fungert fint[52]. Det har vært noen feil ved enkelte komponenter, men med et så komplekst system er det å forvente[52]. Systemet dekker energibehovet med betraktelig mindre energibruk enn andre tilsvarende referansebygg[16]. Dette til tross for at skolen og flerbrukshallen inneholder store volum og areal.

Solcelle- og CHP-anlegget hadde godt samspill ettersom de hadde produksjon i ulike deler av året. CHP-anlegget produserte fra november til mars og solcellene hadde maksimal produksjon på sommeren. På denne måten unngikk de unødvendige effekttopper som gjør at produksjonen måtte strupes ned. Alt av elektrisk produksjon fra CHP-anlegget ble benyttet av skolen, og det forekom ingen elektrisk eksport i perioden CHP-anlegget var i drift.

Den høye elektriske produksjonen fra solcellene i sommerferien resulterte i stor elektrisk eksport. Det var ubeleilig at solcellene hadde så stor produksjon når skolen er lite i bruk, men i ZEB-regnestykket trenger det ikke ha betydning. Siden import og eksport av elektrisk energi vektlegges med lik karbonintensitet kan strømmettet sees på som et stort batteri. Kapasiteten til batteriet er kun begrenset av hvor mye solcelleanlegget produserer og om overskuddet overskrider effektgrensen til plusskundeavtalen på 100 kW.

Energibrønnene fungerte godt i samspill med varmpumpene. REFTEC-varmpumpen og energibrønnene fungerte optimalt, men kunne etter målt oppvarmingsbehov vært dimensjonert større. Winns CO₂-varmpumpen hadde driftsfeil, men bygget var fremdeles i innkjøringfasen og feil kan i denne perioden kan forekomme. Varmepumpen er dimensjonert for stor utfra målt energibehov til oppvarming av tappevann, og kan påvirke SPF-verdien til varmpumpen negativt.

Totalt sett fungerte energisystemet godt. Oppvarmingsbehovet til bygget påvirket store deler av systemet og førte til store avvik i flere komponenter. Resten av systemet hadde små avvik sammenlignet med avvik forårsaket av oppvarmingsbehovet til bygg. Avvikene som forekom kan komme av lengre brukstid enn prosjektert og erfaring av dette kan tas med videre til nye prosjekter. Komponentene i energisystemet hadde godt samspill og virker pålitelige.

Under prosjektet ble Trøndelag fylkeskommune mer oppmerksom på hvor stor del av klimafotavtrykket materialbruken utgjør. I et bygg med lite energibehov blir materialbruk en større del av det totale energibehovet gjennom byggets levetid. Dette til tross for at Heimdal vgs. har rundt 25 % mindre klimafotavtrykk sammenlignet med lignende bygg. ZEB-ambisjonene innebar i starten tilbakebetaling av 20 % av klimagassutslipp fra materialbruk, men dette ble gått bort fra underveis i prosjekteringen. Fylkeskommunen har også videreført kravet om null utslipp under drift til nye byggeprosjekt, og stiller tydelige krav til bærekraftsmål gjennom hele byggets levetid.[16]

Et mål med prosjektet var å kunne se på løsninger fra nye teknologier, samtidig som de holdt seg innenfor kravet til robusthet[16]. Dette kan ofte være motstridende faktorer[16]. Heimdal videregående skole er et stort bygg som skal driftes i mange år og bør kunne driftes like energieffektivt i slutfasen som nå.

Fylkeskommunen mener tilegnet kunnskap og erfaringer fra et slikt pilotprosjekt har den største verdien og kan videreføres til fremtidige prosjekter. Det er ikke nødvendig å gjenta alt som er gjort riktig så lenge det er muligheter til å lære av det. Fylkeskommunen har en mulighet til å være med å utvikle markedet ved å legge inn bestillinger med tydelige miljøambisjoner som utfordrer til å utvikle nye løsninger. Med dette ønsker de å bidra til å styre bygg- og anleggsmarkedet inn i en mer miljøvennlig retning.[16]

9 Diskusjon

Denne delen av rapporten fokuserer på usikkerheter og mangler ved oppgaven. Det er gjort valg underveis som kan påvirke presenterte data og resultater. Feilvurderinger og usikkerheter i benyttet materiale kan gi et feilaktig inntrykk av datagrunnlaget benyttet i oppgaven.

I datagrunnlaget i vedlegg B har manuelt summerte verdier for perioden august 2019 til juli 2020 små differanser med de oppgitte summerte verdiene. Det er i denne oppgaven gått ut fra at manuelt beregnede verdier er mer korrekte enn de summerte, ettersom det er usikkert hva som er opphavet til de oppgitte summerte verdiene. Det er mulig de månedlige verdiene har avvik, slik at summeringen av disse gir feil årsverdi og den oppgitte summerte verdien er korrekt. Verdiene benyttet i oppgaven vil i dette tilfellet stemme dårlig overens med faktiske verdier.

Det har vært et gjennomgående problem at verdier i datagrunnlag ikke stemmer overens. Datagrunnlaget i denne oppgaven har derfor en usikkerhet og verdier benyttet er ikke nødvendigvis nøyaktige. Differanser i datagrunnlaget er likevel ikke prosentvis store verdier og data gjengitt i oppgaven antas å være representativt for faktiske verdier knyttet til energisystemet i bygget.

Alle målinger har en usikkerhet, men størrelsen på usikkerheten er varierende. Målerene på energisystemet ved Heimdal videregående skole sies å være nokså nøyaktige, slik at det måned for måned ikke gir store utslag. Energisystemet er basert på automatikk og det kan resultere i feilsignal til komponenter som endrer bruksmønster etter hva som er ønskelig.

9.1 Oppvarming

Oppvarmingsbehovet til Heimdal vgs. kan være påvirket av flere faktorer enn beskrevet i denne oppgaven. Andre antagelser som kan påvirke oppvarmingsbehovet, uten grunnlag for bekreftelse fra innsamlet data, er lufting og bruk av elektrokromatiske glass og screeninggardiner. Lufting kan føre til større oppvarmingsbehov ved at kjølig luft kommer inn gjennom åpne vinduer og forstyrrer radiatorene og ventilasjonssystemet. Bruk av screeninggardiner og de elektrokromatiske glassene på bygget kan påvirke oppvarmingsbehovet ved å kjøle ned og varme opp bygget. Som nevnt i kapittel 3.7 kan de utnyttes for å skjerme for sola og bidra til kjøling av bygget. På vinteren er det derimot mulig å la sola skinne gjennom vinduene og passivt varme opp overflaten.

Temperaturkorrigering i henhold til formel 5.1 og 5.2 har svakheter. Ved å benytte formel 5.2 vil måneder hvor $T_{ute,basis} - T_{ute,normal,i}$ mindre enn 1 eller $T_{ute,basis} - T_{ute,målt,i}$ mindre enn 1 ikke korrigeres. Det vil si at hvis basistemperatur er satt til 9°C og en måned for eksempel har 9°C som normaltemperatur, vil $T_{ute,basis} - T_{ute,normal,i}$ være null og ikke korrigeres. Dette gjelder uansett om målt gjennomsnittstemperatur for eksempel er 3°C og burde vært korrigert.

En annen svakhet i temperaturkorrigeringen i denne oppgaven er referansegrunnlaget for Heimdal vgs. Prosjekterte verdier for Heimdal vgs. har så store avvik fra målte verdier for oppvarmingsbehov av bygg at de fungerer dårlig som referansegrunnlag for en temperaturkorrigering. Et bedre referansegrunnlag for Heimdal vgs. i fremtiden vil være å finne gjennomsnittlig oppvarmingsbehov av bygget over en periode på flere år. Ved å temperaturkorrigere denne verdien

og sammenligne med målt forbruk for et gitt år vil oppvarmingsbehov kunne sammenlignes ut fra mer realistiske verdier.

Oppvarmingsbehovet til tappevann kan påvirkes av flere faktorer. Lavt målt energibehov i forhold til prosjektert kan være grunnet andre faktorer enn stor usikkerhet i beregningsgrunnlaget. En mulig grunn til det lave oppvarmingsbehovet til tappevann er at elevene ved skolen dusjer mindre enn antatt. Tiltak som dusjhoder med mindre volumstrøm eller rør som er bedre isolerte kan også ha blitt innført uten at det er tatt med i beregningene. Tappevann brukt på kjøkkenet eller i kantinen med vannsparende tiltak vil også påvirke oppvarmingsbehovet til vannet.

SCOP-verdier benyttet for REFTEC og Winns CO₂-varmepumpen er beregnet ut fra prosjekterte årlige SPF-verdier og ikke hentet fra datablad. SPF-verdi ligger ofte i praksis under SCOP-verdi og SPF-verdier benyttet i prosjekteringer kan derfor være valgt litt lavere enn SCOP for mer realistisk utregning. SCOP-verdier i denne oppgaven kan derfor være lavere enn opplyst i datablad.

Under utregning av årlig SPF for Winns CO₂-varmepumpen er SPF verdier for april og mai neglisjert. I månedene april og mai er SPF under 2, med den laveste verdien i mai på 0,5. I mai er det i følge målingene tilført dobbelt så mye elektrisitet som varme produsert. Verdiene i disse månedene er vurdert lite representative for normal bruk av varmepumpen til oppvarming av tappevannet og er dermed ekskludert fra beregningen av SPF for skoleåret 19/20. Dersom verdiene for SPF hele året er inkludert synker verdien til 2,87 mot en verdi på 2,95 uten SPF verdier for april og mai. Ekskluderingen av disse to verdiene har ikke en stor innvirkning på den totale verdien. Det utgjør likevel en usikkerhet i utregningen av SPF for Winns CO₂-varmepumpen.

9.2 CHP og biogass

Målingene for produksjon fra CHP-anlegget i januar antyder at anlegget har levert en gjennomsnittlig effekt godt over merkeeffekt gjennom hele måneden. Dette har også resultert i en økt termisk eksport i januar sammenlignet med resterende måneder. Om grunnen til dette er en målefeil eller om det er faktisk verdi er usikkert, men det kan virke lite troverdig at maskinen leverer høyere effekt enn merkeeffekt over så lang tid. Hvis verdiene er reelle kan det virke som høyvarmeveksleren er dimensjonert litt større enn det i denne oppgaven er gitt uttrykk for.

Den økte termiske produksjonen i januar kan være et resultat av at CHP-anlegget kjørte absolutt maksimalt denne måneden, og hadde perioder der den kjørte på et lavere gir i andre måneder. Husebyhallen har også mottatt en større mengde termisk energi i januar sammenlignet med andre måneder. For termisk eksport og termisk produksjon er det to separate målinger, men begge har likevel registrert økte verdier denne måneden. Dette svekker hypotesen om at produksjonen i januar er en feilmåling.

Det finnes ingen måling på hvor mye biogass anlegget faktisk importerer. I denne oppgaven er en gjennomsnittlig verdi per levering benyttet og gir ikke en nøyaktig verdi for importen. Utregningen av importert biogass tar utgangspunkt i et energiinnhold på $10 \frac{kWh}{Nm^3}$. Dette er en avrundet verdi og gir ikke nøyaktig energiinnhold. Ettersom verdien for energiinnhold blir

benyttet i utregning sammen med en gjennomsnittlig verdi i volum for hver fylling, kan en avrundet verdi i dette tilfellet være akseptabelt å benytte. Det er viktig å påpeke at den utregnede verdien for biogassimport har stor usikkerhet, ettersom begge verdiene brukt til utregningen er estimater.

CHP-anlegget har en virkningsgrad på 85,4 % og stemmer godt overens med antatt virkningsgrad under prosjektering på 85 %. Valg av energiinnhold i biogassen kan ut fra dette virke fornuftig. En usikkerhet i virkningsgraden er at eventuelle tap av gass som blåses over tak er også inkludert i virkningsgraden. Gass som blåses over tak kan føre til en lavere virkningsgrad for CHP-anlegget enn faktisk virkningsgrad, ettersom mindre gass kan benyttes til produksjon. Ut fra informasjon fra drift virker det trolig at lite gass går tapt på denne måten, men det gir likevel en usikkerhet i virkningsgraden.

I denne oppgaven er det gått ut fra at prisen på biogass kommer til å øke, som beskrevet i kapittel 4.4. Denne antagelsen er basert på forskning og fremtidig utvikling som er vanskelig å forutse. Det kan komme ny teknologi i fremtiden som fører til at prisen synker og antagelsen viser seg å være feil.

9.3 Fjernvarme

Fordelingen av fjernvarme mellom oppvaring av bygg og tappevann er estimerte verdier. Faktisk fordeling av energien er derfor usikkert og kan være feil estimert. I desember er det ikke notert ned feil med Winns CO₂-varmepumpen og høyt forbruk av fjernvarme til oppvarming av tappevann i figur 7.9 denne måneden kan skyldes en for høy estimering. Det er også en mulighet at resterende måneder er estimert for lavt.

9.4 Elektrisk energi

Verdiene for solskinnstid i tabell 5.4 forteller ikke når på dagen solen skinner. Det gir en usikkerhet i sammeligning av solinnstråling og produksjon fra solcellene ettersom det har betydning for hvor mye solcellene kan produsere i en solskinnstime. En solskinnstime på morgenen telles i tabellen på lik linje som en solskinnstime midt på dagen, selv om det fører til forskjellig mengde produksjon. Solcellene vil for eksempel produsere mer elektrisitet midt på dagen når solen står høyest på himmelen og skinner sterkere enn tidlig på morgenen når solen er lav.

Elektrisk forbruk er oppgitt i tabell 7.7 og fordelt på ulike energiposter. Det forekommer ikke informasjon om elektrisk forbruk på månedsbasis i innsamlet data. Det skaper en usikkerhet i hvordan det elektriske energiforbruket i de ulike energipostene i tabellen er fordelt utover året. Dette gir en svakhet i oppgaven ved at sammenligning av energiforbruk, produsert og importert elektrisk energi i figur 7.1, 7.2 og 7.8 er lite hensiktsmessig. Avvik i figurene for enkelte måneder kan på grunn av dette ikke settes i sammenheng med elektrisk forbruk.

I tabell 7.7 har elektrisk forbruk til pumper ett felles målepunkt for skolen og flerbrukshallen. Forbruket er fordelt på areal og er ikke nødvendigvis korrekte i forhold til faktisk forbruk. Under energiposter utenfor EPC-kontrakt i tabellen er det felles målepunkt for alle postene med elektrisk forbruk. Dette gir en usikkerhet i hvilke av postene som har størst forbruk og avvik.

Den totale elektriske eksporten har i følge tabell 7.13 et avvik på -12,9 % fra prosjekteringene. Målingen for august er fraværende, men har en prosjektert verdi på over 14 000 *kWh*. Hvis den reelle eksporten i august ligger på 7 925 *kWh* eller mer, har den totale eksporten vært lik eller bedre enn beregnet. Et slikt scenario er ikke utenkelig ettersom solcelleanlegget produserte opp mot prosjektert verdi denne måneden sett fra grafen i figur 7.1. Uansett hva den reelle målingen er vil det påvirke det prosentvise avviket positivt, men siden målingen mangler er det vanskelig å konstantere noe uten at det innebærer stor usikkerhet.

Det er mulig verdiene for elektrisk eksport er beregnet. Dette kan begrunnes med at totalen for målt elektrisk eksport ikke stemmer med totalen Skanska opererer med i energiregnskapet fra vedlegg C. Fra regnearket over oppfølging i juni i vedlegg E kommer det frem at produsert energi fra solcellene er 69 099 *kWh*, egenbruk solstrøm er 15 155 *kWh* og eksportert elektrisk energi fra solcellene og CHP-anlegget er på totalt 18 944 *kWh*. Dette gir en rest på 53 944 *kWh* som verken er brukt eller eksportert. Det er derfor vanskelig å si noe om de totale tallene for elektrisk eksport stemmer.

10 Videre arbeid

Videre problemstillinger det kan være interessant å avdekke er blant annet å konkret se på klimamessige konsekvenser av at CHP-anlegget ikke ble kjørt like lenge som prosjektert. Dette kan innebære å se nærmere på mulighetene for en utvidet produksjonsperiode samt fordelene og ulempene knyttet til dette.

Det er også mulig å undersøke om det kan være andre grunner til det store oppvarmingsbehovet til bygget. Kanskje kan det skyldes høyere varmegjennomgangstall for veggene, flere kuldebroer eller dårligere isolasjon enn prosjektert. Det kan også være interessant å undersøke om det vil lønne seg økonomisk og klimamessig å koble opp radiatorene til SD-anlegget i ettertid.

For å øke produksjonen fra solcellene i vintermånedene kunne det vært en mulighet med solceller på fasaden, da spesielt på sørsiden. En etterinnstallering av solceller vil føre til økte kostnader, men også økte effekttoppene på sommeren. Det vil kanskje lønne seg med en løsning for elektrisk energilagring. Problemstillingen vil da være om dette lønner seg med tanke på både klima og økonomi.

Solcellaneanlegget har i perioder med mye solinnstråling måttet strupe ned produksjonen av elektrisitet. Det kan undersøkes om solcellaneanlegget kan kobles til batterier for å lagre elektrisiteten ved effekttopper slik at potensialet til solcellene blir bedre utnyttet.

Videre kan det undersøkes om ZEB-O-målet er overholdt til tross for at energiregnskapet ble forskjellig fra prosjekteringen. Det vil alltid være muligheter for forbedring ved å videreutvikle nye teknologier og integrere det i bygget og samtidig øke ambisjonsnivået ytteligere.

11 Konklusjon

Sammenligning av målte og prosjekterte verdier fra skoleåret 19/20 avdekket enkelte store avvik. Det mest fremtredende avviket viste seg å være oppvarmingsbehovet til bygg der det totalt var et avvik på 130,4 % fra prosjekteringene. Dette har ført til at bruk av fjernvarme som spisslast økte med 527,9 % for å dekke behovet. For å redusere den høye importen av fjernvarme kunne REFTEC-varmepumpen og energibrønnene vært dimensjonert større.

Forklaringen på det store oppvarmingsbehovet kan være at ventilering av rom med stor personbelastning samtidig ventilerer rom med mindre personbelastning i samme sone. På denne måten vil ventilasjonsanlegget og radiatorene jobbe mot hverandre. Radiatorene er ikke koblet opp mot et SD-anlegg og må justeres manuelt. Dette gjør regulering og overvåkning av energibruken utfordrende. Andre forklaringer er at temperaturen ble satt for lavt og brukstiden ble antatt for kort under prosjektering.

CHP-anlegget har som en del av pilotprosjektet fungert godt. Endring i bruksmønster førte til en redusert eksport av termisk energi til Husebyhallen som følge av for liten varmeveksler. Det har også ført til 31,5 % mindre biogassimport totalt og derav 31,1 % mindre produksjon, men energien blir godt utnyttet. Det kan være lønnsomt å forlenge produksjonsperioden med to måneder for å eksportere mer termisk energi til Husebyhallen og redusere import av fjernvarme.

Energibehovet til tappevann hadde avvik på -78,0 % og begrunnes med stor usikkerhet i beregningsmetode. Anbefalte standardverdier i SN-NSPEK 3031:2020 for energibehov til oppvarming av tappevann for skolebygg og idrettshall samsvarer bedre med målte verdier ved Heimdal vgs. og fungerer bedre som beregningsgrunnlag enn eldre standarder. Heimdal vgs. har vært et av flere referansebygg som har bidratt til endringer av verdier i den nye standarden.

Komponentene i energisystemet hadde godt samspill skoleåret 19/20. Valget om å kun kjøre CHP-anlegget fra november til mars bidro til produksjon av termisk energi i en periode med stort behov og bidro ikke til elektriske effekttopper i perioden solcellene hadde størst produksjon. I tider hvor varmepumpene og CHP-anlegget ikke produserte tilstrekkelig termisk energi, fungerte fjernvarme godt som spisslast.

Ved oppføring av tilsvarende bygg anbefales det å undersøke muligheten for et ventilasjonssystem med regulering for hvert enkelt rom istedenfor soneinndeling, selv om det tidligere har vært negative erfaringer ved en slik løsning. I bygg med soneinndelt ventilasjon burde radiatorer kobles opp mot SD-anlegg for å bedre reguleres sammen med ventilasjonen. Det anbefales også å vurdere solceller på fasadeflater.

Referanser

- [1] Trøndelag fylkeskommune. «Klimabudsjett, noen erfaringer». 2016. URL: <https://www.trondelagfylke.no/contentassets/1dae7e46f61467c8e2684ac4f91e4f0/erfaringer-klimabudsjett-fra-fylket-rune-logstein.pdf>.
- [2] Torger Mjønes. «Nye Heimdal vgs. - Prosessen og målet». Trondheim, 16. sep. 2015. URL: <https://www.zeb.no/images/Konferanse-dokumenter/2015%20ZEB%20konferansen/ZEB-konferanse%202015%20-%20Mj%C3%B8nes%20-%20Nye%20Heimdal%20vgs.pdf>.
- [3] *Referat fra møte med driftsansvarlig ved Heimdal vgs.* I samarbeid med Lars Emil Bjørkander. Møtereferatet er oppgitt i vedlegg I. 4. feb. 2021.
- [4] ZEB. *Heimdal VGS*. URL: <https://www.zeb.no/index.php/no/pilotprosjekter/265-heimdal-vgs-no> (sjekket 10.05.2021).
- [5] Tore Wigenstad. «Heimdal Videregående skole m/Flerbrukshall - En teknisk gjennomgang». Energidagen, Trondheim, 21. apr. 2017.
- [6] Håvard Karoliussen. *Notat 10 - Energieffektive bygg Fornybar energi vaglfag TFNE3007*. 2016.
- [7] Selamawit Mamo Fufa, Reidun Dahl Schlanbusch, Kari Sørnes, Marianne Rose Inman og Inger Andresen. *A Norwegian ZEB Definition Guideline*. ISBN: 978-82-536-1513-4. SINTEF Academic Press, 2016. URL: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2401097/ZEB_pr_report_no29.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
- [8] Kartverket. *Flyfoto Heimdal vgs*. Norgebilder. 2020. URL: <https://www.norgebilder.no/?x=267683&y=7034619&level=15&utm=33&projects=&layers=&planned0mlop=0&plannedGeovekst=0> (sjekket 17.03.2021).
- [9] Europaparlamentet. «Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings». I: (), s. 23.
- [10] Standard Norge. *NS 3701:2012 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Yrkesbygninger*. Standard. Opphavsrettsnotis er oppgitt i vedlegg N. 1. sep. 2012. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=587802> (sjekket 20.03.2021).
- [11] ZEB. *Om ZEB Senter*. URL: <https://www.zeb.no/index.php/no/om-zeb/about-the-zeb-centre> (sjekket 26.01.2021).
- [12] Olav Akselsen, Marit Arnstad, Petter Haas Brubakk, Torstein Arne Bye, Steinar Byrsvæn, Kathrine Fog, Lars Haltbrekken, Nils Kristian Nakstad, Bente Haukland Næss, Elizabeth Baumann Ofstad, Raymond Robertsen, Eli Reistad, Ellen Stensrud, Wenche Teigland og Arne Vinje. *Energiutredningen - verdiskaping, forsyningsikkerhet og miljø*. OCLC: 1028447331. Oslo: Departementenes servicesenter, Informasjonsforvaltning, 2012. ISBN: 978-82-583-1138-3.
- [13] Reidun Dahl Schlanbusch, Selamawit Mamo Fufa, Inger Andresen, Tore Wigenstad og Torger Mjønes. *ZEB pilot Heimdal high school and sports hall. Design phase report*. 2017.
- [14] Tore Wigenstad. «Heimdal videregående skole ZEB:O, Skanska». ZEB+ konferanse, 6. nov. 2019. URL: https://www.ntnu.edu/documents/1281770977/1290529194/Session+9_Tore+Wigenstad.ZEB%2B_ZEB-0+dokumentasjon.pdf/413ac979-5266-2ba3-4bbf-7bf124bada15?t=1574068127954.
- [15] *Møtereferat om bacheloroppgave Heimdal vgs. med Tore Wigenstad*. I samarbeid med Tore Wigenstad. Møtereferat er oppgitt i vedlegg M. 16. apr. 2021.
- [16] *Møtereferat om bacheloroppgave Heimdal vgs. med Torger Mjønes*. I samarbeid med Torger Mjønes. Møtereferat er oppgitt i vedlegg L. 14. apr. 2021.

- [17] Anita Moum, Åshild Lappegard Hauge og Judith Thomsen. *Casebeskrivelser av fire norske ZEB pilotbygg - byggeprosess og brukerevaluering*. ZEB, 2017, s. 70. URL: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2467912/zeb31.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [18] Knut A. Rosvold og Knut Hofstad. *varmekraftverk*. I: *Store norske leksikon*. 30. apr. 2019. URL: <http://snl.no/varmekraftverk> (sjekket 21.04.2021).
- [19] Simon Martinez, Ghislain Michaux, Patrick Salagnac og Jean-Louis Bouvier. «Micro-combined heat and power systems (micro-CHP) based on renewable energy sources». eng. I: *Energy conversion and management* 154 (2017), s. 262–285. ISSN: 0196-8904.
- [20] J. Knowles, T. T. Al-Shemmeri, H. Liu og A.V. Bridgwater. *Small and micro combined heat and power (CHP) systems - Advanced design, performance, materials and applications*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2011. ISBN: 978-1-84569-795-2. (Sjekket 01.04.2021).
- [21] Knut A. Rosvold og Knut Hofstad. *kraftvarmeverk*. I: *Store norske leksikon*. 2. sep. 2019. URL: <http://snl.no/kraftvarmeverk> (sjekket 27.01.2021).
- [22] EC Power. *XRGI 20 - Technical data*. URL: https://www.ecpower.eu/files/ecpower/EN/Downloads_EN/EC_POWER_EN_technical_data_XRGI20.pdf (sjekket 08.04.2021).
- [23] Knut A. Rosvold og Knut Hofstad. *primærenergi*. I: *Store norske leksikon*. 21. jan. 2019. URL: <http://snl.no/prim%C3%A6renergi> (sjekket 12.03.2021).
- [24] Rune Løvaas. *biogass*. I: *Store norske leksikon*. 14. okt. 2020. URL: <http://snl.no/biogass> (sjekket 27.01.2021).
- [25] Håvard Karoliussen. *Notat 5 TFNE1001 Fornybar energi grunnkurs, Bioenergi*. 2018.
- [26] Torkil Dyb Remøy. «Virkemidler for økt bruk og produksjon av biogass». I: (2020), s. 161. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1652/M1652.pdf> (sjekket 06.04.2021).
- [27] Tore J. Brænd og Knut Hofstad. *bioenergi*. I: *Store norske leksikon*. 16. sep. 2020. URL: <http://snl.no/bioenergi> (sjekket 27.01.2021).
- [28] UngEnergi. *Hva er bioenergi | UngEnergi*. URL: <https://ungenergi.no/energikilder/bioenergi/hva-er-bioenergi/> (sjekket 27.01.2021).
- [29] John Morken, Tormod Briseid, Jon Hovland, Kari-Anne Lyng og Ingvar Kvande. *Veileder for biogassanlegg - mulighetsstudie, planlegging og drift. - Revidert utgave*. Ås/Oslo: NM-BU, 2017. URL: https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2600069/REALTEK_rapport56.pdf?sequence=5&isAllowed=y (sjekket 15.04.2021).
- [30] Knut A. Rosvold. *Biokraft AS*. I: *Store norske leksikon*. 28. jun. 2020. URL: http://snl.no/Biokraft_AS (sjekket 27.01.2021).
- [31] Biokraft AS. *Biokraft Skogn | Biokraft*. URL: <https://www.biokraft.no/biokraft-skogn/> (sjekket 27.01.2021).
- [32] Håvard Karoliussen. *Notat 6 TFNE1001 Fornybar energi grunnkurs, Varmepumper, bruk av Mollier diagram*. 2017.
- [33] Arne M. Bredesen og Gustav Lorentzen. *varmepumpe*. I: *Store norske leksikon*. 28. feb. 2020. URL: <http://snl.no/varmepumpe> (sjekket 28.01.2021).
- [34] Ursula Eicker. *Energy Efficient Buildings with Solar and Geothermal Resources*. Stuttgart University og Applies Sciences, Germany: John Wiley & Sons Ltd, 2014. ISBN: 978-1-118-35224-3. (Sjekket 05.04.2021).
- [35] Thibaut Abergel. *Heat Pumps – Analysis*. IEA. 2020. URL: <https://www.iea.org/reports/heat-pumps> (sjekket 17.03.2021).

- [36] Maria Sidelnikova, David Edward Weir, Lisa Henden Groth, Karen Nybakke, Kjell Erik Stensby, Benedicte Langseth, Jon Erling Fonnelop, Olav Isachsen, Ingrid Haukeli, Synnøve-Lill Paulen, Ingrid Magnussen, Leif Inge Husabø, Torgeir Ericson og Thoms Håbu Qureishy. *Kostnader i energisektoren - Kraft, varme og effektivisering*. 2/2015 del 1. NVE, 2015. URL: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_02a.pdf (sjekket 21.04.2021).
- [37] Knut Hofstad. *grunnvarme*. I: *Store norske leksikon*. 18. sep. 2019. URL: <http://snl.no/grunnvarme> (sjekket 23.02.2021).
- [38] Randi Kalskin Ramstad, Henrik Holmberg og Olav Rådstoga. «Energibrønner som varmekilde for varmpumper - Har kuldebransjen noe å lære her?» URL: https://www.tekna.no/contentassets/975d36ae0e7c40f986d92b129697c34d/energibr3b8nner_norsk_kj3b81eteknisk_forening_26.10.20171.pdf.
- [39] Inger H. Magnussen, Torgeir Ericson, Audun Fidje, Jon Erling Fonnelop, Benedicte Langseth, William W. Rode og Bernt Saugen. *Varmpumper i energisystemet - Status og muligheter*. 60-2016. ISBN - 978-82-410-1513-7. NVE, jul. 2016. URL: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_60.pdf (sjekket 08.04.2021).
- [40] Paul Bjørn Andersen. *halvlederdiode*. I: *Store norske leksikon*. 6. mar. 2020. URL: <http://snl.no/halvlederdiode> (sjekket 27.01.2021).
- [41] Tor Bjørnstad. *fotoemisjon*. I: *Store norske leksikon*. 4. des. 2017. URL: <http://snl.no/fotoemisjon> (sjekket 18.05.2021).
- [42] Lars Mæhlum. *solceller*. I: *Store norske leksikon*. 28. apr. 2020. URL: <http://snl.no/solceller> (sjekket 27.01.2021).
- [43] Danny Zaitsev, Erik Rehbindler, Kristin Heimdal og Assad Abbas. *Solkraft i Norge – Fremtidige muligheter for verdiskaping*. 2016. URL: https://www.wwf.no/assets/attachments/solkraft_i_norge___fremtidige_muligheter_for_verdiskaping1.pdf (sjekket 16.05.2021).
- [44] Olje og energidepartementet. *Meld. St. 25 (2015–2016) Kraft til endring — Energipolitikken mot 2030*. 15. apr. 2016. URL: <https://www.regjeringen.no/contentassets/31249efa2ca6425cab08130b35ebb997/no/pdfs/stm201520160025000dddpdfs.pdf> (sjekket 16.05.2021).
- [45] Knut A. Rosvold. *fjernvarme*. I: *Store norske leksikon*. 26. jan. 2021. URL: <http://snl.no/fjernvarme> (sjekket 17.03.2021).
- [46] Håvard Karoliussen. *TFNE 3007 Fornybar Energi Valgfag, Fjernvarme*. 2016. (Sjekket 17.03.2021).
- [47] Ann Kristin Bøeng. *Stadig mer bruk av fjernvarme*. ssb.no. 14. mai 2020. URL: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/stadig-mer-bruk-av-fjernvarme> (sjekket 17.03.2021).
- [48] Statkraft. *Trondheim*. Statkraft. URL: <https://www.statkraftvarme.no/om-statkraftvarme/vare-anlegg/trondheim/> (sjekket 19.02.2021).
- [49] Halvor Røstad og Vidar Havelen. *ventilasjon*. I: *Store norske leksikon*. 20. feb. 2018. URL: <http://snl.no/ventilasjon> (sjekket 19.05.2021).
- [50] Lavenergiprogrammet. *Prosjektering av passivhus*. Tredje utgave. Lavenergiprogrammet, nov. 2013. (Sjekket 12.02.2021).
- [51] Hallvard Hagen. *Fysiologiske synspunkter på kravet til inneklimate*. Oslo, 1969. URL: http://www.sintefbok.no/book/download/769/vinfopubutgivelserutgaatte_serier_s_kannetsaertrykksaertrykk180pdf.

- [52] *Møtereferat Heimdal vgs*. I samarbeid med Lars Emil Bjørkander. Møtereferatet er oppgitt i vedlegg K. 19. apr. 2021.
- [53] Max Ingar Mørk. *Byggordboka - Sentral driftskontroll (SD-anlegg)*. Byggordboka. 21. nov. 2017. URL: <https://www.byggordboka.no/artikkel/les/sentral-driftskontroll-sd-anlegg> (sjekket 15.05.2021).
- [54] Standard Norge. *NS 3031:2014 Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data*. Standard. Opphavsrettsnotis er oppgitt i vedlegg N. 1. jul. 2014. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=702386> (sjekket 10.03.2021).
- [55] Standard Norge. *SN/TS 3031:2016 Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning*. Standard. Opphavsrettsnotis er oppgitt i vedlegg N. 15. nov. 2016. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=859500> (sjekket 10.03.2021).
- [56] Sintef. *Ny spesifisering for bygningers energibehov: Varmtvannsbehovet avhenger av folk – ikke areal*. SINTEF. 1. jul. 2020. URL: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/ny-spesifisering-for-bygningers-energibehov-varmtvannsbehovet-avhenger-av-folk-ikke-areal/> (sjekket 10.03.2021).
- [57] Standard Norge. *SN-NSPEK 3031:2020 Bygningers energiytelse — Beregning av energibehov og energiforsyning*. Standard. Opphavsrettsnotis er oppgitt i vedlegg N. 31. mar. 2020. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1124340> (sjekket 10.03.2021).
- [58] Eirik Bjørkedal Rømo og Henrik Plassen. *Energiforbruk til tappevann i idrettsbygg - Kartlegging for bedre prosjektering av nye bygg og drift av eksisterende*. Bacheloroppgave. NTNU, mai 2020.
- [59] Tore Wigenstad. «Heimdal Videregående skole - Hva beregnet vi (i 2017)? Hva måler vi (i 2019)?» ZEB konferanse, 7. nov. 2019.
- [60] *Møtereferat ang. Heimdal vgs*. I samarbeid med Lars Emil Bjørkander. Møtereferatet er oppgitt i vedlegg J. 3. mar. 2021.
- [61] SageGlass. *What is Electrochromic Glass?* SageGlass. URL: <https://www.sageglass.com/en/article/what-electrochromic-glass> (sjekket 09.02.2021).
- [62] IWMAC. *IWMAC - Kjøl og frys | Varme, kulde, ventilasjon og energimåling*. IWMAC. URL: <https://iwmac.com/no/kjol-og-frys/iwmac/> (sjekket 10.05.2021).
- [63] Trøndelag fylkeskommune. *Skolen med null klimautslipp*. URL: <https://www.trondelagfylke.no/politikk/politisk-organisering/fylkesordforer/nyheter/skolen-med-null-klimautslipp/> (sjekket 21.04.2021).
- [64] ENOVA og KS. *VEILEDNING I EPC-PROSESSEN*. URL: <https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/tema/epc-modellen-gir-selvfinansierende-oppgadering-av-kommunal-eiendom/> (sjekket 13.02.2021).
- [65] NVE. *Plusskunder*. 4. feb. 2021. URL: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nettjenester/nettleie/tariffer-for-produksjon/plusskunder/> (sjekket 23.02.2021).
- [66] Lovdata. *Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer - Lovdata*. 1999. URL: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1999-03-11-302> (sjekket 23.02.2021).
- [67] NVE. *Strømaftaler, strømpriser og faktura - NVE*. 7. okt. 2020. URL: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/stromkunde/stromaftaler-strompriser-og-faktura/> (sjekket 10.05.2021).

- [68] Skatteetaten. *Slik fungerer mva*. URL: <https://www.skatteetaten.no/bedrift-og-org-anisasjon/avgifter/mva/slik-fungerer-mva/> (sjekket 10.05.2021).
- [69] Skatteetaten. *Elektrisk kraft*. URL: <https://www.skatteetaten.no/satser/elektrisk-kraft/?year=2019#rateShowYear> (sjekket 10.05.2021).
- [70] SSB. *08358: Kraftpris og nettleie uten avgifter, etter forbrukergruppe (øre/kWh) 1993 - 2019*. PX-Web SSB. URL: <http://www.ssb.no/statbankstatbank/table/08358/> (sjekket 10.05.2021).
- [71] Olje-og energidepartementet. *Derfor svinger strømprisene*. Regjeringen.no. Publisher: regjeringen.no. 29. jan. 2021. URL: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/derfor-svinger-stromprisene/id2830569/> (sjekket 10.05.2021).
- [72] Statkraft Varme. *Fjernvarmepris vs strøm*. URL: <https://www.statkraftvarme.no/produkter-og-tjenester/prismodell/fjernvarmepris-vs-strom/> (sjekket 10.05.2021).
- [73] Miljødirektoratet. *Biodrivstoff i Norge - Miljødirektoratet*. Miljødirektoratet/Norwegian Environment Agency. 17. des. 2019. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvar-somrader/klima/fornybar-energi/biodrivstoff/> (sjekket 06.04.2021).
- [74] Elisabeth V Tandstad. «Informasjonshefte for elever skoleåret 2019-2020». I: (), s. 27. URL: <https://web.trondelagfylke.no/globalassets/bilder/heimdavideregående-skole/dokumenter/infohefte-2019-2020.pdf> (sjekket 25.02.2021).
- [75] Kunnskapsdepartementet. *Norske skoler var stengt på grunn av korona i ni uker – mot 14 uker i gjennomsnitt i OECD-landene*. Regjeringen.no. Publisher: regjeringen.no. 8. sep. 2020. URL: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/norske-skoler-var-stengt-pa-grunn-av-korona-i-ni-uker--mot-14-uker-i-gjennomsnitt-i-oecd-landene/id2740614/> (sjekket 19.02.2021).
- [76] Tor Helge Dokka og Catherine Grini. *Etterprøving av bygningers energibruk*. SINTEF akademisk forlag, 2013. ISBN: 978-82-536-1340-6. URL: https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2365084/SINTEF_Fag_06.pdf?sequence=3&isAllowed=y (sjekket 25.03.2021).
- [77] Standard Norge. *SN/TR 3069:2019 Formålsdelt etterprøving av bygningers energibruk*. Standard. Opphavsrettsnotis er oppgitt i vedlegg N. 20. mar. 2019. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1028100> (sjekket 23.03.2021).
- [78] Seklima.no. *Norsk Klimaservicesenter*. URL: <https://seklima.met.no/observations/> (sjekket 09.05.2021).

A Hovedtall

HOVEDTALL: DETALJERT		AUG 2019 - JULI 2020				KOMMENTAR	
	Målt	Beregnet	Beregnet	KORRIGERT	Beregnet		
	[kWh/år]	[kWh/m ² år]	[kWh/m ² år]	[kWh/m ² år]	[kWh/m ² år]		
Skole (Brutto energibehov)							
AM1.1	540 886	28,6	237 525	12,6	263 336	14,2	
						14,2	
AM1.2	26 871	1,4	76 221	4,0	73 521	4,0	
AM1.3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	
AM1.4	59 316	3,1	66 915	3,5	85 522	4,5	
AM1.5	142 566	7,5	173 225	9,3	173 225	9,3	
AM1.6	231 786	12,2	206 651	10,9	231 786	12,2	
	37 720	2,0	12 327	0,7	12 327	0,7	
	1 064 300	56,2	820 482	43,4	926 673	49,0	
Korrigert (Brutto energibehov)							
BM1.1	72 550	9,4	39 936	5,2	50 331	6,5	
	12 844	1,7	36 627	4,7	50 642	6,6	
	33 763	4,4	161 495	20,9	161 495	20,9	
BM1.2	57 742	7,0	57 742	7,4	57 742	7,4	
BM1.3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	
BM1.4	29 676	3,7	53 292	6,9	53 292	6,9	
BM1.5	100 676	14,3	170 439	22,2	170 439	22,2	
BM1.6	57 327	7,4	46 746	6,0	57 327	7,4	
	15 367	2,0	3 167	0,4	3 167	0,4	
	363 123	46,0	620 740	67,4	563 236	72,9	
Byggheter (Netto EPC kontrakt)							
C1.1	133 980	7,3	44 987	1,7	44 987	1,7	
C1.2	35 981	1,4	35 981	1,4	35 981	1,4	
C1.3	45 003	1,7	43 600	1,6	43 600	1,6	
C1.4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	
C1.5	67 386	2,5	159 940	6,0	159 940	6,0	
C1.6	0	0,0	24 966	0,9	24 966	0,9	
C1.7	306 368	11,5	348 450	13,1	348 450	13,1	
Energiproduksjon							
M2.1	779 960	29,3	396 144	15,0	444 103	16,7	
M2.2	43 650	1,6	194 205	7,3	194 205	7,3	
M2.3	226 467	8,5	339 989	12,7	339 989	12,7	
M2.3.1	14 512	0,5	14 512	0,5	14 512	0,5	
M2.3.2	111 955	4,1	165 690	6,3	165 690	6,3	
M2.4	0	0,0	143 936	5,4	143 936	5,4	
M2.5	233 876	9,5	289 739	10,9	289 739	10,9	
M2.5.1	194 855	7,3	246 697	9,3	246 697	9,3	
M2.5.2	39 021	1,4	43 042	1,6	43 042	1,6	
M2.6	170 309	6,4	24 374	0,9	24 374	0,9	
M3.1	210 748	8,1	107 835	4,1	107 258	4,1	
M3.2	15 223	0,6	56 487	2,1	55 487	2,1	
M3.3	53 067	2,0	40 000	1,5	40 000	1,5	
M3.3.1	38 914	1,5	38 914	1,5	38 914	1,5	
M3.3.2	14 153	0,5	1 111	0,0	1 111	0,0	
M3.3.3	14 153	0,5	1 111	0,0	1 111	0,0	
M3.4	153 739	5,9	296 044	11,1	291 536	10,6	
M4.1	72 729	2,7	27 264	1,0	42 745	1,6	
M4.2	59 023	2,2	17 954	0,7	19 403	0,8	
M4.2	59 023	2,2	40 072	1,5	37 835	1,4	

Generell informasjon | Generelt | Opløst | Skillett | Generelt | Generelt

B Hovedtall sammenstilt

	August		September		Oktober		November		Desember		Januar		Februar		Mars		April		Mai		Juni		Juli		aug-juli		
	Uke 30-35	Målt. Beringsatt	Uke 36-39	Målt. Beringsatt	Uke 40-44	Målt. Beringsatt	Uke 45-48	Målt. Beringsatt	Uke 49-52	Målt. Beringsatt	Uke 1-05	Målt. Beringsatt	Uke 06-09	Målt. Beringsatt	Uke 10-13	Målt. Beringsatt	Uke 14-18	Målt. Beringsatt	Uke 19-22	Målt. Beringsatt	Uke 23-27	Målt. Beringsatt	Uke 28-31	Målt. Beringsatt	Uke 2019-2020	Målt. Beringsatt	
M2.1	13 640	4 538	16 060	5 019	20 075	6 692	16 060	4 448	33 420	9 725	20 075	5 194	16 060	2 900	13 365	13 720	20 075	1 151	16 060	2 018	18 900	3 737	8 103	43 830	134 203	194 203	194 203
M2.2	29 722	0	26 066	0	32 006	46 363	26 860	46 673	26 335	66 542	32 598	53 353	26 006	29 303	26 006	0	32 509	236	26 006	154	32 501	0	26 006	226 407	339 893	339 893	
M2.3	14 198	0	15 529	0	15 529	22 336	15 529	28 221	42 387	32 063	15 529	15 529	15 529	15 529	15 529	0	15 529	0	15 529	0	15 529	0	15 529	114 532	163 890	163 890	
M2.4	39 638	2 331	22 019	4 618	5 772	1 159	4 618	4 458	2 338	1 000	5 772	4 618	4 618	4 618	4 618	0	5 772	2 338	4 618	68	9 772	43	0	3 019	50 827	50 827	
M2.5	108	0	1 000	0	1 000	37 000	2 473	30 000	3 741	19 844	8 790	20 732	4 262	11 842	1 869	2 496	422	6 506	224	14	242	0	170 309	24 374	54 402	54 402	
M3.1	5 141	691	14 201	631	27 049	9 143	26 216	13 843	35 521	10 188	29 890	23 303	35 035	17 616	11 012	17 477	4 150	16 037	3 933	6 714	867	1 350	439	215 746	107 855	119 252	
M3.2	3 507	1 478	4 588	1 668	5 736	1 658	4 588	1 486	3 834	2 153	5 736	1 684	4 588	1 064	3 816	8 304	3 836	2 264	6 904	9 303	10 740	6 007	9 973	53 087	40 000	40 000	
M3.3	0	3 479	2 958	3 583	3 697	3 222	3 589	3 196	3 196	4 044	3 698	3 196	2 845	2 845	3 634	3 698	1 725	2 958	1 622	2 958	3 698	1 622	2 958	33 914	38 500	38 500	
M3.3.2	0	51 670	0	46 312	0	56 574	67 620	41 010	80 734	48 886	112 836	66 514	82 572	41 700	45 312	0	86 514	8 072	4 640	87	65 609	0	46 312	60 141	609 161	609 161	
M3.3.3	2 113	2 469	2 887	4 909	15 867	6 910	39 159	7 236	34 438	6 265	19 844	14 901	20 832	9 177	11 014	5 412	2 760	6 320	8 072	4 640	87	6 137	0	172 328	76 838	109 437	
M3.3.7	62 822	28 336	83 517	62 895	107 516	99 293	89 759	90 792	82 017	98 502	110 789	77 893	87 366	64 542	66 881	55 047	67 378	48 190	42 036	36 790	35 707	35 457	6 912	839 432	817 236	839 432	
M4.1	0	29 722	0	29 038	0	30 165	33 022	29 436	31 772	30 040	43 338	24 650	29 108	27 693	14 012	24 025	0	31 069	719	24 694	429	35 691	306	163 739	311 026	311 026	
M4.3	0	28 246	0	24 706	0	20 243	27 436	21 367	23 026	8 038	21 367	21 367	21 367	21 367	21 367	21 367	21 367	21 367	21 367	21 367	21 367	21 367	21 367	21 367	21 367	21 367	21 367
M2.3.1)	0	0	0	0	1 726	10 926	3 435	11 681	8 335	22 204	7 890	24 285	4 083	9 891	1 770	539	0	1 003	23	103	20	0	0	77 728	27 264	42 745	

C Energiregnskap

EPC AVTALE		Aug 2019 - Juli 2020		
		Målt	EPC. Ukorrigeret	EPC. Korrigeret
M3-7	El import	839 432	817 236	932 675
M3.6	Fjernvarme import	173 328	76 838	105 437
M3.3.1	Biogass import (Sum el/term produksjon * 85 % virkningsgrad)	401 151	589 151	589 151
Kjøpt energi		1 413 911	1 483 225	1 627 263
M4.3	Termisk energi solgt Husebyhallen	153 739	296 044	281 336
M4.2	Elektrisk Energi (PV+CHP) solgt til nettet	59 023	58 026	46 938
Solgt energi		212 762	354 070	328 274
Sum 1	Kjøpt ÷ Solgt	1 201 149	1 129 155	1 298 989
Korrigeret "utomhus"				
C1.1	Termisk energi nedkjøringsrampe	193 980	44 997	44 997
C1.2	Termisk energi trapp		35 981	35 981
C1.3	Termisk energi driftsgarasje	45 000	4 776	4 776
C1.4	Elektrisk energi driftsgarasje	67 388	43 800	43 800
C1.5	Elektrisk energi lading scooter		33 990	33 990
C1.6	Elektrisk energi lading bil		159 940	159 940
C1.7	Elektrisk energi utebelysning		24 966	24 966
	El arr Hall			
SUM C-målere		306 368	348 450	348 450
Sum 2	Kjøpt ÷ Solgt ÷ SUM C-målere (Garasje/P-kjeller/utomhus)	894 781	780 705	950 539

D EPC energiregnskap detaljert

EPC AVTALE	August 2019		September 2019		Oktober 2019		November 2019		Desember 2019		Januar 2020		Februar 2020		Mars 2020		April 2020		Mai 2020		Juni 2020		Juli 2020		Aug. 2019 - Juli 2020								
	Ute	Målt	Ute	Målt	Ute	Målt	Ute	Målt	Ute	Målt	Ute	Målt	Ute	Målt	Ute	Målt	Ute	Målt	Ute	Målt	Ute	Målt	Ute	Målt	Ute	Målt	Ute	Målt					
	30-35	30-35	36-39	40-44	45-46	45-52	51-55	56-59	60-63	64-68	69-72	73-76	77-81	82-86	87-91	92-94	95-97	98-101	102-104	105-107	108-110	111-112	113-114	115-116	117-118	119-120	121-122	123-124					
M3-7	52.322	28.336	83.517	62.995	107.516	99.293	89.758	97.792	82.077	86.902	98.614	116.789	77.493	87.366	64.542	68.881	67.678	67.678	63.790	35.707	35.457	6.912	839.432	817.256									
M3-8	2.113	2.489	2.881	4.909	15.861	9.910	38.159	7.236	34.488	6.255	19.844	14.901	20.632	9.127	12.014	5.412	2.750	6.330	8.072	4.940	97	6.137	0	173.328	76.838								
M3-11	0	51.670	0	45.212	0	58.514	87.620	45.010	80.134	48.826	114.656	58.514	59.684	45.212	41.710	45.212	0	56.554	0	45.212	0	56.502	0	45.212	407.151	589.151							
Kjøpt energi	54.435	82.495	86.398	113.116	123.377	162.717	194.537	143.038	196.609	139.983	233.294	189.204	191.789	141.696	118.268	130.412	97.797	130.412	98.262	95.188	36.887	99.346	35.467	52.124	1.413.911	1.483.225							
M4-3	28.238	0	24.708	0	24.708	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.008	153.259	268.044							
M4-2	14.947	0	259.448	0	29.243	33.022	21.313	31.772	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.768	59.623	85.052						
Sølt energi	0	42.563	201	26.144	0	29.276	33.022	21.313	31.772	0	43.338	23.387	29.108	20.944	14.612	28.278	7.780	40.238	9.187	33.338	19.373	48.268	19.236	39.774	212.764	334.070							
Sum 1	54.435	39.912	86.198	86.972	123.377	133.441	181.815	121.725	164.837	162.881	164.817	164.817	162.881	120.751	104.254	93.230	90.047	90.182	48.105	61.882	17.544	62.077	16.207	12.390	1.201.148	1.129.155							
Kjørt ut omnia																																	
C1.1			623	26.542	4.315	27.094	0	0	4.615	0	32.014	9.185	33.510	6.530	15.135	6.799	24.421	4.100	4.581	1.050	89	0	92	0	103.801	44.997							
C1.2			468	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
C1.3			0	7	336	7	284	0	1.622	0	1.184	4.928	1.024	4.928	4.474	3.84	5.200	3.110	3.608	1.100	1.009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C1.4			3.360	4.200	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	4.200	4.200	3.360	3.360	3.360	3.360	4.200	4.200	4.200	3.360	3.360	4.200	4.200	3.360	3.360	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	
C1.5			5.660	5.976	5.976	5.976	5.976	5.976	6.011	6.011	7.744	1.150	1.862	1.862	4.025	4.025	4.700	5.414	4.501	5.400	5.400	4.700	5.414	2.100	0	0	0	0	0	0	0	0	
C1.6			11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915	11.915
C1.7			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ei art Hall																																	
Sum 2	100	100	30.659	94.448	128.672	89.113	131.752	89.113	131.752	89.113	150.191	122.183	118.759	87.918	90.020	95.951	15.717	62.620	35.307	33.839	11.600	26.022	13.148	7.075	894.781	790.705							

#737373General Information \ Generale \ Ogdina \ Sisäinen \ Generell \ Generell

E Oppfølging juni

HOVEDTALL. DETALJERT		Uke:23-27		JUNI 2020	
		Målt	Beregnet	Kommentar	
Skole (Brutto energibehov)					
A-M1.1	Brutt energibehov oppvarming	6 907	26	Målt Radiator: 8 569 kWh + 214 kWh (vent skole) = 382 kWh (vent hall) + 1 066 kWh (termisk Driftsgarage)	
	Brutt energibehov oppvarming ventilasjon	214	639	Måling: Data fra teoretisk beregning rapportert fra aggregater.	
A-M1.2	Brutto termisk energibehov tappevann	1 343	7 973	Måling: Fordeling av tappevann mellom skole (1/3) og flerbrukshall (2/3) er stipulert	
A-M1.3	Brutto termisk energibehov kjøling	0	0		
A-M1.4	Elektrisk energi vifter (aggregat)	7 616	5 435		
A-M1.5	Elektrisk energi belysning	12 885	13 054		
A-M1.6	Elektrisk energi brukerutstyr	18 493	15 501		
	Elektrisk energi pumper	5 618	35	Måling: Ikke skilt på skolebygg og flerbrukshall. Inngår i M3.3. Fordeling basert på m2. Ladepumper/tørkjøler inngår i målt verdi	
	<i>Brutto energibehov (levert energi fra "teknisk rom")</i>	<i>53 076</i>	<i>42 663</i>	<i>kWh pr. måned</i>	
	<i>Brutto energibehov pr m2</i>	<i>2,8</i>	<i>2,3</i>	<i>kWh/m2 pr. måned</i>	
Idrettshall (Brutto energibehov)					
B-M1.1	Brutt energibehov oppvarming (gulvvarmekurs)	8 551	361		
	Brutt energibehov garderobe og dusj (gulvvarmekurs)	1 490			
	Brutt energibehov oppvarming ventilasjon	382	42	Måling: Data fra teoretisk beregning rapportert fra aggregater.	
B-M1.2	Brutto termisk energibehov tappevann	2 686	16 798	Mengdemåling: Sum totalt/sum sirkulasjon/4 stammer (skolebygg). Mengdene stemmer ikke. IWMAC. Målt energi stipulert (2/3 til hall)	
B-M1.3	Brutto termisk energibehov kjøling	0	0		
B-M1.4	Elektrisk energi vifter (aggregat)	2 167	5 252		
B-M1.5	Elektrisk energi belysning	10 044	17 217		
B-M1.6	Elektrisk energi brukerutstyr	4 286	4 483		
	Elektrisk energi pumper	1 686	21	Måling: Ikke skilt på skolebygg og flerbrukshall. Inngår i M3.3. Fordeling basert på m2. Ladepumper/tørkjøler inngår i målt verdi	
	<i>Brutto energibehov (levert energi fra "teknisk rom")</i>	<i>31 292</i>	<i>44 174</i>	<i>kWh pr. måned</i>	
	<i>Brutto energibehov pr m2</i>	<i>4,0</i>	<i>5,7</i>	<i>kWh/m2 pr. måned</i>	
Energiposter utenfor EPC kontrakt					
C1.1	Termisk energi nedkjøringsrampe	88	0		
C1.2	Termisk energi trapp ute		0		
C1.3	Termisk energi driftsgarasje	1 066	0		
C1.4	Elektrisk energi parkeringskjeller		4 200		
C1.5	Elektrisk energi Scooter	4 760	5 941		
C1.6	Elektrisk energi Lading el bil		14 540		
C1.7	Elektrisk energi utebelysning.		2 394		
Energiproduksjon					
M2.1	Termisk energi fra (REFTEC) varmepumpe, oppvarming	20 469	1 172		
M2.2	Termisk energi tappevann fra Winns CO2-VP	2 018	19 800	Måling ekskl. Sirkulasjonstap. Beregning: Inkl. sirkulasjonstap.	
M2.3	Termisk energi produsert i CHP totalt	134	32 501		
(M2.3.1)	Termisk energi CHP til skole/flerbrukshall	20	0		
M2.4	Elektrisk energi produsert fra CHP	0	15 526	Måling: Sum av CHP1 og CHP2	
(M2.4.1)	Elektrisk energi fra CHP til skole/flerbrukshall	0	10 978	Bruksstrøm + el til varmepumpe. Ikke egen måling	
M2.4.2	Elektrisk CHP eksport	0	4 548		
M2.5	Produsert energi solcelle	69 099	60 795		
(M2.5.1)	Egenbruk solstrøm	15 155	51 574	Ikke egen måling	
M2.6	Fjernvarme til tappevann	83	5 772		
M2.7	Fjernvarme til oppvarming	14	242	Måling: FVtotalt - FVtappevann	
M3.1	Elektrisk energi til REFTECH varmepumpe, oppvarming	5 214	694		
M3.2	Elektrisk energi til tappevann CO2-VP	848	5 657		
M3.3	El til varmesentral (hjelpetstyr,sirk.pumper, etc.)	9 303	10 740	Måling: Tørkjøler, heiser, driftspumper i varmesentral	
M3.3.2	Sirkulasjonstap tappevann	1 928	3 698	Målt: Elektrisk via egen VVB	
M3.3.1	Gass import	0	56 502	Måling: Ikke egen måling (Måling= Σtermisk og elproduksjon. Antatt virkninggrad = 85%)	
M3.6	Fjernvarme import	97	6 137		
M3.7	Elektrisk energi import	36 790	35 707		
M4.1	Termisk energi fra CHP levert mot Husebyhallen	429	32 501		
M4.3	Termisk energi fra CHP levert Husebyhallen		30 876		
	Termisk energi fra CHP levert skolebygget/flerbrukshall	20	0		
M4.2	Elektrisk energi export CHP	18 944	4 548	Ikke egen måling for eksportert el fra CHP-maskin. Kun minusmåling hovedmåler for samlet eksport	
M4.2	Elektrisk energi export Solstrøm		9 220	Ikke egen måling for eksportert el fra PV anlegg. Kun minusmåling hovedmåler for samlet eksport	

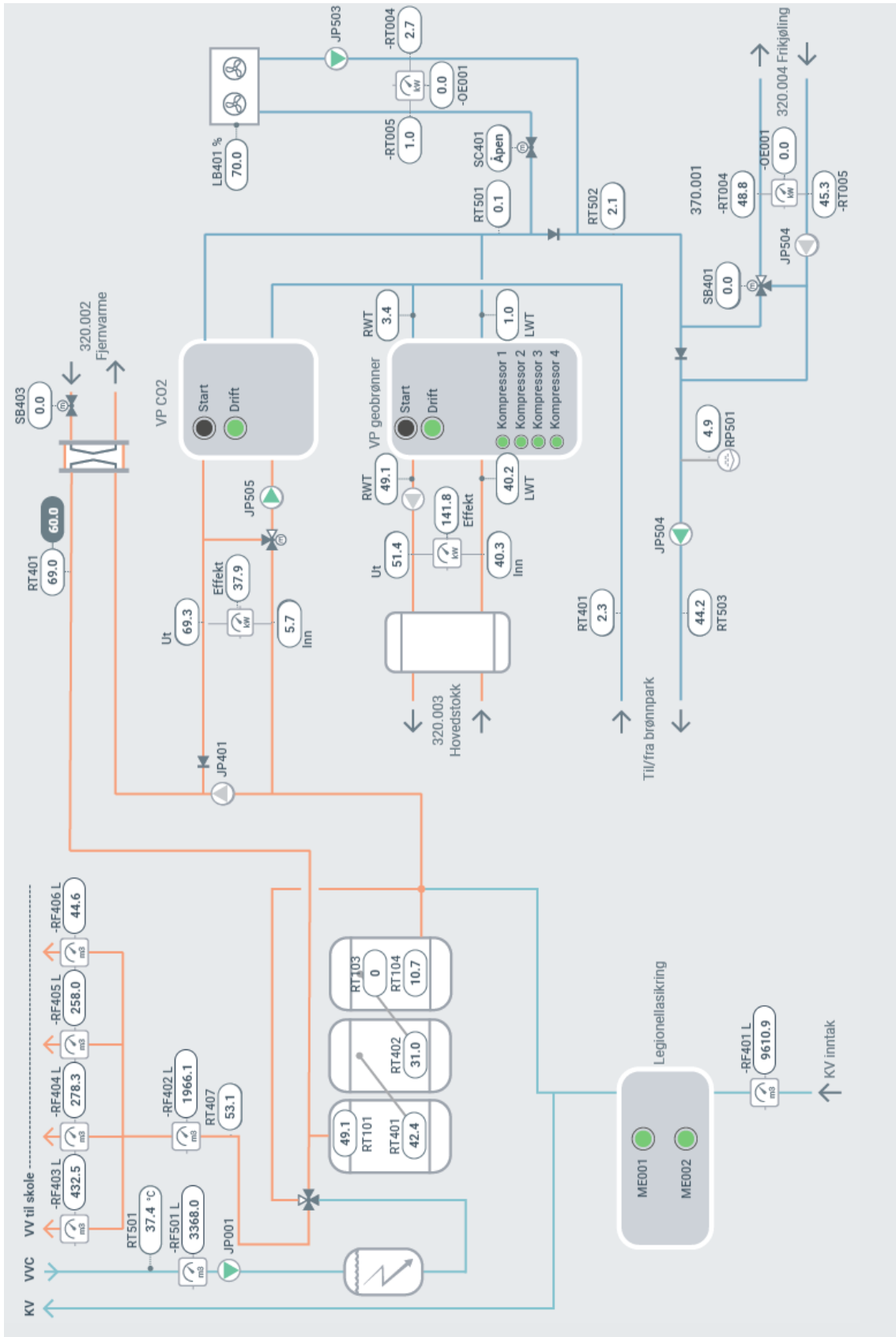
#737373General Information \ Generale \ Ogólna \ Sisäinen \ Generell \ Generell

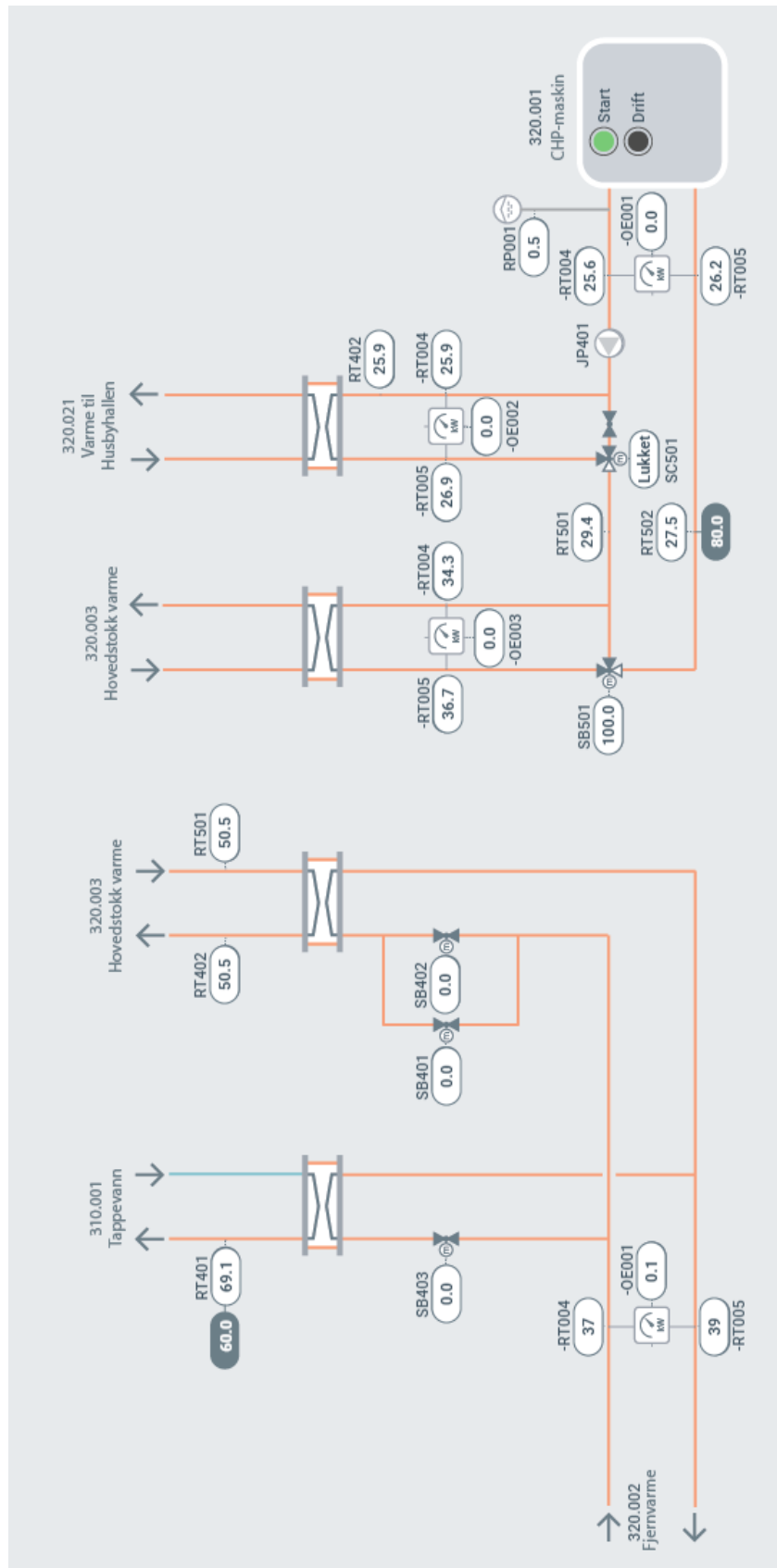
F Oppfølging juli

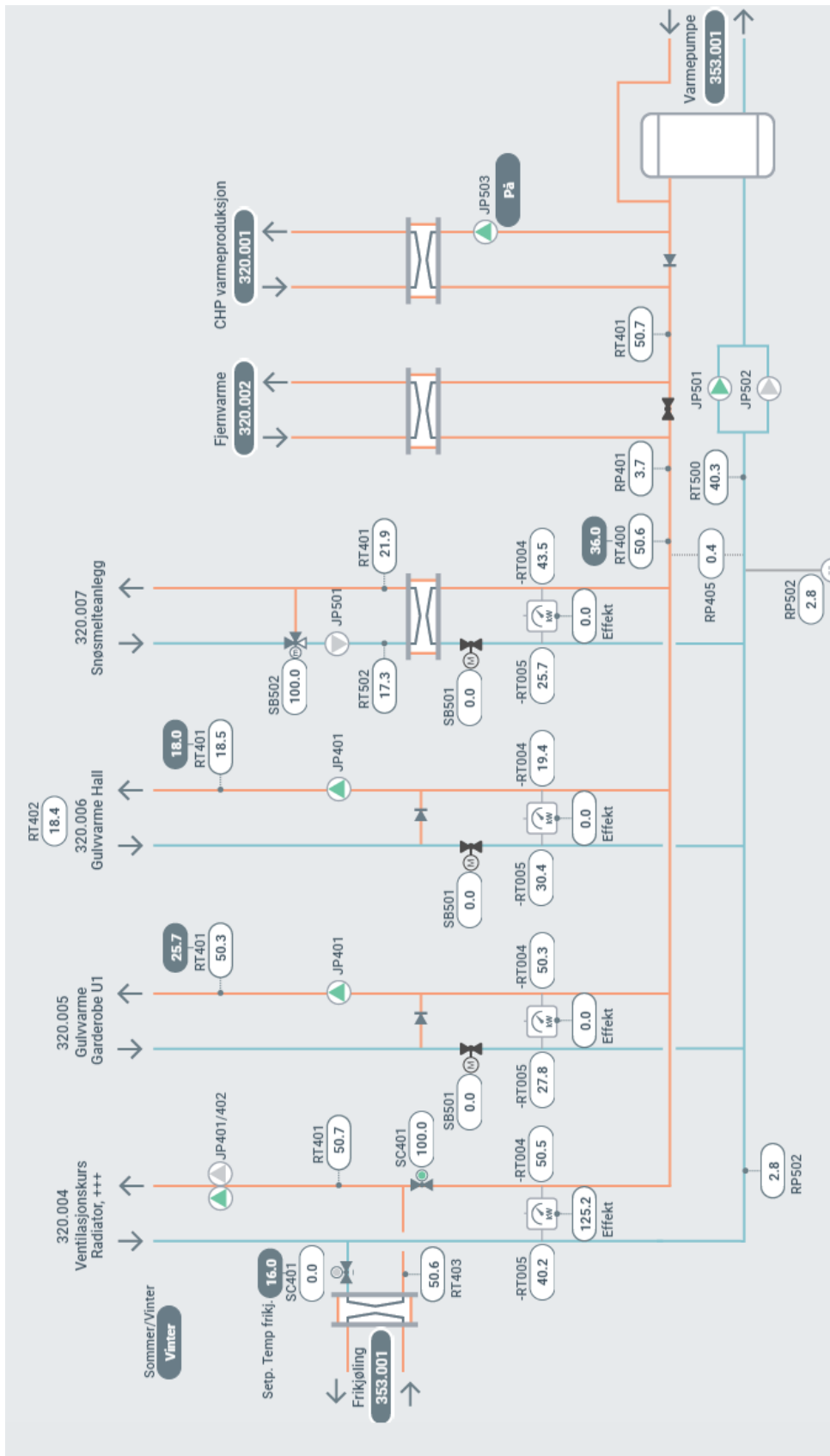
HOVEDTALL. DETALJERT		Uke:28-31		JULI 2020	
		Målt	Beregnet	Kommentar	
Skole (Brutto energibehov)					
A-M1.1	Brutt energibehov oppvarming	0	204	Målt Radiator: 0 kWh + 0 kWh (vent skole) + 0 kWh (vent hall) + 0 kWh (termisk Driftsgarage)	
	Brutt energibehov oppvarming ventilasjon	0	0	Måling: Data fra teoretisk beregning rapportert fra aggregater.	
A-M1.2	Brutto termisk energibehov tappevann	1 601	1 613	Måling: Fordeling av tappevann mellom skole (1/3) og flerbrukshall (2/3) er stipulert	
A-M1.3	Brutto termisk energibehov kjøling	0	0		
A-M1.4	Elektrisk energi vifter (aggregat)	3 204	0		
A-M1.5	Elektrisk energi belysning	8 182	3 179		
A-M1.6	Elektrisk energi brukerutstyr	10 785	4 039		
	Elektrisk energi pumper	4 621	9	Måling: Ikke skilt på skolebygg og flerbrukshall. Inngår i M3.3. Fordeling basert på m2. Pumper geobrennt/tørkjøler/heiser inngår i målt verdi	
	<i>Brutto energibehov (levert energi fra "teknisk rom")</i>	28 593	9 044	kWh pr. måned	
	<i>Brutto energibehov pr m2</i>	1,5	0,5	kWh/m2 pr. måned	
Idrettshall (Brutto energibehov)					
B-M1.1	Brutt energibehov oppvarming (gulvvarmekurs)	277	9		
	Brutt energibehov garderobe og dusj (gulvvarmekurs)	1 857			
	Brutt energibehov oppvarming ventilasjon	0	178	Måling: Data fra teoretisk beregning rapportert fra aggregater.	
B-M1.2	Brutto termisk energibehov tappevann	3 601	6 570	Mengdemåling. Sum totalt/sum sirkulasjon/4 stammer (skolebygg). Mengdene stemmer ikke. IWMAC. Målt energi stipulert (2/3 til hall)	
B-M1.3	Brutto termisk energibehov kjøling	0	0		
B-M1.4	Elektrisk energi vifter (aggregat)	11 845	4 264		
B-M1.5	Elektrisk energi belysning	6 374	13 774		
B-M1.6	Elektrisk energi brukerutstyr	2 997	3 586		
	Elektrisk energi pumper	1 386	8	Måling: Ikke skilt på skolebygg og flerbrukshall. Inngår i M3.3. Fordeling basert på m2. Ladepumper/tørkjøler inngår i målt verdi	
	<i>Brutto energibehov (levert energi fra "teknisk rom")</i>	28 337	28 389	kWh pr. måned	
	<i>Brutto energibehov pr m2</i>	3,7	3,7	kWh/m2 pr. måned	
Energiposter utenfor EPC kontrakt					
C1.1	Termisk energi nedkjøringsrampe	92	0		
C1.2	Termisk energi trapp ute		0		
C1.3	Termisk energi driftsgarasje	0	0		
C1.4	Elektrisk energi parkeringskjeller		3 360		
C1.5	Elektrisk energi Scooter	2 966	0		
C1.6	Elektrisk energi Lading el bil		0		
C1.7	Elektrisk energi utebelysning.		1 915		
Energiproduksjon					
M2.1	Termisk energi fra (REFTEC) varmepumpe, oppvarming	3 330	392		
M2.2	Termisk energi tappevann fra Winns CO2-VP	3 737	8 910	Måling ekskl. Sirkulasjonstap. Beregning: Inkl. sirkulasjonstap.	
M2.3	Termisk energi produsert i CHP totalt	0	26 006		
(M2.3.1)	Termisk energi CHP til skole/ferbrukshall	0	0		
M2.4	Elektrisk energi produsert fra CHP	0	12 423	Måling: Sum av CHP1 og CHP2	
(M2.4.1)	Elektrisk energi fra CHP til skole/ferbrukshall	0	7 371	Bruksstrøm + el til varmepumpe. Ikke egen måling	
M2.4.2	Elektrisk CHP eksport	0	5 052		
M2.5	Produsert energi solcelle	40 709	40 576		
(M2.5.1)	Egenbruk solstrøm	21 944	32 147	Ikke egen måling	
M2.6	Fjernvarme til tappevann	43	0		
M2.7	Fjernvarme til oppvarming	0	0	Måling: FVtotalt - FVtappevann	
M3.1	Elektrisk energi til REFTECH varmepumpe, oppvarming	1 250	420		
M3.2	Elektrisk energi til tappevann CO2-VP	1 332	2 546		
M3.3	El til varmesentral (hjelpetstyr,sirk.pumper, etc.)	6 007	9 973	Måling: Tørkjøler, heiser, driftspumper i varmesentral	
M3.3.2	Sirkulasjonstap tappevann	1 622	2 958	Målt: Elektrisk via egen VVB	
M3.3.1	Gass import	0	45 212	Måling: Ikke egen måling (Måling= Σtermisk og elproduksjon. Antatt virkninggrad = 85%)	
M3.6	Fjernvarme import	0	0		
M3.7	Elektrisk energi import	35 457	6 912		
M4.1	Termisk energi fra CHP levert mot Husebyhallen		26 006		
M4.3	Termisk energi fra CHP levert Husebyhallen	306	24 706		
	Termisk energi fra CHP levert skolebygget/ferbrukshall	0	0		
M4.2	Elektrisk energi export CHP	18 944	5 052	Ikke egen måling for eksportert el fra CHP-maskin. Kun minusmåling hovedmåler for samlet eksport	
M4.2	Elektrisk energi export Solstrøm		14 692	Ikke egen måling for eksportert el fra PV anlegg. Kun minusmåling hovedmåler for samlet eksport	
Totalt elektrisk forbruk		60 949	43 436		

#737373General Information \ Generale \ Ogólna \ Sisäinen \ Generell \ Generell

G IWMAC Energisystem







H Temperaturkorrigering

T_ute.basis

Måned	T_ute.målt,i	T_ute.normal,i	(T_ute.basis)-(T_ute.normal,i)	(T_ute.basis)-(T_ute.målt,i)	T_ute	Energiforbruk målt,i	Energiforbruk beregnet,i	Korrigeret beregnet,i
8	14,5	13,7	-4,7	-5,5	0,854545455	24566	857	1003
9	9,1	10	-1	-0,1	1	58772	2178	2178
10	3,2	5	4	5,8	0,689655172	114276	39493	57265
11	-2,4	0,7	8,3	11,4	0,728070175	138473	59588	81844
12	-0,3	-1,7	10,7	9,3	1,150537634	130395	80981	70385
1	1,8	-1,8	10,8	7,2	1,5	145785	98509	65673
2	0,2	-1,7	10,7	8,8	1,215909091	131593	74014	60871
3	1,3	0,4	8,6	7,7	1,116883117	95987	48513	43436
4	3,6	4,4	4,6	5,4	0,851851852	66318	18814	22086
5	6,6	8,7	0,3	2,4	1	65326	7216	7216
6	17,2	11,9	-2,9	-8,2	0,353658537	20503	1414	3998
7	12,4	14,4	-5,4	-3,4	1,588235294	3330	392	247
Sum						995334	431969	416202

I Møtereferat Lars Emil Bjørkander 04.02.21

Referat fra møte med driftsansvarlig ved Heimdal vgs.

Dato: 4.2.21 kl 10:00

Sted: Heimdal videregående skole

Til stede: Lars Bjørkander, Kristian Lien, Cecilie Torp Dahl, Ingebjørg Skarbøvik, Gunhild Bjørnås, Clemens Müller, Sigrid Eliassen Sand.

Utsagnene er sortert etter tema, ikke etter når de ble sagt.

CHP-maskin

En god del dyrere enn fjernvarme. Varmesløyfa går først til Husebyhallen, deretter til skolen og tilbake til CHP maskinen. Fyres opp i november og går til april. Da kjøres maskinen til tanken er tom. Lite driftsproblemer under produksjon. I november når det skal startes opp, fylles det først opp med nitrogen for å kjøle ned tanken, deretter fylles tanken opp 92-93 % (maks 95 %). Det er jo LBG som brukes og må fordampes til gass. De resterende 5% er plassen hvor det kan fordampes. Tanken er på 25 m³. Bruker ca 15% av fullt volumprosent i uka. Ingen "rengjøring" om våren. Fyller ca hver 6. uke fra Skogn biokraftverk. Ingen samarbeid med AtB. Veldig pålitelige leveranser fra Skogn, ikke vært noen problemer. Billig å installere men dyrt i drift. Før Skogn åpnet fikk de biogass fra Sverige. Har hatt et større forbruk enn estimert, var forutsatt 5-10 % men faktisk forbruk er 15 % i uka. Det betyr at gassforbruket per kWh er større og de må fylle oftere enn forventet

Tar man for lite av biogasstanken bygges trykket opp og gassen blåses over tak. Dette var et problem i oppstartsfasen men ikke nå lengre. Det kan oppstå rett etter fylling av tank når det er liten plass.

Solceller

Solenergi produseres ikke om vinteren, det starter typisk i april og til oktober/november

414 kW peak (dette må sjekkes opp). Ingen batteripakke men det er prosjekt for å få til det. Vilkårlig dag, 10. Juli: 200 kW. Standard inverterløsning.

Varmepumpe

21 geobrønner. Input 40 kW inn og 140 kW ut som gir en COP på 3.5. Brønnene varmes opp når det er varmt ute i luften. Det hjelper varmepumpa på å få en COP opp mot 4 (3-4). Dyrt å installere, men billig i drift. 15 års levetid, deretter må det store utskiftninger på sentrale komponenter. Kommunen krever at varmepumpen gjenvinner 85 % av varmen og gjenvinneren på skolen ligger på godt over 90 % opp mot 95-96 %. 86 % gjenvinning under møtet med -15 grader ute.

Drift

Skanska hadde ansvar drift første året. Fylkeskommunen tok over, driftsleder skulle gjerne hatt litt mer kommunikasjon mellom partene. Andre året fikk de litt mer forståelse for drift. EPC-kontrakt med entreprenøren. Det ytres at fylkeskommunen var veldig fornøyd med denne kontrakten.

Energibehovet totalt er veldig likt prosjektert men det er små forskjeller på enkelte områder:

Oppvarming var det største avviket, det var prosjektert mye lavere enn faktisk behov. Dette har noe med driftstid å gjøre, det var prosjektert driftstid 8-16, men faktisk driftstid blir mere 5:30 til 23.00 (på enkelte dager), og enkelte steder på bygget. Programmet brukt er iwmac. ZEB-faktoren er på 132 g CO₂/kWh. Ingen store døgnvariasjoner. 2020 er et år med store avvik. Da skolen var stengt kjørte han anleggene (ventilasjonsanlegget) en time på dagen og en time på kvelden. Radiatorene er termostatstyrt som må justeres manuelt. Vanskelig å tune ventilasjon mot radiatorer.

Elektrokromatiske glass. Fungerer som en solbrille og blir blå når man setter på en spenning. Glassene er hovedsakelig installert på plan to og tre. På plan 4 og 5 er det screengardiner. Glasset er delt opp i to soner som blir mørke etter hvor høy/lav sola er. Driftsansvarlig liker ikke at det er delt opp i to deler siden det fører til driftsforstyrrelser. Glassene styres, kontrolleres og sjekkes for avvik fra England. På en del rom i bygget kan dette overkjøres. Bygget bruker LED-lys. For å slå på lys må man skru på bryteren selv, men det er en sensor som registrerer når det er aktivitet der. Det som krever mest oppmerksomhet når det kommer til drift er å se til at varmepumpa fungerer og det

elektriske. For driften sin del hadde det vært enklere å ha fjernvarme. Dette ville også vært mer økonomisk men det ville gått utover ZEB-regnskapet. Har gått veldig fint å drifte CHP-anlegget. Det trengs ikke flere personell for å drifte CHP-anlegget sammenlignet med fjernvarme, men personalet trenger mer kompetanse. Solcelleanlegget, varmepumpene og CHP har fungert bra i samspill.

Ventilasjon

54 ventilasjonsanlegg. Hallen består av 6 anlegg som er koblet sammen og styres sammen. Da går det an å koble på flere etter behov, eks ved konserter eller eksamen. Mange anlegg og de kan styres hver for seg, ofte 2-4 rom per anlegg. Kjører ekstra ventilasjon nå som smitteverntiltak. Normalt står den på rundt 1500, nå er det 3000. Lavere energibruk til vifte ved desentralisert ventilasjonsbruk.

Diverse annet

På dagtid har Kolstad en hallflate og skolen to, men etter klokken fire og i helger har Kolstad alle tre hallflatene. Hallen kan måles separat fra vgs. Kolstad er med på å drifte. Oppvarming blir regnet per m³ og ikke i driftstid, derfor kan det være fristende under prosjektering å sette ned driftstiden for å få bedre resultater. 6 ladestasjoner for elbil på skolen. Musikkrommene kan disponeres frem til kl 20. De har serviceavtaler på alt de har fra leverandør og leverandør brukes i garantiperioden.

J Møtereferat Lars Emil Bjørkander 03.03.21

Møtereferat ang. Heimdal vgs.

Tilstede: Lars Bjørkander, Ingebjørg Skarbøvik, Gunhild Bjørnås og Cecilie Torp Dahl

Sted: Digitalt møte på Microsoft Teams

Dato: 03.03.21 kl 12:00-12:30

Målte verdier på excelarket vi har mottatt er hva som er fysisk målt, beregnede verdier er verdier som var estimert under prosjekteringen og korrigerede verdier er verdier som er beregnet i etterkant av prosjektering når driftsfasen var begynt, hvor det er korrigert for riktig driftstid og evt. endring i temperaturer. Driftstiden viste seg i praksis å være lengre enn antatt i prosjektering. Eks. ventilasjon blir satt på 05:30 (prosjektert 08:00) og slås av tidligst 16:30 (prosjektert 15:00). Skolen slutter tidligst 15:30 og anleggene slås av en time etter stenging for å skifte ut luften.

CHP-maskiner går 24/7 i vinterhalvåret så lenge Husebyhallen vil ta imot varme. Hvis hallen ikke trenger varme girer CHP-anlegget seg ned og kan f. eks gå over på bare en motor. På slutten av sesongen vurderes det om det skal fylles en tank til eller om de kjører ut resten av det som er igjen. Etter at tanken er kjørt tom blir den stående tom frem til november. Når det er for høye temperaturer ute er det ikke noen hensikt i å ha CHP-maskina gående ettersom man ikke får nok avsetning på varmen/energien.

Pris på fjernvarme ligger erfaringsmessig rundt 1-2 øre under strømprisen per kWh. Kostnad for biogass lå i skoleåret 19/20 på rundt 1,37 kr/kWh.

Ventilasjonsystemet er et desentralisert system med 54 ventilasjonsanlegg. Det har mange luftinntak som er spredt rundt på de utvendige veggene på skolen. I dette systemet er det et større luftinntak til et rom hvor de har samlet 12 anlegg, her er det felles inntak og avkast for alle 12 anleggene.

Fra geobrønnparken kommer det vann inn til både Reftec varmpumpa som betjener varme til bygget; radiatorer, oppvarming til ventilasjon, snøsmelting, gulvvarme etc. og CO2 varmpumpa som betjener tappevannet. Hvis det er driftsforstyrrelser på geovarmepumpene slår fjernvarme inn.

K Møtereferat Lars Emil Bjørkander 19.04.21

Møtereferat om Heimdal vgs.

Teams 09:00, 19.04.21

Oppmøte: Lars Bjørkander, Cecilie Torp Dahl, Ingebjørg Skarbøvik og Gunhild Bjørnås

Ventilasjon starter klokken 05.30 og kjører til 16.30. Lys og brukerutstyr kjører naturlig når det er personer i bygget. Dette vises på forbruket. Ventilasjon av Kolstad arena på kvelden.

I ferien er det laget egen TS (tidsstyring). Kan gå inn for å overstyre og for eksempel legge inn ekstra ventilasjon ved arrangementer. Også egen TS ved nedstengningen med ventilasjon en time på morgenen (0730-0830) og på kvelden (20.00–21.00). Forskjell på oppvarming i sommerferie og juleferie. Lars ønsker et system med feriemodus i iwmac slik at det ikke behøves å legges inn nye tider på hvert anlegg. Minimal driftstid i feriene. Avtalt med renholdere slik at ventilasjonen kjørte i områder med behov. Hele skolen er stengt. Til oppvarming går det en del fordi radiatorene ikke er med på SD-anlegget. De skal ikke gå om temperaturen opprettholdes. Sommerdrift med krets som stenges og brukes til kjøling i stedet.

Radiatorene er satt til litt varierende settpunkttemperatur (+/-21 grader). Viktig at radiatorene og ventilasjonen ikke jobber mot hverandre om radiatorene har for høy settpunkttemperatur. Individuelle forskjeller. Tuning etter behov om det er gitt tilbakemelding på om det er for kaldt eller varmt. Temperaturen på natten gir indikasjon på settpunkttemperaturen på grunn av liten personbelastning. CO₂-sensor over 600 – anlegget girer seg opp. Temperaturen ligger jevnt rundt 21 grader ser vi på grafen for en vilkårlig dag. Rom med lite personbelastning har høyere settpunkt temperatur på grunn av lite oppvarming fra personer. Ventilasjonen har soner med inntil 6 klasserom der alle rommene blir ventilert om kun ett trenger ventilering. Radiatorene er ikke mulig for elevene å styre, noe som er viktig for å ha kontroll på oppvarmingen.

Oppvarming av bakken ute styres av sensorer som måler temperatur og nedbør. Justeringen har ikke vært enkelt. Ved ned-tuning kan det begynne å ise og det kan bli glatt i nedkjøringsrampe. Snøsmelting har vært en større post enn prosjekteringen. Står ikke på om sommeren. Etter grafen er det ingen oppvarming fra juni til september, men alle resterende månedene med topp i februar i året 2020. Usikkert hva som er grunnen til det høye forbruket, men det kan være vanskelig å finne riktig settpunkt.

Biogass har som regel tre fyllinger til 95 % av full tank i året, og det var 3 fyllinger vinteren 2019/2020. 13,7 m³ – 13,5 m³ hver fylling.

Har hatt en del trøbbel med tappevannsvarmepumpen. Vannlekkasje, men usikkert når det var kanskje 2019. Fra målingene i mai viser det ingen produksjon fra varmpumpen, kun import av fjernvarme til tappevann. I mai ser vi på grafen at det er veldig lite produksjon fra varmpumpen. Usikkert hvorfor. Husker ikke om det har skjedd noe. Det er heller ikke sikkert det er riktig mtp at det er automatikk som måler det. Det er også mye fjernvarmeimport i desember 2019. Det var en feil på automatikken slik at pumpen startet fra feilsignal slik at fjernvarmen ble brukt i stedet uten at det nødvendigvis var i denne perioden. Har vært flere driftsforstyrrelser med selve pumpen.

Driften går fint, men det er å forvente at noen ting blir feil. Det som fungerer veldig godt blir fort glemt i fokuset på det som ikke har fungert like bra. Det er viktig at driften justeres helt ut til rommene underveis hele tiden. Veldig greit å ha historikk på systemene. Ventilasjonen hadde lite gjennomstrømning og vanskelig for å heve temperaturene på varmebatteri i vinter (2020), det var en leverandørsak. Utdrøining å ikke kunne kommunisere med radiatoren. Mange har syntes at 21 grader har vært for kaldt slik at det måtte settes opp. Driftstidene var satt for kort, noe som kan påvirke

forskjellene på målte og prosjekterte verdier. Solcellene mangler en måler, men har vært problemfritt. CHP-maskinene kjører fint i fyringssesongen. Eneste utfordringen med driften er tuning med radiator som må gjøres manuelt. Hadde vært bedre å ha det på et SD-anlegg.

L Møtereferat Torger Mjønes

Møtereferat om bacheloroppgave Heimdal vgs. med Torger Mjønes

Sted: Microsoft Teams

Dato: 14.04.21

Tidspunkt: 12.00-12:45

Til stede: Torger Mjønes, Gunhild Lund Bjørnås, Cecilie Torp Dahl, Ingebjørg Eggen Skarbøvik og Kristian Myklebust Lien.

Møtet begynte med en presentasjon av problemstillingen til bacheloroppgaven, viktigste funn som er gjort med grafer og egne tanker om grunner til avvik. Deretter ble det stilt spørsmål til Torger knyttet til funn i presentasjonen, energisystemet på Heimdal vgs og prosjektering av bygget med følgende resultat:

Ventilasjonen er delt inn i flere soner, hvor fylkeskommunen ikke har valgt å ha VAV på hvert enkelt rom, noe som er med å bidra til problematikken rundt manuell styring av radiatorer mot ventilasjon.

Under prosjektering ble en rund sum som kalkylepris på 1 kr/kWh benyttet som antatt pris på biogass til bruk i et CHP-anlegg, basert på innspill fra noen leverandører på dette tidspunktet. De har også sett på mer lokal biogassproduksjon sammen med Mære landbruksskole. Fylkeskommunen synes biogass er en interessant energiløsning også for noe stasjonær energibruk. Dette fordi denne fornybare energikilden er regulerbart og at de benytter både elektrisiteten og varmeenergien i gassen.

NS 3031:2014 har oppgitt standardverdi for oppvarming av tappevann til idrettsbygg på 50 kWh/m²/år og på 10 kWh/m²/år til skolebygg. Det hadde de lenge sett var altfor høyt. Dette gjorde at de valgte å signalisere at de skulle avvike fra standarden i den perioden de skulle stille energimål til bygget. Det har vært arbeid i en standardiseringskomite, hvor Tore Wigenstad fra Skanska har deltatt, og hvor referanser fra blant annet Heimdal vgs. har blitt brukt. Dette har medført en ny detaljstandard, med blant annet timeprofiler, som er et supplement til NS 3031. Der er standardverdi for oppvarming av tappevann til idrettsbygg korrigert ned til 10 kWh/m²/år og ned til 5 kWh/m²/år for skolebygg. Her har Heimdal spilt en rolle, som et av flere referansebygg, for å få kunnskap om den faktiske bruken. Noe av dette visste de og hadde justert en del på de kalkylene de hadde gjort, men i forhold til standarden var det et stort avvik. Under prosjektering gikk de ikke ut ifra standarden, men gikk inn og korrigerende verdiene fordi de visste at de var åpenbart feil.

Oppvarming av bygget har vært en gjenganger av tematikk i mange møter de har hatt omkring Heimdal vgs. med entreprenøren. Fordi de har så gode målinger kan de gå inn å se hvordan de ulike energikategoriene eller grupperingene i energibudsjettet opptrer, og de så at det var varmedelen som var utfordringen der. Først så de på mulighetene for å senke temperatur, opp imot komfortnivå som de må forholde seg til, men de så da at de har flere klasserom innenfor samme temperatursone. Hvis det er elever i det ene klasserommet og ikke det andre så kan det bli utfordringer i forhold til å holde temperaturen i det rommet som man ikke har energitilgang i fra personene i rommet. Den kanskje viktigste faktoren på varmedelen viste seg å være at driftstiden måtte være lengre enn det de hadde lagt opp til. De hadde sett på skolen sin driftstid, med fokus på undervisning, men på Heimdal er det renholdspersonell som begynner veldig tidlig og som førte til at de måtte utvide driftstiden. Sammenlignet med normerte driftstider for skolebygg i NS 3031, ser de i praksis at tiden kunne vært lengre, for tider det er behov for ventilasjon. De har sett på muligheten for å bare ventilere de sonene som til enhver tid var renholdt, men det har vært vanskelig logistikkmessig å få til i praksis.

CHP er en bærekraftig og god løsning i forhold til klimafotavtrykket. I motsetning til mye annen lokal fornybar produksjon er den regulerbart. Sol er ikke regulerbart og produserer mest når behovet til skolen er minst. Bioenergi kan tilpassess til skolens energiprofil og det er valgt å kjøre CHP-anlegget i

de tidene på året skolen har et oppvarmingsbehov. Det er også tilpasset solcellene på taket, ved at det ikke er hensiktsmessig å kjøre CHP-anlegget, og produsere ytterligere med elektrisitet, når solcellene produserer så mye at det blir eksportert ut til nettet.

Under planlegging av skolen så de på effektprofilen til Husebyhallen og så på hvor mye varme de kunne motta. Sløyfa går fra Heimdal vgs. til Husebyhallen, som har en høyvarmeveksler der, og tilbake i retur til Heimdal vgs. I Heimdal vgs. kjøres varmen via et lavtemperaturanlegg, for å ytterligere tar ut litt varmeenergi. Dette øker også ΔT før sløyfa går tilbake til CHP-maskinen.

På grunn av en økonomisk avtale mellom Trondheim kommune som eier Husebyhallen og Trøndelag fylkeskommune speiler prisen Husebyhallen betaler for termisk energi fra CHP-maskinene prisen på fjernvarme. Økonomisk vil ikke Heimdal vgs. få noen økonomiske tap av å importere fjernvarme og eksportere termisk energi fra CHP-maskinene. Heimdal vgs. har et lavtemperaturanlegg, mens veksleren mot fjernvarmen og hos Husebybadet er høytemperaturanlegg. Det er derfor hensiktsmessig å heller supplere med returvarme fra Husebybadet, som en forsterker på geovarmeløsningen på Heimdal vgs. CHP-maskinene styres derfor av behovet til Husebyhallen.

Heimdal vgs. inngikk som en av ni nasjonale piloter i FME ZEN, Forskningscenter for Miljøvennlig Energi Zero Emission Building, som gjorde at det hadde et tydelig klimafotavtrykkfokus på energidelen. De ønsket lokal produksjon som skulle kompensere for det som blir kjøpt inn klimamessig av energivarer til bygget. Det skulle ikke være et nullenergibygg eller nullbygg for energi, men et nullbygg for CO₂ og klimagassutslipp.

Det var viktig for fylkeskommunen at det var en robusthet i løsningene ettersom at det er et bygg med stort areal, som skal driftes i mange år. De ønsket å kunne se på løsninger fra nye teknologier, samtidig som at det holdt seg innenfor kravet til robusthet. Nye løsninger og robusthet kan av og til motstride hverandre, men de har gjennomgående forsøkt å få til en løsning med begge elementene.

Det spesifikke energiforbruket per kvadratmeter til skolen er veldig lavt sammenlignet med teknisk forskrift og det er de meget fornøyd med.

Hvis de skulle satt opp et tilsvarende bygg i dag ville de nok valgt noen andre løsninger. De har videreført kravet om null utslipp i driftsfasen i nye byggeprosjekt og har tydelige bærekraftsmål gjennom hele byggets levetid. Det som har blitt mer tydelig etter Heimdal vgs. ble bygget er klimafotavtrykk fra materialbruk. Når energibruken i bygg går ned, betyr det etter hvert at fotavtrykket fra materialer blir en stadig større andel av det totale klimafotavtrykket i byggets levetid. Dette var det også noe fokus på under bygging av Heimdal; de har mye lavkarbonbetong og ligger rundt 25% lavere på klimafotavtrykk på materialbruk, enn for et tilsvarende referansebygg.

EPC-kontrakten de har benyttet har også vært et slags pilotprosjekt i den form at det normalt blir benyttet for eksisterende bygningsmasse. Kontrakten ansvarliggjør entreprenøren som har tilbudt bygget innenfor gitte energirammer. Dette gir tett kobling mellom leverandør og byggherre. Dette har de tatt med seg videre til nye prosjekter. Energimålet til Heimdal vgs. har blitt justert i EPC kontrakten etter det ble oppdaget at det er lengre driftstid enn prosjektert.

Trøndelag fylkeskommune tenker at den største verdien av et pilotbygg er kunnskap man tilegner seg og kan overføre til fremtidige prosjekter. Det betyr ikke at alt som er gjort er riktig og skal gjentas, men at det er mulighet til å lære av det. Det er også viktig for fylkeskommunen som bestiller at de er med på å utvikle markedet og utfordre til å finne nye løsninger. De ønsker å bruke innkjøpsmakten de har som bestiller til å stille tydelige krav til bærekraft i det de kjøper inn i bygg og anlegg, og bevege et marked i en mer miljøvennlig retning.

M Møtereferat Tore Wigenstad

Møtereferat om bacheloroppgave Heimdal vgs. med Tore Wigenstad

Sted: Microsoft Teams

Dato: 16.04.21

Tidspunkt: 10.00-11:10

Til stede: Tore Wigenstad, Gunhild Lund Bjørnås, Cecilie Torp Dahl og Ingebjørg Eggen Skarbøvik.

Møtet begynte med en presentasjon av problemstillingen til bacheloroppgaven, viktigste funn som er gjort med grafer og egne tanker om grunner til avvik. Deretter ble det stilt spørsmål til Tore knyttet til funn i presentasjonen, energisystemet på Heimdal vgs og prosjektering av bygget med følgende resultat:

De hadde ganske gode tallgrunnlag gjennom 2018-2019 perioden. De hadde månedlig rapportering og møter med driften for å se hva de har sagt og hva de har målt, og diskutert hvorfor det er avvik. Når det kommer til 2019 hadde de med månedlig oppfølgingsmøter frem til mars i 2020. På grunn av nedstenging av skolen stoppet møtene da.

Det er interessant å se på hva som skjer når skolen stenges ned, da skjer det en flytting av energitall. De har fulgt opp dette også gjennom vårsemesteret i 2020, men da med andre tall. Blant annet at ventilasjonen ikke går like mye siden det ikke er folk der, så internlasten blir borte. Varmeanlegget går som normalt, men bygget vil ha litt større oppvarmingsbehov på grunn av lite personbelastning. Samtidig vil det være mindre bruk av elektrisitet ettersom det er mindre behov for belysning og brukerutstyr. Ideelt sett skal dette vises i underlaget.

Skanska er fornøyde med resultatet for energiregnskapet. Blant de store tallene er det ganske godt underlag for å se hva strømmen brukes til, og hva fjernvarmen brukes til. Fordelingen er vist godt i excel arket.

Når det kommer til verdiene for oppvarming av tappevann oppgitt i Norsk Standard per 2014 og frem til 2016, er disse litt rart behandlet. Egentlig var tallene inklusive tap, mens standarden forholdt seg til energien som går ut av kranen, altså netto energibehovet. Verdiene har altså vært feil hele tiden. Ved prosjektering tok de utgangspunkt i de normative tallene 50 kWh/m²/år og 10 kWh/m²/år når de skulle dokumentere opp mot teknisk forskrift eller der det er naturlig å bruke disse normverdiene. Likevel når de beregnet sannsynlig energibehov for tappevann gikk de kraftig ned på de tallene, men ikke like mye ned som de verdiene som faktisk er målt. De nye verdiene i norsk spesifisering 2020 (NSPEK 2020) ligger mye nærmere de målte verdiene. Det er flere som har observert verdier og sjekket de opp mot verdiene i NSPEK 2020, og disse verdiene blir mest riktig.

De er usikre på om brukstid er grunnen til det store oppvarmingsbehovet.

Delen av oppvarmingsbehovet som går på ventilasjon føler de er ikke så ille. For hvert ventilasjonsaggregat blir det beregnet energibruk til oppvarming av varmebatteriet i aggregatet som varmer opp ventilasjonsluften. Denne verdien er kun beregnet og ikke målt så de er usikre på om verdien fra leverandøren er beregnet riktig. Det som er litt av problemet er at mange rom har installert en radiator. Ventilasjonen er løst slik at det er flere små ventilasjonsaggregat som ventilerer to til fire klasserom hver. Fylkeskommunen ville ikke at det skulle bli regulert på hvert rom fra aggregatene, så i stedet blir hele sonen ventilert. Det som bestemmer hvor mye luft som skal tilføres fra aggregatet blir styrt av en temperaturføler og en CO₂-føler i hvert rom. F. eks. når et av klasserommene fylles opp med elever, vil både temperaturen og CO₂-nivået stige. Et signal går til aggregatet om at det trengs mer luft for å få ned nivåene. Aggregatet svarer da med å gire opp og levere luft til alle rommene i sonen. De har en mistanke om at radiatoren i det klasserommet med mye folk stenger ned fordi det begynner å bli varmt i rommet. Ettersom klasserommene i samme sone blir styrt sammen vil også naborommene få tilført luft selv om det kun er behov i et klasserom. I verste fall kan et av disse

naboklasserommene være tomt, eller med få elever, men likevel få tilført mye luftmengder og bli kjølt ned. Dermed blir rommet avkjølt og radiatorene begynner å levere varme for fullt. På denne måten jobber ventilasjonsluften og radiatorene mot hverandre i dette systemet.

De mener det hadde vært bedre med egne ventilasjonsstyringer i hvert enkelt rom, men dette ville ikke fylkeskommunen ha, ettersom de ikke føler et slikt system fungerer godt nok. Erfaring fra skolen på Byåsen viste at et ventilasjonssystem som ventilerte hvert enkelt rom fungerte dårlig. Derfor håpte de for Heimdal at det skulle være jevn personbelastning for rommene slik at dersom et rom hadde behov for mer ventilasjonsluft så ville det også stemme mer eller mindre med de andre rommene. Her har de en mistanke om at det er for stor endring i personbelastning mellom de ulike rommene over dagen. Dette er altså en mulig forklaring på det store oppvarmingsbehovet.

For oppvarmingsbehov er det også relevant å se på hvilken temperatur radiatorene skal holde. Det var 21 grader som var brukt i prosjekteringen, men de så dette kunne oppleves som litt kaldt. Dermed prøvde de å stille opp temperaturen til 22 grader. Temperaturen er også avhengig av hva som skjer i rommet og hvilken temperatur elevene og lærerne trives med. Det skjer fort at de regner med litt for lav romtemperatur når det skal gjøres simuleringer. Akkurat for Heimdal blir radiatorene justert manuelt og da får man ikke tilbakemeldinger på hvor mye de leverer eller hvor stor den prosentvise kapasiteten er. De hadde ikke trodd det skulle være så mye bruk for radiatorene, men disse brukes mer enn de hadde antatt. De mener at de burde vært koblet opp på et SD-anlegg i stedet. Med et SD-anlegg kan man sette en reguleringstemperatur som radiatoren skal følge fra en skjerm, i stedet for å manuelt gå rundt og innstille. Det man vanligvis gjør er å koble radiatorene opp mot ventilasjonssystemet, ofte med et spjeld som regulerer luftmengden slik at man får mer kontroll. Dersom man har et slikt system vil spjeldet lukkes dersom det kun er behov for ventilasjon på et rom og ikke naborommene. På Heimdal er det fjernet mengdereguleringsmuligheten i tillegg til at styring av radiatorene skjer manuelt. De ser i ettertid at et slikt SD-anlegg burde vært installert på skolen for bedre regulering av radiatorene. Grunnen til at det ikke ble gjort var at det ikke var tenkt at det skulle være så stort behov for disse radiatorene, så det ble sett på som unødvendig kostnad.

CHP-anlegget ble beregnet til å kjøre på 50 % driftskapasitets gjennom året. Anlegget ble derimot kjørt med tilnærmet full drift gjennom vinterhalvåret. På denne måten vil det alltid være behov for strømmen som blir produsert, og man kan utnytte alt av produksjon når anlegget først kjører. Dersom anlegget hadde kjørt slik det opprinnelig var tenkt kunne man risikert at anlegget hadde blitt slått mer av og på i perioder med mye produksjon samtidig som solcellene har høy produksjon. Ved høy elektrisitetsproduksjon fra sol kunne man risikert å måtte slå av CHP-anlegget selv om det var behov for varmen. Det er altså bedre å kjøre anlegget slik det ble kjørt i perioden.

Tappevannsvarmepumpen hadde litt driftsproblemer med i starten. Selv om tappevannet ikke er i bruk må det fremdeles være varmt tappevann frem til tappepunktet. Da sirkulerer vann rundt i anlegget uten at det brukes noe. Ved dette vil det skje et tap i rørene som blir sendt ut i bygget. Vannet som returnerer kan være 5-10 grader lavere enn det som ble sendt ut, og denne varmen må erstattes. Denne prosessen fungerer relativt dårlig på denne typen varmpumpe som er installert. Prosessen fungerer derimot bra dersom det kommer kaldt vann inn som skal løftes opp til brukstemperatur. Vedlikeholdskjøringen, eller sirkulasjonstapet, som forekommer i Heimdal vgs. måtte de gjøre med egen elektrisk oppvarming.

Fjernvarmen er en direkte spissing som blir slått inn dersom varmpumpen ikke klarer å levere til riktig temperatur. Dersom fjernvarmen blir slått inn er det en driftsfeil på varmpumpen. Det er antageligvis en driftsfeil i desember og mai 2019-2020 ettersom det er brukt mye fjernvarme i forhold til varmpumpe.

Antageligvis er det dusjing i idrettshallen som er den største tappevannsforbrukeren, men de har ikke kjennskap til hvordan idrettsbygget var fasett inn mot skolen.

Heimdal vgs. var i utgangspunktet en konkurranse. I starten var det fire stykker som konkurrerte med å tegne forslag til designet av bygget på bakgrunn av hva fylkeskommunen ønsket seg. Dette inkluderte både skolebygget og en stor flerbrukshall. Skanska endte da opp med løsningen som ble bygd. Det var satt noen miljømål i prosjektet som speiler forskningsprosjektet ZEB, zero emission buildings. Ambisjonsnivået som ble valgt til bygget var ZEB-O+20% M, altså et bygg som hadde en energiekspost som kompenserte tilsvarende eget bruk pluss 20 % av materialdelen på utslippstall. Fylkeskommunen hadde også pekt på en underlagsrapport i ZEB som oppga verdier som brukes for el, fjernvarme og biogass for å regne på dette. Underveis så de at dersom de skulle bygge dette bygget med den nedgravde idrettshallen i den størrelsen den har, ville de antageligvis ikke greie den satte målsetningen. Materialdelen ble da skilt ut som et eget regnskap, og det ble heller et ambisjonsnivå på ZEB-O. De skulle også inkludere brukerutstyr som ofte blir ekskludert fra regnskapet.

Bygget er ganske stort med energibehov som de måtte prøve å redusere så langt ned som mulig. Dette har vist seg å være en fornuftig tilnærming. Videre lagde de et energiforsyningssystem som er veldig effektivt. Svaret på dette ble varmepumpene som er integrert til både oppvarming og tappevann. Med dette tiltaket kom de heller ikke helt i mål og det ble naturlig å se på solceller som et tiltak for å kompensere for energiproduksjonssystemet. Taket til idrettshallen kunne vært godt å utnytte til solcelleareal, men siden hallen er nedgravd er denne flaten brukt til en uteplass. Dermed kunne de kun utnytte takflaten til skolebygget og eventuelt fasaden. Arkitekten var lite interessert i å legge solceller på fasaden. Da satt de kun igjen med deler av takflaten som kunne utnyttes til solceller. Dette tiltaket var heller ikke nok til å komme i mål med ZEB-regnskapet, så biogass ble introdusert som et tredje element. Bio ble en slags klimamotivasjon ettersom de kjøper mer energi i form av biogass enn det som blir levert til bygget. I forhold til varmepumpe er dette altså en lite energieffektiv komponent, men siden det er brukt biogass gir dette lavt utslipp. Verdien av strømmen som produseres og varmen som eksporteres til Husebyhallen, vektet opp mot nettstrøm og fjernvarme. Dermed kommer biogass brukt i CHP-anlegg godt ut i klimagassregnskap. De var derimot avhengig av å inkludere varmen som blir sendt til Husebyhallen i ZEB-O regnestykket, altså inntektsføre dette.

Husebyhallen har en øvre grense for hvor mye varme den kan ta imot, og det er styrt av varmeveksleren som er montert der. Veksleren er litt liten. Den kan altså ta imot alt som blir produsert av CHP-anlegget så lenge de har behov for det, men det er en kapasitetsbegrensning slik at de ikke kan levere så mye som de hadde ønsket. De leverer altså så mye som mulig, og Husebyhallen kjøper fjernvarme for å ta resten. Når de ikke får levert så mye som var trodd, blir varmen levert videre tilbake til skolen og brukt der. De bruker mest sannsynlig mer varme fra CHP-anlegget på skolen enn det som var tenkt.

Når det ble gjort beregninger for bygget, var det en periode hvor det var behov for strøm på skolen, men ikke varme. Da var det beregnet at overskuddsvarmen fra CHP-maskinen skulle bli sendt til Husebyhallen. Det skjedde nok en glipp med tanke på at da må man sørge for at man greier å levere denne varmen dit, og der er det et lite misforhold. Det er riktig observert at det ikke er eksportert så stor andel termisk varme av det som var beregnet: det er heller levert mer varme til skolen enn det som var tenkt.

CHP-maskinene er uten kondensator og er typen XRGI 20 levert fra EC Powers. Fordeling mellom el og termisk for maskinene er det som er oppgitt i databladet, med 15 % tap til røykgass inkludert. Noe som er problematisk med systemet er at det ikke er inkludert gassmåling på anlegget, så det er ikke mulig med momentan måling av hvordan systemet går. De har kun måling på hvor mye gass som er

kjøpt inn i kubikk over et år, og hvor mye strøm og varme som er produsert. De skulle gjerne hatt en mengdemåler på gass som sier hvor mange kW som leveres inn til maskinen og hvor mye strøm og varme som blir tatt ut.

COP-faktor for varmepumpene kan finnes i databladet. Denne er typisk for et temperaturforhold. Verdiene skal stemme godt over med beregningene gjort for varmepumpene. De har forsøkt å gjøre beregninger for flere temperaturnivå. I perioder er temperaturen i brønnparken litt lavere enn det de hadde håpet på. I første driftsår var de litt bekymret for at brønnparken kunne bli tappet for energi når varmepumpen ble kjørt en lengre periode med flere minusgrader. Da satte de en stoppgrense for varmepumpen, når retur hadde rundt 2-3 minusgrader. De siste par årene har de derimot ikke opplevd at det har vært noen problemer med temperaturnivået, muligens fordi varmepumpen blir kjørt litt "snillere". Det er ikke ønskelig å utfordre fundamenteringen ettersom man ikke alltid vet hva som skjer utenfor rørene i grunnen, og det står en idrettshall oppå brønnparken.

Brukstiden under prosjekteringen ble estimert i forhold til forventet driftstid for ulike soner. I beregningsmodellen er det dermed noen avvik ved at deler av skolen, for eksempel kulturfløyen har driftstid frem til klokken 10 på kvelden, mens rommene som primært brukes til klasserom har kortere driftstid. Samlet driftstid er vanskelig å vekte, men for dette prosjektet er det operert med ulik driftstid for ulike soner. Noen ventilasjonsaggregat går lengre enn det som var tenkt, for eksempel at de starter en halvtime før enn det som var planlagt.

ZEB inkluderer den kjøpte energien. For varmepumpen i et ZEB-regnestykket er det altså kun kjøpt el som inngår. Denne blir regnet om til utslippsbelastning med verdien til strøm. Dersom det også er solstrømproduksjon som går til drift av varmepumpen, vil det fremdeles kun være netto kjøpt energi til drift som går til regnestykket, minus verdien av det som er eksportert.

Det er ikke lagt begrensninger på salg av overskuddsstrøm i ZEB-regnestykket. Det var usikkert hvor mye som kunne bli eksportert, og de så det var perioder hvor det ville være overproduksjon, altså at det ville ligge over grensen til plusskundeordningen på 100 kW. I utgangspunktet får de ikke lov å eksportere strøm utover denne grensen. Dersom dette skjer blir produksjonssystemet skrudd ned. Reelt sett hadde de ca 25 000 kWh strøm som de måtte strupe ned i året. Typisk i juni, juli og deler av august er det overproduksjon, og det blir ikke kjøpt noe strøm. Strømmen blir brukt til nødvendig ting i bygget, og de selger så mye de har lov til, og utover dette må deler av systemet stenges ned. De hadde håp om at blant annet billading på sommeren skulle ta unna litt strøm. Så lenge det var gratis parkering der tok billading unna en del, men etter parkeringen ble solgt til Trondheim kommune ble også mengden lading begrenset.

EPC-avtalen har fungert til sin intensjon til tross for at det er en krevende avtale. Det vil alltid skje avvik mellom beregnede og målte verdier, men så lenge det er under 10 % avvik vil det ikke skje noe. Dette mener de er fornuftig for å ikke gå seg vill i smådetaljer. Dersom avviket er større må de finne ut hvorfor. Hvis det brukes mer enn det de har sagt kan man se på brukeren av bygget, og om det er driftet annerledes enn tenkt. Hvis det er brukt mindre enn tenkt, får entreprenør en belønning for dette. Kontrakten er et ekstra kvalitetssikringselement i det de leverer. Når de nå følger opp anlegget sjekker de opp mot hva de har sagt og finner ut av hvorfor det er avvik. Gjennom en slik avtale får man mer fokus på drift i ettertid slik at de kan hjelpe til å tune inn anlegget bedre. Med en slik avtale er det også viktig at drift er inkludert i oppfølging selv om det er entreprenør er forpliktet til å følge opp anlegget. De som drifter skal også ha et bilde på energibruken i bygget og prøve å få denne så langt ned som mulig. De har tro på en slik avtale, så lenge den ikke blir konfliktbasert.

De elektrokromatiske glassene skulle hovedsakelig fungere som solskjerming. Det finnes egen rapport i ZEN-systemet om resultatet fra disse glassene, deriblant at de var litt trege til å mørkne.

Motivasjon for å inkludere disse glassene var blant annet å unngå hærverk på screening-gardiner på bakkeplan.

N Opphavsrettsnotis Standard Norge

Innhold fra SN/TR-3069:2019, SN-NSPEK 3031:2020SN-NSPEK 3031:2020, NS 3031:2014, SN/TS 3031:2016 og NS 3701:2012 er gjengitt av Gunhild Lund Bjørnås, Cecilie Torp Dahl og Ingebjørg Eggen Skarbøvik i oppgaven *Evaluering av energisystemet ved Heimdal videregående skole* med tillatelse fra Standard Online AS mai 2021. Standard Online er ikke ansvarlig for eventuelle feil i gjengitt materiale. Se www.standard.no

