

Avviksanalyse av energiforbruk mellom faktisk forbruk og norske standarder for skolebygninger i Trondheim

Investigation of energy performance gap between real consumption and Norwegian standards from school buildings in Trondheim

Trondheim Mai 2022

Navn studenter:

Ali Muhammad Rahimi

Christer Daniel Burgos Herigstad

Mosleh Badakhsh

Intern veileder:

Mohamed Hamdy

Ekstern veileder:

Bjørn Gunnar Foss, Nils Storås og
Ferry Smits

Prosjektnr:

2022- 11

Rapporten er ÅPEN

Problemdefinering/prosjektbeskrivelse og resultatmål

Hovedproblemet oppgaven tar for seg er at det ikke er tilstrekkelig godt nok samsvar mellom oppgitte energitall gitt av norske standarder mot faktiske verdier. En rekke nybygg har flere sensorer installert nå enn i eldre bygg, noe som har gitt en mer nøyaktig data over energiforbruket. Det har dermed vist seg at mye av standardkravene gitt fra NS3031 og Passivhuskravene ikke er optimalisert nok med tanke på nye tekniske løsninger, samt at det tallene ikke tar godt nok hensyn til brukerdata. Gjennom energiberegninger fra SIMIEN gitt av Trondheim kommune, så skal vi analysere gitte data mot NS3031 og Passivhuskravene. Det vil bli gitt tilgang til målinger fra flere ulike bygg i kommunen. Målet med analysen er å kunne identifisere problemet i energiforbruket i et bygg. Et slikt problem kan være en installasjon som bruker mer eller mindre energi over en gitt tidsperiode eller endret bruksmønster i bygget. Det kan derimot være vanskelig å finne hvor problemet ligger ved å bare se på energiforbruket til ett bygg. Av den grunn vil det være flere ulike bygg med i denne sammenligningsstudien. Resultatet vi ønsker å oppnå er en oversikt på hvor energitall oppgis feilaktig i et bygg i dag. Målet med oppgaven er å vise til avvik som vi finner i bygg. Det er ikke et konkret mål å finne det direkte problemet til et slikt avvik, heller ikke å oppgi løsninger. Derimot vil prosjektoppgaven gi en direkte pekepinn på hvor man bør lete, det utelukkes derfor ikke at prosjektoppgaven kommer med konkrete tiltak gjennom feilsøking.

Stikkord fra prosjektet:

Energianalyser, avviksberegning, avviksanalyse, reelt forbruk, prosjektert forbruk, energieffektivisering, norsk standard, EOS (Energioppfølgingssystem), SIMIEN

Forord

Denne oppgaven er et resultat utarbeidet ved Institutt for bygg og miljøteknikk – Norges tekniske og vitenskapelige universitet. Oppgaven markerer avsluttende del for bachelorgrad i ingeniørfag - retning bygg våren 2022. Samtlige forfattere går retningen husbygningsteknikk.

Ettersom samtlige i gruppen hadde et ønske om å utforske problemer knyttet til energiforbruk i bygg, tok vi kontakt med Rambøll Trondheim angående våre interesser. I samråd med seksjonsleder i bygningsfysikk Bjørn Gunnar Foss, Ferry Smits og Nils Storås fra Rambøll Trondheim ble det utarbeidet en problemstilling som innebar å analysere energiforbruket til bygg i Trondheim kommune. Dette var et tema gruppen anså som meget dagsaktuell og interessant.

Gjennom hele prosessen så har vi hatt et godt samarbeid med Rambøll Trondheim og Trondheim kommune. Det har vært utrolig verdifullt å kunne få hjelp fra aktører i et sterkt fagmiljø med mange gode innspill. En stor takk til alle ansatte i Rambøll Trondheim som har hjulpet oss underveis i prosessen. Takk til de ansatte i Trondheim kommune som har gitt oss tilgang til filer og databaser for ulike bygg i kommunen.

En spesiell takk til:

- Mohamed Hamdy, intern veileder ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Takk for god veiledning og ressurser under hele prosessen.
- Vida Mortensen Gråberg, energirådgiver hos Trondheim Kommune. Takk for opplæring i bruk av Esave og fleksibilitet rundt våre forespørsler.
- Bjørn Gunnar Foss, Nils Storås og Ferry Smits; ansatte hos Rambøll Trondheim. Takk for gode faglige innspill og det arbeidet dere har lagt til grunn for å muliggjøre denne oppgaven.

Sammendrag

Den overordnede målsettingen for oppgaven er å finne avvikskilder og dens størrelse, som utgjør et totalt avvik for energiforbruket til valgte bygninger. I tillegg er det et mål å øke bevisstheten rundt energiavvik. Oppgaven evaluerer energiforbruket til to skolebygninger i Trondheim og sammenligner energiforbruket mot prosjektert levert energi. Skolene som evalueres er Byåsen barneskole og Lade barne- og ungdomsskole.

Totalavviket i 2021 for Lade og Byåsen skole varierer. Lade skole er simulert etter passivhuskrav NS 3701, og energiforbruket er 12,14% mindre enn prosjektert levert energi. Byåsen skole brukte 46,4 % mer energi enn prosjektert levert energi etter NS 3031.

Det ligger forskjellig grad av avvik i energikildene for begge skolene; fastkraft og fjernvarme. Byåsen skole brukte 63,4% mer på fastkraft og 36,1% mer på fjernvarme, enn prosjekterte verdier. Lade skole brukte derimot 12,32% mindre på fastkraft og 11,97% mindre på fjernvarme enn prosjektert levert energi.

Nærmere analyse av energibudsjettet viser skjevfordeling i forbruket av ulike energiposter. Fordelingen gjort etter prosjektert energibudsjett viser en underdimensjonering av romoppvarming på 155% for Lade skole. Samtidig er tappevann og varmebatteriet overdimensjonert med 91% og 57%.

En del av avvikene kan forklares ved å se på bruksmønsteret på skolene. Veiledende verdier etter NS 3031 samsvarer ikke alltid like bra med det reelle forbruket. Skolene blir brukt for ulike arrangement i løpet av helg og sommer, noe som øker energiforbruket. Dette tar ikke prosjekterte simuleringer hensyn til. For Lade skole var forbruket på varmtvann i idrettshallen 43 ganger mindre enn veiledende verdier i NS 3031.

Gjennom forbruksanalyser av systemet på Byåsen skole ser man at skolen har et sirkulasjonstap på 10 til 20 kWh. Dette tilsvarer omtrent 11% av energiforbruket for fjernvarme i løpet av ett år. Skolen klarer heller ikke å utnytte nattkjøling og man ser et jevnt pådrag av fjernvarme i perioder hvor det ikke skal være noe forbruk.

For å avdekke avvik for en energipost til en annen så må målere lagt til i en EOS-programvare korrespondere med verdiene til energipostene som er gjort i energiberegningene. Det er generelt et større behov for bedre og mer presise målere i bygg. Mangel på spesifikke målingspunkter for begge skolene gjør at energianalyser opp mot energiberegningene blir svært begrenset, lite presise og utfordrende.

Abstract

The overall objective of the project is to find sources of energy performance gap, which make up a total deviation for the energy consumption of selected buildings. In addition, it is a goal to raise awareness about energy performance gaps. The thesis evaluates the energy consumption of two school buildings in Trondheim and compares the energy consumption against the designed delivered energy. The schools that are evaluated are Byåsen primary school and Lade primary and lower secondary school.

The total energy performance gap in 2021 for Lade and Byåsen school varies. Lade school is simulated according to passive house requirement NS 3701, and its energy consumption is 12.14% less than designed delivered energy. Byåsen School used 46.4% more energy than designed delivered energy according to NS 3031 simulations.

There are different degrees of gap in the energy sources for both schools, electricity and district heating. Byåsen School used 63.4% more on electricity and 36.1% more on district heating than designed values. Lade skole, on the other hand, used 12.32% less on electricity and 11.97% less on district heating than design delivered energy.

A closer analysis of the energy budget shows an uneven distribution in the consumption of various energy post. The distribution made according to the design energy budget shows the consumption of room heating is 155% higher than designed value for Lade School. At the same time, tap water and the ventilation heating use 91% and 57% less energy.

Some energy performance gaps can be explained by looking at the usage pattern in the schools. Given values according to NS 3031 do not always correspond as well with the actual consumption. The schools are used for various events during the weekends and summer, which increases energy consumption. This is not considered in designed simulations. For Lade School, the consumption of tap in the sports complex was 43 times less than the guideline values in NS 3031.

Through consumption analysis of the technical system at Byåsen school show that the school has a circulation loss of 10 to 20 kWh. This corresponds to approximately 11% of the energy consumption for district heating for 2021. The school is also unable to utilize night cooling and we see a steady supply of district heating in periods where there should be no consumption.

To detect energy performance gaps for one energy post to another, submeters added to an EMS software must correspond to the values of the energy post given in the energy calculations. There is a greater need for better and more precise measurements in buildings. The lack of specific measure points for both schools means that energy analyzes against the energy calculations are limited, inaccurate, and challenging.

INNHOOLD

Forord	III
Sammendrag	V
Abstract	VII
Innhold	IX
Liste over figurer	XIII
Liste over tabeller	XIV
1. Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Motivasjon	2
1.3 Problemstilling	2
1.4 Avgrensninger	3
1.5 Struktur	3
2 Teori	4
2.1 Energiavvik i bygninger	4
2.1.1 Energiavvik i tjenesteytende bygninger	4
2.1.2 Energiavvik opp mot TEK 17, NS 3031 og NS3701	5
2.1.3 Bruk av energiberegninger for å måle avvik	6
2.1.4 Oppvarming og kjøling i bygninger	7
2.2 Evaluering av energiforbruk i bygg	8
2.2.1 Valg av basislinje ved energiavviksanalyser	8
2.2.1 Fjernvarme og fastkraft	9
2.2.3 Varmebalanse	10
2.2.4 Graddagstall og energigradtall	11
2.3 Bruk av EOS og SD-anlegg	11
2.3.1 Innledning i SD-anlegg	11
2.3.2 Energioppfølgingssystem (EOS)	12
2.3.3 Bruk av EOS og SD-anlegg i energiavvik	13
3 Metodologi	14
3.2 Litteraturstudie	15
3.3 Verktøy	15
3.3.1 Energisimuleringer	15
3.3.2 Inndata	16
3.3.3 EOS; Esave	16
3.3.4 Komponenter som ikke legges til grunn under energisimulering	17

3.4 Metodisk tilnærming for å finne avvik	18
3.5 Benchmarkingsprosessen:	19
3.6 Metodisk tilnærming til fordeling over energiposter	20
4. Case 1: Byåsen barneskole	21
4.1 Presentasjon av bygget	21
4.1.1 Beliggenhet og areal.....	21
4.1.2 Byggets energiforsyningsystem	21
4.1.3 Målingspunkter	22
4.2 Avgrensninger.....	22
4.3 Årlig forbruk	23
4.3.1 Bestemmelse av referanseår	23
4.3.2 Årlig forbruk 2021	25
4.3.3 Energibudsjett	26
4.3.4 ET-kurve	27
4.3.5 Avviksdiagram	28
4.4 Månedlig forbruk.....	29
4.4 Forbruksanalyser	30
4.4.1 Snøsmelteanlegg	30
4.4.2 Forbruksanalyse med timesverdier i en vanlig uke	32
4.4.3 Forbruksanalyse med timesverdier på sommeren	33
4.4.4 Nattkjøling	33
4.4.5 Høyt energiforbruk i helgene.....	35
4.4.6 Høyt forbruk vanlige dager (med ukeskommentar)	37
5 Case 2: Lade barne- og ungdomsskole.....	38
5.1 Presentasjon av bygget	38
5.1.1 Beliggenhet og areal.....	38
5.1.2 Byggets energiforsyningsystem	38
5.1.3 Målingspunkter	39
5.2 Avgrensninger.....	39
5.3 Årlig forbruk	39
5.3.1 Valg av referanseår	39
5.3.2 Årlig forbruk 2021	40
5.3.3 Energibudsjett	42
5.3.4 E-T-Kurve	44
5.4 Månedlig forbruk.....	45
5.4.1 Variasjonsavvik mellom kald og varm måned	45
5.5 Energipost.....	48
5.5.1 Beregning av faktisk forbruk for energiposter	48
5.5.2 Avvik i energiposter for fjernvarme	49

5.5.3 Overdimensjonerte verdier for tappevann	51
5.6 Evaluering av energiforbruket	52
5.6.1 Høye verdier på radiatorkurs.....	52
6 Diskusjon	54
6.1 Diskusjon av valgt metode.....	54
6.1.1 Kontroll av beregningsprogram (SIMIEN).....	54
6.1.2 Valg av data fra EOS-databasen.....	54
6.1.3 Bruk av energibudsjett for å finne forventet faktisk forbruk	55
6.1.4 Diskusjon av metodologi.....	55
6.2 Diskusjon av resultat.....	57
6.2.1 Areal differanse i prosjekterte verdier (Byåsen skole)	57
6.2.2. CASE 1: Byåsen skole.....	57
6.2.3 Case 2: Lade skole	58
6.3 Prosess	60
6.3.1 Valg av oppgave	60
6.3.2 utfordringer.....	60
7 Konklusjon.....	62
8 Referanser.....	64

LISTE OVER FIGURER

Figur 1: Fordeling over energiforbruket for ulike sektorer i Norge i 2018	4
Figur 2: En illustrasjon over grad av avvik etter valgt basislinje	8
Figur 3: Sammensetting av energibruken i Norge. Tall fra 2020	9
Figur 4: En illustrasjon som viser faktorer som påvirker varmebalansen i et bygg)	10
Figur 5 Oversikt over hva som kan inngå av målere og hva som styres i et SD-anlegg	12
Figur 6: Interessenter for bacheloroppgaven	14
Figur 7 Metodisk tilnærming mot å finne avvik.	18
Figur 8 Benchmarking prosess	19
Figur 9: Bilde fra Byåsen barneskole	21
Figur 10 Oversikt over bygg på Byåsen skole	22
Figur 11: Årlig energiforbruk for Byåsen skole korrespondert med energigradtall for samme år.	23
Figur 12: Normalfordeling av årlig forbruk for Byåsen skole 2009-2021	24
Figur 13 Årlig ukesforbruk i 2021 for Byåsen skole	25
Figur 14: Sammenligning mellom årlig forbruk for prosjektert og reelt forbruk for Byåsen skole 2021	26
Figur 15: E-T-Kurve for Byåsen skole. Punktene indikerer ukesforbruket	27
Figur 16 Avviksdiagram for Byåsen skole for 2021	28
Figur 17: Sankey diagram; Månedlig årsforbruk for Byåsen skole i 2021	29
Figur 18: Prosjekterede verdier for månedlig netto energibehov for Byåsen skole	30
Figur 19 Illustrasjon over årlig forbruk for snøsmelteanlegget	31
Figur 20: Forbruk for byåsen skole uke 37.	32
Figur 21: Forbruk for Byåsen skole uke 29	33
Figur 22 Forbruk av fjernvarme uke 29 for Byåsen skole	34
Figur 23 Forbruk av fjernvarme uke 27 for Byåsen skole.	34
Figur 24 Forbruk av fjernvarme uke 8	35
Figur 25 Forbruk av fjernvarme uke 9	36
Figur 26: Høyere fjernvarmeforbruk på Byåsen skole på grunn av oppvarming av bassenget i 09.08-10.08	37
Figur 27 Bilde av Lade skole	38
Figur 28: Årlig akkumulert forbruk for 2019-2021 korrespondert med årets energigradtall	39
Figur 29 Årlig ukesforbruk i 2021 for Lade skole	40
Figur 30: Sankey diagram; Energibudsjett for Lade skole	42
Figur 31 E-T-kurve for Lade skole i 2021	44
Figur 32 Sankey diagram; Månedlig forbruk for Lade skole	45
Figur 33 Prosjektert månedlig netto energibehov	47
Figur 34: Sankey diagram; Totalt forbruk for prosjektert levert energi og totalt faktisk forbruk.	48
Figur 35 Illustrasjon over faktisk fordeling av energiposter for fjernvarme mot faktisk forbruk av fordeling gjort etter energibudsjettet.	49
Figur 36 Eksempler høy verdi for radiatorkurs	52
Figur 37 Eksempler på normal verdi radiatorkurs	53

LISTE OVER TABELLER

Tabell 1: Krav for termisk inneklime etter aktivitetsgruppe.....	7
Tabell 2: Inndata SIMIEN.....	16
Tabell 3: Totalt avvik fra 2021 mot prosjekterende SIMIEN energiberegning	25
Tabell 4 Prosjekterende energibudsjett for Byåsen skole.	26
Tabell 5 Oversikt over årlig forbruk av snøsmelteanlegg.....	31
Tabell 6: Totalt avvik mellom prosjekterende og faktisk forbruk for Lade skole.....	41
Tabell 7 Energibudsjett for Lade skole (SIMIEN).....	42
Tabell 8 Energibudsjett for Skole og idrettshall og forholdstall for hver energipost.....	43
Tabell 9 Avvik av lavest og høyest verdi av fjernvarme og fastkraft for 2021	46
Tabell 10 Avviksberegning mellom energiposter.....	48
Tabell 11 Avvik mellom energiposter fra fordeling gjort etter energibudsjettet	49
Tabell 12: Faktisk forbruk av fjernvarme fordelt over energiposter	50
Tabell 13: Avvik av levert energi mot faktisk forbruk for fjernvarme.....	50
Tabell 14 Oversikt over tappevannsforbruk for Lade skole i 2021	51
Tabell 15 Oversikt over arealdifferansen mellom prosjektert og verdier gitt fra Esave.....	57

1. Introduksjon

For å kunne oppnå målene om å få redusert klimagassutslippene med 90-95% innen 2050 (Regjeringen, 2022), så er energieffektive bygninger helt avgjørende i prosessen. Ifølge NVE sin rapport om strømforbruk mot 2040 er det beregnet at samlet strømforbruk i fastlandet kommer til å øke fra 136TWh i 2018 til 159TWh i 2040 (Spilde, et al., 2019). En artikkel utgitt av NTNU i samarbeid med SINTEF, indikerer at energieffektivisering av bygg kan reduseres med hele 39TWh, dette selv om man forventer en økning i bygningsmassen på 25% (Sandberg, et al., 2020). Det er dermed stort potensiale for å kunne utnytte energi i andre felt, om våre bygg klarer å bruke mindre energi enn til dags dato. Derfor har det utviklet seg stor interesse i byggebransjen om kompetanse rundt energieffektivisering av bygg. Mye av dette handler om å kunne bygge nye ZEB-bygg (Zero Emission Building), men like viktig er datainnsamling av energiforbruket til nåværende bygg. Slik at man kan oppgradere dem mot en mer energieffektiv retning. Å kunne peke på konkrete faktorer som fører til avvik fra prosjekterende energiberegninger er svært viktig informasjon, og vil bidra til flere endringer i hvordan bransjen driver energisimuleringer, nye løsninger for tekniske installasjoner og en bedre kunnskap om bruksmønsteret i ulike bygg.

1.1 Bakgrunn

Strømforbruket i norske bygg har økt betydelig i de siste årene. Det er forventet en økning på 23TWh fra 2018 til 2040 (Spilde, et al., 2019). Rapportens prognose tilsier et strømforbruk på tjenesteyting på 65TWh (Prognose fra 2018).

Det er estimert at ca. 40% av energiforbruket i Norge går til norske bygg (Energifakta Norge, 2019). Dermed vil det gi stor innvirkning for samfunnets totale energiforbruk å redusere forbruket i denne sektoren. Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF) har i sin rapport *Norges tilstand 2021* kommet ut med sine hovedfunn om tilstanden til kommunale bygg. Her vurderes kommunale bygg til tilstandskarakter 3 (karakterskala fra 1-5, hvor 5 er best), noe som indikerer et etterslep mot energieffektivisering og vedlikehold, som følge av økte krav for bærekraftige bygninger (Rådgivende Ingeniørers Forening, 2021).

I budsjettforliket mellom regjeringspartiene AP/SP og SV, så ber Stortinget regjeringen om å utarbeide en plan for å redusere energiforbruket i bygg med minst 10TWh innen 2030 (Sosialistisk Venstre Parti, 2021). På bakgrunn av dette så er det høyst aktuelt å kunne finne årsaker og grunner til unødvendig energiforbruk i bygninger i Norge, dette gjelder særlig kommunale bygg, hvor man har sett en dårligere standard enn hva det forventes i dag.

For å øke energieffektivisering i bygg så må avvikskilder mot prosjekterende verdier kartlegges. For å videre undersøkes og optimalisere energiforbruket. Det har vært stort fokus på det ytre klimaskallet som tiltak mot å oppnå energieffektive bygninger, men ikke like mye i energiforbruket for blant annet tekniske utstyr,

elektrisk utstyr, bruksmønster og energisystemer, som påvirker energieffektivitet i like stor grad. En av målene til denne oppgaven er å kunne bidra med kunnskap rundt dette emnet.

1.2 Motivasjon

Det brukes veldig mye ressurser for å kunne beregne energibruket i bygg. Ut ifra krav gitt både internasjonalt og nasjonalt så ser man et økende behov for økt kunnskap og kontroll over energibruket i bygg i dag. Det er utarbeidet en rekke norske standarder som skal sørge for at bygninger holder seg under en øvre grense på energibruken i Norge. Disse standardene omhandler blant annet NS 3031, NS3700 og NS 3701. I tillegg gjelder ulike minstekrav gitt av Direktoratet av byggkvalitet i sin tekniske forskrift (TEK 17). For å kunne nå gitte krav, så blir det brukt simuleringsprogrammer, som beregner energiforbruket ut fra verdier gitt i standardene. Dermed får et bygg et forutsatt energiforbruk før det blir bygd slik at det kan godkjennes etter kravene. Flere kommunale bygg i dag får installert en rekke sensorer som kan måle energiforbruket i ulike tekniske installasjoner. Etter erfaringssamtaler med Rambøll Trondheim så har man sett at målinger viser et større avvik mot prosjekterende verdier enn først antatt. Dette kan skyldes flere faktorer som oppgaven henviser til, men det ligger fortsatt veldig mye usikkerhet på eventuelle årsaker til dette. Skjerpede krav legger press på arbeidslivet til å redusere energiforbruket i bygg. En måte å gjøre dette på er å samle inn informasjon gjennom energianalyser. Problemet med slike analyser er at det er svært tidkrevende, og veldig ofte er ikke tidsbruken økonomisk lønnsomt for en bedrift. Dette skyldes at det ligger for lite informasjon om hvor et bygg bruker mer energi enn beregnet, og man ender opp med å ikke få noe igjen for arbeidet. I mange kommunale bygg i dag, så har man gjerne bare to ulike hovedmålere, en for total fastkraft og en for total fjernvarme. Dermed er det begrenset med informasjon og det man har igjen er å analysere energiforbruket og undersøke unormale verdier fra et energiforbruksdiagram. Mangel på målinger gjør dermed at man må anta veldig mye, og har dermed ikke et godt nok grunnlag til å vise til en konkret avvikskilde og komme med en løsning. Motivasjonen bak denne bacheloroppgaven er å kunne gi leser et innblikk i hvordan en slik prosess med å utarbeide energianalyser foregår. Med denne oppgaven ønskes det å øke bevisstheten rundt energiavvik og hvilke avvikskilder som gjentar seg. I tillegg blir oppgaven et forarbeid for videre studier mot å kunne beregne energiforbruk i bygg mer nøyaktig enn det som gjøres i dag.

1.3 Problemstilling

Målet med denne bacheloroppgaven er å analysere energiforbruket i tjenesteytende bygninger, og eventuelt avdekke avvik mellom prosjektert og reelt energiforbruk. I tillegg skal også oppgaven prøve å vise til mulige grunner for et avvik og øke bevisstheten rundt tematikken.

Forskningsspørsmål oppgaven vil prøve å svare på er;

- Hvordan finne og definere mulige avvik?
- Hva kan være avvikskildene og størrelse på avvikene?
- Finnes det mulige tiltak for å redusere avviket?

1.4 Avgrensninger

Omfanget av oppgaven er begrenset på grunn av tid. Selv om flere bygninger ble undersøkt så begrenser oppgaven seg til to casestudier for to skolebygninger i Trondheim. Dette begrenser resultatet noe, fordi det ikke gir en stor nok bygningsportefølje, som kan forklare gjentakende utfordringer.

Gruppen fikk ikke mulighet til å dra på befaring og det blir heller ikke gjort egne målinger på bygningene i studien. Mange årsaker for avvik som nevnes i oppgaven kunne også ha vært egne bachelor/masteroppgaver.

Omfang og kompleksitet av alle ulike avvikene i studien har ført til at de ikke ha blitt undersøkt grundigere enn hva gruppen hadde ønsket.

1.5 Struktur

Her er en beskrivelse på hvordan oppgaven har blitt delt opp og hva de ulike kapitlene inneholder.

Kap. 2 Omhandler relevant teori som er nødvendig for å forstå oppgaven

Kap. 3 Viser oppgavens metodologi og tankeprosessen bak viktige metoder

Kap. 4 Casestudie 1: Byåsen barneskole. Viser til energianalyse gjort for Byåsen skole

Kap. 5 Casestudie 2: Lade barne- og ungdomsskoleskole. Viser til energianalyse gjort for Lade skole

Kap. 6 Diskusjon av metoder og resultater gjort i oppgaven.

Kap. 7 Konklusjon av de viktigste funnene i oppgaven

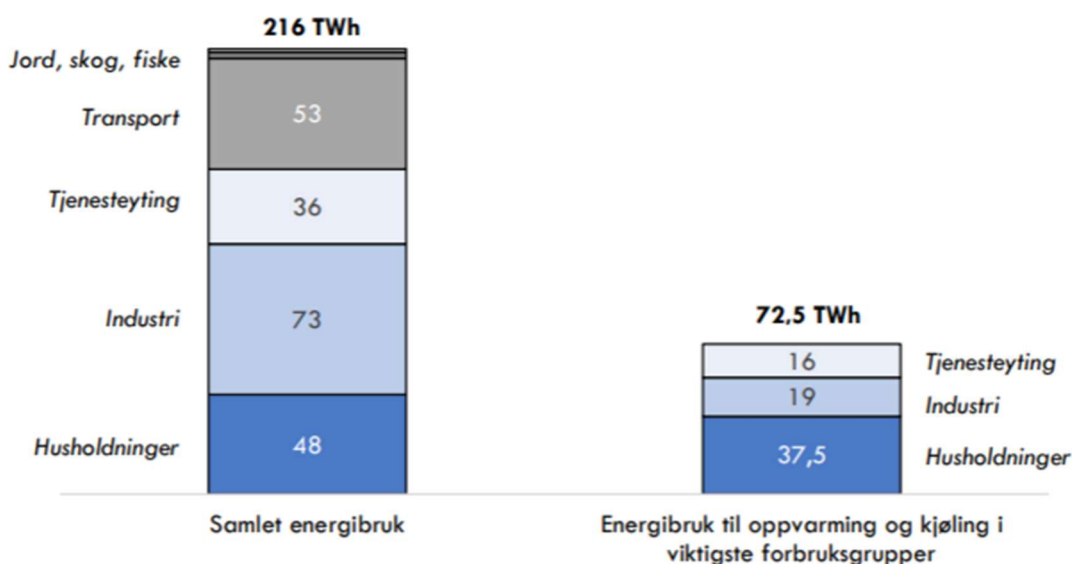
Kap. 8 Referanseliste

2 Teori

2.1 Energiavvik i bygninger

2.1.1 Energiavvik i tjenesteytende bygninger

Rapporten til NVE *Strømforbruk mot 2040* indikerer at i 2018 ble det brukt 136TWh i fastlands-Norge (Spilde, et al., 2019). Av dette gikk 36TWh til tjenesteytende næringer. Nyere tall fra 2020 viser derimot at det ble bruk 33TWh til tjenesteyting i 2020 (Energifakta, 2021). Forskjellen her skyldes av at energiintensiteten har falt i denne sektoren de siste årene. Dette har hovedsakelig vært fordi produksjonen av varer og tjenester har økt mer enn energiforbruket (Energifakta, 2021). Samtidig har behovet for oppvarming blitt mindre de siste årene på grunn av bedre isolasjon og mer effektive varmesystemer. Det er også størst potensiale for energibesparing i denne sektoren, på grunn av at slike bygningstyper utgjør de største bruksarealene (Grini, et al., 2017). På grunn av klimaendringer man ser, så er det antatt at oppvarmingsbehovet vil minke og behovet for kjøling vil øke i årene framover (Spilde, et al., 2019). Figur 1 viser energiforbruket til ulike sektorer i Norge.



Figur 1: Fordeling over energiforbruket for ulike sektorer i Norge i 2018 (Magnussen, 2020). Søylen til venstre viser samlet energiforbruk for hele landet, men søylen til høyre viser energiforbruket til de viktigste forbruksgrupper.

Selv ved et fallende forventet energiforbruk, så sliter norske bygg i tjenestesektor med å nå sine energimål. Ofte får man et avvik mellom beregnet og reelt energiforbruk. Som regel er det et for høyt forbruk enn beregnet (Arne Førland Larsen; Katharina Th. Bramselv; Erik A Hammer, 2014) Årsakene kan gjerne deles inn i tre deler (Arne Førland Larsen; Katharina Th. Bramselv; Erik A Hammer, 2014);

1. Begrensninger i beregningsmodeller/verktøy

De aller fleste beregningsmodeller baserer seg på standarden NS 3031: 2014 *Beregninger av bygningens energiytelse* som estimat når et antatt reelt forbruk skal beregnes. Dersom et bygg ikke har ambisjoner om passivhus, så holder det med å sette inn normerte inndata gitt i Tillegg A i NS 3031. Disse verdiene er basert på en rekke faste forutsetninger og beregningsverdier som ikke alltid samsvarer med det reelle forbruket. Dermed må inndataene justeres etter reelle verdier, noe som kan være svært vanskelig dersom man ikke har tilgjengelig nok data og erfaring. Et gjentakende problem

er ofte at energiberegninger er gjort av rådgivere med lite kunnskap ovenfor driften i en bygning, og dermed vil man få et betydelig avvik i en slik beregning (Arne Førland Larsen; Katharina Th. Bramselv; Erik A Hammer, 2014).

2. Teknisk svikt i leveransen

I dag har tekniske systemer blitt svært kompliserte. Dersom det ikke utføres en detaljert kontroll av leveranse samt oppfølging i slike systemer, så kan man forvente at de ikke vil funke optimalt. Dette kan skape et relativt stort avvik dersom man ikke er oppmerksom på det. Tekniske feil kan fort utgjøre ekstra 5% av energiforbruket (ENOVA, 2022).

3. Uforutsigbart bruk av bygget (Endret forventet bruksmønster)

Dersom energiberegninger er gjort enten etter minstekrav i NS 3031 og justert etter reelt forbruk, så kan man likevel oppleve et betydelig avvik i energiforbruket. Det er mennesker som bruker bygget, og dersom bruken av bygget brukes på en annen måte enn det som er beregnet, så vil man få forskjellige verdier.

Et bygg har gjerne flere energiforsyningssystemer for byggets energiforbruk. For å kunne finne eventuelle avvik så er det viktig å ha kjennskap til disse. Det skilles mellom grunnlast og spisslast. Grunnlast er den delen av energiforbruket som er stabilt eller konstant over en gitt tidsperiode (Hofstad, 2018), mens spisslast gir det maksimale energiforbruket i en begrenset periode som f.eks. et døgn (Hofstad, 2019). Mye av energien til bygg kommer derfor enten i form av fastkraft eller fjernvarme, hvor begge blir benyttet som enten grunnlast eller spisslast (Magnussen, 2020). Det aller meste av energien går til romoppvarming, som står for 67% av energiforbruket i bygg. Resterende energiforbruk går til oppvarming av tappevann, belysning og elektriske apparater. Dersom man skal analysere energiforbruket i et bygg, så er det i oppvarmingsbehovet at man finner de største avvikene (Energifakta, 2021) (NVE, 2019).

2.1.2 Energiavvik opp mot TEK 17, NS 3031 og NS3701

For å kunne evaluere energiforbruket til et bygg, så må man kjenne til minstekravene for energieffektivitet for bygg. Ofte brukes minstekravene for energieffektivitet som en basislinje når man evaluerer et byggs energiforbruk (Arne Førland Larsen; Katharina Th. Bramselv; Erik A Hammer, 2014). Direktoratet for byggkvalitet stiller minimumskrav om bygningens energieffektivitet i sin Byggteknisk forskrift (TEK17). Kravene er beskrevet i §14-2 og gjelder alle type bygninger med mindre noe annet er angitt. Kravene skal sørge for et forsvarlig energibruk i norske bygninger (TEK 17, 2017).

Det kreves dokumentasjon som beskriver at bygningen opprettholder minimumskravene til TEK 17. For boliger som betegnes som småhus, så kan man velge fritt mellom to ulike metoder for å dokumentere oppfylte energikrav: energiltak og energirammemetoden (Dibk, 2018). For mer komplekse bygg som

skoler og kontorbygg så må man ta i bruk energitiltaksmetoden. Ved bruk av energirammemetoden, så er det nok å kunne dokumentere at bygget holder en lavere netto energibehov per kvadratmeter enn kravet (vedlegg 1). Energiltaksmetoden krever at man går mer detaljert gjennom hver bygningsdel og installasjon (vedlegg 2). Begge metodene skal derimot alltid oppfylle minimumskravene for energieffektivitet gitt i §14-3 tabell 1A i TEK 17. Tallene fra TEK 17 samhandler med NS 3031 og energiberegningene skal gjøres i henhold til denne. Krav fra NS 3031 er veiledende verdier mot offentlige krav, og verdiene kan gi et feilaktig bilde fra prosjekt til prosjekt. Energiavvik opp mot NS 3031 eller TEK 17 kan derfor bli svært store, dersom det ikke blir tatt hensyn til annen personbelastning eller korte/forlengede driftstider (Arne Førland Larsen; Katharina Th. Bramselv; Erik A Hammer, 2014)

Passivhus eller lavenergibygning er bygninger prosjektert til å ha et lavere netto energibehov og et lavere varmetapstall enn krav gitt i NS 3031. For boliger så gjelder kravene i NS 3700, men for yrkesbygninger så gjelder NS 3701. Begge standardene stiller krav for passivhus/lavenergibygninger i Norge. Energibehovet beregnes basert på lokale klimadata (Byggforsk, 2013). Forskjellen er at det ikke stilles noe spesifikt krav om netto totalt energibehov for bygningen i NS3700/3701. Derimot stilles det krav om netto spesifikt energibehov for oppvarming/kjøling og belysning, samt strengere krav en minstekravet i TEK 17 for spesifikke egenskaper. Et energiavvik opp mot passivhuskravene krever fortsatt at man tar hensyn til krav i NS 3031, da som ikke all inndata kan finnes i passivhuskravene.

2.1.3 Bruk av energiberegninger for å måle avvik

Forventet energiytelse for et bygg kan beregnes ved hjelp ulike beregningsmetoder. For å kunne måle reell ytelse opp mot beregnet, så brukes gjerne simuleringsmetoder etter NS 3031 som basislinje for evalueringen (Arne Førland Larsen; Katharina Th. Bramselv; Erik A Hammer, 2014). Alle bygg har krav om å opprettholde TEK 17 minstekrav for energieffektivitet (TEK 17, 2017). Det betyr at det må dokumenteres at byggets netto energibehov tilfredsstillere kravene. Slik dokumentasjon gjøres etter NS 3031 *Beregning av bygningers energiytelse*. Energiberegningene kan gjøres enten manuelt eller ved bruk av energisimuleringsprogrammer (f.eks. SIMIEN). Disse gjøres ved å følge måneds (stasjonær) eller timeberegning (dynamisk) i henhold til NS-EN 13790 (NS 3031, 2014). I tillegg kan man også bruke validerte beregningsprogrammer i henhold til NS-EN 15265 (NS 3031, 2014). For å utføre en energiberegning så er det nødvendig med en rekke forskjellige data. Dette omhandler blant annet;

- Ventilasjonsmengder
- Lekkasetall
- Interne varmetilskudd fra belysning, personer og teknisk utstyr
- Solfaktor
- Arealer og U-verdier til tak, vindu, vegg, gulv og dører
- Energibehov til belysning
- Energibehov til varmtvann

- Systemvirkningsgrad
- Innnetemperatur
- Klimadata

En utfyllende analyse av energiavviket til et bygg tar i utgangspunkt i en sammenligning av disse energipostene.

2.1.4 Oppvarming og kjøling i bygninger

Tabell 1: Krav for termisk inn klima etter aktivitetsgruppe. Krav gitt fra TEK 17 (TEK 17, 2017)

Aktivitetsgruppe	Lett arbeid	Middels arbeid	Tungt arbeid
Temperatur °C	19-26	16-26	10-26

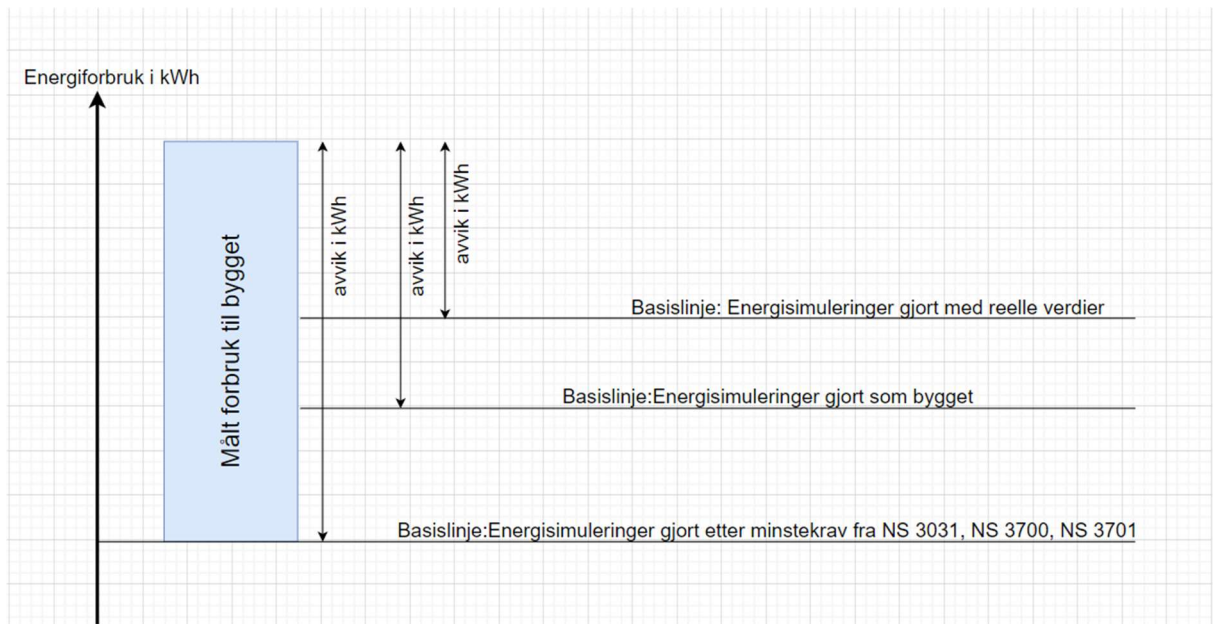
Det stilles krav til akseptabelt inn klima i henhold til §13 i TEK 17 (TEK 17, 2017). For høy eller for lav temperatur inne i en bygning kan gi helsemessige skader og øke ulykkesfaktoren (Helsedirektoratet, 2014). Det anbefales å holde innnetemperaturen under 22 °C så lenge det er oppvarmingsbehov i bygningen (TEK 17, 2017). Det aksepteres å overskride øvre grense med 50 timer i et normalår, derimot bør nedre grense alltid kunne holdes (TEK 17, 2017).

Energiforbruket til oppvarming er derimot ikke lineært. Dette betyr at det kreves mer energi å varme en bygning fra 22 til 23 grader, enn det som brukes for å varme opp en bygning fra 19 til 20 grader (energismart, 2021). Dersom innnetemperaturen er høyere enn prosjektert, så vil dette gi et større energiforbruk enn forventet. Dette er på grunn varmluft ekspanderer og øker trykket i bygget. Dette fører til at mer varme presse ut bygget (Hofstad, 2021).

Tjeneste ytende bygninger bruker om lag 16TWh for oppvarming og kjøling per år (Magnussen, 2020). Dette tilsvarer om lag 22% av hele landets oppvarmings og kjølebehov. Oppvarmingsbehovet varierer og er beregnet ut ifra flere forskjellige faktorer. Dette kan være utformingen av bygget, dimensjonerende klima, hvilke type varmesystem som er brukt og bruksmønsteret i bygget (Byggforsk, 1990). I tillegg kan vi få positive bidrag til oppvarmingsbehovet, som kan følge til et mindre netto forbruk på oppvarmingen (Byggforsk, 1990). Positive bidrag kan f.eks. være interne varme fra personer i bygget, eller solstilskudd. Et energifleksibelt varmesystem lener seg på to forskjellige energiforsyningssystem, som oftest er det fastkraft og fjernvarme (NVE, 2019). Ca. 65% av energien til oppvarming og kjøling for tjenesteytende bygninger kommer fra elektrisitet, og 30% kommer fra fjernvarme (Magnussen, 2020).

2.2 Evaluering av energiforbruk i bygg

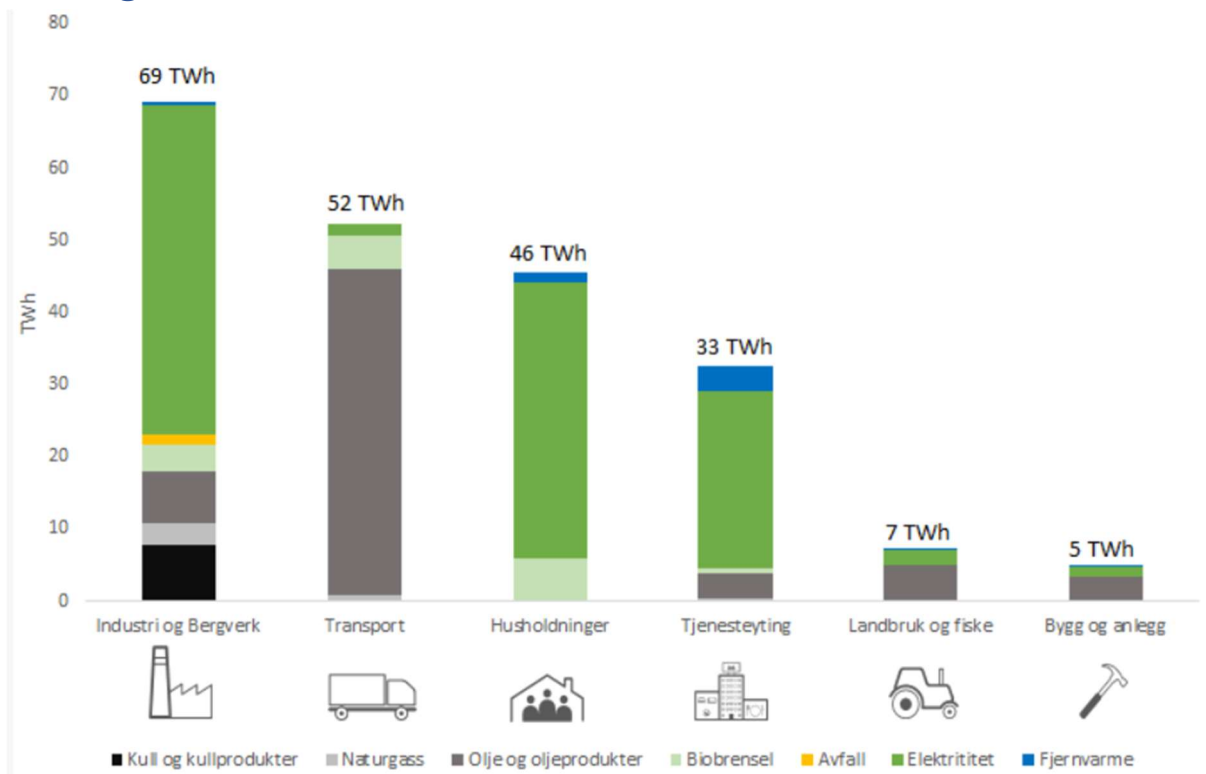
2.2.1 Valg av basislinje ved energiavviksanalyser



Figur 2: En illustrasjon over grad av avvik etter valgt basislinje. Størrelsen på avviket varierer ut ifra valgt basislinje for energisimuleringene.

Det finnes forskjellig grad av avvik når man skal analysere energiavviket i et bygg (Figur 2). I en innledende kartlegging så er det viktig at man etablerer en base line, eller basislinje som skal fortelle noe om hvor man forventer at energibruket skal ligge. Basislinjen kan variere ut fra ønsket verdi. For å finne ut om energibruken til et bygg er dårlig eller ikke så ser man gjerne på minstekravene fra TEK 17, og dermed også de gitt i NS 3031: 2014 *Beregning av bygningers energiytelse*. Slike beregninger er ofte gjort i simuleringssystemer og som gir en god oversikt over energibudsjett og forventet levert energi. Energisimuleringene kan variere ut ifra gitte inndata. Minstekravet for inndata er gitt NS 3031: 2014 Tillegg A. Det er ofte her de fleste energisimuleringene tar utgangspunkt fra, men det er også mulig å sette høyere krav i simuleringene. Det skilles derfor mellom tre ulike energisimuleringer. Den første er å kjøre en simulering gitt fra minstekravene fra NS 3031. Her setter man kun inn de verdiene som er oppgitt, og tar f.eks. ikke hensyn til for eksempel bygningens egentlige luftmengder i ventilasjonen. Det andre er å kjøre en simulering basert på nøyaktig slik bygget ble bygd, og legge inn inndata til teknisk utstyr osv. slik det ble installert. Det tredje er å kjøre en simulering med reelle verdier. Dette gjøres etter at bygningen er ferdig bygd og man tester så alt teknisk utstyr og legger til inndata slik man avleser på ulike målere. Ved å sammenligne opp mot reelt forbruk så vil valg av basislinje gi ulik grad av avvik. Figur 2 illustrerer hvordan energiavvik varierer etter valg av basislinje.

2.2.1 Fjernvarme og fastkraft



Figur 3: Sammensetting av energibruken i Norge for ulike energikilder. Tall fra 2020 (Energifakta, 2021)

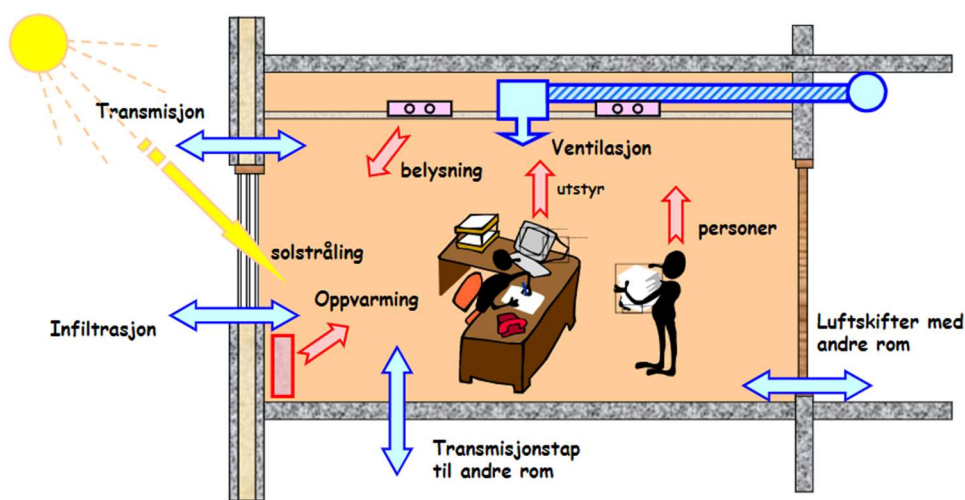
Når en skal jobbe med energianalyser så er det en god start å se på ulike undermålere i det totale energiforbruket. Norske bygninger benytter som regel to energikilder. Fastkraft og fjernvarme (Brenne, 2022). Det er nyttig å forstå hvordan energikildene fungerer, fordi i mange kommunale bygg så finnes det ofte kun en måler for total fastkraftbruk og en for total fjernvarmebruk (Trondheim Kommune: Esave, 2022). Figur 3 viser energiforbruket til ulike energikilder for ulike sektorer i Norge.

Fjernvarme er et oppvarmingssystem som er en sentral del av energiforsyningen i byer og tettsteder, hvor energien transporteres fra en fjernvarmesentral til resipient. I hovedsak forsyner fjernvarme større bygninger, og om lag to tredjedeler av forbruket til fjernvarme skjer i tjenesteytende sektor (Energifakta, 2021). Fjernvarme utnytter overskuddsvarme til et lokalsamfunn som ellers ville ha gått tapt (Brenne, 2022). Energikilden til selve fjernvarmeanlegget kan dermed være avfallsforbrenning, gass, olje, strøm eller overskuddsvarme fra industri (Rosvold, 2022). Energien overføres i form av varmtvann i isolerte rør med en temperatur på rundt 120 °C (Rosvold, 2022). Vannet føres så gjennom en varmeveksler før det ender opp i radiatoren til et bygg med en turtemperatur på mellom 50-70 °C (Statkraft, 2012). Fjernvarme er derfor en miljøvennlig måte for oppvarming av bygg (Rosvold, 2022). For å kunne få høyest mulig oppvarmingskarakter i et bygg, så er fjernvarme viktig (Dibk, 2018).

Fastkraft er elektrisk kraft som leveres til kunder i henhold til en kontrakt som gjelder over en lengre tidsperiode (Rosvold, 2022). Forbruket av fastkraft registreres på en analog eller digitalt måler montert av netteier.

Større bygninger i byer er gjerne koblet til fjernvarmeanlegget og får hele eller deler av sitt oppvarmingsbehov gjennom fjernvarmenettet. Energi til vifter, elektrisk utstyr, pumper osv. dekkes av fastkraft. Energievalueringer starter gjerne med å se på energiforbruket av fastkraft og fjernvarme for å så evaluere enkelte komponenter som benytter seg av disse energikildene (Arne Førland Larsen; Katharina Th. Bramselv; Erik A Hammer, 2014).

2.2.3 Varmebalanse



Figur 4: En illustrasjon som viser faktorer som påvirker varmebalansen i et bygg (NAAF, 2022)

En god varmebalanse i et bygg hindrer at bygget overopphetes, eller nedkjøles (NAAF, 2022). Både varmetilskudd og kjølingstilskudd har flere bidragsyttere. Figur 4 viser en oversikt over bidragsyttere som påvirker varmebalansen. Et bygg kan få varme gjennom blant annet (NAAF, 2022);

- Oppvarming
- Solinnstråling
- Personer
- Belysning
- Teknisk utstyr
- Grunnvarme
-

Bygget nedkjøles også gjennom;

- Overføring av energi gjennom transmisjon, både ut av bygget og innad i bygget gjennom flere rom
- Inntrenging av kaldluft gjennom infiltrasjon
- Luftsjikter

- Ventilasjon

For avviksberegning så er en god varmebalanse i et bygg avgjørende. Svikt i varmebalansen fører til dårlig inneklima som igjen bruker mer energi. Derfor er det viktig at varmegivende faktorer utligner de nedkjølede faktorene for byggets energieffektivitet. Slik kan bygget opprettholde en jevn temperatur gjennom hele året. Svikt i varmebalansen vil føre til et større energiforbruk enn først antatt (Skari, 2016).

2.2.4 Graddagstall og energigradtall

For å kunne sammenligne energibruk i bygninger fra år til år, og over flere ulike geografiske områder i Norge, så må man korrigere dette med et graddagstall (ENOVA, 2017). Dette gjør det mulig at alle bygg kan sammenlignes mot et bestemt geografisk sted, og samme utetemperatur. Graddagstall blir også kalt for temperaturkorrigering og for å beregne dette så bruker man energigradtall (ENOVA, 2017). Energigradtall er et mål på bygningens oppvarmingsbehov (ENOVA, 2017). Man betrakter energigradtall kun gjennom fyringssesongen. Dersom man fjerner oppvarming som kommer fra blant annet personer, belysning og teknisk utstyr så vil basis oppvarmingsbehov være 17°C, dette fordi man antar at det ikke er behov for oppvarming på utetemperaturen over dette (ENOVA, 2017). Gradtallet for et aktuelt døgn defineres ved å ta differansen mellom basistemperaturen og døgnmiddeltemperatur (ENOVA, 2017);

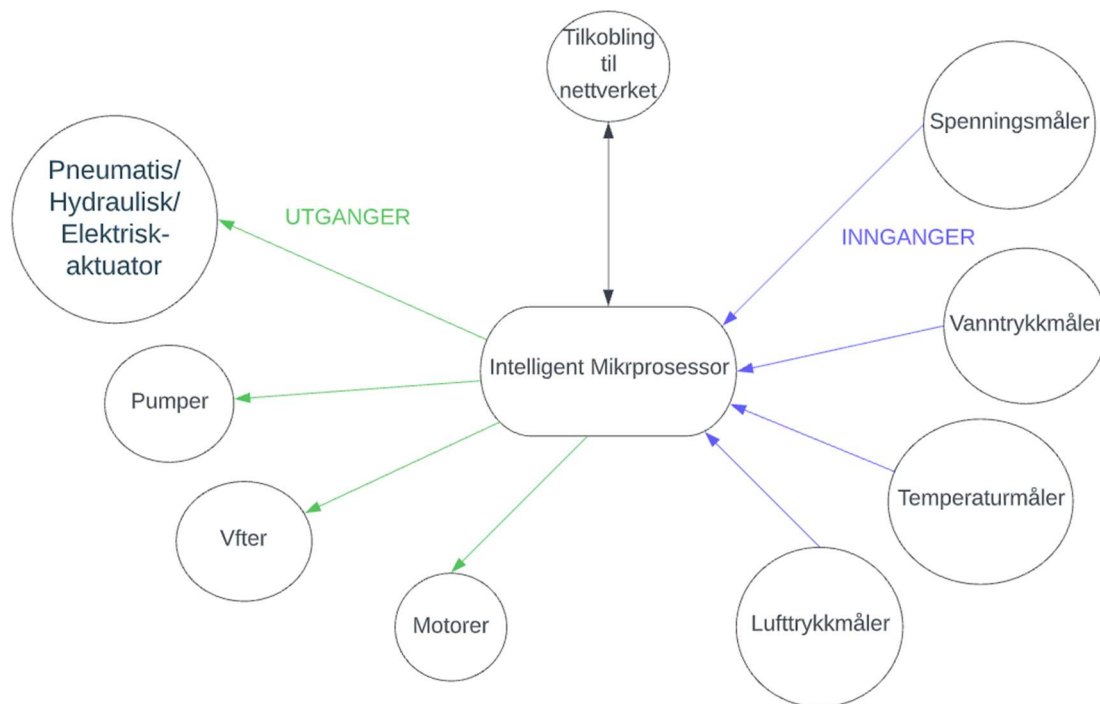
Hvis man summerer alle gradtallene over en måned eller et år, så får man energigradtallet til et bygg. Høyt energigradtall indikerer et kaldt klima, og lavt energigradtall indikerer varmere klima (ENOVA, 2017). På den måten kan man lett se hvordan utetemperaturen påvirker energiforbruket til et bygg.

2.3 Bruk av EOS og SD-anlegg

2.3.1 Innledning i SD-anlegg

Et SD-anlegg også kalt Building Management System (BMS) på engelsk, er et helautomatisk datastyrt system som har som mål om å overvåke og regulere byggets elektriske og mekaniske utstyr som; Oppvarming, belysning, kjøling, elektrisk utstyr og ventilasjon (Hossain, 2019, pp. 46-48), (Smith, 2015). Et SD-anlegg kan deles inn i ulike underkategorier og kan inneholde systemer som (Joseph, 2018);

- HVAC system (Heating, Ventilation, Air Conditioning)
- Tekniske systemer
- Varmt tappevann og fjernvarme systemer
- Sprinkler systemer
- Elektrisitetsforbruk
- Kjølssystemer



Figur 5 Oversikt over hva som kan inngå av målere og hva som styres i et SD-anlegg (Smith, 2015)

Et godt SD-anlegg er med på å kunne forbedre innneklimaet og opprettholde en jevn temperatur. Dette er med på å spare et bygg for store kostnader (EM systemer, 2020).

For at et SD-anlegg skal fungere etter sin hensikt så setter man gjerne to kritiske forutsetninger (Zaid, et al., 2013). Det første er å ha en god maskinvare. Med dette menes alle sensorer, mikrokontroll-kort og utgang installasjoner. Det andre er å ha en god programvare som kan presentere/måle dataene på en brukervennlig måte, Graphical User Interface (GUI) (Zaid, et al., 2013). Målet er å kunne overvåke og kontrollere byggets tekniske installasjoner. Et SD-anlegg er gjerne koblet til et nettverk slik at man kan ha tilgang til systemet via Internett. På den måten tillater SD-anlegg god integrering mellom forskjellige leverandører, og høy fleksibilitet (Smith, 2015).

2.3.2 Energioppfølgingssystem (EOS)

Det er viktig å kunne skille mellom et SD-anlegg og et energioppfølgingssystem (i.e. EOS). EOS har som mål å tilby en oversikt og kontroll over energiforbruket (ENOVA, 2022). EOS er et web-basert system for energioppfølging og energiledelse, som bør oppfylle krav etter NS-EN ISO 50001:2018 (Standard Norge, 2019). Systemet går ikke aktivt inn for å regulere tekniske installasjoner i et bygg. EOS kan derimot innsamle store mengder data, bearbeide og rapportere dataene (ENOVA, 2022). Bruk av EOS gir mulighet for bedrifter og organisasjoner til å budsjettere sitt energiforbruk, og kutte unødvendig forbruk.

2.3.3 Bruk av EOS og SD-anlegg i energiavvik

En potensialstudie utført av Direktoratet for byggkvalitet viser en besparelse på rundt 13,4 kWh/m² ved implementering av EOS (Grini, et al., 2017). Yrkesbygninger uten EOS eller SD-anlegg har også en antatt energisparingspotensiale på ca. 8% (Grini, et al., 2017). En antatt andel av yrkesbygg i Norge som nå benytter EOS ligger på ca. 62% (Grini, et al., 2017). Det er mange fordeler ved bruk av EOS, og tidlig avdekking av tekniske feil kan gi energibesparelser på opptil 5% (ENOVA, 2022). EOS gir også mulighet til periodisk dokumentasjon for FDV ansvarlig, og dermed utveksle informasjon om feil i tekniske systemer på en mye bedre måte (ENOVA, 2022). Bruk av EOS og SD-anlegg brukes for å evaluere forbruket mot prosjektert energibudsjett. SD-anlegg kombinert med EOS bidrar til å overvåke et byggs automatiske systemer, samt overvåke andre typer energiforbruk som er koblet til EOS-databasen.

3 Metodologi

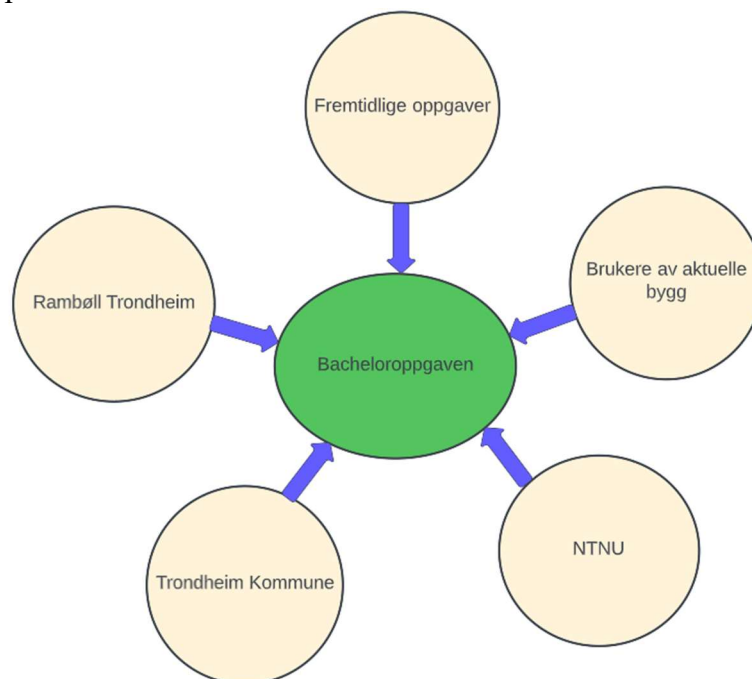
Bacheloroppgaven benytter seg av to metoder for innhenting av informasjon. Kvalitativ og kvantitativ metode. Kvalitativ metoder brukes for å samle data som vanligvis er i form av intervjuer, artikler og fokusgrupper (Grønmo, 2020). Kvantitativ metoder brukes i form av datainnsamling av tall og verdier (Grønmo, 2021).

I oppgaven er en kvalitativ metode brukt i form av informasjonshenting både fra ekstern og intern veileder og andre fagartikler.

Som kvantitativ metode så har det blitt benyttet innsamling av energitall fra EOS-databasen (i.e. Esave), samt bruk av simuleringsverktøyet SIMIEN.

Oppgaven vil ta utgangspunkt i to skoler i Trondheim; Byåsen barneskole og Lade barne- og ungdomsskole. Gjennom en valgt metode så prøver oppgaven å vise til energiavvik mellom prosjektert levert energi og reelle faktiske forbruk for begge skolene. Det er store forskjeller mellom skolene når det gjelder areal, byggeår, beliggenhet, utforming, energikrav, energiforbruk osv. Skolene skal derfor evalueres og analyseres hver for seg i hver sin casestudie. Resultatene som kommer frem i denne oppgaven er ikke ment til sammenligning mellom casene. Samme metode brukes for både Lade skole og Byåsen skole.

Interessenter av denne oppgaven (Figur 6) vil være Rambøll Trondheim, som har tilrettelagt for oppgaven sammen med Trondheim Kommune, NTNU som utgir av oppgaven, eventuelle andre oppgaver som bygger på denne, samt brukere av byggene som analyseres. Det vil også være flere andre interessenter, men de største er samlet opp her



Figur 6: Interessenter for bacheloroppgaven

3.2 Litteraturstudie

Det utført litteraturstudie for å finne relevante artikler som er til hjelp ved bruk av energianalyser. Det har blitt blant annet brukt søkeord som:

- Avvik mellom beregnet og reell energi
- Energiforbruk i bygninger
- Optimalisering av energiforbruk i bygg

Det meste funnet her var rapporter skrevet av næringslivet. 5 rapporter ble funnet på den måten. I tillegg er det brukt fagstoff fra emnet TEP 4235 Energy management in buildings.

Som kontroll for inndata og generell forståelse over verdier som ble gitt i SIMIEN-filene så har NS 3031: 2014 blitt aktivt brukt. Det samme har også NS 3701 og TEK 17. I tillegg har et kompendium over bruk av EOS-databasen (i.e. Esave) blitt brukt for å lære seg programmet.

En evaluering av Kolstad barnehage utført av Trondheim kommune også brukt som inspirasjon til oppgaven.

3.3 Verktøy

3.3.1 Energisimuleringer

Som metode for å sammenligne avvik så er det brukt energisimuleringer gjort i programverktøyet SIMIEN

SIMIEN er et norskutviklet digitalt simuleringsverktøy som baserer sine dynamiske beregningsmetoder etter NS 3031 Tillegg A og B. Programmet er godkjent etter internasjonal standard NS-EN 15625: 2007 (Programbyggerne AS, 2020). Dynamisk beregningsmetode tar hensyn på at temperatur og varmestrøm gjennom en konstruksjon ikke er stabil (Haugen, 2013).

SIMIEN gir mulighet for 7 ulike simuleringer (Programbyggerne AS, 2020), (Haugen, 2013);

- Sommersimulering (Brukes til å finne effekt på kjøling)
- Vintersimulering (Brukes til å finne oppvarmingseffekt)
- Årssimulering (Beregner årsforbruket for hele året, både netto energibehov og netto levert energi)
- Passivhussimulering (Berenger energibehovet etter NS3700 og NS3701)
- Lønnsomhetssimulering (Beregner tiltak for lønnsomhet)
- Evaluering mot tekniske forskrifter (TEK 07, TEK 10, TEK 17)
- Energimerkesimulering (Beregner dimensjonerende energimerke)

Evalueringer i SIMIEN kan kun gjøres for en enkel sone. Dersom bygget har bruksområder som kan defineres med flere bygningskategorier må bygget deles opp i flere prosjektfiler, som simuleres separat.

3.3.2 Inndata

Inndata i SIMIEN hentes fra kjente verdier eller fra veiledende data fra NS 3031, som oppfyller standardiserte krav (Standard Norge, 2014). Det betyr at dersom man ikke kjenner til en verdi så legges det til grunn bruk av veiledende verdi i NS 3031. Inndata kan deles inn i tre ulike kategorier (Programbyggerne AS, 2020); Bygningsspesifikke, installasjonsspesifikke og brukerspesifikke (Haugen, 2013). Hver av disse har sine underkategorier vist i tabell 2

Tabell 2: Inndata SIMIEN

Inndata SIMIEN	
Bygningsspesifikke	Fasader Vinduer og dører Gulv Tak Klimaskjerm Solskjerming Varmekapasitet
Installasjonsspesifikke	Ventilasjon VAC/CAV Virkningsgrad på varmegjenvinner Vifter Varmesystemer og pumper Energikilder Vannbårne systemer
Brukerspesifikke	Romtemperatur Luftmengder Varmetilskudd fra personer og utstyr Tilluftstemperatur Avtrekk Belysning

Alle energisimuleringer i oppgaven vil bli gjort med samme inndata slik filene ble levert med mindre det spesifiseres at inndataene har blitt endret på.

3.3.3 EOS; Esave

For å gjennomføre energianalysen i denne oppgaven tas det i bruk et verktøy som måler forbruket og gir mulighet til å sammenligne faktisk energiforbruk mot prosjekterte verdier. Trondheim kommune har gitt tilgang til EOS-databasen (i.e. Esave). EOS-databasen er et web-basert system for energioppfølging og energiledelse. Verktøyet brukes for å effektivisere energiforbruket i små og store bygninger. Systemet gir tilgang til rapporter som inneholder målt energi fra energiforbruket i bygget. Man kan velge å analysere et spesifikk bygg, eller velge flere bygg for å sammenligne med hverandre. Systemet måler opp energiforbruket for ulike komponenter og oversetter målinger til ulike figurer og diagrammer. EOS-databasen (i.e. Esave) er basert på ISO50001 (Standard Norge, 2019). Verktøyet samler opp informasjonen om energiforbruket. Analyseverktøyene i EOS-databasen (i.e. Esave) viser forbruket for en valgt oppløsning og tidsperiode. For eksempel årlig, månedlig, uke og timesverdier. Verktøyet gir også grafer for byggets ET-kurve og avvikdiagram.

3.3.4 Komponenter som ikke legges til grunn under energisimulering

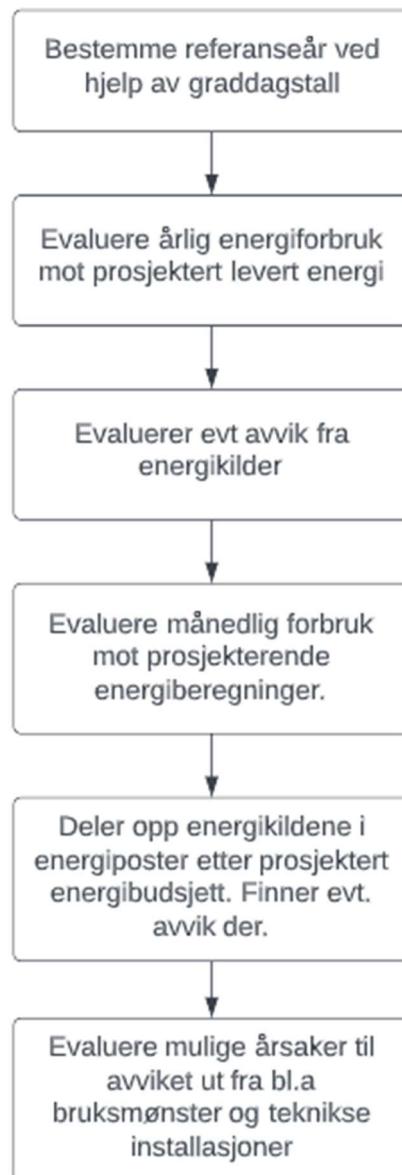
Det er en del komponenter som ikke er lagt til grunn under simuleringen i SIMIEN som har påvirkning på avviket fra dimensjonerte verdier. Blant annet (Arne Førland Larsen; Katharina Th. Bramselv; Erik A Hammer, 2014);

- Snøsmeltingsanlegg
- utvendige belysninger
- elbilladestasjon
- lys i uoppvarmede soner
- kjøkkenfasiliteter
- utvendige strømuttak.

Alt dette er en del av byggets totale energiforbruk, som ikke er tatt med i prosjekterte energisimuleringer, men de er inkludert i EOS-databasen (i.e.Esave). Disse komponentene kan utgjøre stor andel av avviket. Det er ingen korresponderende verdi i prosjektert levert energi, som forbruket av disse kan sammenlignes mot. Dette kan gi en stor usikkerhet på totalt avvik. Manglende referanseverdier fra prosjekterte energisimuleringer gjør at disse ikke kan sammenlignes direkte opp mot faktisk forbruk. Dersom det fins målingspunkter på disse i EOS-databasen (i.e.Esave), så kan disse analyseres basert på historisk forbruk og størrelse. Slik kan de brukes for å undersøke hvor stor påvirkning de har på totalt avvik. Et eksempel på et slik målingspunkt er snøsmeltingsanlegget på Byåsen skole, som er nærmere beskrevet i kapittel 4.4.1. Her finnes det målingspunkt for faktisk forbruk, men ingen referanseverdi fra SIMIEN/NS 3031/NS 3701.

3.4 Metodisk tilnærming for å finne avvik

Som en tilnærming for å finne avvik har det blitt valgt en metode med rekkefølge slik vist i figur 6.



Figur 7 Metodisk tilnærming mot å finne avvik. Figuren gir en bestemt valgt prosedyre som blir gjort gjennom oppgaven

Referanseåret som skal brukes i hver case bestemmes etter en evaluering av graddagstall. En sammenligning over flere år mot dens års antall fyringsdager gjøres for å finne det året som representerer det årlige forbruket av bygget på best mulig grad. Både med tanke på gjentakende akkumulert forbruk, men også etter hvor relevant årsforbruket er per dags dato denne oppgaven blir skrevet.

Når et referanseår er bestemt så samles det informasjon om energiforbruket fra EOS-databasen (i.e. Esave). Videre så kjøres simuleringen fra prosjekterende SIMIEN filer opp mot faktisk forbruk etter valgt basislinje.

Dersom et avvik er vist i det totale årlige forbruket, så er det nødvendig å se videre på avviket. Dette gjøres ved å se på energiforbruket til energikildene. Total årlig energiforbruk for energikildene hentes fra

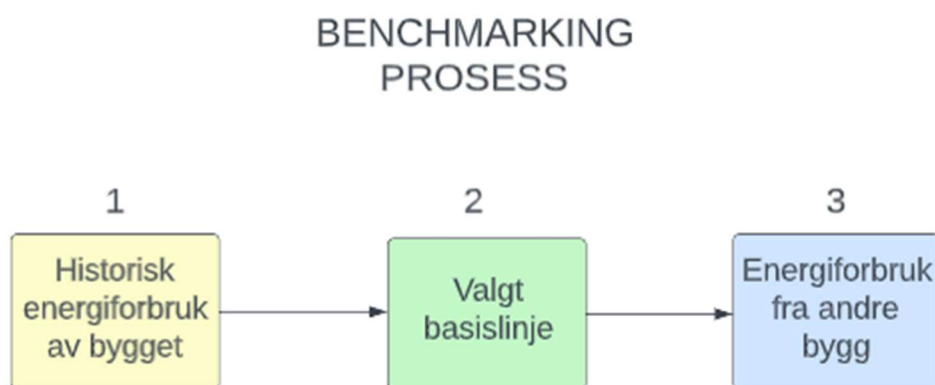
både reelle målinger og SIMIEN. Disse sammenlignes opp mot hverandre for å se om det ligger avvik der. Dermed kan man finne energikilden med mest relevant avvik. Med energikilder så menes det hvor bygget henter sin energi fra. De vanligste energikildene i norske bygg er fastkraft og fjernvarme

Månedlig forbruk brukes så for å finne hvordan energiforbruket for energikildene fordeler seg gjennom månedene. Reelle månedlige verdier hentes fra EOS-databasen (i.e. Esave). Disse sammenlignes opp mot en månedsevaluering gjort i SIMIEN, som er fordelt etter totalt netto energibehov fordelt på ni energiposter.

Det vil være nødvendig å dele inn forbruket til en energikilde i mindre energiposter. NS 3031 Tabell 5 henviser til et energibudsjett med ulike energiposter. Disse legges til grunn når det sammenlignes med energibudsjetter i SIMIEN opp mot faktiske verdier. Dersom det ikke finnes delmålere for en bestemt energipost i EOS-databasen (i.e. Esave), så brukes forholdstall etter prosjektert energibudsjett. Dette er nærmere forklart i kapittel 3.6

Bruksmønsteret med hensyn på driftstid blir så brukt for å avdekke avvik i energikilder og kan vise til feil i tekniske installasjoner i bygget.

3.5 Benchmarkingsprosessen:



Figur 8 Benchmarking prosess som er gjort gjennom oppgaven.

Figur 2 viser til valg av basislinje når man skal måle grad av avvik. I tillegg til den bruker oppgaven to andre sammenligninger (Figur 8);

- Benchmarking opp mot historisk forbruk av selvet bygget
- Benchmarking opp mot valgt basislinje
- Benchmarking opp mot andre lignende bygg

3.6 Metodisk tilnærming til fordeling over energiposter

SIMIEN definerer systemet i bygget basert på fordeling av energikilder over energiposter. Programmet setter opp et energibudsjett i henhold til Tabell 5 i NS 3031 med verdier for de ulike energipostene (se vedlegg 3, 4 og 5). Energiforbruket til de ulike energipostene bruker inndata i SIMIEN og beregner så forbruket basert på standardiserte beregningsmetoder etter NS 3031 (Standard Norge, 2014). For å kunne sammenligne reelt energiforbruk mot levert energi for disse energipostene, så er det nødvendig å ha målere som kan måle separat hver av disse energipostene. Dette er ikke alltid tilfelle. I praksis benyttes det som regel kun to hovedmålere, som måler forbruket fra en energikilde; ett for fjernvarme og ett for fastkraft. For å løse problemet med for få målere, så benyttes det forholdstall fra prosjektert energibudsjett fra total netto energibehov. Hver enkel energipost er som regel knyttet til én energikilde. Slik kan man gi en energipost et forholdstall basert på hvor mye energi de bruker fra energikilden. Forholdstallet anvendes for å gi verdier til energipostene i levert energi. Samme forholdstall brukes også for å gi en tilnærming mot forventet faktisk forbruk for energipostene.

4. Case 1: Byåsen barneskole



Figur 9: Bilde fra Byåsen barneskole (Foto: Christer Daniel Herigstad)

4.1 Presentasjon av bygget

4.1.1 Beliggenhet og areal

Byåsen barneskole ligger i Bøckmans veg 107, 7022 Trondheim. Skolen ble grunnlagt i 1863 (Wiki Strinda, 2011), men har gjennomgått flere oppussinger og rivninger, hvorav den siste store ombyggingen ble ferdigbygd i 2008. Byggeprosjektet fikk da Trondheims Byggeskikkpris for å utheve allmenn byggeskikk og for sitt flotte uteareal (NLA , 2008). I dag er Byåsen skole en av Trondheims største barneskoler med plass til over 650 elever (Trondheim Kommune, 2022). Skolens tomt er på 30 daa med en skolegård på 15daa (NLA , 2008). Totalt bruksareal (BRA) er på 8821m² (Trondheim Kommune: Esave, 2022). Skolen eies og driftes helt av Trondheim kommune.

4.1.2 Byggets energiforsyningssystem

Det benyttes to forskjellige energiforsyningssystem for bygget; fastkraft og fjernvarme. Bygget har også et energifleksibelt varmesystem. Energiforbruket for fastkraft går til belysning, teknisk utstyr og vifter. Energiforbruket for fjernvarme går til romoppvarming, tappevann og ventilasjon med varmebatteri (vannbåret varmebatteri). Prosjektert SFP-faktor er på 2,00kW/ m³/s med en temperaturvirkningsgrad på 0.70 på varmegjenvinneren (inndata hentet fra SIMIEN).

4.1.3 Målingspunkter

EOS-programmet (i.e. Esave) oppgir to hovedmålere. Ett for total fastkraftforbruk og ett for total fjernvarmebruk. Til sammen har Byåsen skole 11 forskjellige målere. I tillegg til to hovedmålere så har Trondheim kommune installert to temperaturmålere, som oppgir temperatur målt på tidspunktet og døgngjennomsnittstemperatur til målestasjonen (Trondheim_VOLL, Voll TAN). Total fastkraftforbruk er igjen splittet i sju forskjellige målere; Bygg A svømmehall, Keramikkovn bygg C (Hovedbygget) Snø smelteanlegg, Bygg F (hele bygget), Keramikkovn bygg F, Bygg C (uten keramikkovn) og Bygg F (uten keramikkovn).



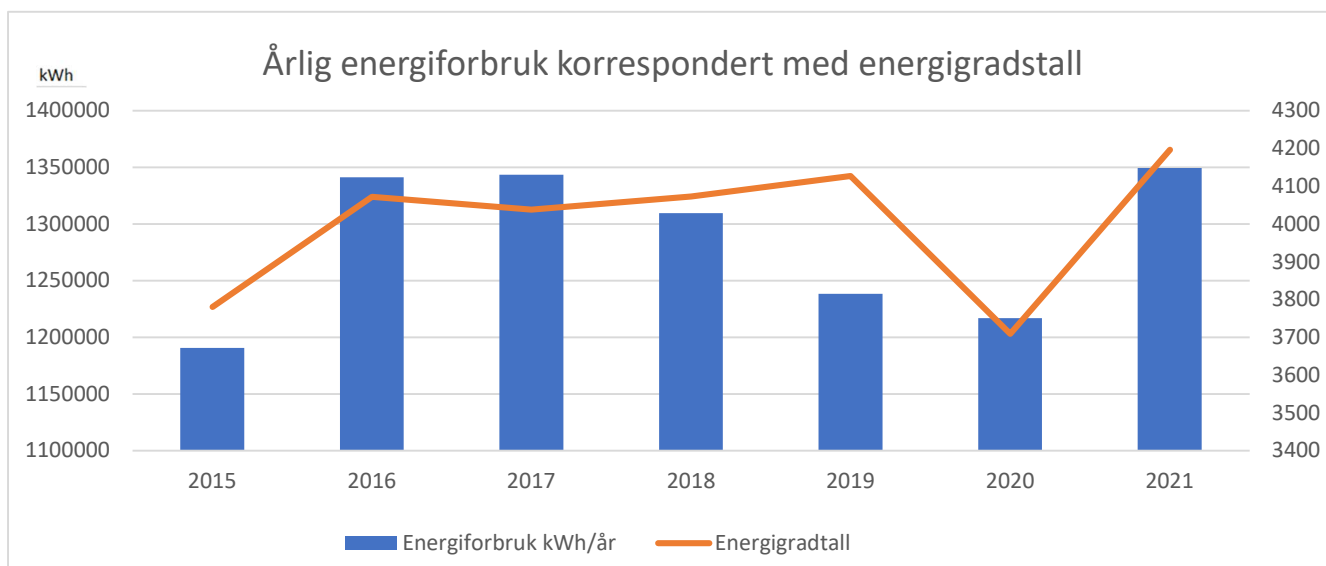
Figur 10 Oversikt over bygg på Byåsen skole

4.2 Avgrensninger

Det er gjort noen forutsetninger for å utføre denne energianalysen. Som grunnlag for energiberegningene i rapporten, så har det blitt tatt i bruk én SIMIEN fil prosjektert etter standardverdier i NS 3031: 2014. Denne har blitt gitt fra Trondheim kommune. Energisimuleringen gjort slik den ble levert er vist i vedlegg 3. Det er ut fra denne årssimuleringen hvor verdier fra netto energibehov og levert energi blir målt opp mot. SIMIEN-filen er beregnet etter NS 3031: 2014 og har brukt normerte inndata nærmere beskrevet i NS 3031: 2014 Tillegg A. Referansepunktet for analysen vil derfor være opp mot NS 3031.

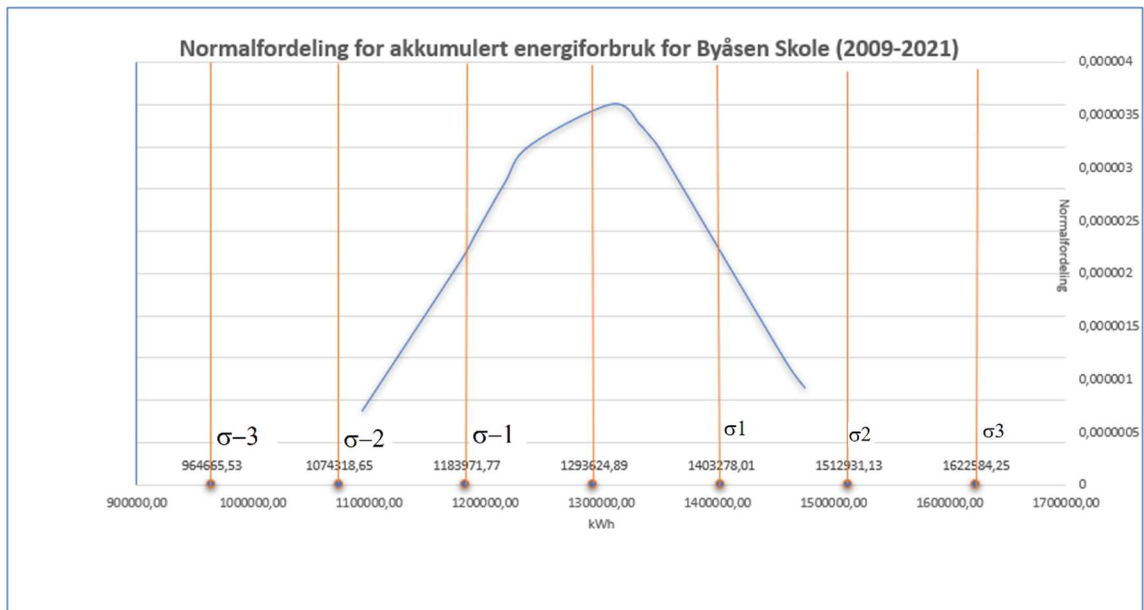
4.3 Årlig forbruk

4.3.1 Bestemmelse av referanseår



Figur 11: Årlig energiforbruk for Byåsen skole korrespondert med energigradtall for samme år.

Ved hjelp av energigradtall så kan man evaluere årlig historisk energiforbruk opp mot antall fyringsdager i løpet av et år. Norsk Klimaservicesenter leverer energigradtall for et gitt sted hvert år. Det finnes ingen målestasjon for Byåsen i deres database, derfor er energigradtallene hentet fra Voll målestasjon i Trondheim, som er mest mulig ekvivalent med tanke på geografiske område, høyde over havet og kontinuerlige målinger. Over de siste sju årene så har den største differansen vært på 158 603kWh. Alle årene har hatt betydeligere høyere energiforbruk enn det energisimuleringen tilsier (vedlegg 3). Generelt sett burde energiforbruket følge energigradtallet, dette selv om forholdet mellom dem ikke er lineært (ENOVA, 2017). Figur 8 viser at selv om energigradtallet i 2019 var nesten det samme som i 2021, så ble det brukt hele 110 972kWh mer i 2021. Om man antar at bygget ble brukt på samme måte i 2019 som i 2021, så indikerer dette et større avvik i 2021 som ikke har gjort rede for. Som evalueringsgrunnlag for analysen av Byåsen skole så har det blitt tatt i bruk energiforbruket for 2021 som referanseår. Både 2016 og 2017 hadde lignende forbruk. En normalfordeling gjort for årlig forbruk fra 2009 til 2021 for Byåsen skole viser at forbruket for 2021 ligger innenfor ett standardavvik fra gjennomsnittet. Her er gjennomsnittet satt til å være 1293624,89 kWh og standardavviket til å være 109653,1 kWh. 2021 er derfor et godt representativt referanseår for forbruket i Byåsen skole.

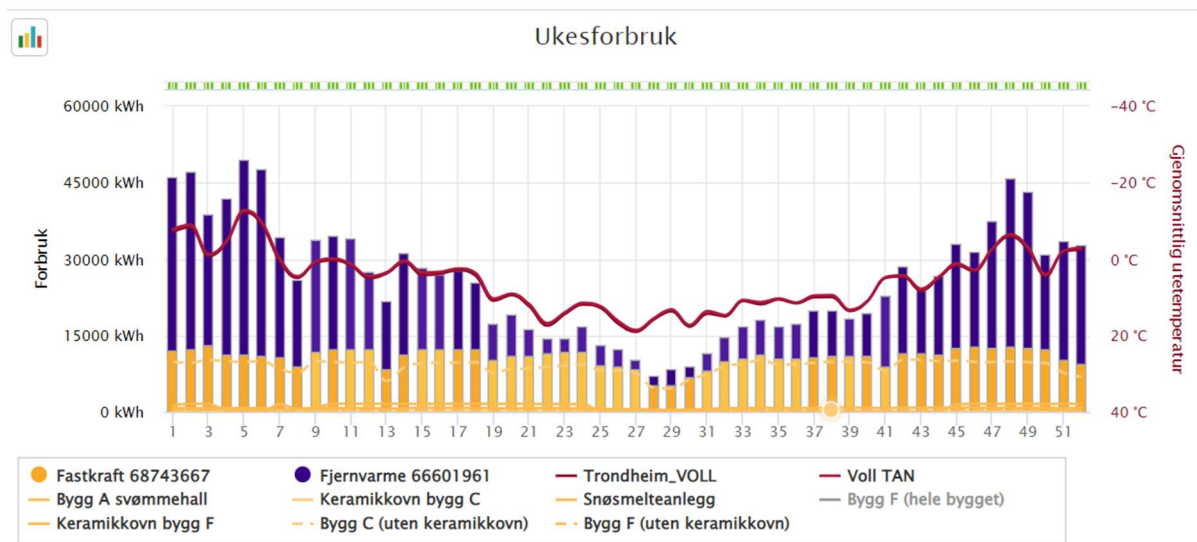


Figur 12: Normalfordeling av årlig forbruk for Byåsen skole 2009-2021

4.3.2 Årlig forbruk 2021

En illustrasjon av det årlige forbruket er presentert i Figur 13.

Ut ifra figuren kan man lett se at fjernvarmeforbruket er sterkt påvirket av temperaturendringer, noe som er forventet. For fastkraft så varierer forbruket i mye mindre grad, men øker i ukene skolen er hyppigst brukt.



Figur 13 Årlig forbruk fordelt over 52 uker i 2021 for Byåsen skole (Kilde: Esave)

Totalt forbruk i 2021 var på 1 349 347 kWh. Gjennom årssimulering gjort i SIMIEN så viser denne et netto energibehov på 829 341 kWh per år. Ved bruk av levert energi så er det beregnet at bygget trenger 921 804 kWh. Ser vi dette opp mot faktisk forbruk så har bygget et merforbruk på ca. 46,4% fra prosjektert levert energi (se vedlegg 3). Spesifikt levert energi viser til et forbruk på 153 kWh/m²/år som er mer enn prosjektert verdi på 140,9 kWh/m²/år. Det gjøres oppmerksom på at arealet oppgitt i EOS-databasen (i.e. Esave) er større enn dimensjonerende BRA lagt til grunn i energisimuleringen. Derfor kan en stor del av avviket skyldes denne arealforskjellen.

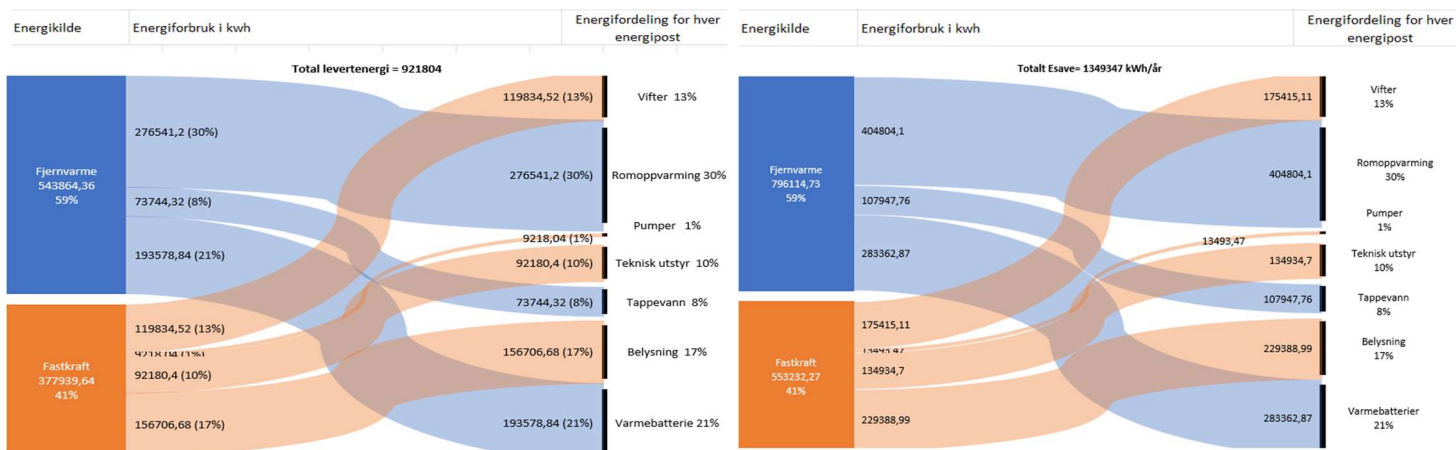
Tabell 3: Totalt avvik fra 2021 mot prosjekterende SIMIEN energiberegninger

Totalt avvik				
	Esave	Simien levert energi	Avvik	Avvik fra SIMIEN
Energiforbruk	kWh/år	kWh/år	kWh/år	%
Fastkraft	562 637	343 911	218 726	63,6 %
Fjernvarme	786 710	577 893	208 817	36,1 %
Totalt forbruk	1 349 347	921 804	427 543	46,4 %
BRA m ²	8821	6543	2 278	34,8 %
Spesifikk energibehov kWh/m ²	153,0	140,9	12,1	8,6 %

Det antas at denne forskjellen oppstår ved at EOS-databasen (i.e. Esave) tar med større bruksarealer (BRA) som trenger energi enn det som er beregnet i SIMIEN. Det har bare blitt gitt én SIMIEN-fil for energisimuleringene. Ut ifra denne filen så antas det derfor at denne gjelder for hele skolen. Dette har ikke blitt verken bekreftet eller avkreftet fra ekstern ansvarlig for EOS-databasen i Trondheim kommune, og det har heller ikke blitt gitt tilgang til flere filer. På grunn av dette så er det en betydelig stor usikkerhet i målingene. For å komme videre i prosessen har det derfor blitt bestemt at en av de største avvikskildene

ligger i differensen i oppvarmet BRA, og med dette lagt til grunn undersøkes det videre på andre mulige avvikskilder i de neste kapitlene.

4.3.3 Energibudsjett



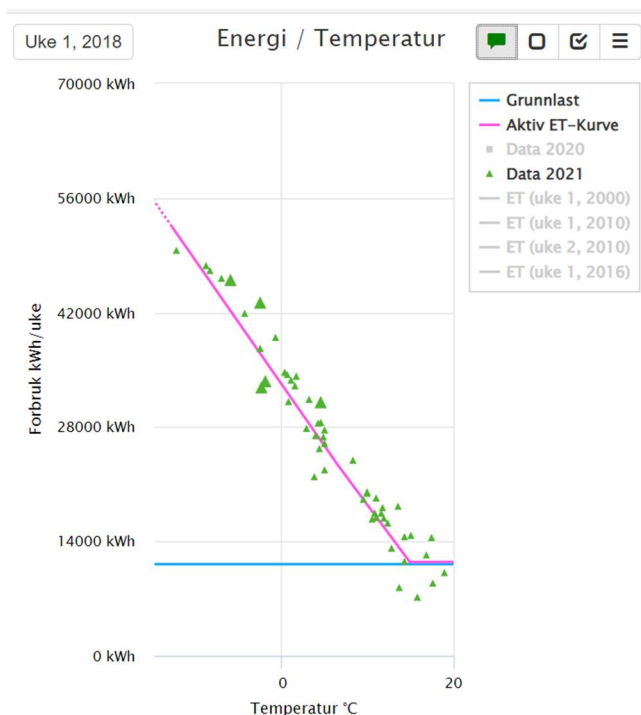
Figur 14: Sammenligning mellom årlig forbruk for prosjektert og reelt forbruk for Byåsen skole 2021. Diagrammet til venstre viser forbruket fra SIMIEN for levert energi. Til høyre vises faktisk forbruk for Byåsen skole i 2021

Fordelingen er delt opp prosentvis mellom bruk av fastkraft og fjernvarme. Her er det brukt netto energibudsjettet gjort i SIMIEN (vedlegg 3). Denne prosentandelen blir brukt for å finne energifordelingen av energipostene for levert energi og faktisk forbruk. Dette gjøres for å sammenligne energibudsjettets grad av nøyaktighet over energipostene. Som en illustrasjon over den faktiske energipostfordelingen, så har det blitt i bruk et Sankeydiagram som illustrasjonsverktøy vist i kWh (Figur 14). Merk her at romkjøling og ventilasjonskjøling ikke er tatt med i beregningene. Dette fordi det ikke har blitt tatt hensyn til disse i simuleringene i SIMIEN. Ved å se på figur 11 så ser man betydelig avvik i oppvarming. Fjernvarme byr derfor på store problemer noe som undersøkes nærmere i kapittel 4.4.4.

Tabell 4 Prosjekterende energibudsjett for Byåsen skole. Tall hentet fra SIMIEN (vedlegg 3)

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov kWh/år	Spesifikt energibehov kw/m ² år
1a Romoppvarming	250 667,00	38
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	168 824,00	26,1
2 Varmtvann (tappevann)	65 939,00	10,1
3a Vifter	106 306,00	15,9
3b Pumper	6 224,00	0,9
4 Belysning	144 613,00	22,1
5 Teknisk utstyr	86 768,00	13,3
6a Romkjøling	-	-
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	-	-
Totalt netto energibehov, sum 1-6	829 341,00	126,3

4.3.4 ET-kurve

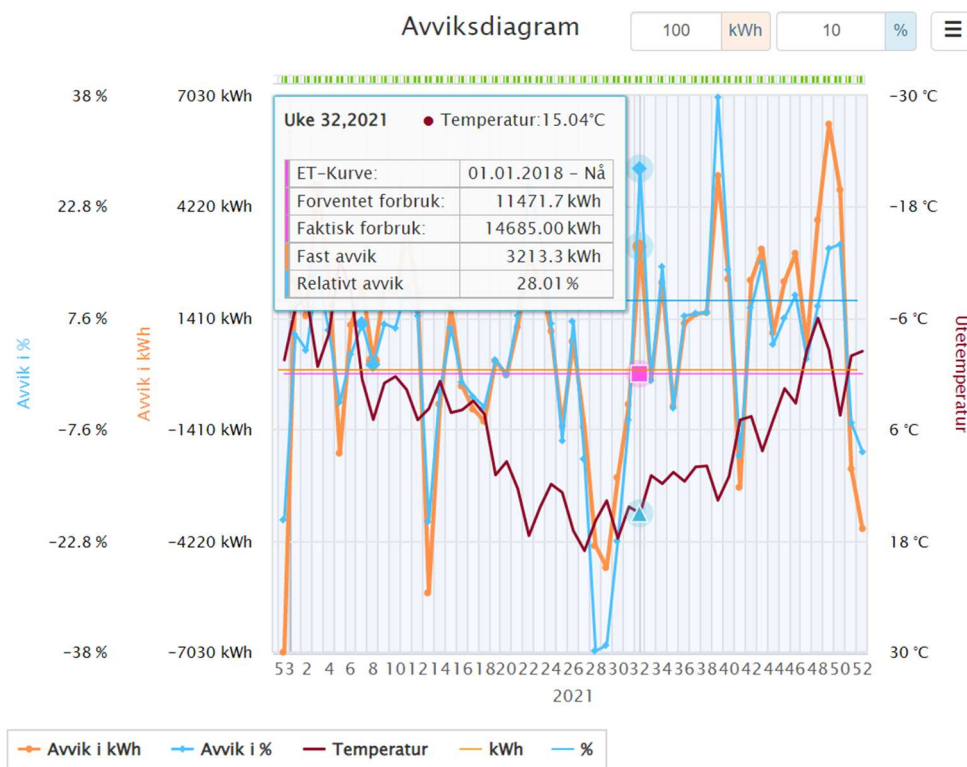


Figur 15: E-T-Kurve for Byåsen skole. Punktene indikerer ukensforbruket for en uke i 2021 (Kilde: Esave)

E-T-kurven (Energi og temperaturkurve) i EOS-databasen (i.e. Esave) (Figur 15) er en grafisk fremstilling som viser hvor mye energi som blir brukt i en bygning ved ulike utetemperaturer (Byggforsk, 1991). E-T-kurven er basert på prosjekterte verdier fra SIMIEN, og gir god oversikt over energiforbruket. Ved hjelp av E-T-kurven kan man analysere bygningens bruksmønstre, bygningsteknisk standard og mulig sparepotensial. Spredningen av målepunkter rundt kurven indikerer på om bygningen har et godt eller dårlig energiforbruk. Stor spredning i målepunktene betyr dårlig korrelasjon sammenlignet mot den lineære regresjonen gjort i E-T-kurven, mens liten spredning rundt E-T-kurven indikerer på at bygget har et godt energiforbruk, og dermed når E-T-kurven. Bortsett fra noen få uker i desember og april/mai så er det kun 10 uker i sommermånedene som er under E-T-kurven sin i 2021, og dermed bruker mindre energi enn prosjektert. Dette betyr at bygget bruker mye mer energi enn forventet de ukene der det er hyppigst brukt. 28 uker av 44 driftsuker er over ET-kurven.

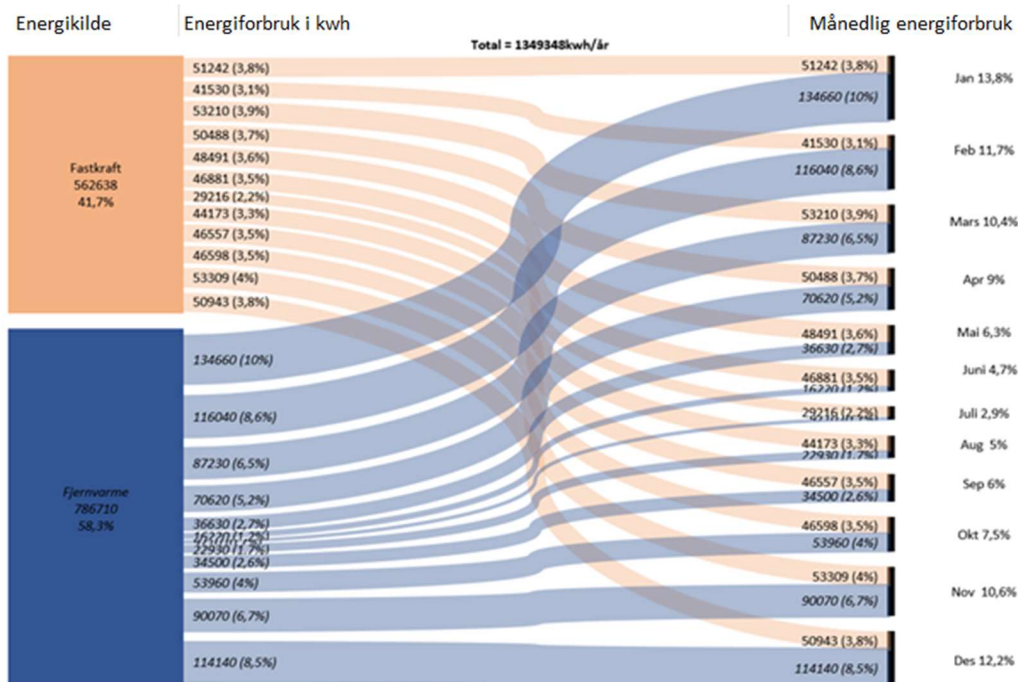
4.3.5 Avviksdiagram

For å kunne oppdage et avvik raskt og enkelt så tas det i bruk et avviksdiagram. Avviket regnes ut fra forventet forbruk mot faktisk forbruk, hvor forventet forbruk fastsettes av historiske forbruk. Diagrammet er et hjelpemiddel for å vise både tidspunktet og størrelse på avviket. Hvis det oppdages avvik i energipostene slik vist i Figur 14 så kan avviksdiagrammet gjøre prosessen enklere ved å peke ut uker som skiller seg ut. Sammen med E-T-kurven utgjør begge et kraftig verktøy for å finne avvik i et bygg. Som en del av analysen så har avviksdiagrammet blitt brukt til å analysere forbruket i uke 32. Forventet energiforbruk var 11 471,7 kWh mens, faktisk forbruk er 14 685 kWh som gir et relativt avvik på 28.01% for uke 32. Noe av årsaken til dette avviket forklares i kapittel 4.4.6.



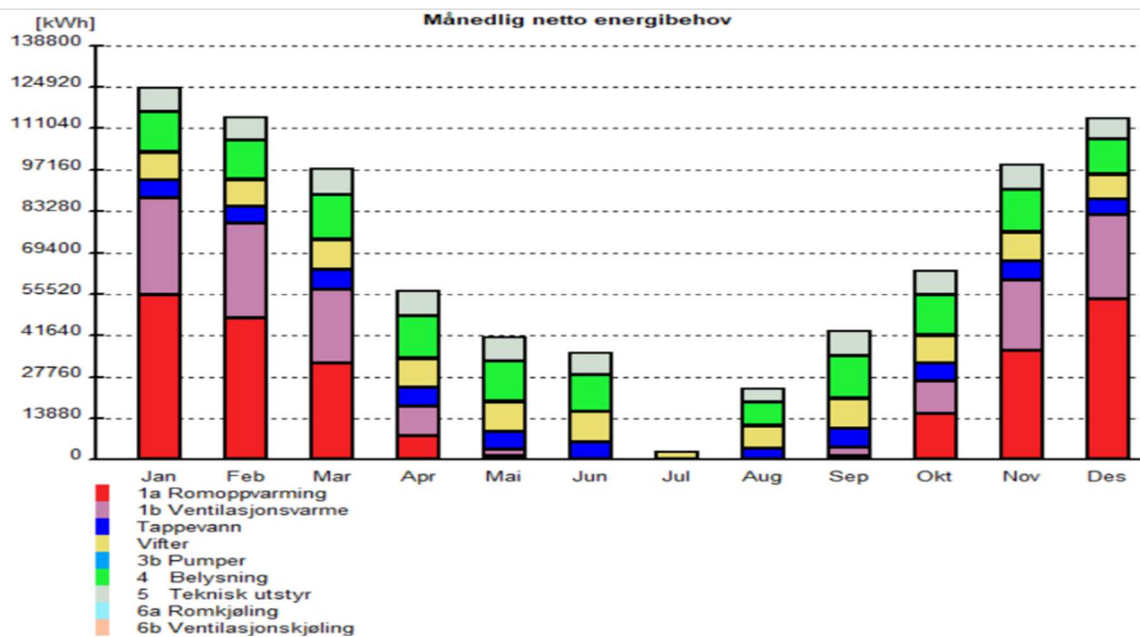
Figur 16 Avviksdiagram for Byåsen skole for 2021

4.4 Månedlig forbruk



Figur 17: Månedlig årsforbruk for Byåsen skole i 2021

Bruk av månedlig forbruk viser til avvik opp mot veiledende verdier fra NS 3031: 2014. SIMIEN evaluerer etter NS 3031 et netto energibehov basert på månedlig temperaturdata vist i vedlegg 3. I alle månedene så er det faktiske forbruket mye høyere enn det energisimuleringene tilsier. Med hensyn på arealavviket mellom simuleringen og det som oppgitt i EOS-databasen (i.e. Esave), så er det høye forbruk hver måned forventet. Feilaktige og misledende resultater ville kommet fram dersom man sammenlignet forbruket for fjernvarme og fastkraft hver for seg på grunn av arealavviket, men tas det i grunn hvordan SIMIEN sier at forbruket skal variere gjennom året i prosent, så finner man et betydelig relevant avvik. Ifølge månedlig evaluering i SIMIEN så skal energiforbruket mellom januar og juli ha en reduksjonsprosent på ca. 97,6%. Den faktiske reduksjonen var 79% i 2021. Energi-reduksjonsprosenten viser at det største avviket ligger mellom mars og april måned. Her er prosjektert reduksjon henholdsvis 42,8% mot 13,8% for den faktiske energireduksjonen i samme tidsperiode. Dette gir en relativ forskjell på 29%.

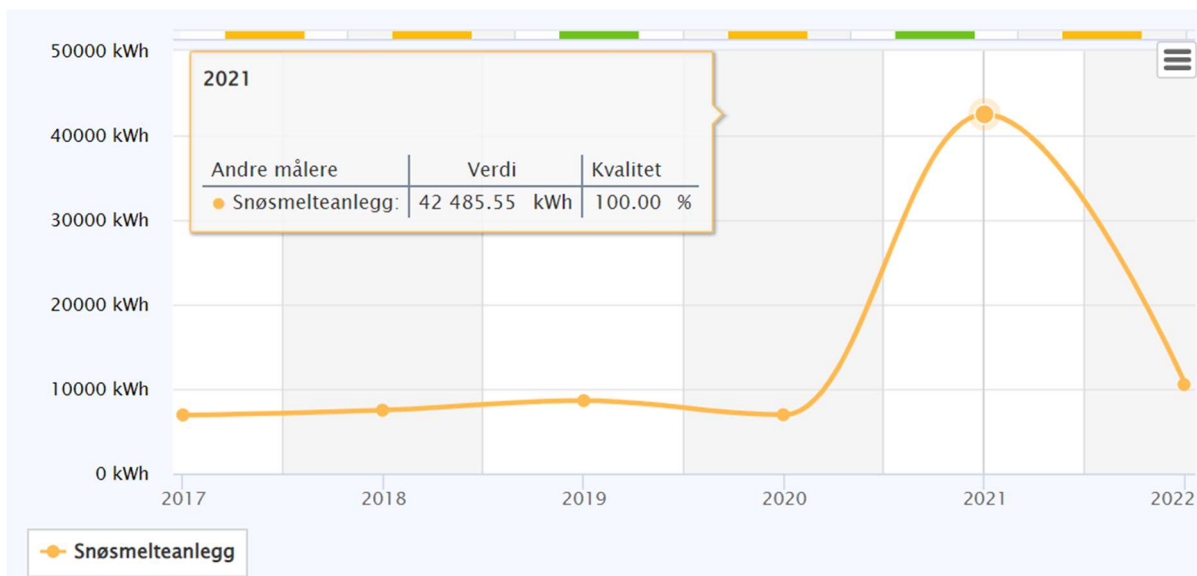


Figur 18: Prosjekterende verdier for månedlig netto energibehov for Byåsen skole. Figur hentet fra SIMIEN

4.4 Forbruksanalyser

4.4.1 Snøsmelteanlegg

Energitallet for snøsmelteanlegget for hele 2021 er 42 485,55 kWh. Sammenligner man med årene før ser man at forbruket for 2021 er høyere enn årene før. Figur 19 viser energiforbruket for snøsmeltingsanlegget for de forskjellige årene. For eksempel var forbruket for 2020 på 6 943,42 kWh, og for 2019 var det på 8 610 kWh. Dette viser at det lå et merforbruk på ca. 611% i 2021 sammenlignet mot året før.



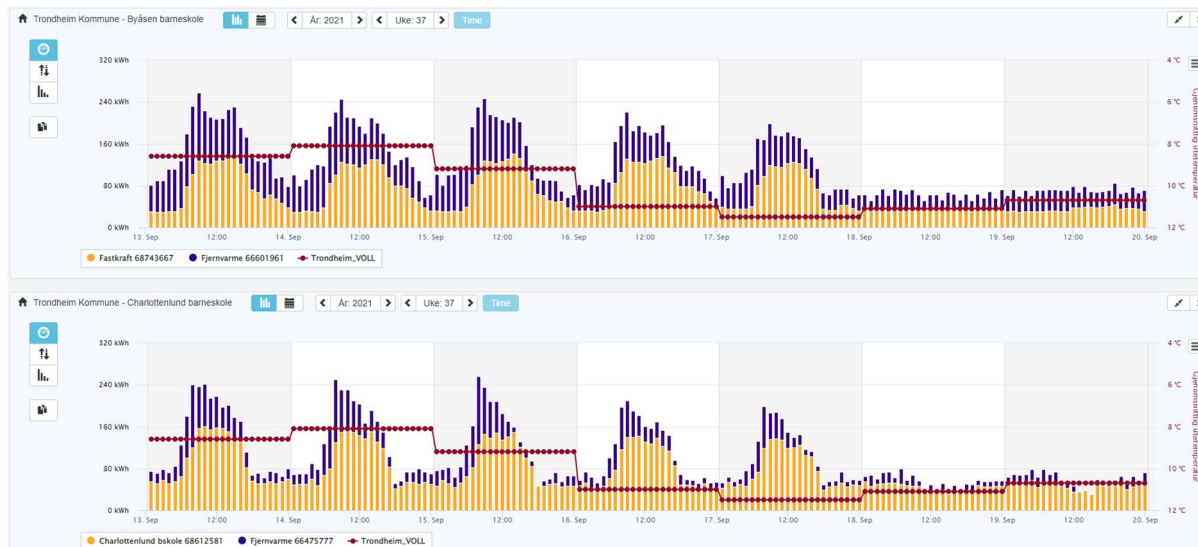
Figur 19 Illustrasjon over årlig forbruk for snøsmelteanlegget (Kilde: Esave)

Ut ifra driftskommentarer og målinger på EOS-databasen (i.e. Esave) så gis det informasjon om at smelteanlegget har stått på kontinuerlig nesten hele januar, på grunn av en defekt reguleringsensor. I tillegg var anlegget på fram til uke 25. Dette har gitt stort unødvendig forbruk i flere uker fra mars til mai hvor det ikke har vært snø i det hele tatt. Dette kan forklare én av grunnene til at fastkraftforbruket var 218 726 kWh over prosjektert verdi. Tabell 5 viser avviket i energiforbruket for snøsmelteanlegget i 2021 sammenlignet med årene før.

Tabell 5 Oversikt over årlig forbruk av snøsmelteanlegg

År	Forbruk kwh/år	Snøsmelteanlegg Kwh/år
2019	1 238 375	8 610
2020	1 216 834	6 943
2021	1 349 347	42 486

4.4.2 Forbruksanalyse med timesverdier i en vanlig uke



Figur 20: Forbruk for byåsen skole i uke 37. Diagrammet over viser et ukensforbruk for Byåsen og diagrammet under viser energiforbruket til Charlottenlund skole i uke 37. (Kilde: Esave)

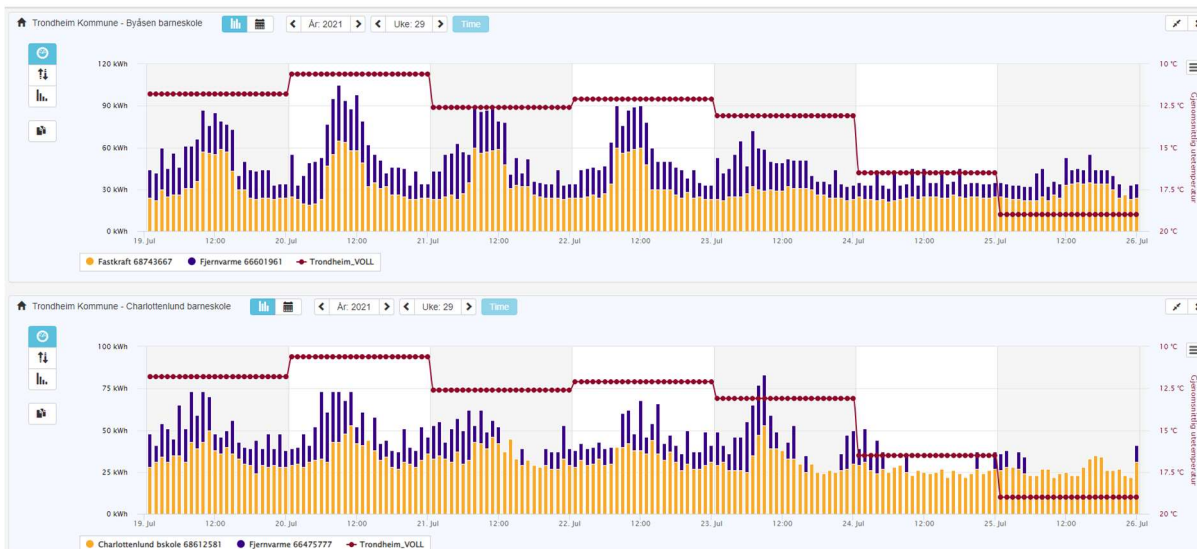
Forbruksanalyse med timesverdier er en god måte å analysere daglig forbruk og finne unormale verdier. Figur 20 viser til forbruket i uke 37. Dette er en vanlig uke hvor driften antas å være normal. Det er heller ingen kommentarer eller noe som indikerer unormal drift på Byåsen skole. For å kunne sammenligne verdiene, så er det gjort en sammenligning opp mot Charlottenlund barneskole. Charlottenlund skole har tilsvarende lik BRA som Byåsen, samt at skolen er prosjektert etter samme krav.

Fjernvarmeforbruket er mye høyere enn på Charlottenlund skole. I gjennomsnitt brukte Byåsen skole 42,90 kWh fjernvarme per time den uken, kontra 26,64kWh per time på Charlottenlund skole samme uke. Begge skolene har omtrent samme forbruk gjennom driftstiden (mellom kl. 07-17), men det virker som om Byåsen skole ikke klarer å utnytte nattkjøling på en god måte. Nærmere beskrevet i kapittel 4.5.5

For fastkraftforbruket er forskjellen mellom skolene mye mindre. For hele uke 37 brukte Byåsen skole i gjennomsnitt 65,72 kWh per time på fastkraft, mens Charlottenlund skole brukte 73,70 kWh per time i gjennomsnitt.

Selv om denne sammenligningen ikke nødvendigvis er god med tanke på at skolene har forskjellig utforming, fasade, teknisk installasjoner, solforhold osv. så gir dette en god pekepinn på at Byåsen skole generelt sett har et for høyt energiforbruk, særlig på fjernvarmeforbruket. Dette bekreftes også når det sammenlignes mot standarden i SIMIEN-filen.

4.4.3 Forbruksanalyse med timesverdier på sommeren



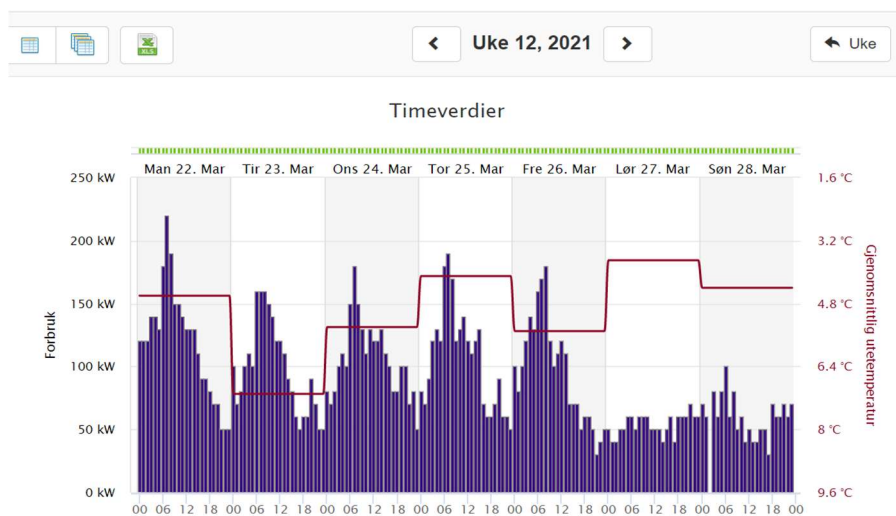
Figur 21: Forbruk for Byåsen skole uke 29. Diagrammet over viser ukensforbruket for uke 29 for Byåsen skole. Diagrammet under viser ukensforbruket til Charlottenlund skole samme uke. (Kilde: Esave)

På samme måte som i kapittel 4.4.2, så har det blitt kjørt en forbruksanalyse med timesverdier. Et viktig punkt for å vurdere om bygget bruker unødvendig energi er å se på de dagene det ikke er registrert noen bruksaktivitet. Ved å se på en periode midt i sommerferien så bruker Byåsen skole fortsatt unødvendig med energi. Fjernvarmebruken i løpet av helgen er ikke null, men varierer mellom 10-20 kWh. Dette er i en periode hvor det egentlig ikke skal komme noe pådrag fra fjernvarme, fordi bygget verken er i bruk og det er en gjennomsnittlig utetemperatur på 18 °C. Charlottenlund skole har lite eller ingen forbruk av fjernvarme gjennom helgen. Sammenligner man prosjekterte månedsevalueringer gjort i SIMIEN(Figur 18), så skal det ikke være noe pådrag av fjernvarme gjennom hele den måneden.

4.4.4 Nattkjøling

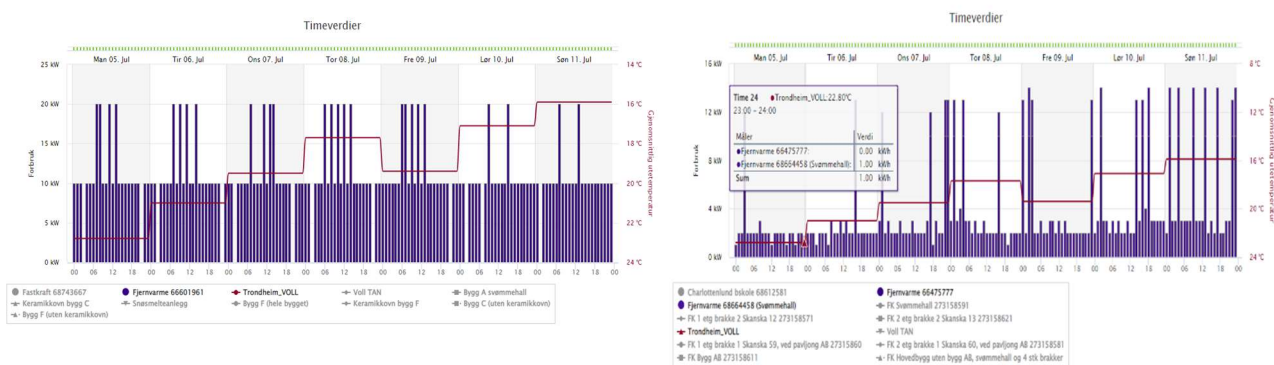
Ventilasjonsanlegget til Byåsen skole brukes til nattkjøling. Hensikten med nattkjøling er å kunne utnytte de lave temperaturene om natten for å kjøle ned bygget. Oppvarmingsanlegget og alle komponenter som brukes til ventilasjonsanlegget skal slås av. Nattkjøling skrur på etter byggets driftstid. Driftstiden er definert i NS 3031: 20014 Tabell A.3. For en skolebygning så gjelder en driftstid på 10 timer fem dager i uken. SIMIEN setter driftstiden på bygget fra 07:00 til 17:00. Nattkjøling skal dermed tre i kraft et sted mellom 17:00 til

07:00 for å kjøle ned bygget. Selv om oppvarmingsanlegget skal være av, så ser man et forbruk på fjernvarme på 10 kWh gjennom natten på sommeren.



Figur 22 Forbruk av fjernvarme uke 29 for Byåsen skole (kilde: Esave)

Det antas at grunnen til dette kan skyldes sirkulasjonstap. Dette fordi det ikke skal være registrert noe aktivitet i bygget i løpet av natten. Det største varmetapet foregår som oftest i fordelingsanlegget i bygget (Jæger, 2011). Bare i sirkulasjonstap så har bygget et varmetap på 87600 kWh per år, dersom man tar i grunn at sirkulasjonstapet er på 10kWh per time. Her er det derimot ikke tatt i betraktning at sirkulasjonstapet er med på å bidra til romoppvarming som også kan bidra til at energitapet blir mindre.

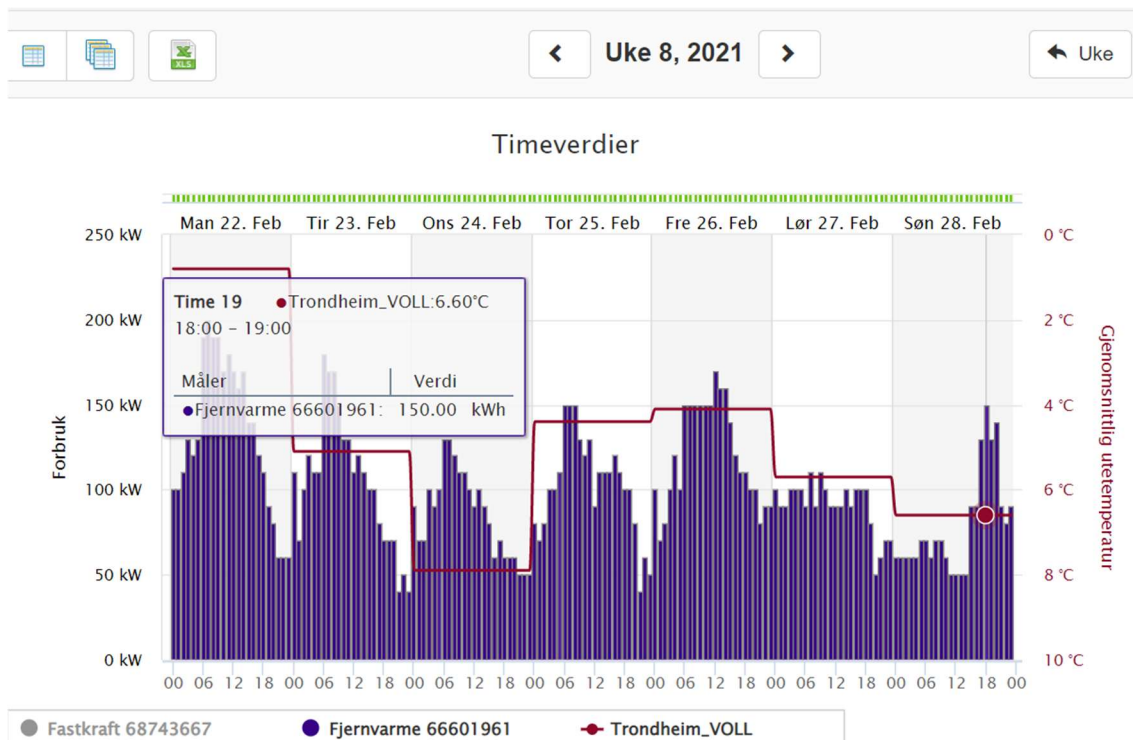


Figur 23 Forbruk av fjernvarme uke 27 for Byåsen skole. Diagrammet til venstre viser fjernvarmeforbruket til Byåsen skole. Diagrammet til høyre viser fjernvarmeforbruket til Charlottenlund skole (kilde: Esave)

Det presiseres ikke i EOS-databasen (i.e. Esave) om noe av det totale fjernvarmeforbruket går til svømmehallen. Her finnes det ikke noen målinger på dette. En sammenligning gjort med Charlottenlund barneskole i uke 27, når begge skolene skal være stengt, så vises det et betydelig overforbruk av fjernvarme på Byåsen skole. Begge skolene har også ca. samme areal (Byåsen: 8821m²) (Charlottenlund: 8300m²). For det totale fjernvarmeforbruket for Charlottenlund skole, så er det kun svømmehallen som forbruker noe fjernvarme gjennom natten. Fjernvarmeforbruket i hovedbygget til Charlottenlund er på 0 kWh hele natten og stort sett hele dagen gjennom sommerferien. Dersom man antar at fjernvarmeforbruket går til svømmehallen til Byåsen barneskole, så vil det uansett være et nokså høyt tall, sammenlignet mot Charlottenlund sitt anlegg som bruker 1-3 kWh fjernvarme på svømmehallen. Dette kan igjen tyde på et for høyt sirkulasjonstap på Byåsen skole. Man skal heller ikke utelukke at det kan være en feil i

reguleringsventilen til bygget. Det er også kjent at målere for fjernvarme kan ha høy feilvisningsprosent dersom disse ikke kalibreres og vedlikeholdes med jevne mellomrom (Svendsen, 2008).

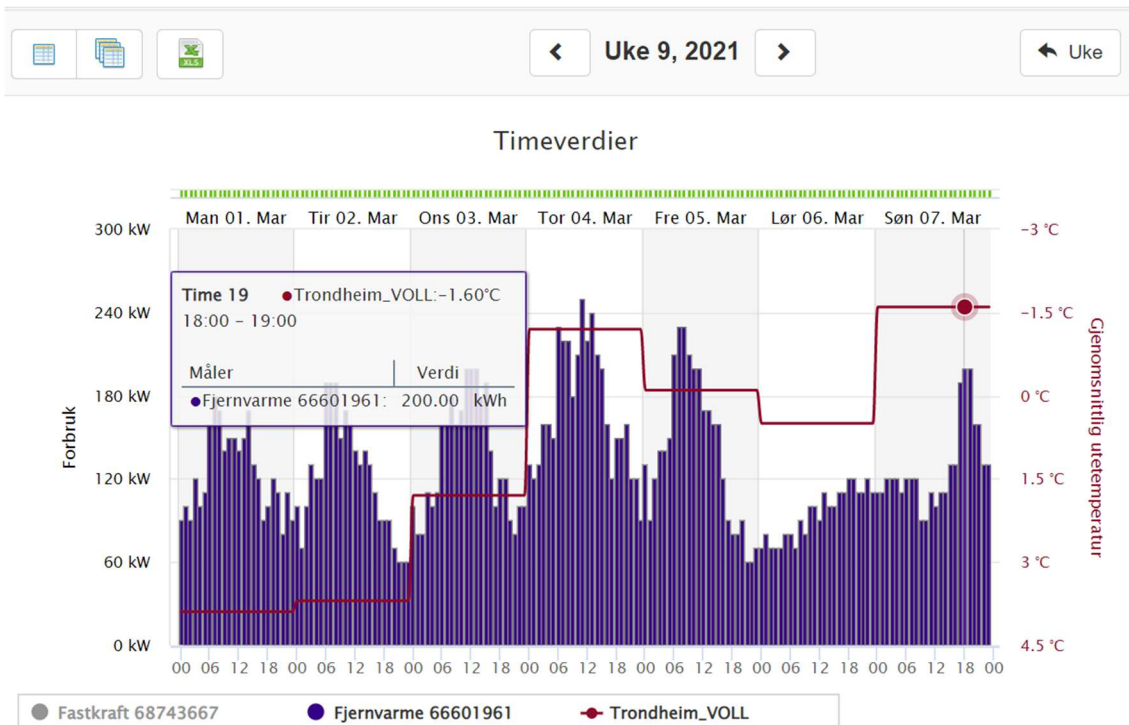
4.4.5 Høyt energiforbruk i helgene



Figur 24 Forbruk av fjernvarme uke 8 for Byåsen skole (kilde: Esave)

Energiforbruket i helgene er ofte unormale høye uten noe registrert aktivitet. Dersom vi ser på flere av fastkraftmålerne så kan man også utelukke at energiforbruket ikke kommer fra svømmehallen eller F-bygget. Det er hovedbygget som bruker energi her. Søndag 28. februar og 07. mars var fjernvarmeforbruket relativt høyt mens bygget ikke var i drift. Grafen viser høyt energiforbruk spesielt søndager mellom kl. 18-24 (Figur 24), og gir et forbruk tilsvarende en vanlig ukedag. Dette er høye forbruk sammenlignet mot andre helger, og kan eventuelt forklares ved at nærmest hele bygget har vært i bruk i en kort periode. Dette er i så fall ikke registrert. I ukene 44 og 47 har bygget veldig høyt energiforbruk gjennom hele helgen. (se vedlegg 7.1 og 7.2). Ukekommentarer viser verken noen aktiviteter eller tekniske feil i disse ukene.

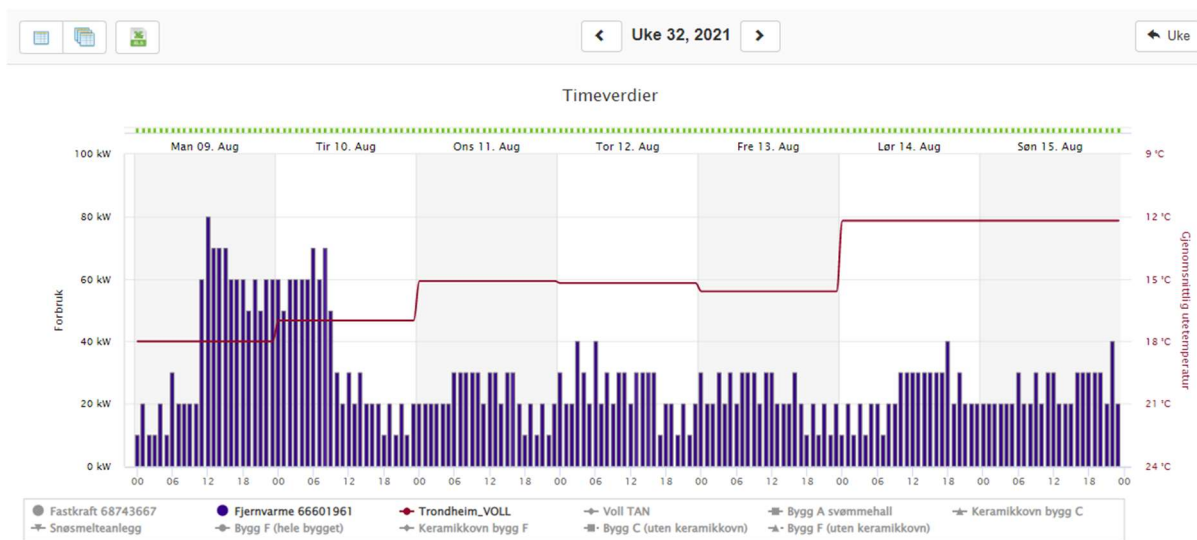
For søndag 18. juli er forbruket på fjernvarme høyt, sammenlignet med uken etter og de andre dagene samme uke. Vedlegg 7.3 viser unormale forbruk i uke 28 hele søndagen. Pådraget skal ikke skurs av og på i intervaller. Dette skjer derimot gjennom dagen og generelt sett ser man at fjernvarmeforbruket går opp og ned unødvendig utenfor driftstiden. Fjernvarmeforbruket på skolen er lite effektivt og bidrar til det totale avviket.



Figur 25 Forbruk av fjernvarme uke 9 for Byåsen skole (kilde: Esave)

4.4.6 Høyt forbruk vanlige dager (med ukeskommentar)

Det ligger unormalt forbruk i noen uker som skyldes tekniske feil, bruk av svømmehall og ekstra aktiviteter som endrer forbruksmønsteret. I løpet av sommeren arrangerer Byåsen skole science Camp, som fører til økt energiforbruk gjennom arrangementet. Det har også oppstått tekniske feil som har påvirket forbruket. Dette gjelder en defekt styring på varmekabel i uke 10 og 11, som økte fjernvarmeforbruket for svømmehallen. Uke 32 viser ukekommentarer at bassenget ble varmet opp den 09-10.august, derfor er forbruket på fjernvarme denne uka litt høyere enn vanlig (se vedlegg 7.3). Oppvarming av bassenget krever ca. 40kwh fjernvarme i timen. Energiforbruket til bassenget er derfor en stor avvikskilde som ikke blir gjort rede for i SIMIEN.



Figur 26: Høyere fjernvarmeforbruk på Byåsen skole på grunn av oppvarming av bassenget i 09.08-10.08 (kilde: Esave)

5 Case 2: Lade barne- og ungdomsskole



Figur 27 Bilde av Lade skole (Foto: Christer Daniel Herigstad)

5.1 Presentasjon av bygget

5.1.1 Beliggenhet og areal

Lade skole er en barne- og ungdomsskole som ligger i Ladehammerveien 45, 7040 Trondheim. skolen ble grunnlagt i 1954 og har gjennomgått flere oppussinger og rivninger. I 2013 ble det bestemt at skolen skulle få nye lokaler og den nye skolen ble tatt i bruk i 2018 (Wiki Strinda, 2021). Skolen har et totalt bruksareal på 10657 m², som er prosjektert for plass til 700 elever pluss 40 plasser for minoritetsspråklige elever (Trondheim Kommune, 2022). Den nye skolen er bygget i massivtre med sedumtak på alle tak, og prosjektert etter Passivhusstandard (Betonmast, 2018). Dette gjør Lade skole til den tredje skolen som er bygget i massivtre i Trondheim (Orskaug, 2017). Skolen eies og driftes av Trondheim kommune.

5.1.2 Byggets energiforsyningssystem

Bygget er koblet til fjernvarmenettet og har dermed vannbåren varme inn til radiatorer, og noe går også til gulvarme (Andersen, 2018). Tappevann og varmebatterier benytter også fjernvarme som oppvarming (Trondheim Kommune: Esave, 2022). Alt av belysning er sensorstyrt og bygget har til sammen fire tekniske rom; én til varmesentralen og tre ventilasjonsstekniske rom (Andersen, 2018). Elektronisk utstyr, belysning, ladere, kjøkken osv. bruker fastkraft. Skolen har en prosjektert SFP-faktor på 1,49 kW/m³/s, mens idrettshallen har en SFP-faktor på 1,23 kW/m³/s (vedlegg 4 og 5).

5.1.3 Målingspunkter

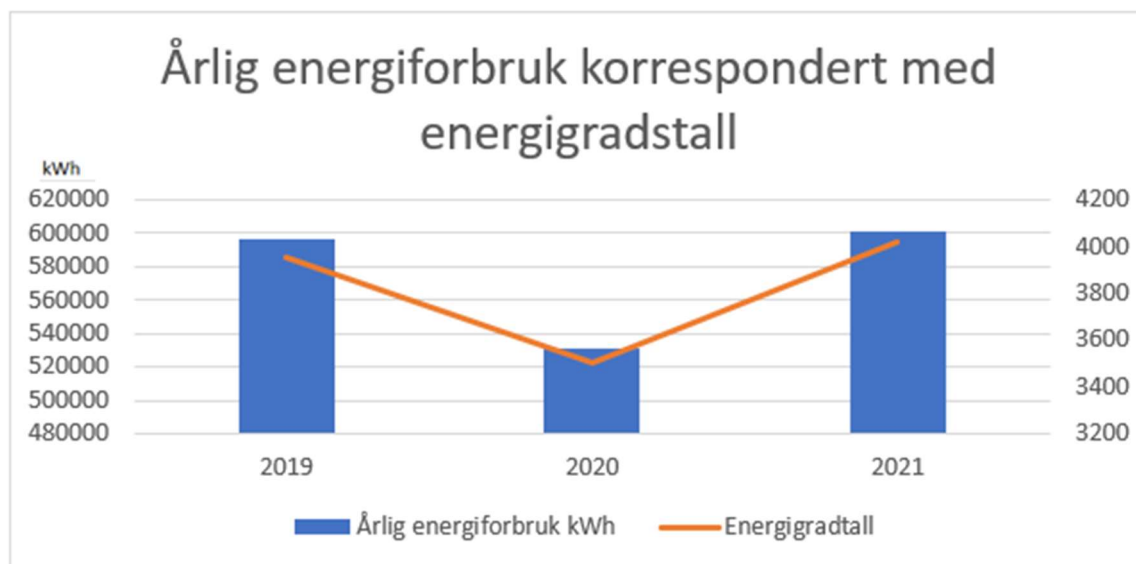
EOS-programmet (i.e. Esave) oppgir tre hovedmålere; Vannforbruk, totalt fjernvarmeforbruk og totalt fastkraftforbruk. Til sammen har Lade skole 14 forskjellige målere. Fastkraft- og fjernvarmes målere er fordelt over forskjellige delmålere. I totalt fjernvarmeforbruk er det i tillegg sju delmålere; Tappevann hall, Tappevann skole, Gulvkurs hall, Gulvkurs skole, Radiatorkurs, Varmebatteri ventilasjon idrettshall, Varmebatteri ventilasjon garderobes. I totalt fastkraftforbruk er det i tillegg to delmålere; Kjeramikk elmåler og Ladestasjon el-måler.

5.2 Avgrensninger

For Lade skole så er det to SIMIEN-filer som sammen beregner det totale energibehovet for Lade skole. En SIMIEN fil er for skolebygget og den andre er for idrettshallen. Skolen er bygd etter passivhusstandard, dermed oppfylder prosjekterende simuleringer kravene etter passivhusstandard NS 3701. SIMIEN filene ble tildelt av Trondheim kommune og passivhusevalueringene kjøres slik filene ble levert. Det er ut ifra disse filene hvor verdier for netto energibehov og netto levert energi er hentet fra. Inndataene til SIMIEN filene er slik bygget ble bygd. Disse verdiene er referanseverdier for basislinjen som reelt forbruk evalueres etter. Passivhusevalueringene er vist på vedlegg 4 og vedlegg 5.

5.3 Årlig forbruk

5.3.1 Valg av referanseår

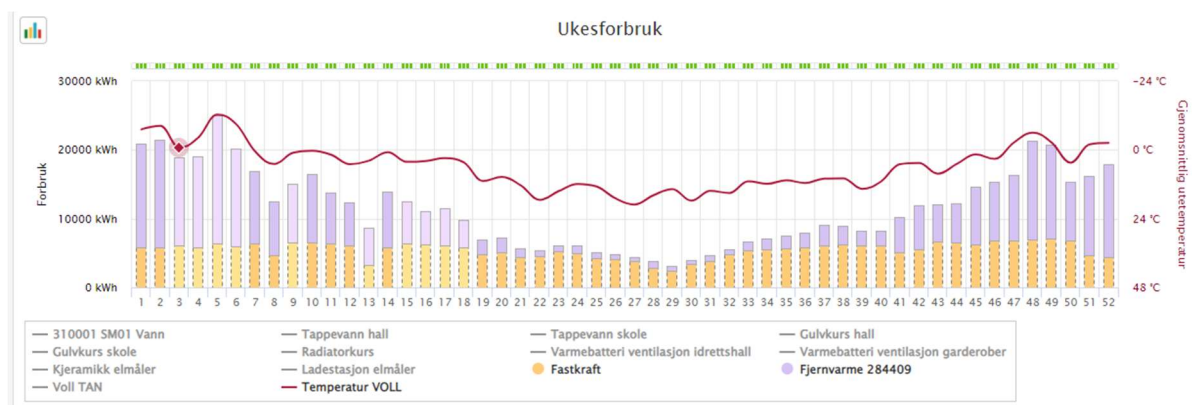


Figur 28: Årlig akkumulert forbruk for 2019-2021 korrespondert med årets energigradtall

Som utgangspunkt i beregninger av energigradtall (Figur 28) så er det tatt i bruk målinger gjort fra Lade målestasjon i Trondheim. Energigradtallene er levert fra Norsk Klimasenter. På grunn av at Lade skole sto ferdig i 2018, så vil ikke målingene for akkumulert forbruk og energigradtall strekke seg lengre tilbake enn til 2019. Grafen nedenfor viser en forventet korrelasjon mellom antall fyringsdager mot årlig energiforbruk. Som referanseår er 2021 også valgt her. Dette fordi det har vært lite historisk data fra årlig akkumulert

forbruk. Å velge fjorårets årlige forbruk vil i dette tilfelle være mest representativt for å vise til realavviket til skolen.

5.3.2 Årlig forbruk 2021



Figur 29 Årlig forbruk fordelt over 52 uker i 2021 for Lade skole (Kilde: Esave)

Evalueringsgrunnlag for avviksanalysen av Lade skole brukes ved å ta det faktiske energiforbruket fra 2021 mot prosjektet levert energi. Tabell 6 viser det totale avviket mellom levert energi og faktisk forbruk. Det faktiske forbruket er hentet fra EOS-databasen (i.e. Esave), som er illustrert med grafer på Figur 29. Grafene viser at fjernvarme er sterkt påvirket av temperaturendringer over tid noe som er forventet fordi fjernvarme brukes til oppvarming av bygget, varmebatteri, gulvvarme og tappevannet. Videre viser grafene at fastkraften er relativt stabilt med hensyn på temperaturendringer over tid, men den er påvirket av tida med hensyn på forbruket. Fastkraft går til blant annet belysning, elbil-ladere, vifter og elektroniske utstyr. Dersom et betydelig avvik ligger i en av disse to energikildene, så kan man se bort ifra den andre og undersøke avviket videre. For eksempel i avviksberegninger for fjernvarme vil alle komponenter som bruker kun fastkraft elimineres i den beregningen.

Totalt faktisk forbruk ifølge EOS-databasen (i.e. Esave) i 2021 var på 603 375kWh/år og totalt prosjektet levert energi fra SIMIEN viser et årlig forbruk på 686714 kWh/år, som gir et avvik på 83 339 kWh/år med -12,14% avvik fra energisimuleringene. Det negative fortegnet indikerer at faktisk energiforbruk er mindre enn prosjektet energiforbruk. Den prosjekterte verdien viser spesifikk levert energi til skolen og idrettshallen på 65 kWh/m²/år. Det faktiske forbruket viser seg å være 57,1kWh/m²/år for begge byggene, noe som gir et avvik på 7,9 kWh/m²/år (-12,14%). I dette tilfelle er avviket mellom netto levert energi og faktisk totalt energiforbruk, lik avviket mellom netto spesifikk levert energi og reelt totalt energiforbruk per kvadratmeter. Dermed er det ingen avvik i oppvarmet BRA mellom EOS-databasen og prosjekterte energiberegninger i SIMIEN. Dette var ikke tilfelle i CASE 1: Byåsen skole.

Tabell 6: Totalt avvik mellom prosjekterende og faktisk forbruk for Lade skole

Totalt avvik				
Energiforbruk	Esave kWh/år	Simien levert energi kWh/år	Avvik fra SIMIEN kWh/år	Avvik %
Fastkraft skole		272118		
Fastkraft idrettshall		54011		
Fjernvarme skole		221719		
Fjernvarme idrettshall		138866		
Totalt fastkraft	285937	326129	40192	-12,32 %
Totalt fjernvarme	317438	360585	43147	-11,97 %
Totalt BRA	10567	10567	0	0,00 %
Totalt forbruk	603375	686714	83339	-12,14 %
Totalt spesifikk energiforbruk kWh/m²*år	57,1	65,0	7,9	-12,14 %

5.3.3 Energibudsjett



Figur 30: Illustrasjon av energibudsjettet til Lade skole

De prosjekterte energisimuleringene for Lade skole er gjort i to separate SIMIEN-filer. Ett for skolebygget og ett for idrettshallen. EOS-databasen (i.e.Esave) evaluerer derimot begge byggene som samlet. Det vil si at bruksarealet (BRA) for begge byggene summeres til en samlet verdi. For å kunne sammenligne energibudsjettet mot reelt forbruk har verdiene til begge energibudsjettene blitt slått sammen.

Tabell 7 Energibudsjett for Lade skole (kilde: SIMIEN, vedlegg 3)

Energibudsjett (NS 3701) idrettshall:			
Energipost	Energibehov kwh (Fjernvarme & Fastkraft)	Spesifikt energibehov kwh/m ² år (Fjernvarme & Fastkraft)	
1a Romoppvarming	5392	2,6	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	24287	11,8	
2 Varmtvann (tappevann)	103351	50,4	
3a Vifter	18338	8,9	
3b Pumper	321	0,2	
4 Belysning	29913	14,6	
5 Teknisk utstyr	5438	2,7	
6a Romkjøling	0	0	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0	0	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	187040	91,2	

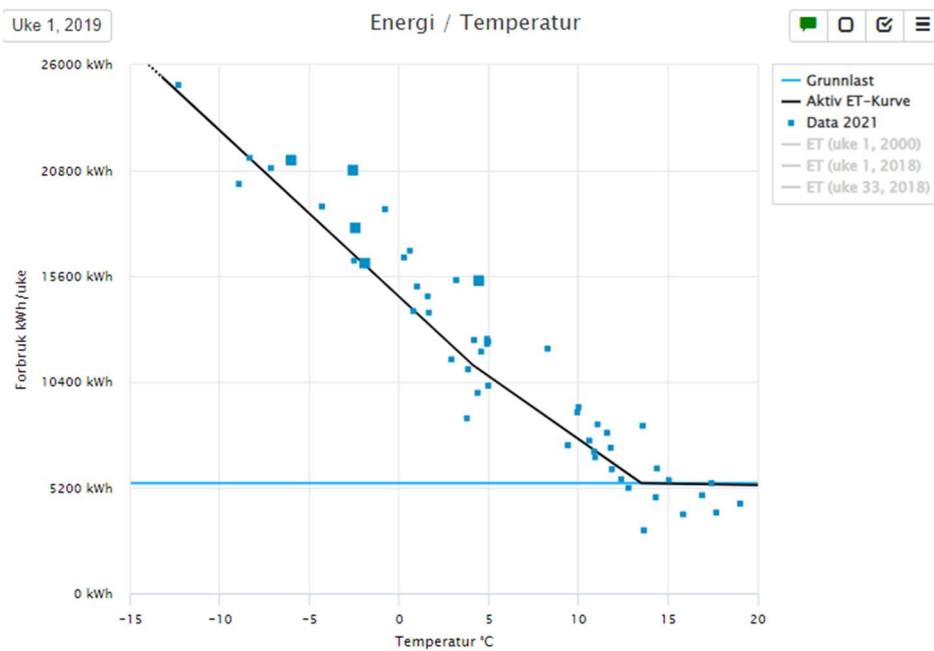
Energibudsjett (NS 3701) skole:			
Energipost	Energibehov kwh/år (Fjernvarme & Fastkraft)	Spesifikt energibehov kwh/m ² år (Fjernvarme & Fastkraft)	
1a Romoppvarming	96021	7,6	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	15778	1,4	
2 Varmtvann (tappevann)	86730	10,1	
3a Vifter	110007	12,8	
3b Pumper	463	0,1	
4 Belysning	85577	22,1	
5 Teknisk utstyr	76071	13,3	
6a Romkjøling	0	0	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0	0	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	470647	67,3	

På samme måte som gjort i CASE 1: Byåsen skole, så har man tatt fordelingen av energipostene og beregnet prosentandelen av totalt netto energibehov per energipost. Prosenttallet er så lagt til grunn for å finne energipostene til prosjektert levert energi og til faktisk forbruk. Disse er illustrert i Tabell 8. Resultatet er så vist i et Sankeydiagram i Figur 30. Det er viktig å presisere at fordelingen gjort for å kunne sammenligne faktisk forbruk av energipostene, ikke vil være representativt som det faktiske målte forbruket. Dette forklares mer detaljert i kap 5.5.1

Tabell 8 Energibudsjett for Skole og idrettshall og forholdstall for hver energipost

Energibudsjett skole + idrettshall			
Energipost	Energibehov kWh (Fjernvarme & Fastkraft)	Spesifikt energibehov kWh/m ² år(Fjernvarme & Fastkraft)	Prosentfordeling av hver energikilde (Fjernvarme & Fastkraft)
1a Romoppvarming	101413	9,60	30,59 %
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	40065	3,79	12,08 %
2 Varmtvann (tappevann)	190081	17,99	57,33 %
SUM 1a-2	331559	31,38	100,00 %
3a Vifter	128345	12,15	39,35 %
3b Pumper	784	0,07	0,24 %
4 Belysning	115490	10,93	35,41 %
5 Teknisk utstyr	81509	7,71	24,99 %
6a Romkjøling	0	0,00	0,00 %
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0	0,00	0,00 %
SUM3a-6b	326128	30,86	100,00 %
SUM1a-6b	657687	62,23970853	

5.3.4 E-T-Kurve

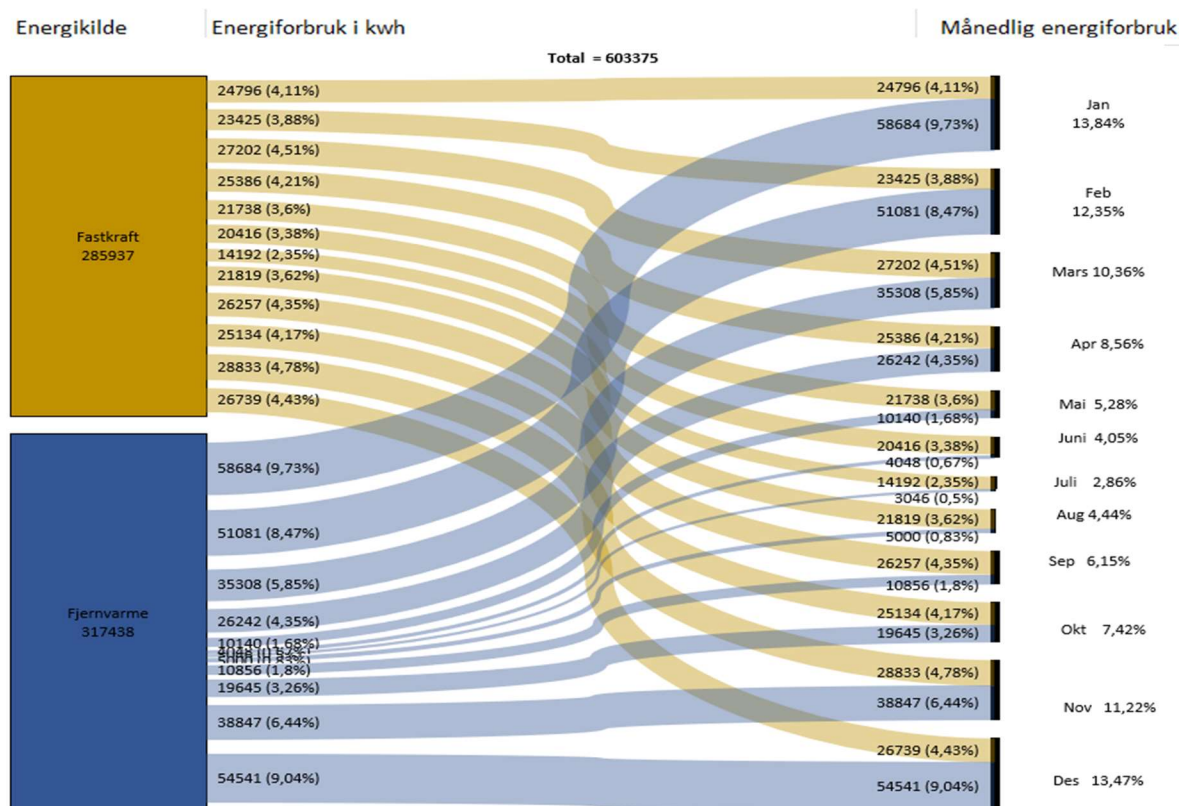


Figur 31 E-T-kurve for Lade skole i 2021. Punktene representerer uker for samme år. (kilde: Esave)

En analyse gjort med hjelp av en E-T-kurve (Figur 31), viser at for de aller fleste uker så klarer Lade skole å nå sin ET-kurve. E-T-kurven baseres seg på prosjektert forbruk gjort senest for 2019. E-T-kurven fungerer som et hjelpemiddel mot å finne store avvik mot forventet forbruk. Det er relativt liten spredning mellom ukene rundt E-T-kurven i 2021. Dette indikere at Lade skole har et godt energiforbruk med små avvik basert på prosjekterte verdier. De største avvikene ligger i høsthalvåret. Dersom man godtar et relativt avvik på 10% så er det kun 7 uker som er over denne grensen. Utslag over 10% skjer som regel ved at skolen har blitt brukt mer enn vanlig, dette slår som regel ut på fjernvarmebruket. Ser man bort ifra dette så ligger Lade skole godt under prosjekterte verdier. Det finnes derimot flere feilkilder på hvordan passivhusevalueringene er gjort for bygget. Dette kommenteres videre i rapporten.

5.4 Månedlig forbruk

5.4.1 Variasjonsavvik mellom kald og varm måned



Figur 32 Månedlig forbruk for Lade skole

Månedlig forbruk er med på å avdekke eventuelle avvik som kan forekomme med hensyn på temperatur og bruksmønster som oppstår over tid. Dersom det ligger feil i tekniske systemer, så vil en månedlig oversikt være veldig illustrativ og kan gi en rask indikasjon på hvor en eventuell feil ligger.

Faktisk fastkraftvariasjon mellom høyeste og laveste verdi på Lade skole ligger på 50,78%, mens prosjekterte verdier tilsier en variasjon på 91,30%. Dette forklares ved å se på det månedlige forbruket til faktisk og prosjektert forbruk (Figur 32 og Figur 33). I dette tilfellet har det blitt gjort en vanlig årssimulering i SIMIEN etter NS 3031: 2014. Grunner for dette er at passivhusevalueringen gjort i SIMIEN ikke gir månedsevalueringer. En slik simulering vil derimot gi noe høyere energiforbruk gjennom de tolv månedene, men man antar at energifordelingen over månedene vil være ca. det samme. Dette kan bekreftes ved å se på forholdet mellom totalt fastkraftforbruk mot en spesifikk måned for begge typer energisimuleringer.

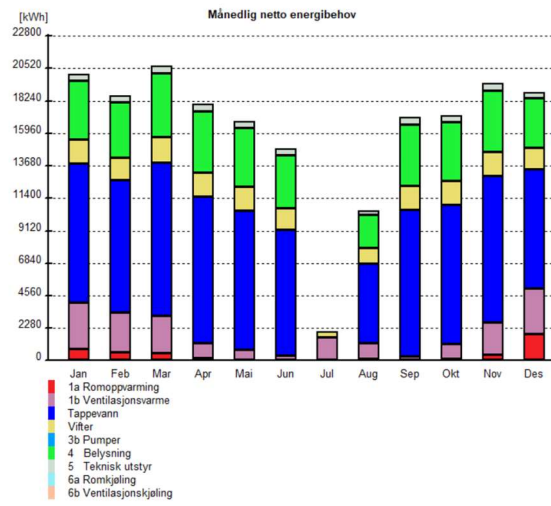
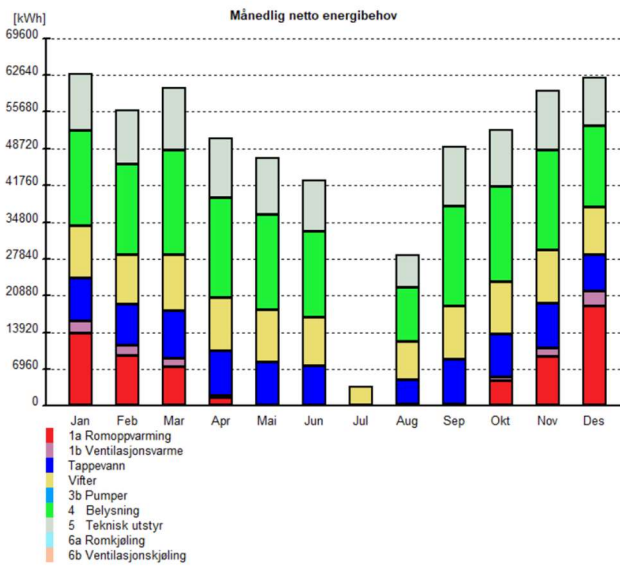
Hovedformålet med å gjøre denne analysen er å vise til avviket som oppstår ved at standarden NS 3031: 2014 antar en for høy reduksjon av energiforbruk mellom kaldeste og varmeste måned i året. Dette gjelder spesielt for fastkraft.

Høyest og lavest verdi av totalt fastkraftforbruk på Lade skole varierer mellom 4,78% og 2,35% av totalt månedlig forbruk. Dette tilsvarer mer enn en halvering av fastkraftforbruket, en variasjon på 50,78 %. Faktisk fastkraftforbruk fra både skolen og idrettsanlegget (Tabell 9) viser at det månedlige forbruket i juli er mye større enn hva som er prosjektert. Anslagsvis så viser simuleringene en prosjektert verdi for fastkraftbruk på 44 600 kWh i januar måned, og 3 880 kWh for juli måned. Om den faktiske fastkraftreduksjonen skulle følge simuleringene så burde reduksjonen være på hele 91,30% mellom kaldeste og varmeste måned.

Samme metode er gjort ved å se på høyeste og laveste verdi av fjernvarmeforbruket. Forskjellen her var mindre dramatisk og det skilles kun 0,39% mellom prosjektert og faktisk målt verdi. Det man ser er at det totale fjernvarmeforbruket samsvarer veldig bra med prosjekterte verdier, men det er derimot en stor skjevfordeling på energipostene som bruker fjernvarme. De prosjekterte energipostene har helt forskjellige verdier og gir store avvik fra forbruket til de reelle energipostene. Dette kommenteres nærmere i kapittel 5.5.2 og 5.5.3

Tabell 9 Avvik av lavest og høyest verdi for fjernvarme og fastkraft for 2021

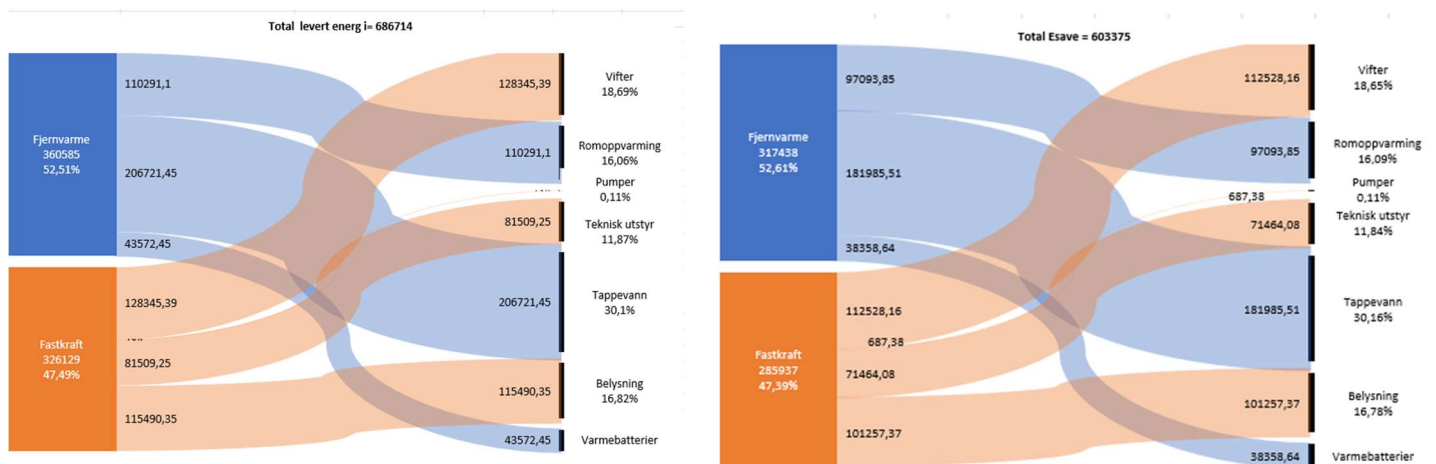
Esave				
	Høyeste verdi i kWh	Laveste verdi i kWh	Avvik kWh	Avvik i prosent
fastkraft	28 833,0	14 192,0	14 641,0	50,78 %
fjernvarme	58 684,0	3 046,0	55 638,0	94,81 %
SIMIEN				
	Høyeste verdi i kWh	Laveste verdi i kWh	Avvik i kWh	Avvik i prosent
fastkraft	44 600,0	3 880,0	40 720,0	91,30 %
fjernvarme	41 700,0	2 000,0	39 700,0	95,20 %



Figur 33 Prosjektet månedlig netto energibehov. Figuren til venstre viser månedlig netto energibehov for skole, mens figuren til høyre viser månedlig netto energibehov til idrettshallen (kilde: SIMIEN)

5.5 Energipost

5.5.1 Beregning av faktisk forbruk for energiposter



Figur 34: Totalt forbruk for prosjektert levert energi og totalt faktisk forbruk. Diagrammet er laget med hensyn på prosentandelen for hver energipost fra energibudsjettet. Figuren til venstre viser verdier for energiposter for levert energi. Figuren til høyre viser reelle verdier for energiposter.

For å finne mer konkrete avvikskilder må energianalyser gjøres for hver energipost. Det holder ikke med å kun se på total fastkraft og fjernvarmeforbruk. Etter netto energibudsjett-mal fra NS 3031: 2014 Tabell 5, så beregner SIMIEN energibehov for ulike energiposter (vist i Tabell 7).

Tabell 10 Avviksberegning mellom energiposter.

Avviksberegning fra energiposter						
Energipost	Energibehov (skole + idrettshall) i kWh	Levert energi beregnet etter fordeling i energibudsjettet i kWh	forventet faktisk forbruk beregnet etter fordeling i energibudsjettet i kWh	Avvik mellom levert energi og forventet faktisk forbruk i kWh	Avvik i prosent	
1a Romoppvarming	69631,00	110291,10	97093,85	-13197,25	-12,0 %	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	32576,00	43572,45	38358,64	-5213,81	-12,0 %	
2 Varmtvann (tappevann)	190081,00	206721,45	181985,51	-24735,94	-12,0 %	
3a Vifter	128345,00	128345,39	112528,16	-15817,23	-12,3 %	
3b Pumper	775,00	784,00	687,38	-96,62	-12,3 %	
4 Belysning	233696,00	115490,35	101257,37	-14232,98	-12,3 %	
5 Teknisk utstyr	119559,00	81509,25	71464,08	-10045,17	-12,3 %	
6a Romkjøling	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0 %	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0 %	
Totalt energiforbruk	774663,00	686714,00	603375,00	-83339,00	-12,1 %	

Ikke alle av disse energipostene har målingspunkter for det faktiske forbruket. For å løse dette problemet så har det først blitt gjort en passivhusevaluering etter NS 3701 av både skolen og idrettshallen. Disse evalueringene er gjort slik filene ble gitt fra Trondheim Kommune, hvor fullstendige simuleringer er lagt til i vedlegg 4 og 5. Passivhusevalueringen gir verdier for netto energibehov og netto levert energi.

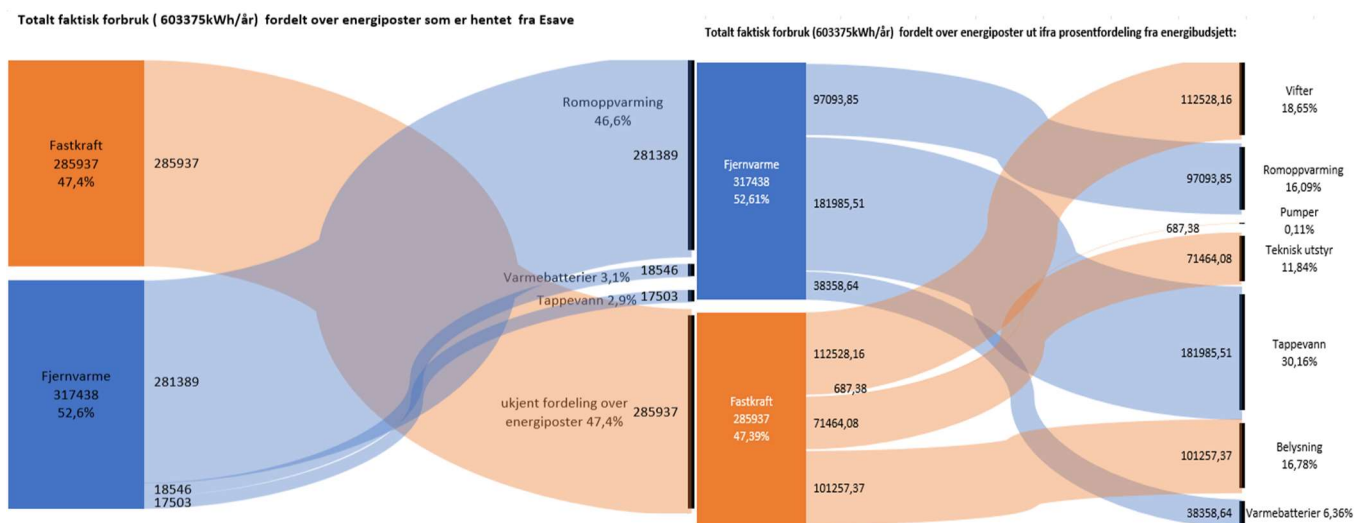
Verdiene fra begge energibudsjettene summeres så sammen for å kunne finne det totale energibehovet fordelt på hver energipost. Deretter beregnes det en prosentandel for hver energipost fra dens tilhørende energikilde (Tabell 8).

Totalt avvik beregnes så ved å finne differansen mellom det totale energiforbruket for levert energi for skolen + idrettshall, og det faktiske forbruket fra EOS-databasen (i.e.Esave). Dette vises i Tabell 6. Totalt netto levert energi for fastkraft og fjernvarme beregnes i SIMIEN etter punkt 7 i NS 3031: 2014. Verdiene for energipostene for levert energi beregnes etter prosentandelen fra Tabell 8. Slik kan man sammenligne hver energipost (reelle verdier mot levert energi) slik vist i Tabell 11.

Tabell 11 Avvik mellom energiposter fra fordeling gjort etter energibudsjettet.

Energipost	Forbruk av hver energikilde for delt på energipost (Fjernvarme/Fastkraft)	Levert energi etter prosentandelen i energibudsjettet (kWh)	Forventet faktisk forbruk etter prosentandelen i energibudsjettet (kWh)	Avvik i kWh	Avvik i prosent
1a Romoppvarming	30,6 %	110339,01	97136,028	-13202,982	-11,97 %
1b Ventilasjonsvarme (varmebatteri)	12,1 %	43630,785	38409,998	-5220,787	-11,97 %
2 Varmtvann (tappevann)	57,3 %	206615,205	181891,974	-24723,231	-11,97 %
3a Vifter	39,4 %	128494,826	112659,178	-15835,648	-12,32 %
3b Pumper	0,2 %	652,258	571,874	-80,384	-12,32 %
4 Belysning	35,4 %	115449,666	101221,698	-14227,968	-12,32 %
5 Teknisk utstyr	25,0 %	81532,25	71484,25	-10048	-12,32 %
6a Romkjøling	0,0 %	0	0	0	0,00 %
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatteri)	0,0 %	0	0	0	0,00 %
Totalt energiforbruk		686714	603375	-83339	-12,14 %

5.5.2 Avvik i energiposter for fjernvarme



Figur 35 Illustrasjon over faktisk fordeling av energiposter for fjernvarme mot faktisk forbruk av fordeling gjort etter energibudsjettet. Diagrammet til venstre viser faktisk forbruk fra EOS-databasen. Diagrammet til høyre viser forventet faktisk forbruk etter prosentandelen gjort etter energibudsjettet.

Figur 35 illustrerer hvordan det faktiske forbruket har fordelt seg dersom man hadde lagt i grunn samme fordeling fra prosjektert energibehov. Om det ikke hadde ligget noen avvik i energifordelingen over energipostene, så hadde tallene i Tabell 11 stemt overens med faktiske reelle målinger hentet fra EOS-databasen (i.e.Esave). Det man ser er at dette ikke stemmer. Det ligger et stort avvik i selve fordelingen gjort i SIMIEN over energipostene. Tabell 12 viser til det faktiske forbruket av fjernvarme over noen av energipostene. På grunn av at EOS-databasen (i.e. Esave) ikke har målingspunkter for alle energipostene for fjernvarme, får man også et udefinert forbruk av fjernvarme. NS 3031: 2014 har allerede definert energiposter for tappevann, varmebatteri og romoppvarming. Ut fra prosjekterte dokumenter så utgjør de tre

energipostene det totale fjernvarmeforbruket. To av disse energipostene har målingspunkter på Lade skole i EOS-databasen (i.e. Esave); tappevann og varmebatteri. Det antas at det resterende forbruket for gulvkurs, radiatorkurs og det udefinerte forbruket må utgjøre romoppvarmingsforbruket.

Tabell 12: Faktisk forbruk av fjernvarme fordelt over energiposter.

Faktisk forbruk av fjernvarme (Esave-målinger)			
Energipost	Forbruk skole i kWh	Forbruk iderttshall i kW	Totalt forbruk i kWh
Tappevann	15081	2422	17503
Varmebatteri	14972	3574	18546
Radiatorkurs + gulvkurs	142033		142033
Ikke definert forbruk	139356		139356
SUM			317438

Tabell 13: Avvik av levert energi mot faktisk forbruk for fjernvarme.

Totalt avvik av fjernvarme				
Energipost	Levert energi beregnet ut ifra energibehovet(SIMIEN) kWh/år	Faktisk forbruk (Esave) kWh/år	Avvik i kWh/år	Avvik i prosent
1a Romoppvarming	110291,10	281389	171097,9007	155,13 %
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	43572,45023	18546	-25026,45023	-57,44 %
2 Varmtvann (tappevann)	206721,4504	17503	-189218,4504	-91,53 %
SUM	360585	317438	-43147	-11,97 %

Ved å bruke det faktiske forbruket av fjernvarme som man får fra målinger, og sammenligne dem på nytt med energipostene for levert energi, så ser man en grov skjevfordeling. Det ligger store avvik på hvordan romoppvarmingsbehovet er beregnet. Lade skole bruker over 155% mer energi til romoppvarming enn det som er prosjektert, basert på valgt metode. Spesifikt energibehov for romoppvarming tilsier et forbruk på 8,1 kWh/m² i simuleringen for skolebygget. Kravet i NS 3701 tilsier et spesifikt energibehov for romoppvarming på 21kWh/m² etter Trondheim klima. Dette er godt under kravet, men ikke en realistisk dersom man ser på avviket som oppstår.

Forskjellen i romoppvarmingsbehovet kan skyldes mange faktorer. Dette kan være blant annet endret bruksmønster. Endringer i bruksmønster til bygget kan f.eks. være at brukere ønsker en høyere innnetemperatur enn prosjekter eller at mange vinduer som står åpne gjennom hele dagen. I tillegg kan det være høyere tilluftstemperatur fra ventilasjonsanlegget eller mangelfull regulering på radiatorkurs/gulvkurs som påvirker oppvarmingsforbruket.

På samme måte ser man store avvik på forbruket av tappevann og ventilasjonsvarme mot passivhusevalueringene. Merk her at selv om verdiene til energipostene har endret seg, så forblir det totale avviket på fjernvarme på -11,97% det samme. Totalt prosjektert fjernvarmeforbruk virker å være nokså nøyaktig, men ikke dersom man deler opp forbruket i korresponderende energiposter. Samme prosess er ikke gjort med fastkraftforbruket, fordi det mangler for mange målingspunkter til å kunne gjennomføre en slik analyse.

5.5.3 Overdimensjonerte verdier for tappevann

Tabell 14 Oversikt over tappevannsforbruk for Lade skole i 2021.

Tappevannsforbruk				
	Energibehov per år kWh	Faktisk forbruk per år kWh	Spesifikt energibehov (SIMIEN) kWh/m ²	Spesifikt energibehov (Faktisk) kWh/m ²
Skole	86 730	15 081	10,1	1,8
Idrettshall	103 351	2 422	50,4	1,2
SUM	190 081	17 503		

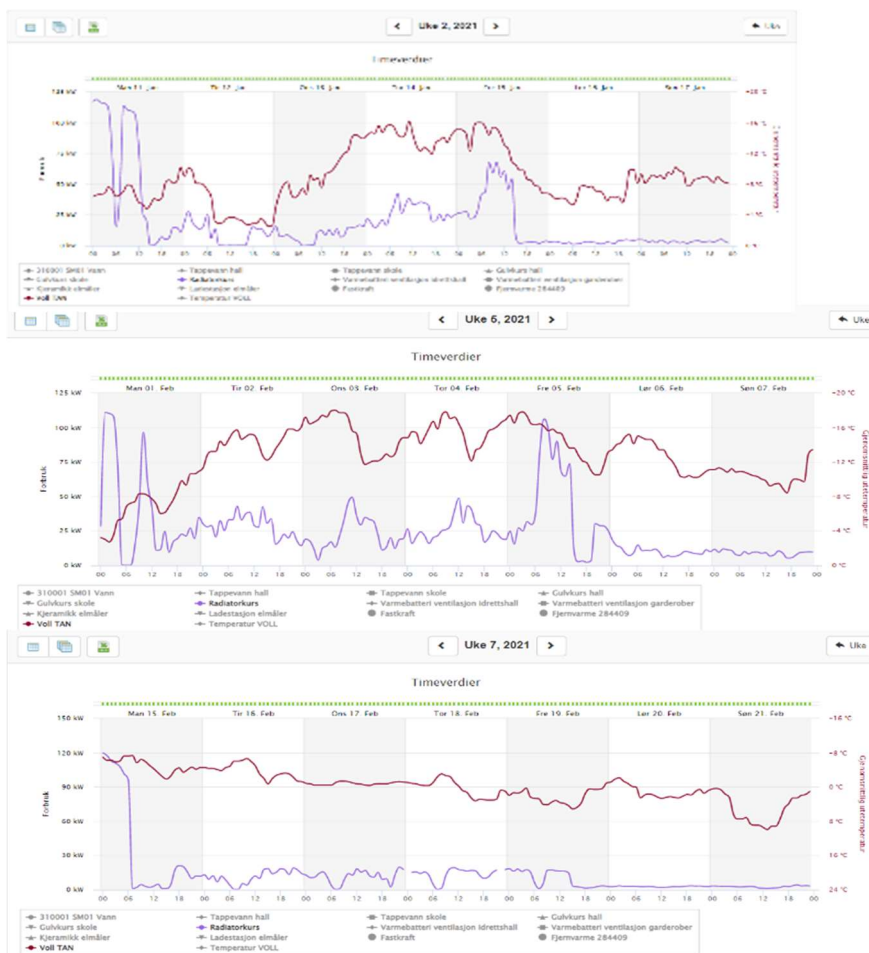
NS 3701 gir ikke konkrete krav for tappevann, men henhold til Tabell A.1 i NS 3031: 2014 *Normerte data for kontrollberegning mot offentlige krav*, så skal forbruket av tappevann tilfredsstille offentlige krav. For en skole så skal ikke varmtvannsforbruket overskride 10 kWh/m²*år, og for en idrettsbygning gjelder 50kWh/m²*år.

Passivhusevalueringer gjort i SIMIEN viser hvor mye både skolen og idrettshallen trenger for å dekke hele energiforbruket for tappevann. Simuleringene viser at tappevann bruker totalt 190 081 kWh/år. Totalt faktisk forbruk er derimot 17 503kWh/år. Tar man i bruk summen av tappevann for levert energi vist i Tabell 14, så utgjør det 206 615,21 kWh/år, henholdsvis ca. 30% av skolens totale energibehov. Legger man til grunn standardens krav så er skolen så vidt over kravene for varmtvannsforbruket. Henholdsvis 50,4 kWh/m² for idrettshallen og 10,1 kWh/m² for skolen. Faktisk forbruk tilsier noe annet, og størst avvik finner man i idrettshallen, hvor prosjektert netto energibehov er 43 ganger større enn reelt forbruk av varmt tappevann.

5.6 Evaluering av energiforbruket

5.6.1 Høye verdier på radiatorkurs

Ved bruk av en forbruksanalyse, så har det blitt avdekket at radiatorkursen til tider bruker veldig mye energi ved oppvarming til en ny ukedag (mandag). Dette skjer spesielt i kalde uker. Radiatorkursen skal være i stand til å ha nattkjøling, for å så gradvis øke temperaturen opp mot tidspunktet personalet og elever kommer til skolen. Figur 37 viser noen uker hvor man ser en del sløsing av energi ved at radiatorkursen



Figur 36 Eksempler høy verdi for radiatorkurs på Lade skole (kilde: Esave)

varmes opp altfor tidlig. Det kommer til et punkt hvor ønsket temperatur er oppnådd og så slår den seg av, bare for å igjen skrus på med en gang driftstiden er i gang. En sammenligning gjort med andre uker med omtrent samme temperatur viser derimot en mer normal drift av radiatorkursen. Det fins ikke noen ukeskommentarer fra FDV-ansvarlig som kommenterer det uvanlige forbruket. Rapporteringer opphørte etter uke 18 i 2019. Grunner til dette er ukjent og det antas at rapporteringer blir gjort i en annen plattform. Dette er uheldig da som viktig informasjon kan ha blitt utelatt når det gjelder høyt driftsforbruk for radiatorkursen i viste uker.



Figur 37 Eksempler på normal forbruk av radiatorkurs på Lade skole (kilde: Esave)

6 Diskusjon

6.1 Diskusjon av valgt metode

6.1.1 Kontroll av beregningsprogram (SIMIEN)

Energisimuleringsprogrammet SIMIEN bygger på den beregningsmetoden beskrevet i NS 3031 (Simenergi, 2022). Programmet er validert for dynamisk metodeberegning etter NS-EN 15265 (Standard Norge, 2014).

Avvik og nøyaktighet for programmet kontrolleres etter tre klassifiseringer:

- A; 0,05 maksimalt avvik
- B; 0,10 maksimalt avvik
- C; 0,15 maksimalt avvik

Avviket beregnes to ganger, ett for romoppvarming og ett for romkjøling.

Simuleringer utført av eierne av SIMIEN, Programbyggerne AS viser at SIMIEN ligger godt innenfor klassifisering B. I henhold til NS 3031 er minimumsklassifisering klasse C. Derfor kan man anta et avvik på ca. 10% for energiberegningene gjort i SIMIEN (Programbyggerne AS, 2019). Det er har ikke blitt utført en kvalitetskontroll på simuleringene gjort i oppgaven. Det var først ment å bruke TEK-sjekk som kontroll for inndata, men programmet ble utilgjengelig i 2021 (TekSjekkEnergi, 2021)

6.1.2 Valg av data fra EOS-databasen

EOS-databasen (i.e. Esave) ble brukt på to måter. Det ene var å hente inn data etter akkumulert årsforbruk og månedsforbruk. Det andre var evaluere forbruket ved å se på ukes og timesverdier. Akkumulert års- og månedsforbruk ble brukt, fordi det er mulig å sammenligne dem med prosjekterte verdier. Dette ble gjort for å få et helhetlig overblikk om det fantes et avvik mellom faktisk forbruk og prosjekterte beregninger til å begynne med.

Ukes og timesverdier ble brukt for å sjekke feil i tekniske systemer i bygget. Dette fordi årlig og månedlig forbruk ikke alltid gir god nok oversikt over slike tekniske feil. Tekniske feil trenger ikke å være kontinuerlige, noe som gjør at dette ikke alltid slår ut som et årlig eller månedlig avvik. En mulig hindring i bruk av slik analyse er at det i liten grad lar seg sammenligne mot prosjekterte tall etter standardene. NS 3031 og NS 3701 har ingen verdier på dag/ukes forbruk. Derimot er metoden viktig for å i det hele tatt vise til en mulig årsak for avviket.

Der det var mulig så ble det også tatt i bruk målinger fra EOS-databasen, hvor man hadde data fra samme energiposter som fra prosjektert energibudsjett. Dette var med på å avdekke avviket i energipostene mellom faktisk og prosjektert energiforbruk.

En kvantitativ analyse av nøyaktigheten til målingene hentet fra EOS-databasen er ikke blitt gjort. Dette fordi det krevde både fysisk tilgang til målere, samt ekstra kalibrerte målere som man kunne sammenligne målte verdier mot. Feilen kan ligge i både målere for totalt forbruk, samt delmålere. Dette kan være en feilkilde som oppgaven har sett bort fra.

6.1.3 Bruk av energibudsjett for å finne forventet faktisk forbruk

Oppgaven krevde å finne eller vise til avvik i tekniske utstyr/systemer i et bygg. Dette var ikke mulig dersom det ble sammenlignet kun mot totalt energiforbruk. Tidligere i oppgaven har det blitt nevnt om utfordringen med mangel av målere. For å kunne snevre inn avviket, så var det nødvendig å bruke forholdstall basert på fordelingen av energipostene i prosjektert energibudsjett. Dette var en veldig effektiv måte å kunne sette forventede reelle verdier på ulike energiposter. Det gav også en veldig god indikasjon på hvor avviket kunne ligge. Slik kunne man også finne ubetydelige avvikskilder som hadde lite påvirkning på det totale energiforbruket. Utfordringen med en slik metode er de verdiene man får ikke kan betraktes som det faktiske forbruket for energipostene. Det som er positivt med metoden er at dersom fordelingen av energipostene i SIMIEN er reell, så gir en slik beregningsmetode en veldig og god tilnærming av det faktiske forbruket for energipostene.

6.1.4 Diskusjon av metodologi

Som tilnærming for å finne avvik opp mot valgt basislinje, så ble det brukt en simplifisert metode slik vist i kapittel 3.4. Hovedfordelene med en slik metode var at hele evalueringen av et bygg gikk ryddig for seg. Årlig energiforbruk evalueres og sammenlignes med prosjekterte beregninger. Dersom et avvik ble funnet gikk man videre til månedlig evaluering og sammenligning mot energiposter. Dette gjorde det enkelt å konkretisere avviket inn i en bestemt energipost. Videre kunne man se på en ukes/timesanalyse og evaluere en mulig årsak for avviket.

Valgt metodisk tilnærming fungerte i varierende grad. Noen av delpunktene i metoden fungerte bedre for en case enn den andre. Noen delpunkter i metoden var også mer avhengig av å kunne ha målere spesifikt etter slik energifordelingen er delt inn i prosjektert energibudsjett. Det viste seg at sammenligning med energiposter var den mest effektive, men ulempene var at det ikke var nok reelle målinger for tilsvarende energiposter.

Byåsen skole hadde 11 forskjellige målinger, men i realiteten så hjalp ikke de ulike 7 delmålere til avviksberegning av fastkraft i energiposter særlig mye. Derimot så var en forbruksanalyse på enkeltmålere med på å avdekke noe av avviket i fastkraft, som skyldtes snøsmelleanlegget. Månedsevaluering i SIMIEN viste til at Byåsen skole ikke skulle bruke fjernvarme gjennom juli måned, noe som ikke stemte med de reelle verdiene. Generelt sett var også fjernvarmebruken mye større gjennom året. Mangel på reelle verdier på energiposter gjorde at det ble valgt å ha en overvekt på analyser etter ukes/timesverdier. En slik analyse gav indikasjon på at bygget slet med sirkulasjonstap. Sammenligning med lignende bygg bekreftet dette og viste til at Byåsen skole ikke utnyttet nattkjøling på en god måte.

For Lade skole så fungerte delpunktet som gikk på sammenligning med energiposter bedre. Det ble vist at årlig forbruket var mindre enn prosjektert. Månedlig forbruk viste også at prosjektert fjernvarmeforbruk var veldig lik prosjekterende verdier, derimot brukte Lade skole mer fastkraft gjennom sommeren. Å ha målere for tappevann og varmebatteri snevret inn avviket i mye større grad, og her ble det oppdaget en stor skjevfordeling fra prosjektert energibudsjett på grunn av dette. Metoden avdekket dermed at selv om totalforbruket er mindre enn prosjektert, så kan det allikevel finnes et avvik mellom energipostene.

6.2 Diskusjon av resultat

Tabell 15 Oversikt over arealdifferansen mellom prosjektert og verdier gitt fra Esave.

	SIMIEN	Esave	Avvik	Avvik i prosent
Oppvarmet BRA m ²	8821	6543	2278	34,80 %

6.2.1 Areal differanse i prosjekterte verdier (Byåsen skole)

En metode for å finne avviket er sammenligning av spesifikt energiforbruk per kvadratmeter mellom prosjekterte verdier og faktisk forbruk. Spesifikk levert energi er 140,9 kWh/m², mens spesifikt faktisk energiforbruk er 153 kWh/m² for Byåsen skole. Utrekning av bruksarealet (BRA) på Byåsen skole har vært en utfordring. Bruksarealet på Byåsen skole har veldig stor differanse mellom det SIMIEN oppgir og det som står i EOS-databasen (i.e. Esave). Bruksarealet som er oppgitt i SIMIEN er 6 543 m², mens bruksarealet i EOS-databasen er 8 821 m². Dette gir en arealforskjell på 2 278 m² som tilsvarer 34,8 prosent avvik. Trondheim kommune ble kontaktet for å få avklaring på dette, men de visste heller ikke om hvorfor det ligger et stort avvik mellom arealene. Det antas i denne oppgaven at en del av energiavviket på Byåsen skole skyldes at det ikke har blitt spesifisert om SIMIEN-simuleringene er for kun hovedbygget. SIMIEN deler opp simuleringer i soner. En sone må forbli lukket for at SIMIEN skal kunne evaluere energiforbruket til det. Dersom man ikke slår sammen flere bygg inn i en sone, noe som virker upraktisk og lite oversiktlig, så kan ikke SIMIEN evaluere flere bygg samtidig. Det kreves dermed flere filer for hvert separate bygg. Det antas at det er dette som er tilfellet. Fortolkningen her er at prosjekterte energiforbruket i SIMIEN hadde vært enda større dersom oppvarmet BRA i SIMIEN hadde stemt overens med oppgitt areal i EOS-databasen (i.e. Esave). Dette hadde ført til at totalavviket for Byåsen skole hadde blitt mindre enn det som er vist i oppgaven for denne omgang.

6.2.2. CASE 1: Byåsen skole

For Byåsen skole så har det vært to hovedfunn. Det første var et defekt snøsmelteanlegg som bidro til 42 485,55 kWh av fastkraftforbruket det året. Bruker man 2020 som referanse år, så brukte snøsmelteanlegget unødvendig 35 542,13 kWh det året. Dokumentasjon på dette avviket er ganske sikkert da som det lå til grunn en egen måler på anlegget, og det har blitt dokumenter av FDV-ansvarlig for skolen. Det har derimot ikke vært mulig å kunne sammenligne dette opp mot NS 3031. Tabell 5 i NS3031 definerer at i tilfeller hvor oppvarming/snøsmelting utgjør en betydelig forskjell i bygningens energibehov, så skal

dette defineres som en egen energipost i energibudsjettet. Derimot så presiseres det at energibehovet for snøsmelting ikke regnes inn i summen for totalt netto energibehov. Dermed har det ikke vært mulig å evaluere anlegget opp mot antatte verdier.

Det andre hovedfunnet for Byåsen skole er mer generaliserbar ved at dette faktisk kan sammenlignes mot prosjekterte verdier. Analyser viste at fjernvarmeforbruket var høyt gjennom hele året. Dette bekreftes også ved å se på nattkjølingen av bygget. SIMIEN viste til et null-forbruk av fjernvarme gjennom juli måned. Sammenligninger med liknende bygg var også med på å begrunne påstanden om at det var et sirkulasjonstap i bygget. Grunnen til at man tror at det er et sirkulasjonstap i bygget er fordi det er et stabilt fjernvarmeforbruk mellom 10-20kWh utenom driftstiden i de varme månedene. Varmtvann som sirkulerer rundt i et bygg avgir varme. Teoretisk så skal dette elimineres, men man ser at dette er ikke tilfelle i realiteten. Grunner til sirkulasjonstap kan være blant annet dårlig isolerte ledninger i bygget og defekte reguleringssensorer (med dette så menes det at litt varmtvann tillates å sirkulere rundt i bygget). På grunn av at studien ikke innebar befaring og undersøkelse bygget så er det vanskelig å bekrefte resultatet, men ut ifra analyserte timesverdier så stemmer antatt årsak.

Generelt sett så ligger også fjernvarmeforbruket for Byåsen skole høyt i driftstiden. Sirkulasjonstapet er ikke nok for å dekke dette avviket. På grunn av at fjernvarmeforbruket ikke er delt opp i mindre delmålere i EOS-databasen, så har det vært veldig vanskelig å komme med en konkret årsak. Her kan årsaken være mange som f.eks. høye innetemperaturer, vinduer som holdes åpne, ikke tett nok bygningskall osv. Å konkret uttale seg om en mulig årsak vil ikke være mulig for akkurat denne oppgaven.

6.2.3 Case 2: Lade skole

Energifordeling over energiposter var brukt til å avdekke eventuelle avvik mellom det reelle forbruket og prosjekterte levert energiforbruket fordelt over energiposter. Resultater fra beregningen viser at det ligger varierende avvik mellom dem, og som endrer bilde i det totale avviket. Prosentandelen av ulike energiposter fra EOS-databasen (i.e. Esave) samsvarer ikke med prosentandel for levert energi (Figur 35).

Lade skole hadde en del punkter som kunne bidra til å komme til en konklusjon at det ligger et avvik i fordeling over energiposter. Funnet er hovedsakelig basert på fjernvarmeforbruket på Lade skole, fordi skolen hadde noen målingspunkter som samsvarte med energiposter definert i SIMIEN. Ut ifra målinger fra EOS-databasen (i.e. Esave), så defineres fjernvarmeforbruket til å være fordelt over tappevann, varmebatterier og et udefinert energiforbruk. Slik SIMIEN definerer byggets energisystem så går fjernvarme til tappevann, varmebatterier og romoppvarming. Derfor antas det at det ukjente forbruket går til romoppvarming siden resterende energiposter allerede hadde egen måler. Med dette antas at det største avviket ligger i romoppvarming.

Tappevann er en energipost med svært stort avvik. Det som ble funnet var at prosjekterte verdier fra SIMIEN viste seg å være urealistisk i forhold til faktisk forbruk for tappevann. SIMIEN sine verdier for tappevann er etter veiledende krav fra NS 3031. Faktisk forbruk for tappevann er 17 503 kWh/, mens

energibehovet fra SIMIEN viser å være 190 081 kWh/år. Altså viser SIMIEN et 43-ganger høyere forbruk for tappevann. To mulige teorier er vist i oppgaven. Den ene teorien er at referanseverdier i SIMIEN er så høyt at norsk standard må faktisk redusere prosjekterte verdier for tappevann. Det andre teorien er at forbruksmønsteret akkurat hos Lade skole er annerledes enn det som ble tenkt under prosjektering av bygget.

Et annet avvik som ble oppdaget under analyseprosessen var romoppvarmingsforbruket. Basert på metoden som ble valgt for energifordeling over ulike energiposter, fikk romoppvarming 110 291 kWh/år, mens faktisk forbruk fra EOS-databasen (i.e. Esave) viser å være 281 389 kWh/år. Dette tilsvarer 155,13 % avvik. 139 356 kWh/år av totalt faktisk forbruk for romoppvarming er udefinert i EOS-databasen (i.e. Esave). Her menes at det udefinerte energiforbruket forårsaker et stort avvik som er vanskelig å definere. Dette udefinerte forbruket går til romoppvarming, og grunnen er at basert på SIMIEN sitt definisjonsområde for fjernvarmforbruket, så burde EOS-databasen (i.e. Esave) definere fjernvarmforbruket på samme området. En mulig årsak kan dermed ligge i bruksmønsteret av bygget. For mange vinduer som åpnes vil kreve mer energi til romoppvarming. Personlige behov som høyere innetemperatur spiller også inn. En annen årsak kan også være at beregnede netto energibehov for romoppvarming på 8,1 kWh/m² for skolen og 2,6 kWh/m² idrettshallen rett og slett er for lav. Kravet i NS 3701 tilsier et spesifikt energibehov for romoppvarming på 21kWh/m² for en skolebygning etter Trondheim klima. Her har kanskje ambisjonsnivået for romoppvarming vært for høyt, fordi det gjenspeiler seg ikke i de reelle verdiene.

6.3 Prosess

I dette delkapittelet vil sentrale utfordringer og prosessstankegang diskuteres.

6.3.1 Valg av oppgave

Til å begynne med så var oppgavens formål å lære hvordan en kunne finne energiavvik og øke bevisstheten rundt dette emnet. Det er stort engasjement på å kunne redusere energiforbruket til bygg både i næringslivet og politisk. For å i det hele tatt kunne gjennomføre en slik oppgave så var man avhengig av et samarbeid mellom flere aktører. De forskjellige aktørene kunne bidra til med helt nødvendig data og kompetanse for å muliggjøre oppgaven. Derfor ble det raskt igangsatt en dialog med alle aktører for å avklare videre prosess og informasjonsdeling. Det ble avklart ganske raskt at for å gjennomføre en slik oppgave så var det nødvendig med en database som samlet energidata til et bygg, og en beregningsmetode/program som beregnet energiforbruk etter norske standarder. Dette ble kjernen i prosjektet og er resultatet av denne oppgaven.

Etter avklaringer med ekstern og intern veileder og kontaktperson i Trondheim kommune ble det gitt tilgang til all nødvendig data. All relevant data ble gitt fra Trondheim kommune, dette etter avtale med Rambøll Trondheim. Dette innebar tilgang til energioppfølgningssystemet Esave, samt SIMIEN-filer til tilhørende bygg, som ble gitt etter forespørsel. En grundig oversikt ble gjort over tilgjengelig data, og man innså raskt omfanget og eventuelle problemer som ville dukke opp.

6.3.2 Utfordringer

6.3.2.1 Utfordringer med EOS-databasen

En utfordring var at EOS-databasen (i.e.Esave) var et ukjent program til å begynne med. Det ble brukt en del tid bare på å finne ut hvilke muligheter og begrensninger programmet hadde. Manglende kunnskap om bruk av EOS-databasen gjorde at tolkninger på målinger tok lengre tid enn forventet, og det måtte gjøres flere unødvendige antakelser og betraktninger om resultater i energianalysen. Programmet har en hjelpemodul som var til hjelp, men et fysisk opplæringskurs om bruk og tolkning av EOS-databasen ville ha kommet godt med.

6.3.2.2 Mangel på målingspunkter

Et tydelig problem som man møtte på ganske fort var mangel på målingspunkter i bygninger. EOS-databasen (i.e.Esave) hadde bred bygningsportefølje for kommunale bygg i Trondheim, men de aller fleste bygg hadde kun to målere som målte total fjernvarme og total fastkraftbruk. Det var en stor utfordring å prøve å splitte forbruket inn i mindre målingspunkter/energiposter, slik at man så kunne sammenligne dem opp mot standarden og SIMIEN-simuleringene. Det var flere bygninger som derimot hadde flere delmålere, som gjorde arbeidet litt enklere. Løsningen her endte uansett opp med at man måtte bruke prosjekterte simuleringer, og bruke dens verdier for å prøve å få en god nok tilnærming mot det faktiske forbruket for energipostene. Delmålere i EOS-databasen samsvarer ikke alltid med energipostene definert i NS 3031, noe som førte til noen antakelser over hvilke delmålere som var inkludert i hvilken energipost. I de tilfeller hvor

det ikke var mulig å flytte forbruket i ulike energiposter, så ble løsningen å heller se på totalforbruket, samt analysere forbruket i ukesintervaller. Sammenligninger med andre bygg ble gjort for å prøve å begrunne gitte påstander om avvik.

6.3.2.3 Ventetid på tilgang til filer

En av de største utfordringene var nok kommunikasjonskanalen som var bare digitalt mellom forfatterne og Trondheim kommune. Under prosessen møtte gruppen noen uklare og udefinerte verdier, som var avgjørende for riktig tolkning og forståelse av resultater. Et eksempel på dette var feil på leverte SIMIEN-filer for Lade skole. Det ble brukt mye tid på å analysere disse før feilen ble oppdaget. Denne er vist i vedlegg 9. Det tok også ytterligere tid å få avklaring og tilgang til rette reviderte filer. Generelt så tok avklaringer på ulike problemene mye lengre tid enn forventet, dette selv om man hadde utført en risikoanalyse i forprosjektet og definert problemet med høyest risiko. Risikopoengsummen kunne nok ha vært høyere her. I alt måtte man bruke mye tid for å løse problemet og finne ut av det selv. Dette gav derimot en stor læringskurve, men man fikk gjerne ikke gå langt nok i dybden på ulike avvik som ble funnet.

6.3.2.4 Omfang

Veldig mye av hva som er dekket i rapporten, enten om det er avvik fra fjernvarme, sirkulasjonstap, overdimensjonering av ulike energiposter osv. kunne ha vært egne bachelor/masteroppgaver. Omfanget i oppgaven har vært veldig stor. Dette har ført til antakelser og konklusjoner på ulike grunner/løsninger for et avvik. Energiavviksanalyser er ikke lett, og det tar lang tid å bare prøve å finne en mulig grunn/løsning. Det var ønskelig å kunne gå mye mer inn i dybden på avvikene, enn det som ble gjort i oppgaven. Selv med denne utfordringen så øker oppgaven bevisstheten rundt energiavvik og viser til konkrete problem i måten man antar og beregner energiforbruk. Det er mye å ta tak i denne oppgaven, og den legger til grunn for videre forskning for problemene vist i denne oppgaven.

7 Konklusjon

Oppsummering av hovedkonklusjonene;

- Byåsen skole har et totalavvik på 46,6%.
- Lade skole hadde et negativ totalavvik -12,14%. Det ble i tillegg funnet en skeivfordeling i energipostene for fjernvarme.
- Tappevannsforbruket på idrettshallen på Lade skole var 43 ganger mindre enn prosjekterte verdier
- Byåsen har et sirkulasjonstap i fjernvarmeanlegget sitt på 10kWh. I tillegg ble det funnet at skolen ikke utnytter nattkjøling effektivt.
- Det er en forskjell i BRA mellom EOS-databasen og prosjekterte verdier for Byåsen skole. Denne forskjellen er av betydelig størrelse og har ikke blitt gjort rede for.
- Det er generelt mangel på spesifikke målere i begge skolene. De målerne som er installert gir ikke mulighet for å sammenligne forbruket opp mot prosjekterte verdier.

Et viktig funn var at fordeling av prosjekterte verdier fra energibehovet over energiposter, ikke var i samsvar med det faktiske forbruket som ble hentet fra EOS-databasen (i.e.Esave). Et lite avvik i totalt energiforbruk kan ikke være representativ for å avskrive avviket. På Lade skole var det ikke et stort avvik i totalt fjernvarmeforbruk, men det lå et stort avvik mellom fordeling av fjernvarme over energiposter. Det største avviket lå mellom romoppvarming hvor den prosjekterte verdien var underdimensjonert med 155% avvik. Varmebatteriet og tappevann var overdimensjonert med henholdsvis 57% og 92% avvik mot reelle verdier.

Forbruket på tappevann i idrettsbygget på Lade skole var 1,2 kWh/m²år mot 50 kWh/m²år veiledende verdi fra NS 3031. Simulerte verdier for tappevann legger til grunn dimensjonering av distribusjonen av tappevann i et bygg. Tappevannsforbruk registreres kun når det er i bruk og for å holde vannet varmt rundt om i bygget. Det er generelt et behov for å revidere antatt forbruk av tappevann i idrettsbygg og skoler. Bruksmønsteret her har endret seg, og brukere av bygget bruker mye mindre varmtvann som i f.eks. dusjing enn først antatt.

SIMIEN definerer at ventilasjonssystemet til Byåsen skole skal brukes til nattkjøling. Varmebatteriet er drevet av fjernvarme. Skolen kjøler seg ned om natten til en viss grad, men spesielt i varme netter så skrur den aldri helt av. Forbruksanalyser viser at skolen har et sirkulasjonstap på 10kWh og til tider enda mer. Dersom skole og kommune har ambisjoner om å redusere forbruket sitt, så må sirkulasjonstapet reduseres betraktelig.

Oppvarmet BRA mellom SIMIEN og EOS-databasen (i.e. Esave) er ikke det samme på Byåsen skole. Arealforskjell er på 2 278 m² som tilsvarer 34,8 prosent avvik. Dersom oppvarmet BRA i SIMIEN hadde stemt med oppgitt areal i EOS-databasen, hadde prosjektert energiforbruket i SIMIEN vært enda større, og avviket blitt mindre. På grunn av denne forskjellen ligger det en stor usikkerhet i beregnet avvik gjort for Byåsen skole. Arealer fra en EOS database må korrespondere med prosjekterende arealer.

Det finnes tre forskjellige kilder til avvik som man kan måle opp mot. Det første er totalavviket i løpet av ett år. Det andre er avvik i energikildene, mens det tredje er avvik i energipostene. Dersom det ikke ligger et avvik i totalforbruket, så betyr det ikke at det ikke finnes betydelige store avvik i energikildene, eller energipostene. Alle kilder til avvik må undersøkes for å gi et helhetlig bilde av byggets energiforbruk.

Den største utfordringen med avviksberegning er mangel på spesifikke målingspunkter, som samsvarer med prosjekterte energiposter. For å effektivisere energiforbruket i et bygg, så bør det installeres flere målere hvor avleste målinger kan sammenlignes med prosjekterte energiposter. Både Byåsen- og Lade skole hadde mange målingspunkter, men strukturen på målingspunktene var ikke alltid knyttet til en egen energipost. Derfor er mange av de målingspunktene ikke til stor hjelp for å identifisere en avvikskilde og størrelsen på avviket.

Forslag til videre arbeid

For videre arbeid vil det være viktig med avklaring på innhenting av nødvendig data. En videre analyse bør ikke begrenses av mangel på grunnleggende data. Fysisk tilgang til tekniske systemer, samt dens oppdaterte tilstandsrapport vil være nødvendig for en mer presis analyse. Det bør gjøres observasjoner eller få tilgang til bruksmønsteret til byggene. Komponenter som ikke er definert i SIMIEN bør kartlegges og måles for å finne reellforbruket av dem. Sist, men ikke minst så bør en etterstrebe å få tilgang til relevante målere som kan måles opp mot prosjekterende energisimuleringer.

8 Referanser

Andersen, O.-E., 2018. *Lade skole*. [Internett]

Available at: <https://www.bygg.no/lade-skole/1349617!/>

[Funnet 1 Mai 2022].

Arne Førland Larsen; Katharina Th. Bramselv; Erik A Hammer, 2014. *Avvik mellom beregnet og reell energibruk*.

[Internett]

Available at: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2018/11/Tipshefte1-avvik-mellom-beregnet-og-reell-energibruk.pdf>

[Funnet 2 Mai 2022].

Azizi, B. & Rushiti, A., 2014. *Balansert målstyring i norske kommuner; Utbredelse og Praksis*, s.l.: s.n.

Betonmast, 2018. *Prosjekt: Lade Skole*. [Internett]

Available at: <https://www.betonmast.no/prosjekter/lade-skole/>

[Funnet 1 Mai 2022].

Brenne, A., 2022. *Fjernvarme: Slik får du energieffektive og miljøvennlige bygg*. [Internett]

Available at: <https://www.statkraft.no/nyheter/nyheter-og-pressemeldinger/arkiv/2020/fjernvarme-slik-far-du-energieffektive-og-miljovennlige-bygg/>

Byggforsk , 1991. *700.264 Systemer for energioppfølging*. [Internett]

Available at: https://www.byggforsk.no/dokument/637/systemer_for_energioppfoelging

[Funnet 22 April 2022].

Byggforsk, 1990. *552.103 Oppvarming av boliger. Energiforbruk og kostnader*. [Internett]

Available at: https://www.byggforsk.no/dokument/519/oppvarming_av_boliger_energiforbruk_og_kostnader#i3

[Funnet April 2022].

Byggforsk, 2013. *473.015 Dokumentasjon av passivhus og lavenergibygninger i henhold til NS 3700 og NS 3701*.

[Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/4109/dokumentasjon_av_passivhus_og_lavenergibygninger_i_henhold_til_ns_3700_og_ns_3701

Clevair, 2021. *ENØK normtall – Hva er normalt energiforbruk for bygninger*. [Internett]

Available at: [https://clevair.io/blog/nb/enok-normtall-](https://clevair.io/blog/nb/enok-normtall-bygninger/#:~:text=Gjennomsnittlig%20forbruk%20for%20en%20skole.207%20kWh%20%2F%20m%20%2F%20)

[bygninger/#:~:text=Gjennomsnittlig%20forbruk%20for%20en%20skole.207%20kWh%20%2F%20m%20%2F%20](https://clevair.io/blog/nb/enok-normtall-bygninger/#:~:text=Gjennomsnittlig%20forbruk%20for%20en%20skole.207%20kWh%20%2F%20m%20%2F%20)

%C3%A5r.

[Funnet 27 April 2022].

Dibk, 2018. *Dette er energikravene i byggeteknisk forskrift*. [Internett]

Available at: <https://dibk.no/verktoy-og-veivisere/energi/dette-er-energikravene-i-byggeteknisk-forskrift/>

Dibk, 2018. *Hva sier energimerket om boligen din?*. [Internett]

Available at: <https://dibk.no/bygge-eller-endre/puss-opp-energismart/hva-sier-energimerket-om-boligen-din/>

[Funnet 2022].

EM systemer, 2020. *SD-anlegg*. [Internett]

Available at: <https://emsystemer.no/sd-anlegg/>

[Funnet 2 Mai 2022].

Energifakta , 2021. *Varmeforsyning*. [Internett]

Available at: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/varmeforsyning/#:~:text=Fjernvarme%20forsyner%20i%20hovedsak%20st%C3%B8rre,i%20boligbl okker%20og%20i%20industrien.>

[Funnet 8 April 2022].

Energifakta Norge, 2019. *BÆREKRAFTIGE BYGG*. [Internett]

Available at: <https://energifaktanorge.no/et-baerekraftig-og-sikkert-energisystem/baerekraftige-bygg/#:~:text=Bygg%20utgj%C3%B8r%20ca.,bruk%20av%20energi%20i%20bygg.>

[Funnet 30 Mars 2022].

Energifakta, 2021. *ENERGIBRUKEN I ULIKE SEKTORER*. [Internett]

Available at: <https://energifaktanorge.no/norsk-energibruk/energibruken-i-ulike-sektorer/>

[Funnet 4 April 2022].

energismart, 2021. *Skru ned tempen!*. [Internett]

Available at: <https://www.energismart.no/andre-smarte-tiltak/skru-ned-tempen-article667-853.html>

[Funnet 10 April 2022].

ENOVA, 2017. *Enovas byggstatistikk 2017*. [Internett]

Available at: [file:///C:/Users/A/Downloads/Enovas%20byggstatistikk%202017%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/A/Downloads/Enovas%20byggstatistikk%202017%20(1).pdf)

ENOVA, 2017. *Graddagstall gjør det mulig å sammenligne energibruk i bygg*. [Internett]

Available at: [Graddagstall gjør det mulig å sammenligne energibruk i bygg](#)

ENOVA, 2022. *Et godt system for energioppfølging gir oversikt og kontroll*. [Internett]

Available at: <https://www.enova.no/kunnskap/eos/>

[Funnet 2 Mai 2022].

Felius, L. C., Hamdy, M., Hrynyszyn, B. D. & Dessen, F., 2020. *The impact of building automation control systems as retrofitting measures on the energy efficiency of a typical Norwegian single-family house*. Trondheim : Open Access.

- Grini, G., Oksvold, I. & Sæther, R. A., 2017. *Potensialstudie: Kostnadseffektive energiltak i eksisterende bygninger*. [Internett]
Available at: <https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/potensialstudie--kostnadseffektive-energitiltak-i-eksisterende-bygninger-.pdf>
- Grønmo, S., 2020. *Kvalitativ metode*. [Internett]
Available at: https://snl.no/kvalitativ_metode
[Funnet 9 Mai 2022].
- Grønmo, S., 2021. *Kvantitativ metode*. [Internett]
Available at: https://snl.no/kvantitativ_metode
[Funnet 9 Mai 2022].
- Haugen, I. H., 2013. *Forskjellen mellom beregnet og målt energiforbruk ved St. Olav videregående skole*. [Internett]
[Funnet 9 Mai 2022].
- Helsedirektoratet, 2014. *§ 19 Inneklima/luftkvalitet*. [Internett]
Available at: <https://www.helsedirektoratet.no/veiledere/miljo-og-helse-i-skolen/veiledning-og-god-praksis-1-29/19-inneklima-luftkvalitet>
- Hofstad, K., 2018. *grunnlast*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/grunnlast>
[Funnet 4 April 2022].
- Hofstad, K., 2019. *topplast (energiforsyning)*. [Internett]
Available at: https://snl.no/topplast_-_energiforsyning
[Funnet 4 April 2022].
- Hofstad, K., 2021. *termisk utvidelseskoeffisient*. [Internett]
Available at: https://snl.no/termisk_utvidelseskoeffisient
[Funnet 3 Mai 2022].
- Hossain, F., 2019. *Sustainable design and build*. 1st red. New York: Butterworth-Heinemann.
- Joseph, J., 2018. *Biopharmaceutical Processing; Development, Design, and Implementation of Manufacturing Processes*. 1st red. New York: Elsevier.
- Jæger, J. B., 2011. *Analyse av forbedringspotensial med hensyn til delta T (T tur - T retur) i fjernvarmesystemer*. [Internett]
Available at: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/234422/443173_FULLTEXT01.pdf?sequence=1
[Funnet 26 April 2022].
- Kamali, S., Khakzar, G. & HajiAbadi, S. A., 2014. *Effect of Building Management System on Energy Saving*. [Internett]

- Larsen, I. S., 2021. *Konsekvens av klimaendringer for bygninger*. [Internett]
[Funnet 13 Mai 2022].
- Magnussen, I., 2020. *Ekstern rapport nr. 8/2020 Kartlegging og vurdering av potensial for effektivisering av oppvarming og kjøling i Norge*. [Internett]
Available at: https://publikasjoner.nve.no/eksternrapport/2020/eksternrapport2020_08.pdf
[Funnet 1 April 2022].
- NLA , 2008. *Byåsen Skole Norsk Landskapsarkitekters Forening*. [Internett]
Available at: <https://landskapsarkitektur.no/prosjekter/byasen-skole>
- Norsk Klimaservicesenter, u.d. [Internett]
Available at: <https://seklima.met.no/observations/>
- NS 3031, 2014. *Beregning av bygningers energiytelse Metode og data*. [Internett]
[Funnet 2021].
- NVE, 2019. *Energibruk i bygg*. [Internett]
Available at: <https://www.nve.no/energi/energisystem/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energibruk-i-bygg/>
[Funnet 1 April 2022].
- NAAF, 2022. *Varmebalanse*. [Internett]
Available at: <https://www.naaf.no/subsites/drift-og-helse/inneklima-og-hms/temperatur/varmebalanse/>
[Funnet 12 Mai 2022].
- Orskaug, T., 2017. *Trondheim bygger skole nummer tre i Trondheim*. [Internett]
Available at: <https://trondheim2030.no/2017/01/19/imponert-over-trondheim-kommunes-arbeid-med-skoler-i-massivtre/#:~:text=Livsløpsperspektiv%3A%20Lade%20skole%20er%20den,skal%20stå%20ferdig%20i%202018.>
[Funnet 1 Mai 2022].
- Programbyggerne AS, 2019. *Validering*. [Internett]
Available at: <https://www.programbyggerne.no/SIMIEN/doku.php?id=validering&rev=1572261506>
[Funnet 8 mai 2022].
- Programbyggerne AS, 2020. *SIMIEN wiki*. [Internett]
Available at: <https://www.programbyggerne.no/SIMIEN/doku.php?id=start>
[Funnet 9 Mai 2022].
- Regjeringen, 2022. *Klimaendringer og norsk klimapolitikk*. [Internett]
Available at: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/#:~:text=Klimaloven%20stadfester%20Norges%20forsterkede%20klimam%C3%A5l,reduser%20med%2090%2D95%20prosent.>
[Funnet 30 Mars 2022].
- Rosvold, K. A., 2022. *2021*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/fjernvarme>

Rosvold, K. A., 2022. *Fastkraft*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/fastkraft>

[Funnet 2 Mai 2022].

Rådgivende Ingeniørers Forening, 2021. *Norges Tilstand 2021*, Oslo: Rådgivende Ingeniørers Forening.

Sandberg, N. H. et al., 2020. *Large potentials for energy saving and greenhouse gas emission reductions from large-scale deployment of zero emission building technologies in a national building stock*, Trondheim: ELSEVIER.

Santos, A. C. T. d. L. L. N. D. D. B. G. M. C., 2012. *Solutions to reduce energy consumption in the management of large buildings. Energy and building.*. s.l.:s.n.

Simenergi, 2022. *Beregning av energibruk og inn klima*. [Internett]

Available at:

https://simenergi.no/simien/?gclid=Cj0KCQjw1N2TBhCOARIsAGVHQc47_w9N_3M58pr1225eRo75CWfH46XjGDcSY08hg1PkW6dF2QIorM8aAnztEALw_wcB

[Funnet 8 Mai 2022].

Skari, I. T., 2016. *Reduksjon av energibruk i bygninger ved aktiv bruk av bygningens termiske masser og av et intelligent IKT-verktøy for tilbakemelding til bruker*. [Internett]

[Funnet 12 Mai 2022].

Smith, A., 2015. *Building Management Systems [BMS]*. [Internett]

Available at: <https://www.melbourne.vic.gov.au/SiteCollectionDocuments/bms-the-basics-explained.pdf>

[Funnet 1 April 2022].

Sosialistisk Venstre Parti, 2021. *Budsjettforlik mellom AP/SP og SV 2022 – Verbaler*. [Internett]

Available at: <https://www.sv.no/wp-content/uploads/2021/11/2021-11-29-verbaler-klokken-1700.pdf>

[Funnet 30 Mars 2022].

Spilde, D. et al., 2019. *Strømforbruk mot 2040*, OSLO: s.n.

Standard Norge, 2014. *NS 3031: 2014 Beregning av bygningers energiytelse Metode og data*. [Internett]

[Funnet 13 April 2022].

Standard Norge, 2019. *NS ISO 50001: 2018: Energiledelsessystemer krav med brukerveiledning*. [Internett]

[Funnet 9 MAi 2022].

Statkraft, 2012. *TEKNISKE BESTEMMELSER FOR KUNDESENTRALER OG INNVENDIGE RØRANLEGG*.

[Internett]

Available at: https://www.statkraft.com/globalassets/old-contains-the-old-folder-structure/documents/statkraft-varme-tekniske-bestemmelser-harstad_tcm84-22202.pdf

Svensden, G. K., 2008. *Krav til vann og varmemålere i Norge*. [Internett]

Available at: <https://www.kommunalteknikk.no/naar-maaleren-maaler-feil.4466300-43393.html>

[Funnet 26 April 2022].

TEK 17, 2017 . § 14-3. *Minimumskrav til energieffektivitet.* [Internett]

Available at: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-3/>

TEK 17, 2017. § 13-4. *Termisk inn klima.* [Internett]

Available at: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/ii/13-4/>

TEK 17, 2017. § 14-2. *Krav til energieffektivitet.* [Internett]

Available at: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-2/>

TEK 17, 2017. § 14-4. *Krav til løsninger for energiforsyning.* [Internett]

Available at: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-4/>

[Funnet 4 April 2022].

TEK 17, 2017. *Innledning til kapittel 13 Inneklima og helse.* [Internett]

Available at: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/innledning/>

TEK 17, 2017. *Kapittel 14-1 Generelle krav.* [Internett]

Available at: file:///C:/Users/A/Downloads/no.ntnu_inspira_80590524_25143374.pdf

TekSjekkEnergi, 2021. *TEK-sjekk Energi vil ikke bli oppdatert og vedlikeholdt videre.* [Internett]

Available at: <https://www.teksjekk.no/>

[Funnet 1 Mai 2022].

Trondheim Kommune: Esave, 2022. [Internett].

Trondheim Kommune, 2022. *Byåsen skole.* [Internett]

Available at: https://www.trondheim.kommune.no/byasen-skole/?fbclid=IwAR1hqFVzWL-hqmfCy2Tr_i4A0uJTCfqHVk5SvVan4n6M8EoOTlajU0Ab_IU

Trondheim Kommune, 2022. *Lade skole.* [Internett]

Available at: <https://www.trondheim.kommune.no/lade-skole/>

[Funnet 30 April 2022].

Wiki Strinda, 2011. *Byåsen Skole.* [Internett]

Available at: https://www.strindahistorielag.no/wiki/index.php/By%C3%A5sen_skole

Wiki Strinda, 2021. *Lade skole.* [Internett]

Available at: https://www.strindahistorielag.no/wiki/index.php/Lade_skole

[Funnet 30 April 2022].

Zaid, S., Daraghmeh, S. & Snouber, B., 2013. *Building Management System(BMS)*, Nablus: An-Najah National University |Faculty Of Engineering.

ZERO, 2017. *SLIK KUTTER VI ENERGIBRUKEN I BYGG : Virkemidler for energieffektivisering som tar oss til 10 TWh.* [Internett]

Available at: <https://zero.no/wp-content/uploads/2017/08/Energisparing-i-bygg-1-1.pdf>

[Funnet 4 April 2022].

