



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 30 stp
Fakultet for Realfag og Teknologi

Mulighetsstudie av energieffektiviserende tiltak til undervisningsbygg

Feasibility study of energy efficiency measures for
university buildings

Kristine Elisabeth Olsen
Industriell økonomi

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på mine studier i industriell økonomi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Oppgaven er skrevet ved Fakultet for Real FAG og Teknologi og i samarbeid med HRP AS. Jeg ser tilbake på fem fine år i Ås og ett utvekslingsår i Tyskland med glede, og tar med meg alle gode minner og nye bekjentskap jeg har fått gjennom disse årene når jeg nå tar fatt på nye utfordringer.

Jeg ønsker å takke alle som har hjulpet meg i prosessen med denne masteroppgaven, det hadde ikke gått uten dere. Jeg vil først og fremst rette en stor takk til min hovedveileder ved NMBU Jesper Frausig, for veldig god oppfølging med masteroppgaven, og mange gode samtaler underveis. Jeg vil også rette en stor takk til min biveileder ved NMBU, Asmamaw Tadege Shiferaw, og min veileder hos HRP, Mathias Stensland Lillevold, for god oppfølging og mange gode innspill underveis. Ønsker også å takke Petter Rossvoll hos HRP, som har bistått meg under befaring og med innspill til det spesifikke bygget i denne oppgaven, det har vært til stor hjelp. Avslutningsvis vil jeg takke mamma, pappa og Tamara Nørreskov Aasbøe (HRP) for korrekturlesing og mange gode innspill i siste innspurt av oppgaven. Ikke minst takk til gode kollegaer hos HRP, samt venner og familie for god støtte og fine stunder gjennom både masterskriving og hele studieperioden i Ås.

Kristine Elisabeth Olsen

Ås, 15. juni 2022

Sammendrag

Hensikten med denne masteroppgaven er å vurdere energieffektiviserende tiltak til undervisningsbygg, undersøke effekten av tiltakene, og sammenligne dem opp mot hverandre. Sammenligningen gjøres ut fra gitte evalueringskriterier. Hovedbygningen ved Universitetet i Sørøst-Norge (USN), Campus Notodden brukes som utgangspunkt i arbeidet med å belyse problemstillingen og de fem forskningsspørsmålene.

For å besvare problemstillingen, løses oppgaven som en mulighetsstudie bestående av totalt ni ulike analyser: Behovsanalyse, kravspesifikasjon, informasjonsinnsamling, analyse av data, tiltaksanalyse, lønnsomhetsanalyse, kravanalyse, SWOT-analyse og flermålsanalyse. Det benyttes ulike programvarer i de forskjellige analysene for å forsterke resultatene. Alle analysene er med på å danne grunnlaget for resultatene.

Flermålsanalysen benytter resultater fra de foregående analysene til å gi score til hvert evalueringskriterium, til hvert tiltak. Evalueringskriteriene som er vurdert er netto nåverdi, energi- og effektbesparelse, komfort, regulering og stabilitet. Væske-til-vann-varmepumpe ble vurdert som det beste tiltaket utfra denne analysen, etterfulgt av innendørs LED-belysning, solceller, ventilasjon og utendørs LED-belysning. Totalt fører de fem tiltakene til en årlig energibesparelse på 24%, som er litt lavere enn Statsbyggs ønske om 30%, gjengitt i det første prosjektutløsende behovet i behovsanalysen.

Energimerking av bygget er gjort både utfra dagens tilstand og etter en eventuell innføring av energieffektiviseringstiltak, ved hjelp av programmet Simien. Energimerket blir noe forbedret dersom tiltakene blir gjennomført, sammenlignet med i dag. Energikarakteren blir forbedret fra D til C, mens oppvarmingskarakteren går ned fra gul til oransje. Sistnevnte skyldes omlegging fra fjernvarme til varmepumpe, og dermed høyere internt energiforbruk. Solcellene fører til redusert behov for strøm fra nettet, og blir dermed den primære årsaken til forbedringen i energikarakteren.

Resultatene av mulighetsstudien viser at innføring av energieffektiviserende tiltak er anbefalt og fører til en betydelig energibesparelse. Alle tiltakene i denne masteroppgaven er i tillegg lønnsomme, og viser at det finnes både større og mindre tiltak som er hensiktsmessige å innføre.

Abstract

The purpose of this master's thesis is to evaluate energy efficiency measures for university buildings, examine the effect of the measures and compare them against each other. The comparison is made based on given evaluation criteria. The main building at the University of Southeastern Norway (USN), Campus Notodden is used as a starting point in the work to shed light on the problem and the five research questions.

To answer the problem, the thesis is solved as a feasibility study consisting of a total of nine different analyzes: Gap analysis, requirements specification, information collection, analysis of data, measures analysis, profitability analysis, requirements analysis, SWOT analysis and multi-criteria decisions analysis. Different software is used in the different analyzes to amplify the results. All the analyzes help to form the basis for the results.

The multi-objective analysis uses results from the previous analyzes to give scores for each evaluation criterion, for each measure. The evaluation criteria that are assessed are net present value, energy and power savings, comfort, regulation and stability. Liquid-to-water heat pump was considered the best measure based on this analysis, followed by indoor LED lighting, photovoltaics (PV), ventilation and outdoor LED lighting. In total, the five measures lead to an annual energy saving of 24%, which is slightly lower than Statsbygg's desire of 30%, reflected in the first project-triggering need in the needs analysis.

Energy labeling of the building has been done both based on the current situation and after a possible introduction of energy efficiency measures, using the Simien program. The energy label will be somewhat improved if the measures are implemented, compared with today. The energy rating is improved from D to C, while the heating rating decreased from yellow to orange. The latter is due to the conversion from district heating to heat pump, and thus higher internal energy consumption. The PV lead to a reduced need for electricity from the grid and thus become the primary reason for the improvement in the energy rating.

The results of the feasibility study show that the introduction of energy efficiency measures is recommended and leads to a significant energy saving. All the measures in this master's thesis are also profitable and exhibit that there are both larger and smaller measures that are appropriate to introduce.

Innhold

Forord.....	II
Sammendrag.....	IV
Abstract.....	VI
Figurer.....	XI
Tabeller.....	XII
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Problemstilling.....	2
1.3 Tidligere arbeid.....	3
1.4 Struktur og oppbygging.....	5
2 Teori.....	5
2.1 Introduksjon/bakgrunn.....	5
2.2 Energimerke.....	7
2.3 Teknologi.....	11
2.3.1 Varmepumpe.....	11
2.3.2 Solceller.....	13
2.3.3 Belysning.....	15
2.3.4 Ventilasjonsanlegg.....	16
2.4 Økonomi.....	18
2.4.1 Netto nåverdi (NNV).....	18
2.4.2 Levelized cost of electricity/energy (LCOE).....	18
2.4.3 Graddagstall og energigradtall.....	19
2.5 Krav og forskrifter.....	19
2.5.1 Byggteknisk forskrift (TEK17).....	19
2.5.2 NS 3031.....	20
2.6 Klimapolitikk.....	20
2.6.1 Internasjonalt.....	20
2.6.2 I Norge.....	22
3 Metode.....	23
3.1 Behovsanalyse.....	24

3.2	Kravspesifikasjon	27
3.3	Befaring/informasjonsinnsamling	28
3.4	Analyse av energidata	31
3.5	Tiltaksanalyse av energieffektiviserende tiltak	36
3.6	Lønnsomhetsanalyse, NNV og LCOE	49
3.6.1	Væske-til-vann-varmepumpe	50
3.6.2	Solceller	50
3.6.3	Innendørs belysning	51
3.6.4	Utendørs belysning	51
3.6.5	Ventilasjon	52
3.7	Kravanalyse	52
3.8	SWOT-analyse	54
3.9	Flermålsanalyse	57
3.9.1	Væske-til-vann-varmepumpe	58
3.9.2	Solceller	59
3.9.3	Innendørs LED-belysning	60
3.9.4	Utendørs LED-belysning	60
3.9.5	Ventilasjon	61
3.10	Energimerke	62
3.10.1	Simien	62
4	Resultater	64
4.1	Energieffektiviseringstiltak	64
4.2	Flermålsanalyse	65
4.3	Energimerke	66
5	Diskusjon	69
5.1	Forskningsspørsmål 1	69
5.2	Forskningsspørsmål 2	72
5.3	Forskningsspørsmål 3	73
5.4	Forskningsspørsmål 4	74
5.5	Forskningsspørsmål 5	76
5.6	Energimerke	77
5.7	Usikkerhet knyttet til analyser og resultater	78

6	Konklusjon	81
7	Videre arbeid	82
8	Bibliografi.....	84
9	Vedlegg	88

Figurer

Figur 1: Oversiktsbilde av bygget med alle fløyene.	7
Figur 2: Energimerke fra 2012.	8
Figur 3: Prosentvis oversikt over årlig energibudsjett, hentet fra årssimulering fra 2012.....	9
Figur 4: Prosentvis oversikt over varmetapsbudsjett, hentet fra årssimulering fra 2012.	10
Figur 5: Månedlig netto energibehov, hentet fra årssimulering fra 2012.....	11
Figur 6: Mulighetsstudiens ni steg, presentert i kronologisk rekkefølge.	24
Figur 7: Energiforbruk fra direkte elektrisitet for 2021 for Hovedbygget og Musikkbygget...	32
Figur 8: Energiforbruk i forhold til utetemperatur for Hovedbygget og Musikkbygget.....	33
Figur 9: Energiforbruk for Hovedbygget og Musikkbygget og utetemperaturer for hele året.	33
Figur 10: Energiforbruk fra fjernvarme for 2021 for Hovedbygget.	34
Figur 11: Energiforbruk fra fjernvarme i forhold til utetemperatur for Hovedbygget.....	35
Figur 12: Energiforbruk fra fjernvarme for Hovedbygget og utetemperaturer for hele året. .	35
Figur 13: Grafisk fremstilling og sammenligning av energiforbruk for hver timet i løpet av 2021 for luft-til-luftvarmepumpe, væske-til-vann-varmepumpe, i tillegg til målt fjernvarmeforbruk og estimert varmebehov i When2Heat.	39
Figur 14: Plantegning over totalt utnyttbart areal av takflater over F- og S-fløy (farget blått) med mål og himmelretninger. Firkantene i tegningen symboliserer vifterom, lyskupler og andre objekter som opptar areal.....	41
Figur 15: Oversikt over det simulerte solcelleanlegget over fløy F og S.....	43
Figur 16: Grafisk fremstilling og sammenligning av energiproduksjon fra solceller (gul), energi hentet fra nettet (blå) og byggets totale energibehov (grå) for hver måned gjennom året.....	44
Figur 17: Energimerke oppdatert etter dagens tilstand og standard.....	66
Figur 18: Oppdatert energimerke etter innføring av tiltak.....	68

Tabeller

Tabell 1: Oversikt over bygningskategori, byggeår, bruksareal, og energi- og oppvarmingskarakter for USN Campus Notodden.	6
Tabell 2: Behovsanalyse for primære interessenter nummer 1 - brukerne av bygget.	26
Tabell 3: Behovsanalyse for primære interessenter nummer 2 - eierne av bygget.	26
Tabell 4: Behovsanalyse for sekundære interessenter nummer 1 - naboer.	26
Tabell 5: Behovsanalyse for sekundære interessenter nummer 2 - Statsbygg/HRP (oppdragsgiver).	27
Tabell 6: Behovsanalyse for sekundære interessenter nummer 3 - samfunnsmessige behov.	27
Tabell 7: Oversikt over alle ventilasjonsaggregater, med alder og eventuelle skiftede komponenter.	29
Tabell 8: Oversikt over levert energi til bygget for de siste tre år.	30
Tabell 9: Oversikt over graddagskorrigert energibruk for bygget de siste tre årene.	31
Tabell 10: Kostnadsanalyse for varmepumpe.	40
Tabell 11: Sentrale nøkkeltall hentet fra kostnadsanalysen til tiltak 2.	45
Tabell 12: Kostnadsanalyse for innendørs belysning.	46
Tabell 13: Kostnadsanalyse for utendørs belysning.	47
Tabell 14: Kostnadsanalyse for ventilasjon.	49
Tabell 15: Lønnsomhetsanalyse for varmepumpe.	50
Tabell 16: Lønnsomhetsanalyse for solceller.	51
Tabell 17: Lønnsomhetsanalyse for innendørs belysning.	51
Tabell 18: Lønnsomhetsanalyse for utendørs belysning.	52
Tabell 19: Lønnsomhetsanalyse for ventilasjon.	52
Tabell 20: Kravanalyse av alle fem tiltakene.	53
Tabell 21: SWOT-analyse for tiltak 1.	54
Tabell 22: SWOT-analyse for tiltak 2.	55
Tabell 23: SWOT-analyse for tiltak 3.	55
Tabell 24: SWOT-analyse for tiltak 4.	56
Tabell 25: SWOT-analyse for tiltak 5.	56
Tabell 26: Oppsummering av alle foreslåtte tiltak, med de viktigste nøkkeltallene hentet fra lønnsomhetsanalysene.	64

Tabell 27: Flermålsanalyse med gjennomsnitt og vektet gjennomsnitt basert på scoregiving av hvert evalueringskriterium til hvert tiltak.....65

1 Innledning

I innledningen presenteres bakgrunnen for valg av oppgave, oppgavens problemstilling og tilhørende forskningsspørsmål, samt tidligere forskning.

1.1 Bakgrunn

Det slippes stadig ut større mengder klimagasser og klimaendringene er, og har lenge vært, en realitet. For å nå målet om å begrense økningen av gjennomsnittstemperaturen til 1,5°C, må det skje endringer (WWF, u.d.). Det må i større grad fokuseres på å utvikle ny teknologi, utnytte fornybare energikilder, og bevare naturen for å nå dette målet. FNs bærekraftsmål nummer 13 handler om nettopp dette – *Stopp klimaendringene* (FN-sambandet, 2021). Det innebærer også å bygge opp utviklingsland, og sørge for at det der innføres hensiktsmessige og realistiske klimatiltak (FN-sambandet, 2021).

I Norge står i dag bolig- og byggesektoren for nærmere 40% av energibruken og 40% av materialbruken (Kommunal- og distriktsdepartementet, 2022). Det er derfor viktig å legge vekt på kvalitetsmaterialer med lavt klimaavtrykk, i tillegg til å utnytte allerede eksisterende arealer fremfor å bygge nytt. Ettersom en vesentlig energiandel går med til oppvarming av bygg, kan det være hensiktsmessig å utnytte fornybar energi til dette. Det kan med andre ord være mye å hente ved å innføre enkle tiltak i bolig- og byggesektoren (Kommunal- og distriktsdepartementet, 2022).

I følge FNs bærekraftsmål nummer 11 – *Bærekraftige byer og lokalsamfunn* (FN-sambandet, 2022a), bor over halvparten av verdens befolkning i byer, og byene står i tillegg for 75% av alle klimagassutslipp. Ved å sørge for at både nye og allerede eksisterende bygninger er så energieffektive som mulig, og i større grad utnytte bygningskroppene til lokal energiproduksjon (for eksempel solenergi), kan klimagassutslippene reduseres.

Strøm er den primære energikilden til bygg i Norge i dag, og siden strømmen som produseres og utnyttes i stor grad kommer fra vannkraft, regnes den som fornybar. Likevel kan man produsere mer fornybar energi ved å utnytte mer direkte fornybare energikilder, som solceller for produksjon av strøm, og solfangere til oppvarming. Da kan den samlede fornybarproduksjonen økes og i enda større grad erstatte annen og mindre miljøvennlig produksjon, både i Norge og ved eksport ut av Norge.

Reduksjon av strømforbruket der det finnes gode andre fornybare løsninger vil også bidra til å frigjøre kapasitet i strømproduksjon og strømmettet til forbruk som ikke kan erstattes med andre energikilder, og kan også redusere behovet for import til Norge i de perioder hvor det i dag er underskudd. Økning av fornybar energiproduksjon kan også gjøres på flere andre måter, for eksempel vindkraft. Denne oppgaven fokuserer derimot på energiltak i bygg og vindkraft er derfor ikke inkludert.

Fra 1. januar 2020 ble det forbudt med fyring med fossil olje i Norge (Enova, 2020). For de som tidligere har benyttet oljefyring til oppvarming, kan væske-til-vann-varmepumpe være en god erstatning, ettersom det kan utnytte de allerede eksisterende radiatorene eller det vannbårne gulvsystemet (Enova, 2020).

1.2 Problemstilling

Problemstillingen som skal belyses i denne oppgaven er å vurdere og sammenligne energieffektiviserende tiltak for undervisningsbygg. Oppgaven og problemstillingen tar utgangspunkt i HRPs pågående prosjekt for Statsbygg om energikartlegging av bygg. I denne oppgaven rettes det fokus på et utvalgt bygg fra Statsbyggs oversikt, som benyttes som et generelt eksempel for fremtidige bygg i tilsvarende bygningskategori.

Bygget som vurderes er Universitetet i Sørøst-Norge (USN), Campus Notodden, hovedbygning. Med utgangspunkt i dette bygget, skal det vurderes tiltak som bidrar til å senke behovet for eksternt tilført energi på en økonomisk og bærekraftig måte. Avslutningsvis skal en generell anbefaling om energieffektiviserende tiltak for tilsvarende bygg i fremtiden legges frem. For å belyse problemstillingen, skal følgende forskningsspørsmål analyseres:

- I. Hva er energieffektiviseringstiltakene og deres effekt i forhold til kostnadsbesparelse, komfort, energibesparelse- og effektbesparelse, regulering og tidsforskyvning av energi?
- II. Hva er den økonomiske og tekniske konsekvensen av gjennomføring av energieffektiviserende tiltak?
- III. I hvilken grad realiseres energieffektiviserende tiltak i bygg i praksis eller i så fall hvilken styring krever det?
- IV. Hvordan bidrar bærekraftig bygg-/miljøpolitikk til energieffektiviserende tiltak?
- V. Hvilken virkning har energieffektiviserende tiltak på verdien av bygg?

1.3 Tidligere arbeid

Energiøkonomisering og energieffektivisering er begreper som har fått mer oppmerksomhet etter hvert som fokuset på klimakrisen og klimamålene har blitt større og større. Miljødirektoratet har presentert en oversikt over begreper som energieffektivisering, energiomlegging og energiledelse på sine nettsider (Miljødirektoratet, 2019a), og har i tillegg lagt vekt på effekten av klimatiltak i eksisterende bygg. Kort fortalt innebærer energieffektivisering innføring av tiltak for å redusere energiforbruket, mens energiomlegging innebærer et skifte fra for eksempel fossile energikilder til mer miljøvennlige energikilder, som fjernvarme og varmepumpe. Energiledelse er den kunnskapsformidlingen og oppfølgingen som gjennomføres i forbindelse med utarbeidelsen og gjennomføringen av energieffektiverende tiltak (Miljødirektoratet, 2019a).

NVE har utarbeidet flere rapporter av analyser av forskjellige typer bygg, herunder blant annet undervisningsbygg og yrkesbygg (Multiconsult AS et al., 2014). Rapportene tar for seg formålsdeling, trender og drivere, og analysen av undervisningsbygg er spesielt relevant i forbindelse med denne masteroppgaven. Som ansvarlig for Norges vann- og energiresurser, har NVE også ansvar for å kartlegge og vurdere energibehovet og energiforbruket i ulike institusjoner, og hvordan dette utvikler seg. Det er energibruken til barnehager, skolebygninger og universitets- og høyskolebygninger som analyseres i rapporten for undervisningsbygg. Disse bygningskategoriene er i henhold til NS3031. Rapporten ser både på gjennomsnittlig spesifikk energibruk og formålsdelt spesifikt energiforbruk for hver av disse bygningskategoriene. Resultatet av analysen av gjennomsnittlig spesifikk energibruk viste at barnehager, skolebygninger og universitets- og høyskolebygninger hadde henholdsvis 200 kWh/m² per år, 170 kWh/m² per år og 260 kWh/m² per år i gjennomsnittlig spesifikk energibruk. Dette ble beregnet utfra tilgjengelige data fra seks ulike databaser (SSB, NVE, Enova, Entro, Statsbygg, NTNU). I analysen av den formålsdelte spesifikke energibruken ble faktiske målte energidata fra minst fem bygg fra hver bygningskategori analysert og deretter supplert med kartlegging av installert effekt, driftstider og samtaler med driftsledere. Energiforbruket er fordelt på seks kategorier; kjøling, utstyr, lys, ventilasjonsaggregater, varmtvann og rom- og ventilasjonsoppvarming. For alle tre bygningskategorier gikk det klart mest energi til rom- og ventilasjonsoppvarming, men denne kategorien dominerte mer hos barnehager og skolebygninger enn hos universitets- og høyskolebygg. Hos skolebygninger og

universitets- og høyskolebygninger, utgjorde utstyr, det vil si elektrisk forbruk som ikke skyldes belysning eller drift av ventilasjonsanlegg, nest størst andel av energiforbruket. Denne kategorien utgjorde tredje størst andel av energiforbruket hos barnehager. Universitets- og høyskolebygninger var den eneste kategorien som brukte energi til kjøling. Det er i tillegg gjennomført en dokumentstudie for å identifisere hvilke trender og drivere som påvirker energibruken, og hvordan dette utvikler seg over tid. Resultatene av denne studien baserer seg på intervjuer med fem eiendomsaktører og tre barnehage- og skoleplanleggere. Det fremkommer av studien at bruken av digitale verktøy har økt betraktelig de siste ti årene, og fortsatt kommer til å øke i årene som kommer. Dette har bidratt til økende energibruk i kategorien utstyr, og spesielt i barne- og ungdomsskoler. Det spesifikke energiforbruket har også økt, og kommer fortsatt til å øke, som følge av lengre åpningstider og driftstider. Mat i barnehage og skole har frem til nå vært en stabil energipost, men forventes å øke fremover som følge av økt matlaging, servering og oppbevaring. Det spesifikke energiforbruket relatert til andel yrkesfaglige og allmennfaglige studieretninger i videregående skole har de siste årene vært økende som følge av at det har blitt flere som velger yrkesfaglig, men forventes å reduseres de neste årene som følge av at det forventes at flere velger allmennfag. Det fremkommer også at strengere myndighetskrav i forskriftene, økt miljøbevissthet i energimerkeordningen, økt energi- og driftsfokus og fokus på å bygge større bygg er med på å redusere forbruket. Temperaturutvikling vil også føre til lavere oppvarmingsbehov, og dermed redusert behov for bruk av energi til oppvarming, men kan muligens begrenses noe av økt energiforbruk til kjøling. Det konkluderes på bakgrunn av ovennevnte faktorer i rapporten med at det spesifikke energiforbruket på generelt grunnlag har gått ned de siste årene. Det skyldes hovedsakelig at teknologiutvikling og mer kunnskap har gitt bedre muligheter for styring av energiforbruket i byggene (Multiconsult AS et al., 2014).

Susanne Nordli, tidligere student ved OsloMet, leverte i 2019 sin masteroppgave «Sammenligning av energiforbruk før og etter gjennomførte ENØK-tiltak på case-studiet Arkitektur- og designhøgskolen i Oslo», skrevet i samarbeid med Statsbygg (Nordli, 2019). I oppgaven sammenlignes den antatte og den faktiske energibesparelsen etter gjennomførte ENØK-tiltak. Den antatte energibesparelsen var gitt av Statsbygg, mens den faktiske energibesparelsen ble beregnet på to forskjellige måter ved hjelp av to forskjellige modeller. Den ene modellen er basert på inndata fra NS3031:2014, mens den andre er kalibrert ut fra

måledata. Det ble i tillegg beregnet en energibesparelse utfra en Simiensimulering av ENØK-tiltakene. Konklusjonen i oppgaven var at Statsbyggs antatte energibesparelse og resultatene fra Simiensimuleringen avviker betydelig fra den faktiske besparelsen. Resultatene av de to modelleringene av faktisk energibesparelse viste at de samsvarer godt, og at det gir et realistisk resultat å bruke verdier fra NS3031 i tilfeller der inndata er usikkert. Den antatte besparelsen ga en positiv nåverdi, mens den faktiske besparelsen ga en negativ nåverdi, noe som tyder på at beskrivelser og målinger av tiltakene er for unøyaktige (Nordli, 2019). Det bør derfor undersøkes om det finnes bedre metoder for måling av besparelsen, slik at den kan dokumenteres i praksis.

1.4 Struktur og oppbygging

Oppgaven løses som en mulighetsstudie, med blant annet en behovsanalyse, tiltaksanalyse og flermålsanalyse. I behovsanalysen presenteres interessentene og deres behov knyttet til prosjektet. Tiltaksanalysen tar for seg alle aktuelle tiltak, i tillegg til nullalternativet, som vil si dagens situasjon, altså ingen nye tiltak. Flermålsanalysen ser på de forskjellige tiltakene fra et kvalitativt og kvantitativt perspektiv, med forskjellige evalueringskriterier.

2 Teori

I denne delen presenteres den teoretiske bakgrunnen som er avgjørende for å forstå sammenhengen og bakgrunnen for de avgjørelser som tas og analyser som gjennomføres videre i casen. Det inkluderer i dette tilfellet en introduksjon med info om bygget, samt energimerke og energibehov, teori knyttet til teknologier som senere presenteres i foreslåtte tiltak, økonomiske prinsipper som benyttes i lønnsomhetsanalyser, samt krav og forskrifter som må oppfylles og som senere er et element i diskusjonen.

2.1 Introduksjon/bakgrunn

For å forstå analysene og den videre metodikken i denne caseoppgaven, er det nødvendig med en grunnleggende introduksjon av bygget, med bakgrunn for de videre valg som tas.

Som nevnt i innledningen, rettes fokus mot et utvalgt bygg som et generelt eksempel i denne oppgaven. USN Campus Notodden inkluderer flere bygg, men hovedbygningen er det største

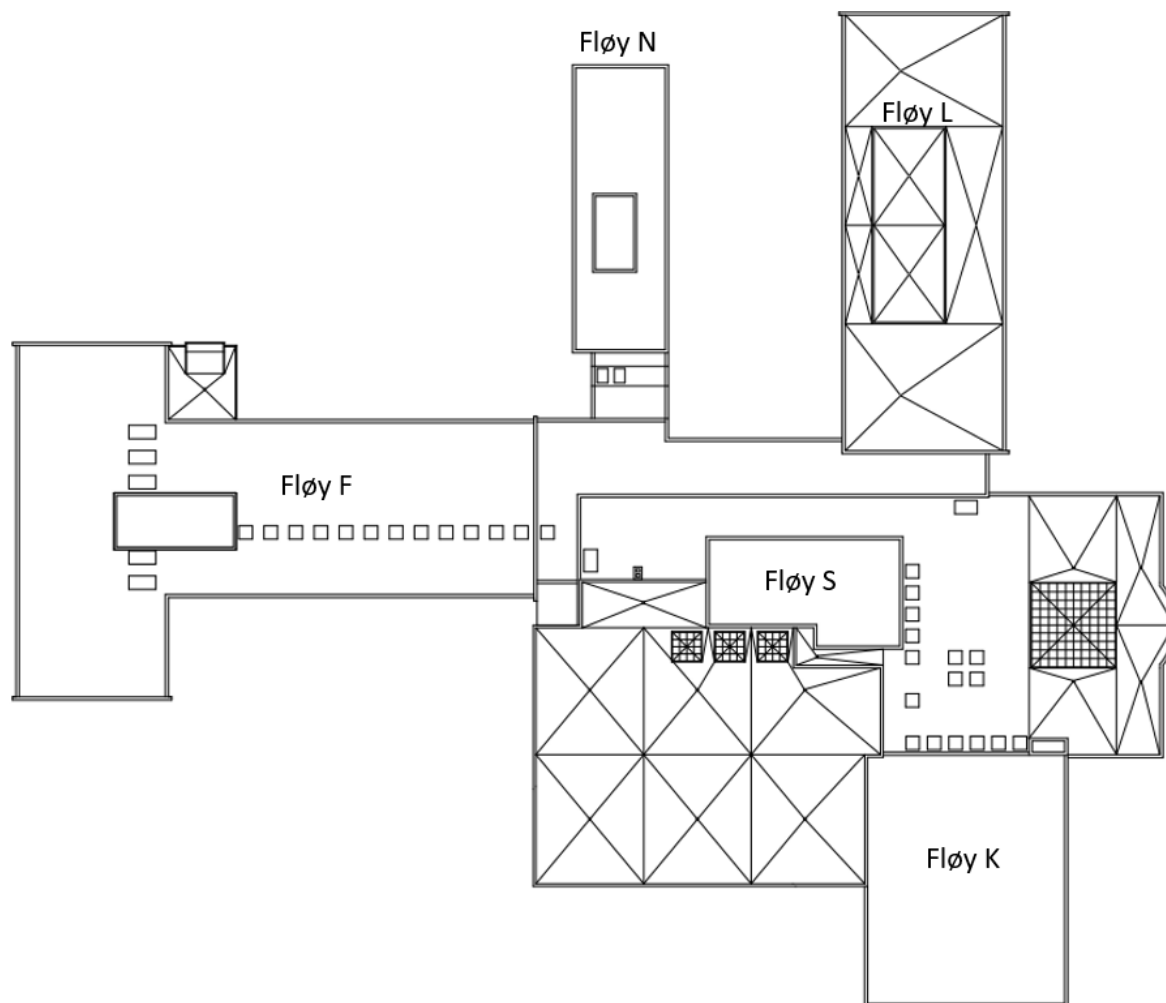
og mest allsidige bygget, og er derfor valgt som utgangspunkt for denne oppgaven. Videre i teksten vil bygget derfor i all hovedsak omtales som hovedbygningen.

Informasjon om bygningskategori, byggeår, areal og energi- og oppvarmingskarakter for hovedbygningen, er gitt i Tabell 1. Hovedbygningen er kategorisert som undervisningsbygg, er i underkant av 50 år gammelt, har et relativt stort bruksareal og middels dårlig energi- og oppvarmingskarakter. Siden bygget har flere bruksområder, er det hensiktsmessig å bruke som utgangspunkt for problemstilling i denne oppgaven.

Tabell 1: Oversikt over bygningskategori, byggeår, bruksareal, og energi- og oppvarmingskarakter for USN Campus Notodden.

Bygg	Bygningskategori	Byggeår	Areal (BRA)	Energikarakter/ oppvarmingskarakter
USN Campus Notodden, hovedbygningen	Bygning med integrerte funksjoner, auditorium, lesesal o.l.	1975	19 304	C/gul

Bygget er delt inn i fem fløyer, fløy F, N, L, S og K. Figur 1 illustrerer bygget sett ovenfra, merket med alle de fem fløyene.



Figur 1: Oversiktsbilde av bygget med alle fløyene.

Hovedbygningen er primært et undervisningsbygg, men inkluderer også blant annet kontorer, svømmehall, garderobes, og en del tekniske rom. Bygget er tilknyttet fjernvarme, men bruker i tillegg en del elektrisitet til oppvarming.

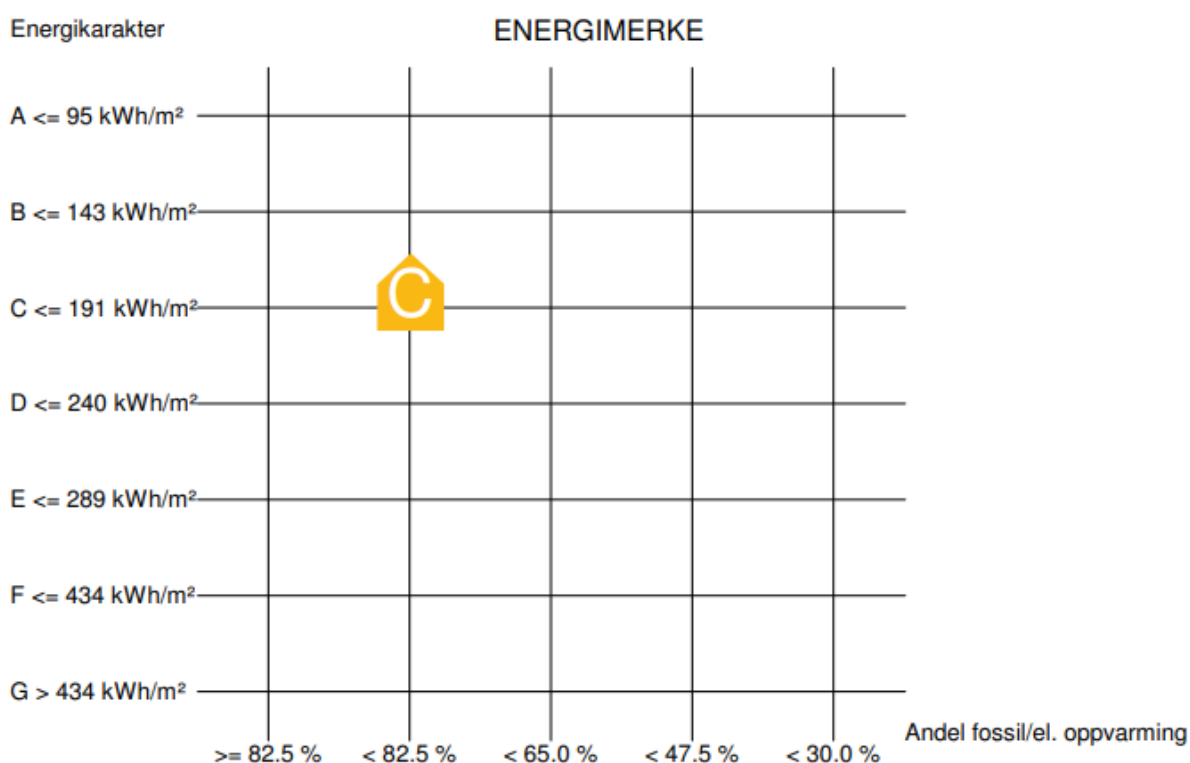
2.2 Energimerke

Det foreligger dokumentasjon på energimerke samt årssimulering av energibehov fra 2012. Som en del av metodikken i denne casen, skal dette oppdateres etter dagens standard. Figurer av energimerke og utvalgte grafer fra årssimuleringen, inkludert forklaring av diverse parametere, er presentert her.

Energimerke fra 2012 er illustrert i Figur 2. Energimerket består av en sammensatt vurdering av energi- og oppvarmingskarakteren. Energikarakteren er en bokstavskala fra A-F, der A er best, som bestemmes av andelen energi som benyttes per areal, gitt i kWh/m². Bygget har et

estimert energibruk på 183 kWh/m², som tilhører øvre halvdel av skalaen. Dette tilsvarer energikarakteren C.

Oppvarmingskarakteren er en fargeskala, som bestemmes utfra andelen oppvarming som kommer fra elektrisitet eller fossil energi, gitt i posent. Siden bygget benytter elektrisitet som hovedkilde til oppvarming, blir oppvarmingskarakteren tilsvarende ganske dårlig. Hovedbygningen har fjernvarme, men bruker dette primært til ventilasjon. Det gir likevel litt uttelling på oppvarmingskarakteren, og den settes dermed til gul og 67,3% elektrisitet eller fossil energi. Dette er på nedre halvdel av skalaen.



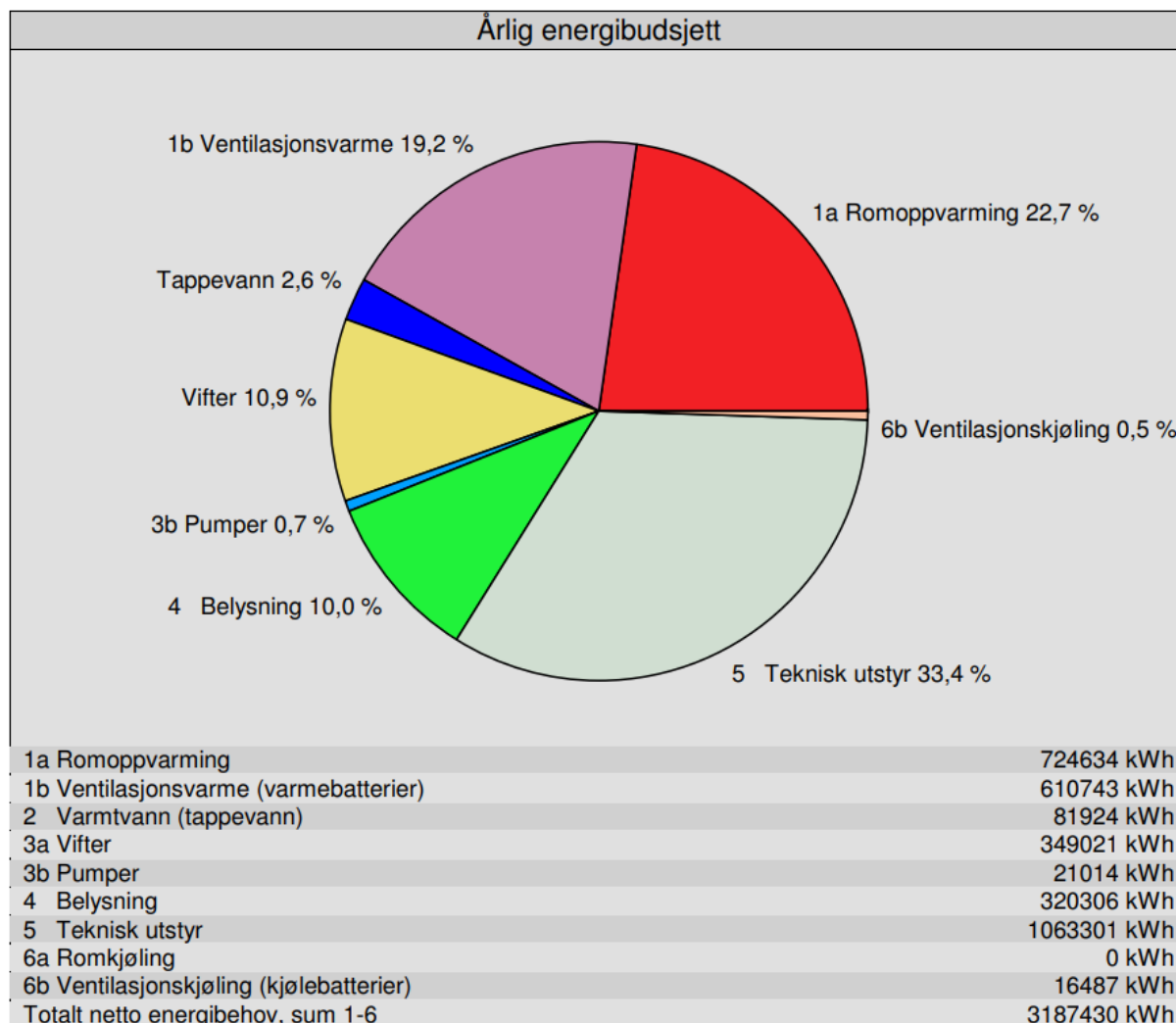
Beregnet levert energi normalisert klima: 183 kWh/m²
 Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 67.3 %

Beregnet levert energi	
Beskrivelse	Verdi
Energibruk normalisert klima	183 kWh/m ²
Energibruk lokalt klima	183 kWh/m ²

Figur 2: Energimerke fra 2012.

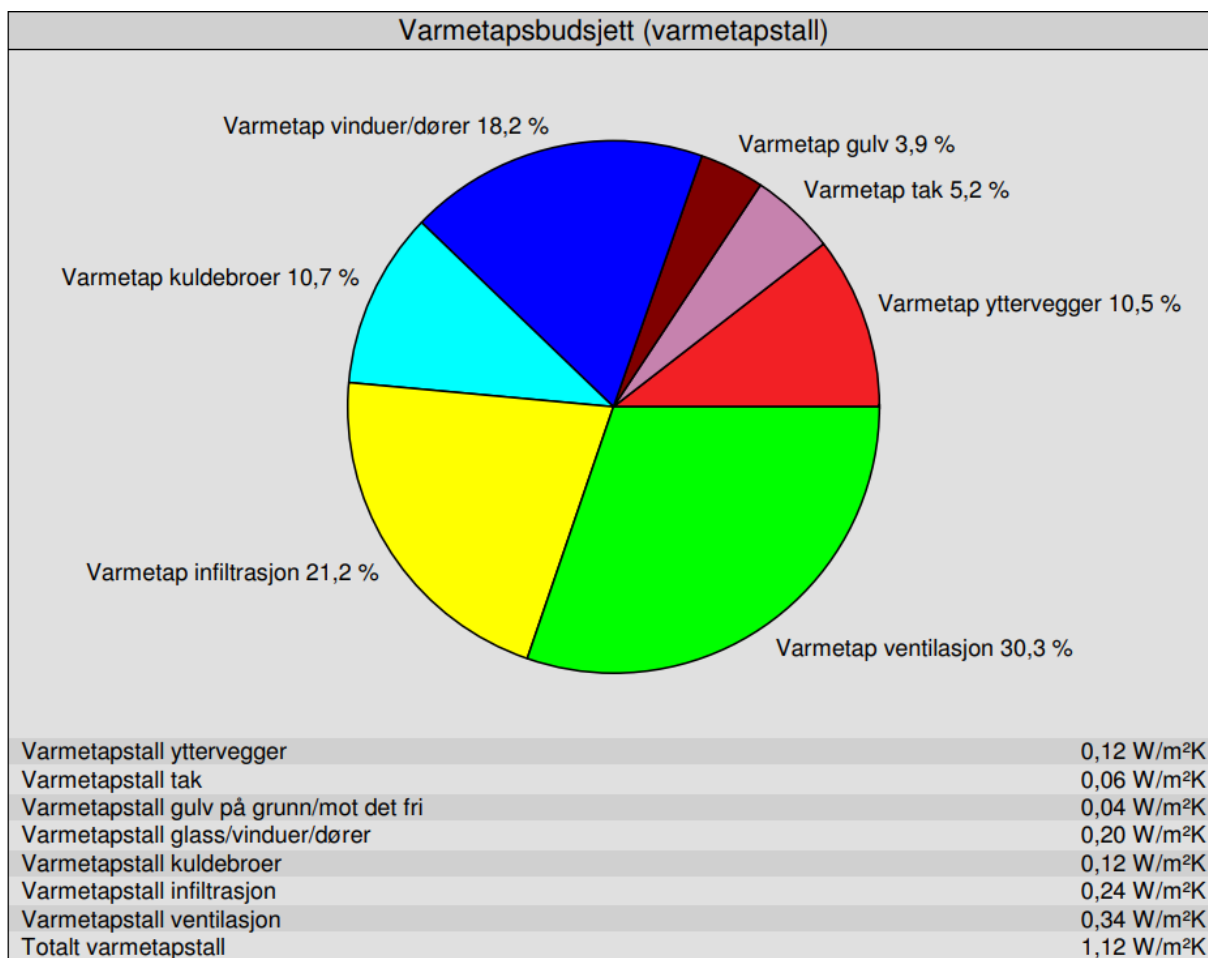
Årssimuleringen er hentet fra samme fil, og baserer seg dermed på de samme dataene, som energimerket. Simuleringen er et resultat av en kalibrering mot virkelige, målte verdier, og

består av et årlig energibudsjett fordelt på ulike energiposter. Energebudsjettet er videre grafisk fremstilt, i Figur 3. Det fremkommer av figuren at de største andelene av årlig energibudsjett per i dag går med til teknisk utstyr, romoppvarming og ventilasjon.



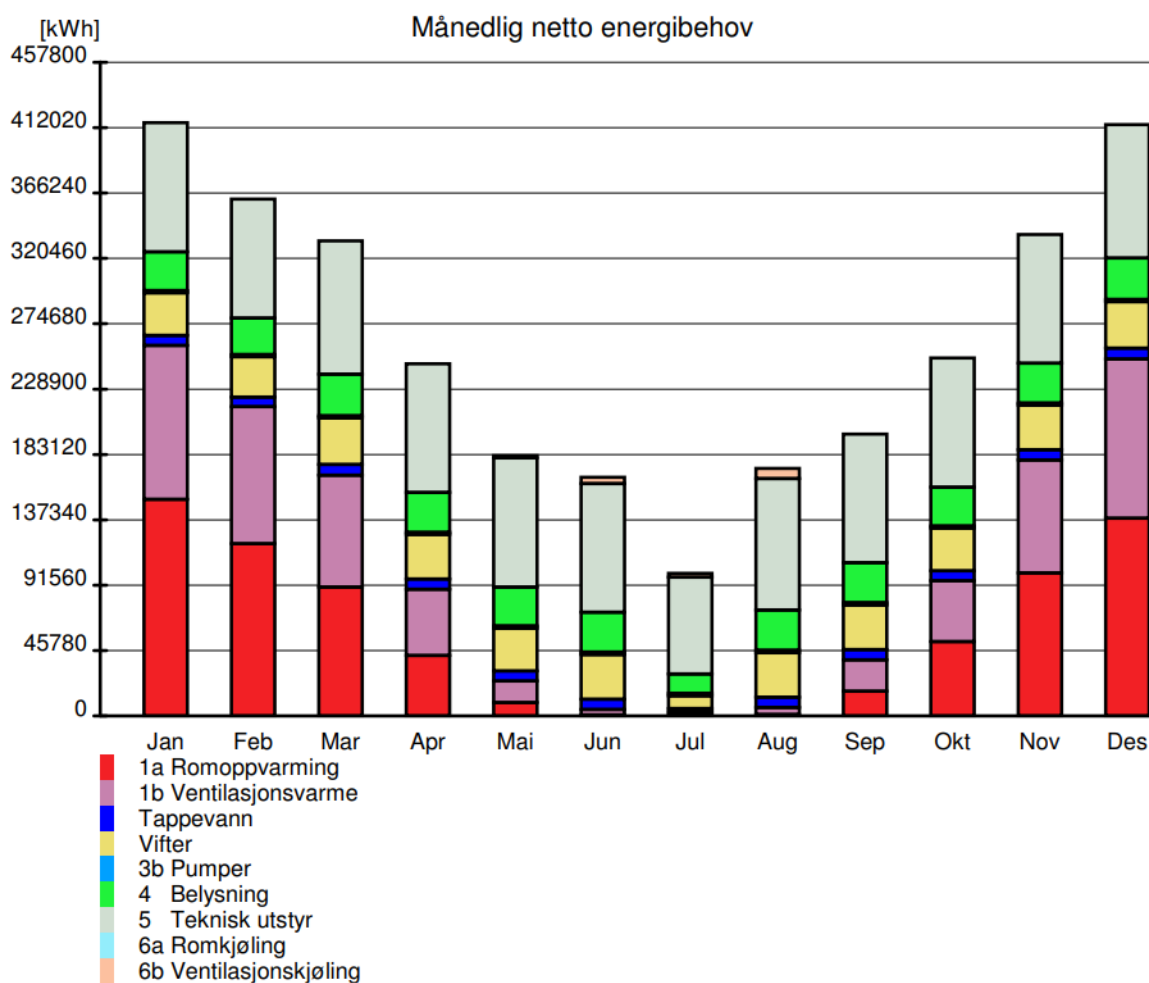
Figur 3: Prosentvis oversikt over årlig energibudsjett, hentet fra årssimulering fra 2012.

Varmetapsbudsjettet er grafisk fremstilt i Figur 4, og tar utgangspunkt i varmetapstallet til de forskjellige elementene. Varmetapstallet er beregnet utfra summen av varmetransportkoeffisienten for transmisjon, infiltrasjon og ventilasjon dividert på oppvarmet areal (Standard Norge, 2014). Det fremkommer av figuren at ventilasjon, infiltrasjon og dører og vinduer er de største kildene til varmetap.



Figur 4: Prosentvis oversikt over varmetapsbudsjett, hentet fra årssimulering fra 2012.

Det månedlige energibehovet er grafisk fremstilt i Figur 5, med de samme elementene som i Figur 3. Det månedlige energibehovet er presentert med energibehov i kWh vertikalt og alle årets tolv måneder horisontalt. Det fremkommer av figuren at månedlig energibehov er jevnt synkende fra januar til juli, og tilsvarende jevnt økende fra juli til desember, med lavest energibehov i juli. Tatt i betraktning at bygget hovedsakelig disponeres til undervisning og det derfor er lite aktivitet midt på sommeren, stemmer dette resultatet bra.



Figur 5: Månedlig netto energibehov, hentet fra årssimulering fra 2012.

2.3 Teknologi

Teori om teknologier som vurderes videre i oppgaven, er presentert i denne delen. Kapitlet er delt opp i underkapittel for hver teknologi, der hvert delkapittel inneholder kort om teknologiens virkemåte og forskjellige bruksområder.

2.3.1 Varmepumpe

På generelt grunnlag, utnytter en varmpumpe energi til kjøling eller oppvarming. Energien som utnyttes, hentes fra for eksempel luft, jord, vann eller fjell. Det finnes tre forskjellige typer varmepumpeteknologier: luft-til-luft, luft-til-vann og væske-til-vann. Luft-til-luft er den enkleste teknologien og vanligste typen, og fungerer kort fortalt ved at den utnytter energien i uteluften til varme som pumpes ut innendørs (Enova, 2016a). En luft-til-vann-varmpumpe utnytter også energi fra luften, men leverer energien som vannbåren varme gjennom radiatorer, vannbåren gulvvarme eller til tappevann (Enova, u.d.-b). En væske-til-vann-

varmepumpe skiller seg ut fra de to andre typene ved at den utnytter energi fra jord, fjell eller vann, og ikke luft. Sammenlignet med en luft-til-luft-varmepumpe, som utnytter temperaturen fra uteluften, er dette langt mer temperaturstabile energikilder. I likhet med for luft-til-vann-varmepumpe, leveres energien som vannbåren varme. Denne varianten har høyere investeringskostnader enn de to andre variantene, men er også mer effektiv og vil gi en høyere årlig energibesparelse enn de to andre (Enova, 2016b).

I denne oppgaven er bergvarmepumpe den mest aktuelle typen væske-til-vann-varmepumpe. I motsetning til en luft-til-luft-varmepumpe som henter energi fra uteluften, utnytter bergvarmepumpen energien fra bakken ved hjelp av energibrønner som henter ut energien fra fjellet (varmepumpeinfo, 2022). Brønnene bores mange meter ned i fjellet, der temperaturen er stabil året rundt, og benytter varmen fra fjellet til å varme opp væsken som sirkulerer rundt i kollektorer i brønnene. Varmepumpen distribuerer deretter den oppvarmede væsken i energibrønnene til det vannbårne varme-/kjøleanlegget i bygget, som videre distribuerer varmen/kjølingen ut i bygget (varmepumpeinfo, 2022). Sammenlignet med luft-til-luft-varmepumper, som yter betydelig dårligere i kalde temperaturer, er væske-til-vann-varmepumper godt egnet i slikt klima, på grunn av den stabile energikilden (Magnussen et al., 2016).

For at væske-til-vann-varmepumpen skal driftes jevnere, kan det være hensiktsmessig å kombinere den med en akkumulatortank (Enova, 2018). Akkumulatortanken lagrer varmt vann fra varmepumpen, slik at det kan benyttes på et senere tidspunkt. Den har evnen til å lagre det varme vannet over lang tid uten spesielt mye varmetap. Dette bidrar til at effektbelastningen blir mer jevnt fordelt over døgnet, fordi varmtvannet fra akkumulatortanken kan benyttes for eksempel i de tidsrommene hvor strømprisen er ekstra høy. Det kan i tillegg fungere som et reservelager eller som spisslast i perioder hvor varmepumpen ikke strekker til (Enova, 2018).

Ytelsen til en varmepumpe måles i COP, som står for Coefficient of Performance, og er forholdet mellom energien varmepumpen leverer og energien den bruker (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2013). For at varmepumpen skal være effektiv, må COP-en være minimum 1. Ved COP-verdier under 1, bruker varmepumpen mer energi enn den leverer, og da er den ikke spesielt energieffektiv. Ifølge IEA (Eisenstraut & Brown, 2014) har luft-til-luft-varmepumper vanligvis en COP på mellom 2 og 4, mens væske-til-vann-

varmepumper ligger på mellom 3 og 5. I Sverige, som er det landet med mest likt klima som Norge i IEAs rapport, har luft-til-luft-varmepumper en COP på mellom 2 og 3, mens væske-til-vann-varmepumper har en COP på mellom 3 og 6.

2.3.2 Solceller

En solcelle konverterer solinnstråling til elektrisk energi ved hjelp av fotoelektrisk effekt (Gevorkian, 2017). Når lysstrålene (fotoner) fra sola treffer solcellen, frigjøres elektroner som tiltrekkes mot en positivt ladet plate, og det dannes strøm. Flere solceller kan kobles sammen i serie eller parallell og danne en solcellemodul. Flere solcellemoduler kan deretter kobles sammen og danne et solcelleanlegg, som kan forsyne bygninger med strøm (Gevorkian, 2017; Smets et al., 2016). Det skilles mellom to typer solcelleanlegg, stand alone og grid connected (Twidell & Weir, 2015). Et stand alone-anlegg er ikke tilkoblet strømmettet, men har gjerne batterier for å lagre overskuddsstrømmen. Dette er mye brukt på hytter uten tilkobling til strømmettet. Et grid connected-anlegg er tilkoblet strømmettet, og overskuddsstrømmen blir overført tilbake til nettet. Et solcelleanlegg har en forventet levetid på om lag 20-30 år og en virkningsgrad på 12-25% (Twidell & Weir, 2015).

Ved installasjon av solcelleanlegg på større bygninger, er det noen vurderinger som må gjøres. Først og fremst må lokasjon for anlegget bestemmes, noe som i hovedsak betyr om det skal monteres på fasade/vegger eller tak. Ved bygningsintegreerte installasjoner på fasade, må solforhold og allerede eksisterende elementer, som vinduer og dører, tas med i betraktning. Dersom anlegget monteres på tak, må en eventuell takvinkel tas med i vurderingen. Dersom taket er flatt, som ofte er tilfelle for større bygg, monteres i stedet modulene med en liten vinkel i forhold til horisontalplanet. Deretter må elementer som potensielt kan skygge for solcellene identifiseres. Skygning kan påvirke produksjonen fra solcellene i stor grad, og er derfor viktig å kartlegge på forhånd. Moduler som er lokalisert i skyggesoner, bør vurderes fjernet. Grunnen til det er at dersom hele eller deler av en modul skygges, vil modulen sannsynligvis kobles helt ut og ikke generere noe strøm. Dersom modulen er koblet i serie med flere andre moduler, vil dette føre til at resten av strengen heller ikke genererer noe strøm.

For solceller på flatt tak, må det vurderes om det er mest hensiktsmessig å montere modulene i retning øst/vest eller sør. Tradisjonelt sett har sørvendte anlegg vært ansett som det mest

effektive, fordi det gir høy produksjon midt på dagen på sommeren (Solcellespesialisten, u.d.). I dag er øst-/vestvendte anlegg det vanligste i Norge, fordi det gir en jevnere energiproduksjon utover dagen og året. Anlegget vil være både mest energieffektivt og arealbesparende ved å montere annenhver rad med øst og vestvendte liggende moduler, med en helningsvinkel på 10 grader i forhold til horisontalplanet (Solcellespesialisten, u.d.). En vinkel på 10 grader gjør at modulene kan plasseres forholdsvis tett uten å skygge hverandre. Ved større vinkler må modulene plasseres med større avstand for å unngå skygning, og det er dermed mindre arealeffektivt (Solcellespesialisten, u.d.).

Generelt sett har solceller bedre ytelse i kalde temperaturer (Dubey et al., 2013), så klimaet i Norge er derfor godt egnet. Ulempen med klimaet i Norge, er at det er få soltimer i vinterhalvåret, når det er størst forbruk av strøm. I sommerhalvåret er det derimot mange soltimer som kan utnyttes til strømproduksjon. I motsetning til en del andre land, som gjerne bruker en del olje og gass til matlaging og oppvarming, er strøm den primære energikilden til disse formålene i Norge. Solceller kan derfor være hensiktsmessig, også i sommerhalvåret når strømforbruket er en del lavere enn resten av året.

Strømmen som produseres gjennom et solcelleanlegg, er likestrøm (DC). I norske stikkontakter benyttes 230V vekselstrøm (AC), så solenergien er med andre ord ikke direkte overførbart til stikkontakten. For å anvende denne strømmen må den derfor først konverteres til vekselstrøm ved hjelp av en inverter/veksleretter. Det skilles mellom to typer invertere, modulinverter og strenginverter (Sendy, 2021). Det vanligste og mest lønnsomme er strenginvertere, som er en felles inverter for flere moduler koblet sammen i en streng. Modulinvertere vil si at hver modul har en egen inverter, og er både mer kostbart og krever totalt sett ofte mer vedlikehold enn strenginvertere (Sendy, 2021).

Den spesifikke ytelsen til et solcelleanlegg måles i kWh/kWp, der kWp er den maksimale effekten ved standard test conditions (Zhang, 2017). I praksis har ingen solcelleanlegg denne maksimale ytelsen (angitt ved kWp), fordi eksterne faktorer som geografisk lokasjon, solforhold, temperatur, orientering på modulene og lignende vil påvirke hvor mye anlegget produserer. kWh/kWp sier derfor noe om hvor mye anlegget faktisk produserer i løpet av et år i forhold til den totale maksimale teoretiske effekten til antall installerte moduler (Zhang, 2017).

Det vil forekomme tap i noen av prosessene i forbindelse med produksjon og konvertering av solenergien, for eksempel vil inverteren ikke ha 100% virkningsgrad, og det vil være tap i ledninger.

2.3.3 Belysning

For å få lys i en lampe, kreves en lyskilde. Det finnes flere typer lyskildeteknologier. I boliger har den vanligste vært forskjellige typer glødetrådlyspærer, som er den eldste og mest vanlige typen, mens det i næringsbygg har vært mest vanlig med lysrørmaturer, og utendørs til for eksempel gatelys har forskjellige typer gasslyskilder vært vanligst. LED-lyskilder, som er en nyere og mye mer energieffektiv teknologi er nå i ferd med å ta over på alle bruksområdene.

En glødetrådlyspære består av en metalltråd, og fungerer ved at motstanden i metalltråden utvikler varme når den blir tilført spenning, slik at den begynner å gløde (Rosvold, 2019b). Den vanligste typen glødetrådlyspære, er halogenpæren. Navnet kommer av at glasskolben rundt glødetråden er tilsatt en gassblanding som inkluderer et halogent grunnstoff. Denne gassblandingen hindrer glødetråden i å oksidere og brenne opp raskt, ved at de løse partiklene fra glødetråden fanges opp og føres tilbake. Dette fører til at svarte på innsiden av lyspæren unngås, i tillegg til at lyspæren får lengre levetid (Rosvold, 2019a).

Gassutladningsrør er en kategori lyskilder med flere varianter av gass med forskjellige egenskaper (Holtebekk et al., 2018). Til å begynne med var det vanlig å bruke edelgasser, men disse ga lite lysutbytte og det ble etter hvert utviklet andre varianter med bedre lysutbytte, hovedsakelig basert på at lyskildene er fylt med metalledamp. De metallene som skal brukes må fordampe lett, og de vanligste har derfor vært natrium og kvikksølv. Lyskildene tenes ved at metallet varmes opp til det begynner å fordampe, for eksempel ved en egen tenn- eller starterenhet (Holtebekk et al., 2018).

Vanlige lysrør som vi kjenner fra kontorbygg, skoler m.m. er en variant av gassutladningsrør, ofte basert på kvikksølv (Holtebekk et al., 2018). Ettersom kvikksølv i utgangspunktet sender ut relativt lite lys, er lysrørene utstyrt med et belegg med såkalte fosforer, som endrer sammensetningen av lyset og får frem bedre egenskaper. Lysrør har etter hvert blitt stadig bedre på fargegjengivelse, men er fortsatt dårligere på dette enn dagslys og tradisjonelle glødelamper (Holtebekk et al., 2018).

Utendørs er det ofte benyttet enklere varianter med høyere lysutbytte, og lavere krav til fargegjengivelse o.l. (Holtebekk et al., 2018). Natrium-lavtrykkslamper er en slik variant, som kjennetegnes ved at den gir gult lys. Disse har gjerne blitt brukt til veilys (Holtebekk et al., 2018). Høytrykks-natriumlamper er en annen variant, som også gir høyt lysutbytte, men som gir et hvitere lys, og er egnet til sportsanlegg, industrilokaler m.m. (Holtebekk et al., 2018).

LED er en forkortelse for Light Emitting Diode, eller lysdiode på norsk (Linder, 2021). En diode er en halvleder som kun leder strøm i en retning. En LED-lyspære fungerer derfor ved at energi i form av elektromagnetisk stråling frigjøres når strøm sendes gjennom halvlederen, og kommer ut som synlig lys (Linder, 2021). I motsetning til de tradisjonelle glødetrådlyspærene, som bruker rundt 95% av den tilførte energien til å avgi varme til omgivelsene og kun rundt 5% på å avgi lys, bruker en LED-lyspære rundt 80% av den tilførte energien til å avgi lys (Rosvold, 2021). Dette betyr at en LED-lyspære krever mye lavere effekt enn en tradisjonell glødetrådlyspære. LED-lyspæren har i tillegg mye lengre levetid, og er mer holdbar, enn en glødetrådlyspære (Rosvold, 2021).

2.3.4 Ventilasjonsanlegg

Formålet til ventilasjonsanlegget i et bygg er å supplere luften inne med ny luft utenfra, og samtidig trekke ut den gamle luften, slik at bygget hele tiden har frisk luft. Det finnes flere typer ventilasjonsanlegg, men det vanligste og best egnede i større næringsbygg, er balansert ventilasjon (Lavenergiprogrammet, 2021). Et balansert ventilasjonsanlegg har hele tiden like mye tilluft (ny luft utenfra) og avtrekk (utgående brukt luft). For å varme opp tilluften, benyttes gjerne en varmegjenvinner/varmeveksler, som bruker energien fra den varme brukte luften til å varme opp tilluften (Lavenergiprogrammet, 2021). Det skilles mellom CAV-anlegg og VAV-anlegg, der CAV og VAV er forkortelser for henholdsvis Constant Air Volume og Variable Air Volume. VAV-anlegg er behovsstyrte ventilasjonsanlegg og brukes i bygninger/rom med varierende behov for ventilasjon i driftstiden, grunnet for eksempel varierende personbelastning og varmebehov (ITBguiden, 2018). Det betyr at luftmengdene kan reguleres for hvert enkelt rom utfra behov, men medfører at det må installeres flere sensorer som styrer luftmengde ut fra behov. Slike sensorer kan for eksempel være bevegelsessensorer, CO₂-følere og andre typer sensorer som registrerer aktivitet og at det er behov for å øke luftutskiftingstakten.

CAV-anlegg er enklere enn VAV-anlegg, fordi de styres ut fra konstant belastning og varmebehov i driftstiden, og dermed har konstante luftmengder (ITBguiden, 2018). Dette er typisk for bygninger/rom som totalt sett har ganske jevn belastning og varmebehov. CAV-anlegg kan styres av enkle styringsmetoder, som for eksempel kalenderstyring, nattsinking eller regulering i forhold til utetemperaturer (ITBguiden, 2018).

Varmegjenvinnere

Det finner flere forskjellige typer varmegjenvinnere. Roterende varmegjenvinner er den vanligste og mest effektive typen, med en virkningsgrad på 80-85% (Swegon, u.d.). Den fungerer ved at mange små luftkanaler i et roterende hjul varmes opp av avtrekksluften. Siden tilluft og avtrekksluft går gjennom de samme hullene, vil varmen fra avtrekksluften overføres til tilluften. To andre typer som har ganske lik virkemåte, er kryssvarmeveksler og motstrømsvarmeveksler. I en kryssvarmeveksler, danner mange tynne aluminiumsplater kryss i luftkanalene. Den varme avtrekksluften varmer da opp platene, som overfører varmen til tilluften. Virkningsgraden til en kryssvarmeveksler er på ca. 65% (Swegon, u.d.). En motstrømsvarmeveksler fungerer på samme måte som kryssvarmeveksleren, men har i tillegg et parallelt avsnitt, slik at kontaktflaten blir større og virkningsgraden litt bedre (Swegon, u.d.). Virkningsgraden til en motstrømsvarmeveksler kan bli opptil 90%, men er i praksis bare 75-80% (Lavenergiprogrammet, 2021). Mens roterende varmeveksler er den vanligste og mest effektive typen i dag, er det vanlig at eldre ventilasjonsanlegg har kryssvarmeveksler.

Vifter

Det er primært to forskjellige typer vifter som benyttes i et ventilasjonsaggregat – reimdrevne vifter eller direktdrevne vifter (Industrial Fans Direct, 2013). En reimdrevet vifte er ikke koblet direkte sammen med motoren, men via en eller flere reimer, som gjør at viften roterer. En direktdrevet vifte er derimot koblet direkte på motorens aksling, slik at viften roterer når motoren går. Reimdrevne vifter var vanligere før, og det er primært direktdrevne vifter i nye ventilasjonsanlegg. Hovedårsaken til dette er at de direktdrevne viftene er langt mer energieffektive og krever mindre vedlikehold. Det skyldes at reimene i en reimdrevne vifte skaper mye friksjon, slik at virkningsgraden går ned. I tillegg fører friksjonen til slitasje, som krever utskiftning av reimene. Direktdrevne vifter er derfor å foretrekke fra et energioptimeringsperspektiv (Industrial Fans Direct, 2013).

Med utgangspunkt i alle viftene i et ventilasjonsanlegg, brukes SFP-faktoren som et mål på hvor mye effekt som kreves for å flytte luft gjennom ventilasjonsanlegget (Lavenergiprogrammet, 2020). SFP er en forkortelse for Specific Fan Power, eller spesifikk vifteeffekt på norsk. Ventilasjonsanlegget er mer energieffektivt, jo lavere SFP-faktoren er (Lavenergiprogrammet, 2020).

2.4 Økonomi

Ovennevnte kapittel tar for seg en oppsummering av de økonomiske prinsipper som videre er med på å underbygge resultatene kvantitativt.

2.4.1 Netto nåverdi (NNV)

Netto nåverdi er et kvantitativt/økonomisk kriterium som benyttes for å vurdere om et prosjekt er lønnsomt eller ikke. Netto nåverdi kan defineres som forskjellen/differansen mellom et prosjekts verdi og kostnadene knyttet til prosjektet (Brealey et al., 2017). Et prosjekt betegnes som lønnsomt og verdt å investere i dersom netto nåverdien er positiv.

Netto nåverdien kan beregnes ved hjelp av følgende formel (Brealey et al., 2017)

$$NNV = C_0 + \frac{C_1}{1+r} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{C_N}{(1+r)^N} = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+r)^t}, \quad (1)$$

der C_0 er investeringskostnaden, C_N er de diskonterte kontantstrømmene over et gitt tidsperspektiv, og r er kalkulasjonsrenten. Summen av de diskonterte kontantstrømmene kalles nåverdien (NV). Kalkulasjonsrenten, r , er en kombinasjon av inflasjon og risikoen knyttet til prosjektet (Brealey et al., 2017).

2.4.2 Levelized cost of electricity/energy (LCOE)

Levelized cost of energy kan på norsk betegnes som energikostnad over levetiden. LCOE er en kvantitativ metode som ofte benyttes for å sammenligne flere alternative energiteknologier (Kreith & Goswami, 2007). LCOE er den verdien på en energiteknologi som sørger for å dekke alle kostnader, samtidig som den genererer profitt. Det kan med andre ord ses på som den gjennomsnittlige totalkostnaden ved å bygge og drifte teknologien per enhet generert elektrisitet over den totale levetiden (Corporate Finance Institute, u.d.). LCOE kan beregnes ved hjelp av følgende formel (Corporate Finance Institute, u.d.)

$$LCOE = \frac{\sum \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum \frac{E_t}{(1+r)^t}}, \quad (2)$$

der I_t er investeringskostnadene i perioden t , M_t er vedlikeholdskostnader i perioden t , F_t er kostnader knyttet til drivstoff i perioden t , dersom det er behov for det, E_t er den totale elektrisitetsproduksjonen i perioden t , r er diskonteringsrenten og N er systemets levetid (Corporate Finance Institute, u.d.). Dette kan forkortes til følgende formel (Kreith & Goswami, 2007)

$$LCOE = \sum_{t=0}^{t=N} \frac{C_t}{(1+r)^t}, \quad (3)$$

der Q_t er energiproduksjonen i perioden t , C_t er de påløpende kostnadene i perioden t , r er diskonteringsrenten og N er systemets levetid (Kreith & Goswami, 2007).

2.4.3 Graddagstall og energigradtall

Graddagstall er et mål på oppvarmingsbehovet i et bygg, og defineres ved å finne differansen mellom døgnmiddeltemperaturen og en basistemperatur på 17°C (Enova Kunnskap, u.d.). 17°C settes som en grense fordi det ved denne døgnmiddeltemperaturen ikke vil være behov for oppvarming. For å sammenligne temperaturene og oppvarmingsbehovet et år med tidligere år, kan man finne energigradtallet ved å summere alle graddagstallene. Energigradtallet vil være høyere jo kaldere klimaet er (Enova Kunnskap, u.d.).

2.5 Krav og forskrifter

Det foreligger en del krav og forskrifter som må følges når bygninger bygges eller renoveres. Disse forskriftene oppdateres med jevne mellomrom, slik at en eldre bygning ikke nødvendigvis følger dagens forskrift. Dette benyttes også i forbindelse med energimerking av bygg.

2.5.1 Byggteknisk forskrift (TEK17)

TEK17 er en forskrift om tekniske krav for byggverk (Direktoratet for byggkvalitet, 2017), utarbeidet av Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), et nasjonalt kompetansesenter på bygningsområdet (Direktoratet for byggkvalitet, 2022). DiBKs to hovedoppgaver er å sikre

miljøvennlige og tilgjengelige boliger og bygg, samt forutsigbare regler for effektiv ressursbruk i byggeprosessen (Direktoratet for byggkvalitet, 2022).

TEK17 består av 17 kapitler med krav som må være oppfylt for at et bygg skal oppføres lovlig i Norge (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Forskriften tar for seg krav til blant annet dokumentasjon, grad av utnyttning, sikkerhet mot naturpåkjenninger, ytre miljø, konstruksjonssikkerhet, sikkerhet ved brann, inneklime og helse, og energi (Direktoratet for byggkvalitet, 2017).

2.5.2 NS 3031

NS 3031:2014 er en rapport over norske standarder for beregning av bygningers energiytelse (Standard Norge, 2014). Rapporten tar for seg blant annet termer og inndata som benyttes i energiberegninger, metode for ulike energiberegninger, energikostnader, og CO₂-utslipp knyttet til ulike teknologier. Den nyeste versjonen av rapporten er fra 2021, men det er standardene i den forrige versjonen, fra 2014, som benyttes i denne oppgaven. Det skyldes at det fortsatt er denne som benyttes som bakgrunn for energimerking av bygninger i programmet Simien (Standard Norge, 2014).

2.6 Klimapolitikk

Den globale gjennomsnittstemperaturen har økt med 1,1 °C siden det som betegnes som førindustriell tid (Miljøstatus/Miljødirektoratet, 2021). Denne økningen skyldes hovedsakelig menneskeskapte utslipp av klimagasser som følge av industrialiseringen og dermed økt levestandard. Global oppvarming og følgende klimaendringer vil gi alvorlige konsekvenser, som mer ekstremvær, økende nedbør, havis og isbreer smelter, og havet og havnivået blir henholdsvis varmere og stiger som følge av dette (Miljøstatus/Miljødirektoratet, 2021). Det er derfor viktigere enn noen gang å bremse denne utviklingen, slik at konsekvensene ikke blir altfor store. Internasjonale avtaler, nasjonale målsettinger og politiske virkemidler er alle bidragsytere for å unngå at den globale oppvarmingen går for langt.

2.6.1 Internasjonalt

I internasjonal sammenheng er det formulert og underskrevet avtaler og mål som er gjeldende for de fleste av verdens land. En av de mest kjente avtalene er Parisavtalen som ble vedtatt i slutten av 2015, og trådte i kraft i slutten av 2016 (FN-sambandet, 2020). Målet med

Parisavtalen er at alle verdens land, i samarbeid, skal begrense klimaendringene (FN-sambandet, 2020). For å nå dette målet er det definert fem hovedpunkter (FN-sambandet, 2020):

1. *Alle land har forpliktelser* (FN-sambandet, 2020): Dette punktet går ut på at alle land er forpliktet til å kutte klimagassutslippene, og ikke bare rike land, slik det var tidligere. Det forventes likevel at rike land bidrar mest. I tillegg skal alle land presentere et mål for hvor mye landet skal kutte, som skal fornyes hvert femte år fra 2020 (FN-sambandet, 2020).
2. *Det skal ikke bli mer enn 2 °C varmere, og helst ikke mer enn 1,5* (FN-sambandet, 2020): Hovedmålet er at den globale gjennomsnittstemperaturen på jorda ikke skal stige mer enn 2 °C i forhold til førindustriell tid innen utgangen av dette århundret. Det er likevel ønskelig å jobbe for å holde det innenfor 1,5 °C (FN-sambandet, 2020).
3. *Landene har en plan for hvordan de skal greie dette* (FN-sambandet, 2020): Målet er at klimagassutslippene når toppen så fort som mulig, og at alle landene skal være klimanøytrale i løpet av andre del av århundret. Sistnevnte innebærer at det ikke slippes ut mer klimagass i atmosfæren enn det er mulig å fange opp igjen eller fjerne (FN-sambandet, 2020).
4. *De rike landene må betale, de mindre rike kan betale* (FN-sambandet, 2020): Dette punktet innebærer at de rike landene er forpliktet til å bidra økonomisk, mens mindre rike land kan velge. Den økonomiske støtten fra de rike landene vil derfor også hjelpe de fattige landene med å kutte sine utslipp (FN-sambandet, 2020).
5. *Alle landene må tilpasse seg klimaendringene* (FN-sambandet, 2020): Dette punktet innebærer at landene skal hjelpe hverandre gjennom kunnskaps- og erfaringsutveksling, samt ved at de rike landene hjelper de fattige landene. I tillegg skal alle landene lage nasjonale klimatilpasningsplaner, og utvikle metoder for å håndtere følgene av naturkatastrofer (FN-sambandet, 2020).

Punktene i Parisavtalen har også flere fellestrekk med FNs bærekraftsmål, som er en felles arbeidsplan for hele verden, bestående av 17 mål og 169 delmål, som sammen skal bidra til å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030 (FN-sambandet, 2022b). I likhet med Parisavtalen, gjelder også FNs bærekraftsmål for alle land i hele verden, uavhengig av økonomisk status (FN-sambandet, 2022b). Det mest relevante bærekraftsmålet

i denne sammenheng, er mål nummer 13 – *Stoppe klimaendringene* (FN-sambandet, 2021). I likhet med Parisavtalen, er innholdet i dette målet basert på målet om å begrense økningen av gjennomsnittstemperaturen til 1,5 °C. For å nå dette målet, legges det vekt på å finne globale løsninger, kutte utslipp, CO₂-fangst og -lagring, satsning på fornybar energi, nye industrielle systemer og endring i infrastruktur. Fem delmål er definert som bidragsyttere til å nå hovedmålet. De tar for seg både store og små tiltak relatert til hovedmålet, som involverer både enkeltpersoner, og det nasjonale og internasjonale samfunnet (FN-sambandet, 2021).

Et av de mest sentrale punktene i EØS-avtalen, som trådte i kraft 1. januar 1994, er klima og miljø (Klima- og miljødepartementet, 2021a). Også her legges det stor vekt på at forpliktende internasjonalt samarbeid er løsningen på de globale utfordringene vi i dag står ovenfor (Klima- og miljødepartementet, 2021a). EØS-avtalen gjelder for EUs indre marked, som består av 27 EU-land i tillegg til Norge, Island og Liechtenstein (Utenriksdepartementet, 2021). EU har som målsetting å oppnå klimanøytralitet i 2050 (Klima- og miljødepartementet, 2021a). Satsningsområdene innenfor miljø- og klimapolitikken, som er omfattet av EØS-avtalen, skal være primære bidragsyttere til å nå dette målet. Som ledd innenfor dette målet, ble landene i EUs indre marked i 2019 enige om en avtale om felles oppfyllelse av utslippsmålene for 2030. Det innebærer at landene er forpliktet til å kutte utslippene i tråd med EUs klimamål innen 2030 (Klima- og miljødepartementet, 2021a). EUs overordnede klimamål for 2030 er å redusere utslippene med 55% (Klima- og miljødepartementet, 2021b). Ulike kvoteordninger, som EUs kvotehandelssystem, skal bidra til å nå EUs klimamål og oppfylle forpliktelsene i Parisavtalen (Miljødirektoratet, 2019b). Gjennom kvotehandelssystemet, begrenses det årlige CO₂-utslippet fra industrien og vil over tid reduseres mer og mer for hvert år. Dette skjer som et resultat av et årlig tak på hvor mye CO₂ som kan slippes ut, samt klimakvoter der en klimakvote gir tillatelse til utslipp av ett tonn CO₂ (Miljødirektoratet, 2019b).

2.6.2 I Norge

Norges miljø- og klimapolitikk innenfor dette feltet baserer seg i stor grad på EU-regelverket, som er innlemmet i EØS-avtalen. Det er i tillegg underbygd av overnevnte mål og avtaler, som Parisavtalen og FNs bærekraftsmål. Norges klimamål er å redusere utslippet av klimagasser med 50-55% innen 2030, sammenlignet med 1990-nivå (Klima- og miljødepartementet, 2021b). Dette er i tråd med Parisavtalen og EUs klimamål (gjennom EØS-avtalen). Klimamålet

for 2030, samt målet om klimanøytralitet i 2050 er stadfestet i Norges klimalov, som danner grunnlaget for norsk klimapolitikk (Klima- og miljødepartementet, 2021b).

Den Norske Regjering, ved Klima- og miljødepartementet har utformet en klimaplan for perioden 2021-2030 (Klima- og miljødepartementet, 2021b), som skal bidra til at Norge når klimamålet. Klimaplanen inneholder lover, reguleringer og støtteordninger. Disse kan være klimakvoter og -avgifter, satsning på klimavennlige transportløsninger og forbudet mot oljefyring som trådte i kraft fra 2020 (Klima- og miljødepartementet, 2021b).

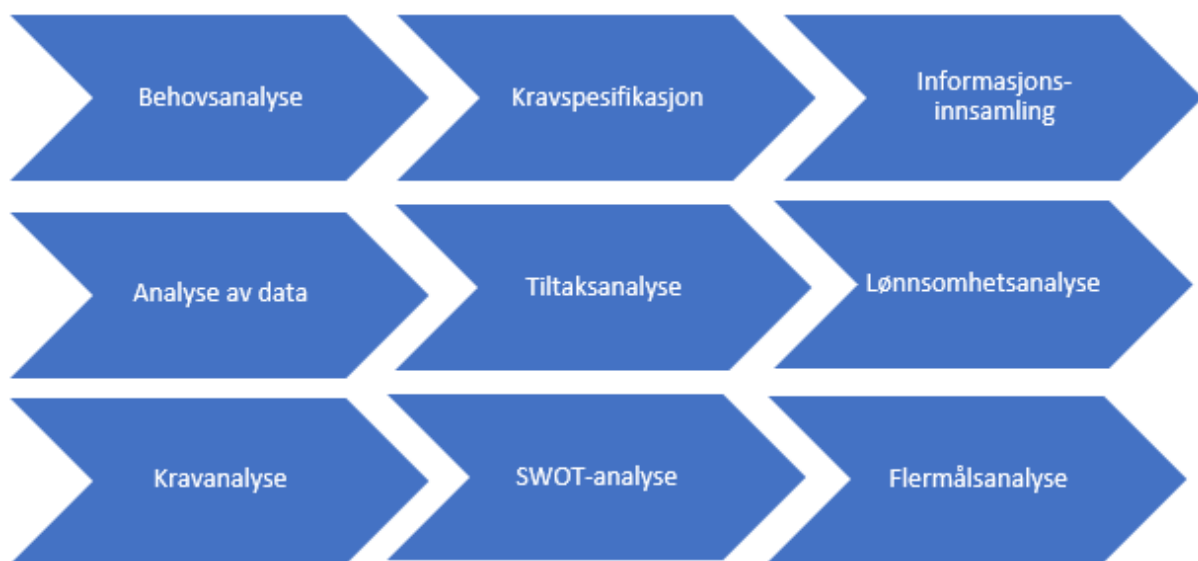
Det er flere eksempler på offentlige støtteordninger som skal øke interessen for, og gjøre det mer attraktivt med, miljøvennlige løsninger. Enova har støtteordninger både for bedrifter og privatpersoner. Privatpersoner kan få støtte til miljøvennlige energiløsninger, som blant annet væske-til-vann-varmepumpe, solceller, solfangere, smarte styringssystemer og elektriske kjøretøy av typen moped og motorsykkel (Enova, u.d.-a). For bedrifter gis det støtte til markeds- og teknologiutvikling (Enova, u.d.-c). Eksempler på markedsutvikling som kan motta støtte er blant annet fjernvarme, varmesentraler, utslippsfrie anleggsmaskiner, elektriske tunge kjøretøy og sjøtransport, biogass og klimavennlig materialbruk. Eksempler på teknologiutvikling som kan motta støtte er blant annet testing og demonstrasjon av ny energi- og klimateknologi, hydrogen til maritim transport, forsknings- og innovasjonsdrevet grønn vekst i regi av den nye satsingen Grønn Plattform, og støtte til store og små prosjekter fra EUs Innovasjonsfond (Enova, u.d.-c). I tillegg gir Innovasjon Norge og Norges forskningsråd støtte til prosjekter og oppstart av bedrifter som er blant annet innovative, fremtidsrettede, historisk viktige eller miljøvennlige (Forskningsrådet, u.d.; Innovasjon Norge, u.d.).

3 Metode

For å angripe og finne en løsning på problemstillingen, samt svare på forskningsspørsmålene, gjennomføres en mulighetsstudie, som er en kvalitativ og kvantitativ prosess bestående av flere steg. Alle stegene i mulighetsstudien er presentert i Figur 6. Først utarbeides behovsanalysen, der ulike interessenters behov kartlegges. Dette gjøres basert på en kombinasjon av samtaler og erfaring fra tidligere lignende prosjekter. Deretter utarbeides et

kundekrav, med fokus på de tekniske, økonomiske, politiske og standardiserte krav og forskrifter som er gitt.

For å få mer informasjon om bygget og få bakgrunn for videre valg, gjennomføres en praktisk informasjonsinnsamling med befarung i bygget. Data fra befarungen benyttes videre som bakgrunn for tiltaksanalysen, der energieffektiviserende tiltak presenteres. Styrker, svakheter, muligheter og trusler til hvert tiltak presenteres i en SWOT-analyse. Energiberegninger og økonomiske nøkkeltall beregnes og presenteres i en lønnsomhetsanalyse, før kvalitative og kvantitative evalueringskriterier avslutningsvis presenteres i en flermålsanalyse.



Figur 6: Mulighetsstudiens ni steg, presentert i kronologisk rekkefølge.

3.1 Behovsanalyse

Behovsanalysen har til hensikt å kartlegge ulike mål, behov og interesser knyttet til prosjektet, og gjennomføres i tidlig fase av prosjektet (Næss, 2005). Behovsanalysen skal både ta for seg behovene til de primære og sekundære interessentene, men også behovene til samfunnet for øvrig. Det være seg for eksempel politiske målsetninger fastsatt av lokale eller nasjonale myndigheter (Næss, 2005).

I tillegg til å definere det prosjektutløsende behovet, kan behovsanalysen deles inn i tre kategorier; normative behov, etterspørselsbaserte behov og interessenters behov (Næss, 2005). Etterspørselsbaserte behov har til hensikt å måle etterspørselen til et gitt segment knyttet til prosjektet, for eksempel i form av billettinntekter eller antall brukere (Næss, 2005).

Dette er ikke relevant til dette prosjektet, da bygget allerede er i bruk og det primære målet med prosjektet er å senke energibehovet.

Behovsanalysen er utarbeidet med informasjon hentet fra samtaler med driftspersonell og prosjektledere, informasjon om bakgrunn for prosjektet og erfaring fra lignende historiske prosjekter.

Prosjektutløsende behov:

Prosjektutløsende behov kan defineres som de behovene som bidrar til at prosjektet starter, sett fra et samfunnsperspektiv (Næss, 2005).

B01: Ønske om å senke energibehovet i alle Statsbygg sine bygg med 30%.

B02: Ønske om mer klimavennlige energiløsninger.

Normative behov:

De normative behovene er typisk politiske eller nasjonale målsetninger som vil ha en påvirkning på prosjektet og resultatet (Næss, 2005).

B03: Ønske om å senke energibehovet i bygget samt implementere klimavennlige løsninger, som et bidrag til å nå myndighetenes mål om å redusere klimagassutslippene med minst 50% innen 2030 (Regjeringen.no, 2021).

Interessenters behov:

Interessenters behov er en analyse av behovene til de forskjellige interessentene knyttet til prosjektet. Det være seg brukere, offentlige instanser, sivilbefolkning, næringsliv osv., som har en interesse i prosjektet (Næss, 2005).

Ved kartlegging av interessenter, skilles det mellom primære og sekundære interessenter. I følge Asmamaw Tadege Shiferaw, professor i praktisk prosjektstyring ved NMBU (forelesning 9. september 2020), kan en interessent på generelt grunnlag defineres som en person eller organisasjon, hvis interesser blir berørt av prosjektets gjennomførelse eller sluttresultat. De primære interessentene blir direkte berørt av tiltakene og innehar ofte beslutningsmyndighet. Dette er gjerne brukere, eiere eller prosjektgjennomførende organisasjon. Sekundære interessenter berøres også direkte av prosjektet, men har ikke beslutningsmyndighet eller andre anledninger til å påvirke prosjektets utførelse.

Kartleggingen av behovene til de ulike interessentene, er i denne behovsanalysen knyttet til energiøkonomisering av bygget. Behovsanalysen er gjengitt for de respektive interessentene i tabellene som følger under.

Tabell 2: Behovsanalyse for primære interessenter nummer 1 - brukerne av bygget.

P1: Brukere av bygget	
B04	Ønske om god ventilasjon og god luftkvalitet.
B05	Ønske om fleksibilitet i forbindelse med ventilasjon og belysning, at det kan justeres etter behov.
B06	Ønske om lite støy fra tekniske installasjoner (ventilasjon, belysning, osv.).
B07	Ønske om enkelt brukergrensesnitt, som vil si at ting fungerer automatisk, både i og utenfor driftstiden, eller at det er lett å overstyre ved annen bruk enn det som er normalt.

Tabell 3: Behovsanalyse for primære interessenter nummer 2 - eierne av bygget.

P2: Eier	
B08	Ønske om lave driftskostnader.
B09	Ønske om at brukerne av bygget er fornøyde.
B10	Ønske om klimavennlige løsninger, i tråd med dagens standarder.
B11	Ønske om så vedlikeholdsfrie løsninger som mulig.

Tabell 4: Behovsanalyse for sekundære interessenter nummer 1 - naboer.

S1: Naboer	
B12	Ønske om at eventuelle nye løsninger ikke skal være til sjenanse.
B13	Ønske om at komfort er ivaretatt. Herunder i form av lite støy, sjenerende belysning, trafikk osv.

Tabell 5: Behovsanalyse for sekundære interessenter nummer 2 - Statsbygg/HRP (oppdragsgiver).

S2: Statsbygg/HRP (oppdragsgiver)	
B14	Ønske om fornøyde eiere og brukere.
B15	Ønske om klimavennlige løsninger.

Tabell 6: Behovsanalyse for sekundære interessenter nummer 3 - samfunnsmessige behov.

S3: Samfunnsmessige behov	
B16	Ønske om å redusere energibehovet med hensyn til miljøet.
B17	Ønske om klimavennlige energiløsninger.
B18	Ønske om et moderne og fremtidsrettet bygg, som en offentlig institusjon.

3.2 Kravspesifikasjon

Kravspesifikasjonen er en sammenfatning av bestemte krav som både benyttes for å vurdere om tiltaket kan gjennomføres, og for å sammenligne de forskjellige tiltakene. De absolutte kravene må være innfridd for at tiltaket skal kunne iverksettes. De øvrige kravene må ikke være innfridd, men det er å foretrekke. Høy tilfredsstillelse av øvrige krav, vil også føre til bedre måloppnåelse når tiltakene skal sammenlignes. De absolutte og øvrige kravene er gitt under. Kravanalysen som tar for seg alle kravene opp mot hvert tiltak kommer etter at alle tiltakene er presentert og vurdert.

Absolutte krav:

- I. Tiltaket må være mer klima- og miljøvennlig enn dagens situasjon. Det innebærer at tiltaket medfører en betydelig årlig energibesparelse.

Øvrige krav:

- I. Tiltaket må være lønnsomt, noe som innebærer at netto nåverdien er positiv og LCOE er lavere enn energikostnaden.

- II. Nye tekniske installasjoner skal fortrinnsvis passe inn i allerede eksisterende bygningskropp. Det vil si at det ikke kan foreligge krav om store utbygginger eller vesentlige endringer på bygningskropp som følge av tiltaket.
- III. Tekniske installasjoner og andre elementer knyttet til bygningskropp må være i henhold til norsk standard, NS 3031, og teknisk forskrift, TEK17.
- IV. Tiltaket skal ha lang levetid og stabil drift. Sistnevnte innebærer lite vedlikehold og problemer i løpet av levetiden.

3.3 Befaring/informasjonsinnsamling

Informasjon om dagens tilstand på bygget ble innhentet på befaring, gjennom samtaler med driftsledere og egne observasjoner på omvisning. Sammen med tilsendt informasjon, som blant annet energidata, danner befaringsgrunnlaget for hvilke tiltak som anbefales for å senke energibehovet. Den viktigste informasjonen hentet ut fra denne informasjonsutvekslingen, er gjengitt i dette delkapitlet.

Oppvarming og temperaturregulering

Hovedbygningen ved USN Campus Notodden benytter i dag en kombinasjon av elektrisk oppvarming og fjernvarme. Fjernvarme benyttes kun til ventilasjon og varmtvannsberedere. Utover dette benyttes panelovner, regulert til en makstemperatur på 24 °C til romoppvarming. Det har tidligere blitt utprøvd en løsning for nattsinking av temperatur, men det benyttes ikke i dag. Dette skyldes at bygget er forholdsvis gammelt og idealtemperaturen derfor gjerne ikke ble nådd før omkring klokken 12 på formiddagen. Det var derfor liten energimessig og økonomisk gevinst. Temperaturen holdes derfor jevn hele døgnet med dagens løsning, noe som fungerer greit for brukerne. Fjernvarmeanlegget skrus av fra slutten av mai til september. I denne perioden benyttes kun det elektriske anlegget.

Belysning

De fleste rom styres av tilstedeværelsesdetektor, slik at lyset kun er på når rommet er i bruk. Kontorer i fløy N og S har lysstoffarmatur av eldre standard. All øvrig innendørs belysning er skiftet til LED de siste årene. Ingen utelys er utskiftet til LED, og har per i dag enten halogen eller gasspære. De mindre utelysene som har halogenpære, bruker rundt 70 W per lampe. Parkeringsplassen på baksiden er en tidligere fotballbane, og har derfor store lysmaster med gasspærer.

Basseng

Bygningen har et innendørs svømmebasseng som er mye i bruk. Det brukes både til undervisning, utleie og fritidsbruk av studenter på kveldstid. Bassenget holder normalt en temperatur på 29-30 °C. Det varmes hovedsakelig opp fra fjernvarme, men utnytter i tillegg gjenvunnet varme fra kjølekompressor i kantine. Varmen fra kjølekompressoren varmer opp til 24 °C, mens fjernvarmen varmer opp fra 24-30 °C. Bassenget bruker lite energi siden oppvarmingskildene er fjernvarme og varmegjenvinning.

Ventilasjon

Det er totalt 20 ventilasjonsaggregater i hovedbygget. Mange av aggregatene er fra 1990-tallet, men noen har skiftet enkelte komponenter, som varmegjenvinner og vifter, i senere tid. En del av aggregatene er også skiftet i løpet av de siste 17 årene. Fullstendig oversikt over navn på aggregatene, årstall og eventuelle komponenter som er skiftet, er gitt i Tabell 7.

Tabell 7: Oversikt over alle ventilasjonsaggregater, med alder og eventuelle skiftede komponenter.

Navn	Årstall	Skiftede komponenter
36.01	1998	Vifte og varmegjenvinner
36.02	1998	Vifte og varmegjenvinner
36.03	2022	
36.05	2022	
36.06	2005	
36.07	1997	
36.08 (a og b)	1997	Vifte og varmegjenvinner
36.10	1993	
36.11	2014	
36.12	1994	
36.13	1997	Vifte og varmegjenvinner
36.14	1997	Varmegjenvinner

36.15	1997	Varmegjenvinner
36.16	1997	
36.17	1997	
36.18	1997	Varmegjenvinner
36.19	2007	
36.20	2013	
36.21	2013	
36.22	2013	

Energidata

Lvert energi fra både strømmettet og fjernvarme for de siste tre årene er presentert i Tabell 8. Som nevnt tidligere, bruker bygget hovedsakelig elektrisitet til oppvarming, så fjernvarmeandelen er derfor relativt liten. Energiforbruket var lavere i 2020 enn de andre årene, noe som sannsynligvis skyldes nedstengninger som følge av koronaviruset.

Tabell 8: Oversikt over levert energi til bygget for de siste tre år.

Lvert energi til bygget (kWh)			
	2019	2020	2021
Elektrisitet	2 161 461	2 060 291	2 382 982
Fjernvarme	906 693	762 311	957 110
Totalt forbruk	3 068 154	2 822 602	3 340 092

I Tabell 9 er den leverte energien til bygget graddagskorrigert, slik at det er sammenlignbart med et normalår. Siden gjennomsnittstemperaturen, og dermed også graddagstallet, har økt de siste årene, er det graddagskorrigerede energiforbruket høyere enn de målte verdiene.

Tabell 9: Oversikt over graddagskorrigert energibruk for bygget de siste tre årene.

Graddagskorrigert energibruk (kWh)			
	2019	2020	2021
Elektrisitet	2 218 675	2 084 387	2 403 673
Fjernvarme	954 693	780 142	973 731
Totalt forbruk	3 173 368	2 864 529	3 377 404

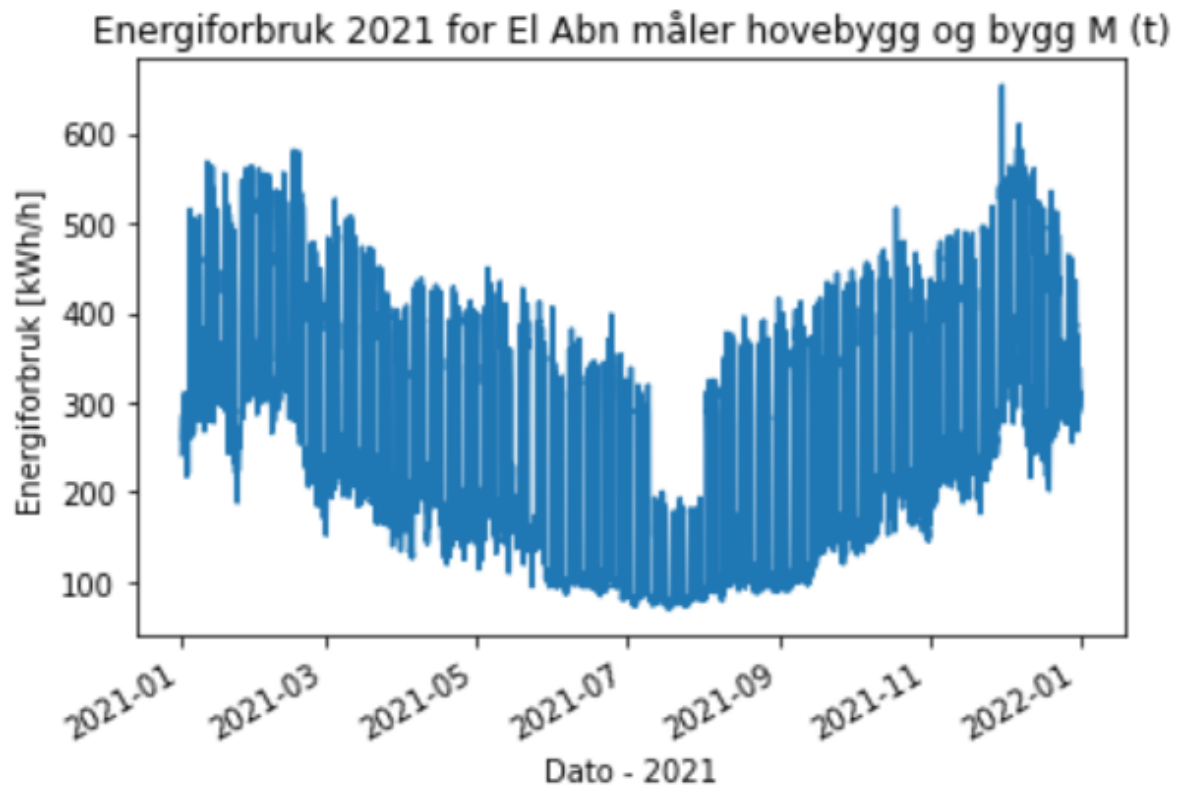
3.4 Analyse av energidata

USN Campus Notodden har logget elforbruk og utetemperaturer for hver time hele døgnet i perioden 01.01.2021-18.01.2022. Dataene er logget i Excelformat, men ved å konvertere det til csv-format, kan disse dataene analyseres i Python. For å gjøre denne analysen, er det benyttet et allerede eksisterende Pythonskript som er utarbeidet av HRP og benyttet til tilsvarende formål tidligere. Pythonskriptet er vedlagt i Vedlegg 1. De loggede dataene i Excel-filen er formatert som matriser, med dato vertikalt og tidspunkt horisontalt. Det er innsamlet data for energibruk både for direkte elektrisitet og fjernvarme. For å kunne analysere dataene i Python, må matrisen konverteres til kolonner, med hver celle i den originale matrisen i kronologisk rekkefølge som rader, og lagres som csv-fil. For at denne konverteringen skal lykkes, er det viktig at datoen er formatert som dato i Excel. Det er lagt inn noen endringer i det eksisterende skriptet, som var avgjørende for å få ut de nødvendige dataene. Siden det er en felles fil for direkte elektrisitet og fjernvarme, er det lagt inn «data selection» for å skille disse fra hverandre, og gjøre to separate analyser. Det legges da til flere punkter i det allerede eksisterende skriptet, der nye csv-filer for de spesifikke dataene, som for eksempel direkte elektrisitet, defineres.

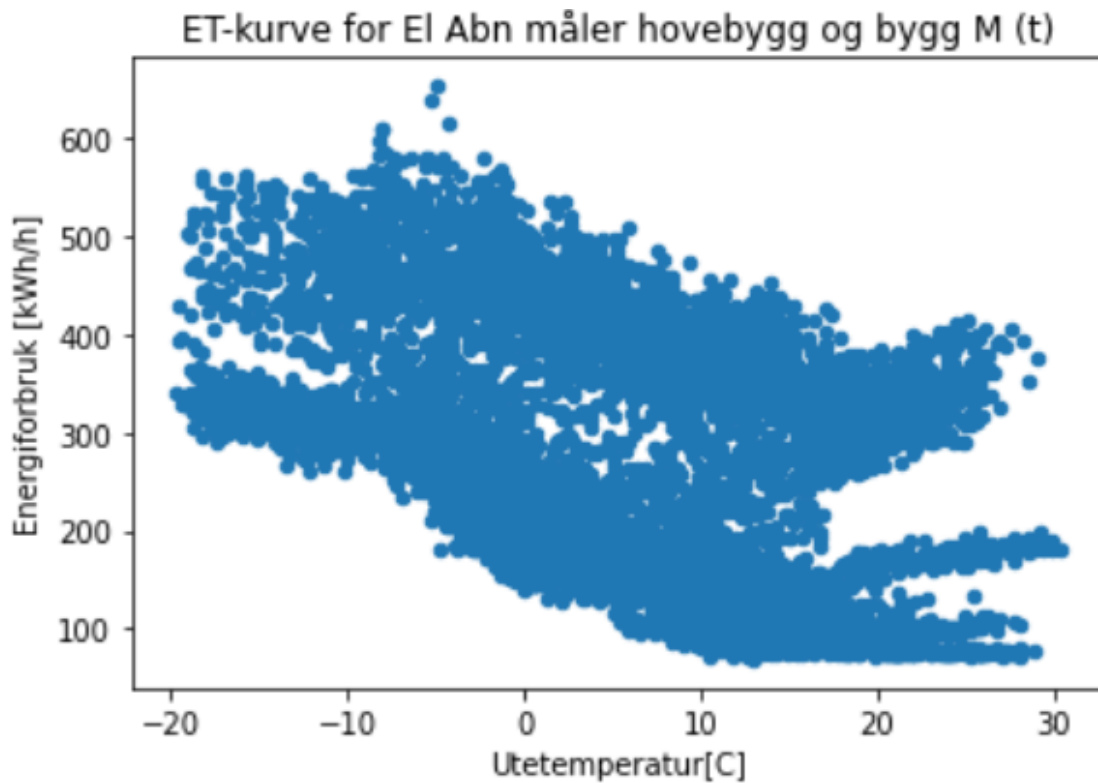
Hovedbygget har felles målere med Musikkbygget, noe som medfører en viss usikkerhet i målingene. Musikkbygget er likevel såpass lite sammenlignet med Hovedbygget, at det sannsynligvis ikke er av alt for stor betydning. Siden begge byggene tilhører samme campus, og har samme bruksområde, vil også bruksmønstrene reflektere hverandre.

Figur 7, Figur 8 og Figur 9 er hentet fra Pythonskriptet og illustrerer henholdsvis årsregnskap over energiforbruk, energiforbruk i forhold til utetemperatur, og årsregnskap for

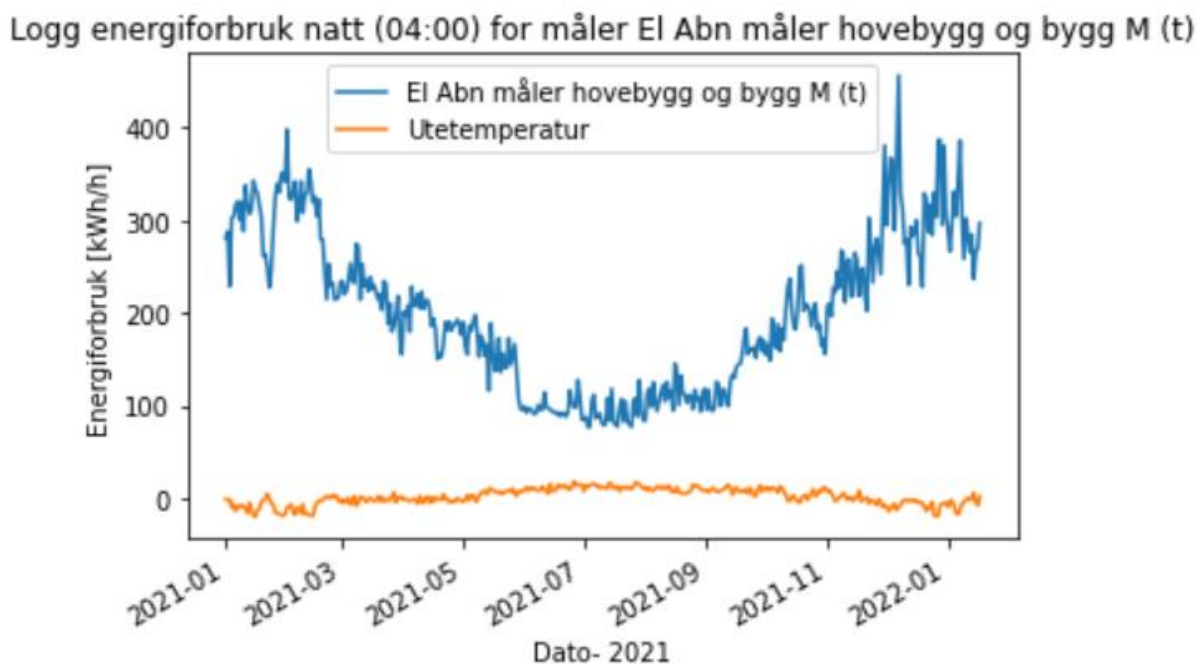
energiforbruk og utetemperatur på nattetid. Det årlige energiforbruket er gradvis synkende første halvdel av året, og deretter gradvis økende siste halvår, med lavest energiforbruk i sommermånedene. Dette reflekteres også i forhold til utetemperatur, der energiforbruket er gradvis synkende med økende utetemperatur. Energiforbruket øker litt igjen når utemperaturen overstiger 18-20 °C, fordi det ved så høye temperaturer oppstår et behov for kjøling.



Figur 7: Energiforbruk fra direkte elektrisitet for 2021 for Hovedbygget og Musikkbygget.



Figur 8: Energiforbruk i forhold til utetemperatur for Hovedbygget og Musikkbygget.

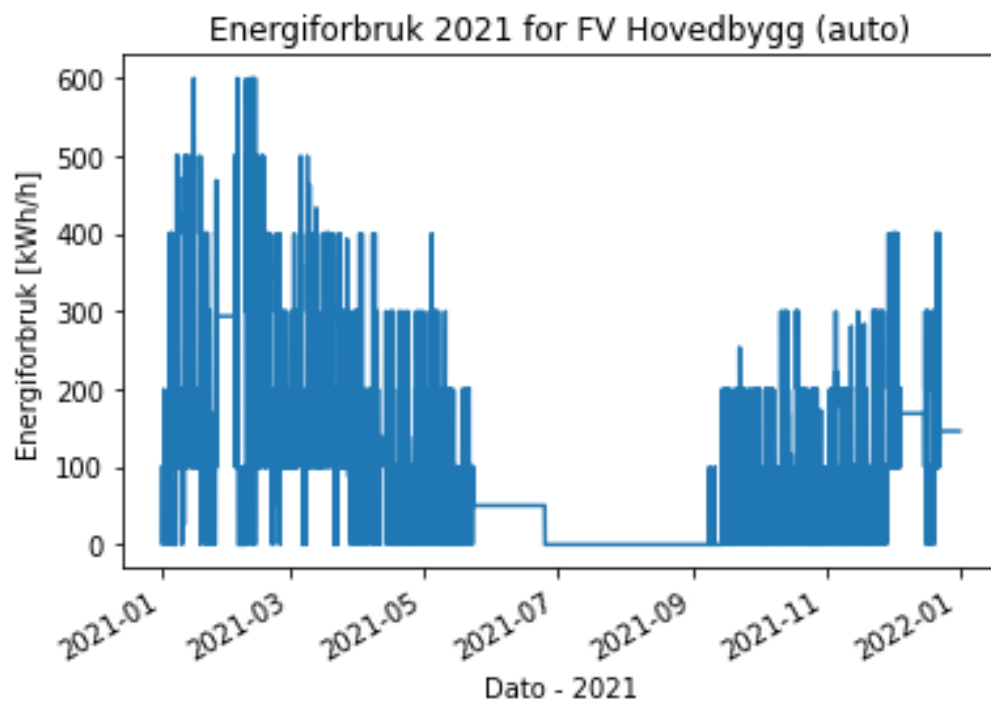


Figur 9: Energiforbruk for Hovedbygget og Musikkbygget og utetemperaturer for hele året.

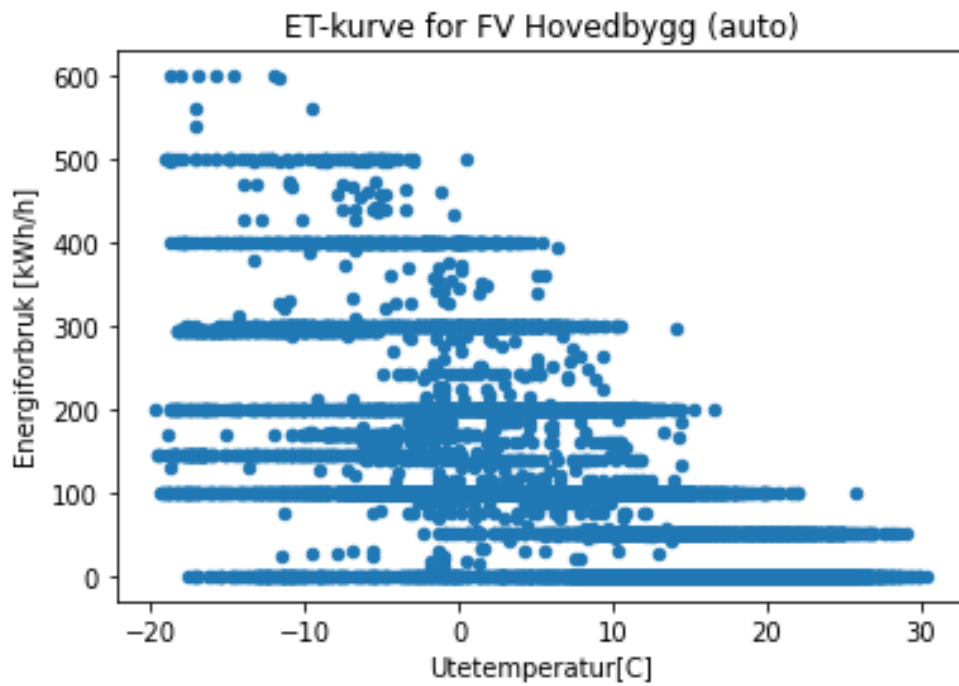
Figur 10, Figur 11 og Figur 12 er hentet fra det samme Pythonskriptet som figurene ovenfor og illustrerer henholdsvis årsregnskap over energiforbruk fra fjernvarme, energiforbruk fra

fjernvarme i forhold til utetemperatur, og årsregnskap for energiforbruk fra fjernvarme og utetemperatur på nattetid.

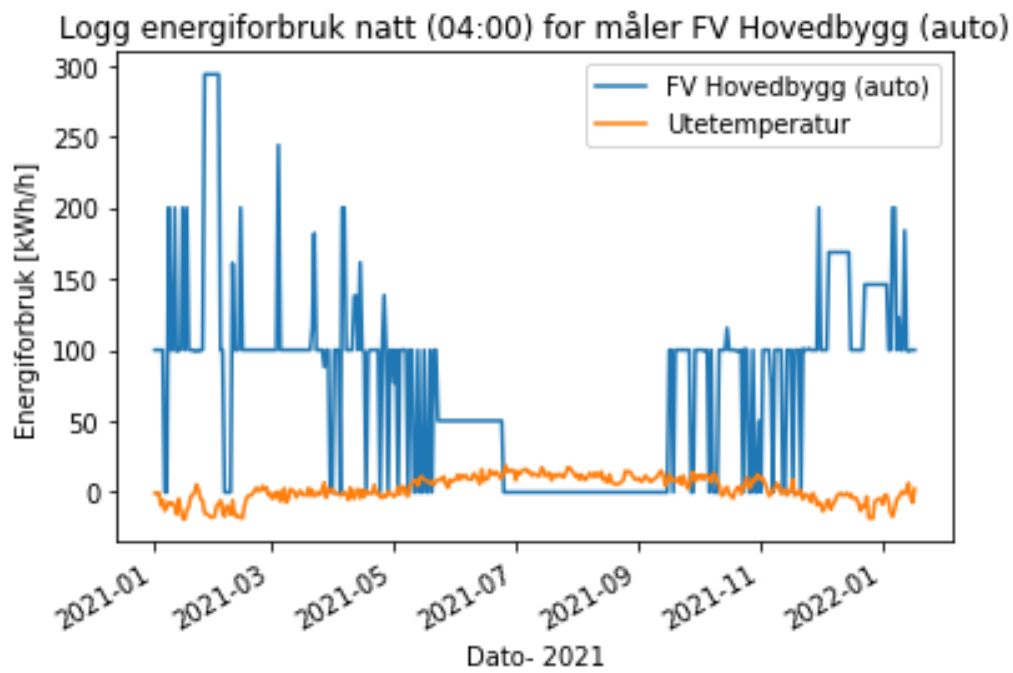
Det årlige energiforbruket er gradvis synkende første halvdel av året, og deretter gradvis økende siste halvår, men leverer ikke noe fjernvarme om sommeren. Det fremkommer likevel av figuren at det leveres konstant rundt 50 kWh i perioden mai-juni. Ut fra samtaler med driftspersonell er fjernvarmen helt avslått fra slutten av mai til september. Lasten kan da trolig ha opphav i at fjernvarmesystemet stenges med manuelle stengeventiler på sommerstid og at det trenger luft inn. Det fremkommer også at fjernvarmeforbruket er gradvis synkende med økende utetemperaturer.



Figur 10: Energiforbruk fra fjernvarme for 2021 for Hovedbygget.



Figur 11: Energiforbruk fra fjernvarme i forhold til utetemperatur for Hovedbygget.



Figur 12: Energiforbruk fra fjernvarme for Hovedbygget og utetemperatuer for hele året.

3.5 Tiltaksanalyse av energieffektiviserende tiltak

Tiltaksanalysen er en form for alternativanalyse, men i stedet for å sette forskjellige alternativer opp mot hverandre og til slutt velge det som er best, presenteres flere tiltak, der alle kan gjennomføres. I en standard alternativanalyse, er det alltid et nullalternativ som symboliserer ingen endring. Det er også inkludert her, selv om de resterende alternativene omtales som tiltak. Alle tiltakene vurderes opp mot de gitte kravene i kravspesifikasjonen i en kravanalyse, for å kartlegge hvorvidt kravene er oppfylt eller ikke.

Alternativ 0: Nåsituasjonen, ingen nye tiltak

Nullalternativet er å beholde alle løsninger slik de er i dag, altså innføres ingen nye tiltak.

Tiltak 1: Varmepumpe væske-til-vann

Det foreslås væske-til-vann-varmepumpe med energibrønner i berg/fjell som ny, primær oppvarmingskilde til det vannbårne varmeanlegget. Bergvarmepumper er spesielt gunstige for bygninger som allerede har vannbåren varme. Dette bygget benytter fjernvarme som energikilde til varmebatterier i ventilasjonsaggregater. I tillegg brukes panelovner til romoppvarming. Romoppvarming ved hjelp av radiatorer med varme fra varmepumpe er derfor ikke aktuelt. Installasjon av radiatorer er svært kostbart, og ikke å betegne som lønnsomt. Tiltaket går derfor ut på at bergvarmepumpen brukes som primærvarmekilde i det vannbårne varmeanlegget, og dermed erstatter fjernvarme som grunnlast. Fjernvarme og/eller elektrisitet vil fortsatt benyttes som spisslast dersom grunnlasten ikke strekker til. Dette gjelder for eksempel ved kalde utetemperaturer på vinteren. Panelovner vil bestå som kilde til romoppvarming.

Etablering av væske-til-vann-varmepumpe krever også etablering av tilhørende brønnpark utenfor bygget, med rør som føres inn i varmesentralen inne i bygget, der selve varmepumpen er plassert. Det er antatt at det er behov for 30 energibrønner, der hver brønn har en effekt på 8 kW. For jevnere drift av varmepumpen, anbefales det i tillegg å sette inn en akkumulatortank. Etter erfaringstall fra HRP, er det antatt at selve varmepumpen har en levetid på 10 år, mens energibrønnene har en levetid på minst 30 år.

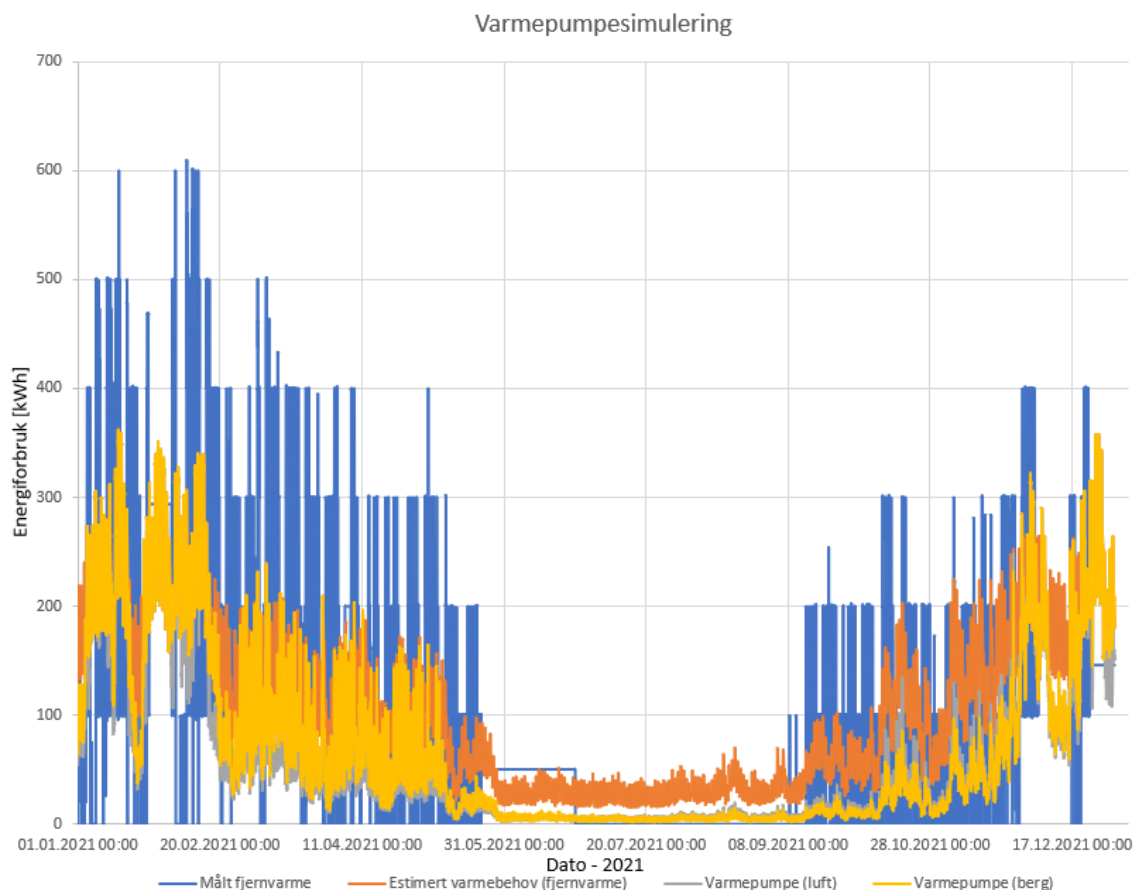
For å beregne energiforbruket og ytelsen til varmepumpen er Excelverktøyet When2Heat benyttet. Excelverktøyet er utviklet av Jesper Frausig, med utgangspunkt i pythonbiblioteket

When2Heat, som er et åpent, gratis pythonbibliotek distribuert av Open Power System Data, som simulerer varmebehov og COP for hver time, for varmpumper (Open Power System Data, 2022). Pythonbiblioteket dekker 16 Europeiske land (Ruhnau et al., 2019) og benytter temperatur- og vindhastighetsdata fra ERA5 (Europakommisjonen et al., 2022), som er en tjeneste med globale klima- og værdata for hvert år siden 1950, fra Europakommisjonen, Copernicus, ECMWF og Climate Change Service. Ved hjelp av fysikkens lover, kombineres fysiske observasjoner med modelldata som grunnlag for klima- og værdataene. GPS-koordinater benyttes for å finne data fra ønsket geografisk lokasjon (Europakommisjonen et al., 2022). Verken Norge eller noen av de andre nordiske landene er dekket i Pythonbiblioteket, så Excelverktøyet er derfor tilpasset etter bruk i Norden. Det originale Pythonbiblioteket er implementert i Excelverktøyet, mens værdata, energidisaggregering og energilagring ikke er en del av Pythonbiblioteket, og er lagt til som eksterne funksjoner i Excel. I Excelverktøyet legges lengde- og breddegrad for ønsket lokasjon inn, slik at programmet finner den best egnede værstasjonen i det innebygde værstasjonregisteret, utfra disse opplysningene. Dersom det likevel ikke er en værstasjon som stemmer godt overens med valgt lokasjon, kan de innebygde værdataene overstyres ved å legge inn eksterne målinger. Dette verktøyet er i utgangspunktet best egnet for luft-til-luft varmpumpe, men ved å legge inn jordtemperaturer fungerer det også fint til væske-til-vann-varmpumper.

For å estimere energiforbruket, tas det utgangspunkt i utendørs omgivelsestemperatur og temperaturen til energikilden, begge logget hver time i løpet av et år. Energikilden vil for en bergvarmpumpe være jorda, og det er derfor jordtemperaturen som benyttes. For en luft-til-luftvarmpumpe ville det vært lufta, som ville vært lik som omgivelsestemperaturen utendørs. I disse beregningene er temperaturdata fra 2021 benyttet både for omgivelsestemperatur og jordtemperatur. Jordtemperaturen er hentet fra ERA5 (Europakommisjonen et al., 2022). I dette tilfellet, er GPS-koordinater fra Hovedbygningen ved USN Campus Notodden anvendt. Videre bearbeides dataene ved hjelp av et Pythonskript, som henter ut de relevante temperaturdataene fra jorda, for ønsket tidspunkt, som her er hver dag i 2021. Dataene konverteres deretter til en csv-fil, som kan lastes ned og legges inn i When2Heat i Excel. Temperaturene kommer ut i Kelvin, og må derfor regnes om til Celsius etter at de er lagt inn i When2Heat. Dette gjøres ved å subtrahere temperaturen i Kelvin med 273,15, siden 273,15 K tilsvarer 0 °C.

Det defineres forskjellige timesregistrerte temperaturer som benyttes i utregningene av de timesbaserte COP-verdiene. Temperaturen på væsken som distribuerer varmen fra jorda, er definert som romtemperaturen subtrahert med omgivelsestemperaturen. Temperaturen til energikilden, altså jorda, er de samme som dataene hentet fra ERA5, men for bergvarmepumper subtraheres disse temperaturene i tillegg med 5. Dette er i henhold til ERA5 og trekkes fra på grunn av mulige mellomliggende varmevekslere (Ruhnau et al., 2019). Deretter beregnes COP-en til varmepumpen for hver time med en innebygd formel, som blant annet tar utgangspunkt i temperaturdifferansen mellom væsketemperaturen og jordtemperaturen. Gjennomsnittet av alle disse timesverdiene beregnes til en generell COP-verdi for hele anlegget. Den er her beregnet til 3,3. Formelen for de timesregistrerte COP-verdiene er lagd sånn at dersom COP-en er under 1, rundes dette automatisk opp til 1. Det betyr at dersom varmepumpen er avslått, er den fortsatt registrert med en COP på 1. Det blir derfor misvisende å beregne den generelle COP-verdien ved vanlig gjennomsnitt. Det er derfor gjort en ny beregning av vektet gjennomsnitt, der alle COP-verdier som er 1 eller lavere er ekskludert fra beregningen. Den nye, vektete COP-en blir da 2,4.

Estimering av energiforbruk for hver time i løpet av et år, gjøres ved å ta utgangspunkt i et estimert varmebehov som gjøres om til timesverdier, som divideres på COP-verdien for samme tidspunkt. Andelen fjernvarme som ble benyttet i Hovedbygningen i 2021, er her benyttet som referanse for varmebehovet. Årsaken til det er at varmepumpen kommer til å erstatte fjernvarme som grunnlast på de vannbårne varmebatteriene til ventilasjonsanlegget. Energiforbruket til bergvarmepumpen for hver time i løpet av året summeres deretter for å få det totale elforbruket i løpet av et år. Det er beregnet til 606 027 kWh. Årlig energibesparelse beregnes ved å ta det totale elforbruket varmepumpen bruker i løpet av et år, og trekke fra det totale elforbruket dividert med COP-en. Årsaken til det er at når varmepumpen har en COP på 2,4, som her, gir den 2,4 ganger mer energi enn den forbruker. Det betyr at det samme elforbruket levert som direkte strøm, hadde gitt vesentlig mindre varme enn varmepumpen. Den totale energibesparelsen for denne varmepumpen blir dermed 353 515 kWh per år.



Figur 13: Grafisk fremstilling og sammenligning av energiforbruk for hver timet i løpet av 2021 for luft-til-luftvarmepumpe, væske-til-vann-varmepumpe, i tillegg til målt fjernvarmeforbruk og estimert varmebehov i When2Heat.

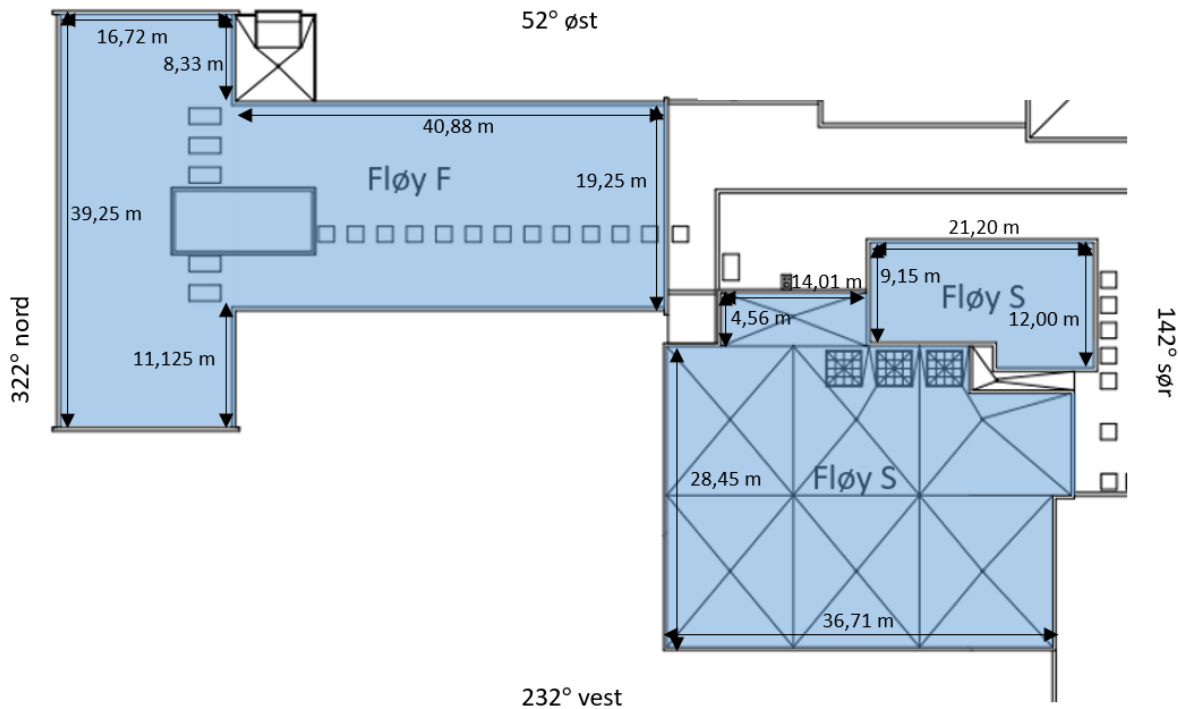
I Figur 13 er energiforbruket til bergvarmepumpen sammenlignet grafisk med en luft-til-luftvarmepumpe, det målte energiforbruket til fjernvarmen og det estimerte energiforbruket til fjernvarmen fra When2Heat. Vi ser først og fremst at det estimerte varmebehovet som er beregnet med utgangspunkt i det totale forbruket av fjernvarme for 2021, er langt mer stabilt enn det målte energiforbruket fra fjernvarme. De målte verdiene svinger veldig, og skiller seg derfor også veldig ut fra de tre andre. Luft-til-luftvarmepumpe, bergvarmepumpe og det estimerte varmebehovet er ganske jevne, mens bergvarmepumpen totalt sett ser ut til å være mest energieffektiv. Kostnadene i dette tiltaket er i hovedsak basert på erfaringstall fra HRP og er presentert i Tabell 10 under. Analysen er vedlagt i sin helhet i Vedlegg 2.

Tabell 10: Kostnadsanalyse for varmepumpe.

Varetype	Total kostnad (inkl. mva)
Energibrønner	Kr 3 750 000
Varmepumpe	Kr 1 000 000
Rør	Kr 500 000
Akkumulatortank	Kr 125 000
Nødventilasjon	Kr 250 000
Bygningsmessig arbeid inkl. elektrikerarbeid	Kr 150 000
Frakt	Kr 12 500
Prosjektering	Kr 50 000
Totalt	Kr 5 883 000

Tiltak 2: Solceller

Som et tiltak for å senke behovet for strøm fra nettet, foreslås det å installere solceller på taket. Både F- og S-fløya har store, flate takareal som er godt egnet for solceller. F-fløya har et takareal på 1446 m², mens S-fløya har et takareal på 1326 m². Det utgjør et totalt takareal på 2772 m², men siden det er et vifterom, flere lyskupler og andre tekniske installasjoner på taket, vil ikke hele dette arealet kunne utnyttes til solceller. Figur 14 er en illustrasjon av takene over F- og S-fløya, med mål og himmelretninger. Den store firkanten i midten av F-fløya er vifterommet, mens de små firkantene og rektanglene er lyskupler. På befaringen av fløy F er det i tillegg observert en større teknisk installasjon på utsiden av vifterommet og en værstasjon/pipe, som ikke er inkludert i plantegningen. Taket over S-fløya ble ikke observert på befaring, men utfra satelittbilder i Google Maps, er det observert enkelte objekter der også, som heller ikke er inkludert i plantegningen.



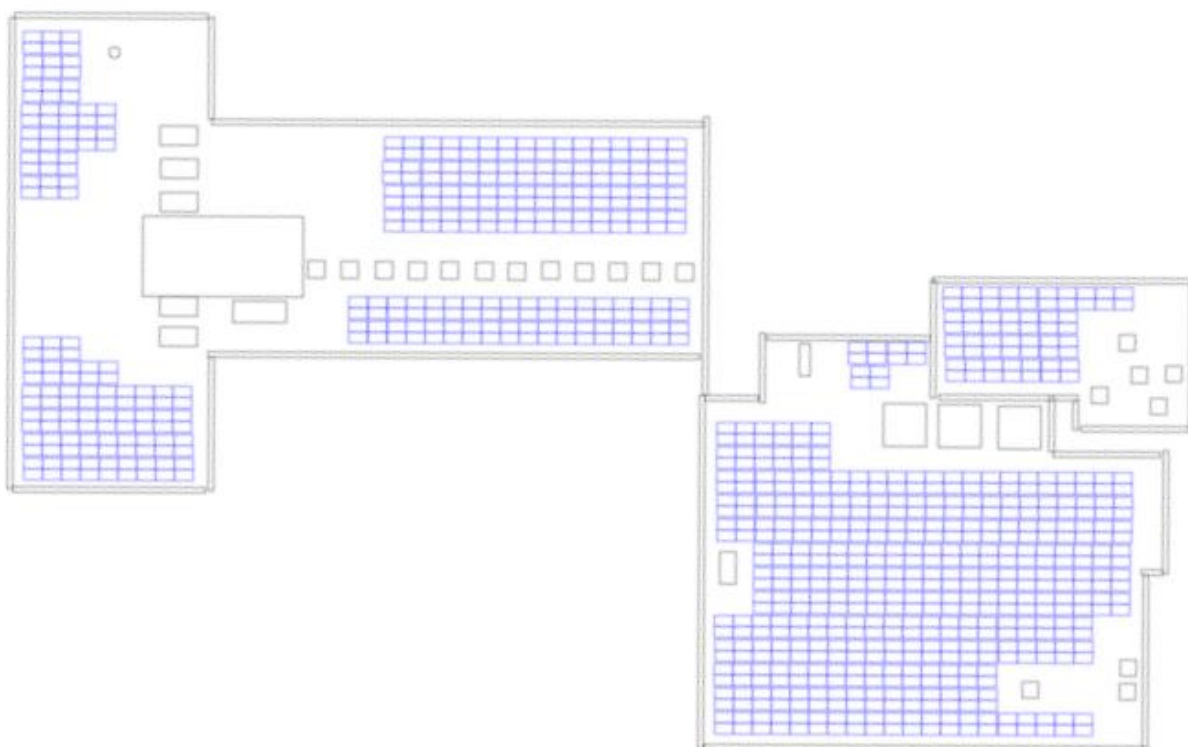
Figur 14: Plantegning over totalt utnyttbart areal av takflater over F- og S-fløy (farget blått) med mål og himmelretninger. Firkantene i tegningen symboliserer vifterom, lyskupper og andre objekter som opptar areal.

Simulering i PVsol

PVsol er et simuleringsprogram for solceller, som går ut fra fem steg. Det første steget er en konfigurasjon av systemtype, klimadata og informasjon om nettet. Ved valg av systemtype, skilles det mellom frittstående anlegg og anlegg tilkoblet nettet, i tillegg til valg av laster, som elektriske apparater, batterisystemer, elbiler, termiske systemer eller backupgenerator. Klimadata hentes fra Meteonorm ut fra geografisk lokasjon. Her inkluderes lengde- og breddegrad, årlig solinnstråling og årlig gjennomsnittstemperatur. Deretter konfigureres spenning, antall faser (enfase vs. trefase) og effektfaktor. Det neste steget er å 3D-designe solcelleanlegget. En plantegning av det arealet som skal simuleres brukes som utgangspunkt for simuleringen, før eventuelle skyggende objekter identifiseres og markeres på tegningen. Ut fra dette kan solcellene plasseres på det ledige arealet og danne et anlegg, med tilhørende inverter(e). Programmet inneholder en innebygd skyggetest som benyttes for å identifisere ytelsen til hvert panel, og hvilke som eventuelt vil være så utsatt for skygning at de kan fjernes. Deretter legges kabler inn, for å vise sammenkobling av komponentene i anlegget, tilknytning til det elektriske anlegget i bygget, og eventuelt tilknytning til strømnettet. Steg fire er en oversikt over figurer basert på simuleringene i de forrige stegene. Det inkluderer et kretsskjema med alle kabler, komponenter, elektrisk anlegg og strømnettet, samt

oversiktsbilder av det fullstendige solcelleanlegget på plantegningen. Det siste steget er en økonomisk analyse som tar utgangspunkt i økonomisk levetid, kalkulasjonsrente, investeringskostnader, energibalanse, strømpris for eventuelt salg tilbake til nettet og feed-in-tariffs. De endelige resultatene inkluderer blant annet total årsproduksjon, total effekt i kWp og tap fra kabler.

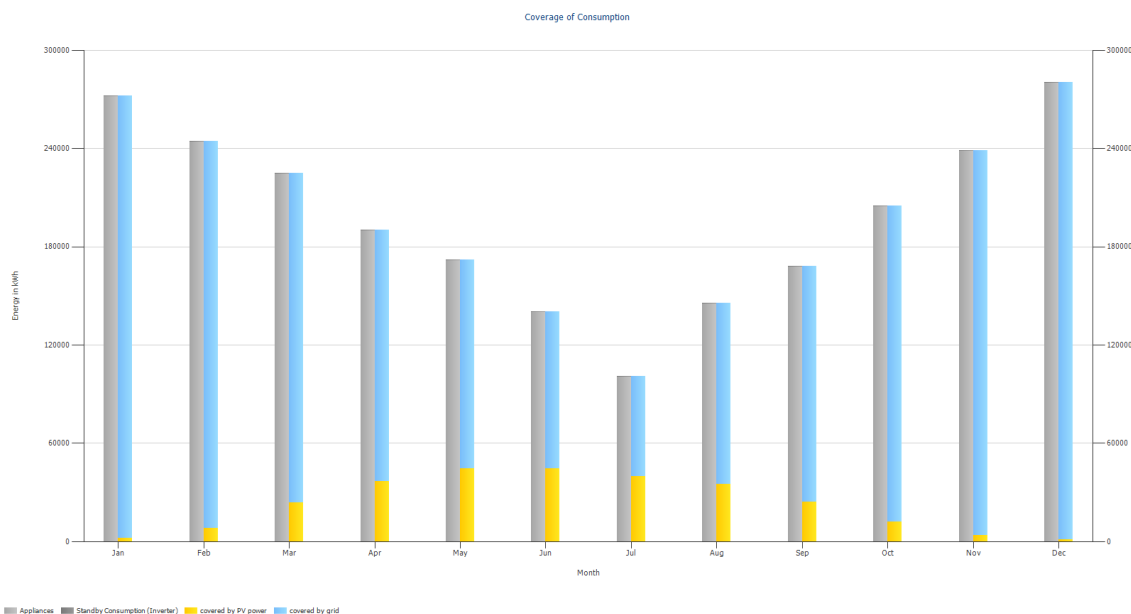
Dette solcelleanlegget er modellert som et 3D-anlegg tilkoblet strømnettet, med 230 V spenning. Siden det er et stort bygningsintegrert anlegg, benyttes trefase strøm, fremfor enfase. Anlegget består av totalt 868 solcellepaneler av typen REC 365 Twin Peak 4 Black fra REC Solar. Siden REC Solar er en norsk leverandør og distributør av solceller, gir det en realistisk tilnærming til virkeligheten i tillegg til at innhenting av for eksempel kostnader er enklere og blir mer realistisk. 365 står for 365 Wp, som er den maksimale ytelsen til hvert panel. TwinPeak-modellen fungerer ved at hver solcelle er delt i to, slik at motstanden i hver enkelt celle reduseres. Modulen er i tillegg inndelt i seks strenger, i stedet for tre som er normalt for standardmoduler. Dette gir større «power output». Ved skygning av en større andel av panelet, kan dette resultere i at strøm fortsatt genereres der et standardpanel vanligvis hadde stoppet å generere (REC, u.d.). Panelene er montert horisontalt og orientert i retning øst/vest, da dette er mest hensiktsmessig i forhold til solinnstråling og skygning for det aktuelle bygget. I realiteten er panelene orientert mer i retning sørvest og nordøst enn fullstendig øst/vest, men det vil likevel gi god output. Oversiktstegning av anlegget er presentert i Figur 15.



Figur 15: Oversikt over det simulerte solcelleanlegget over fløy F og S.

For å konvertere den produserte likestrømmen fra modulene til vekselstrøm som kan benyttes i bygget, kreves en inverter. I likhet med for solcellene, finnes det her også flere typer. Modulene er delt inn i fire felt, som illustrert i Vedlegg 3. Hvert felt har behov for minst en inverter, i tillegg til at hver inverter kun forholder seg til moduler i samme himmelretning. Det er fordelaktig med flere invertere siden det forenkler kablingen, samt skaper mindre problemer dersom en av inverterne ryker. Det er derfor lagt til grunn totalt 18 invertere automatisk i PVsol, der alle er av typen Sunny Tripower 15000TL-30 fra leverandøren SMA Technology AG. Inverterne kan kobles enten vertikalt eller horisontalt mellom modulene. Vertikal kobling er klart mest hensiktsmessig med tanke på skygning og konsekvensene av dette. Sammenlignet med for horisontal kobling, der hele strengen vil slutte å produsere dersom et panel blir fullstendig skygget, vil det påvirke færre panel når et panel skygges i en vertikal kobling. Vertikal kobling er samtidig langt mer tungvint å koble opp og montere, og når panelene er av typen Twin Peak som er mer effektive ved skygning, er ikke gevinsten så stor for vertikal kobling, at det er verdt merarbeidet ved montering. Det er derfor gått ut fra horisontal kobling her, som illustrert i Vedlegg 3.

Simuleringen i PVsol, indikerer at dette solcelleanlegget har en spesifikk ytelse på 916,60 kWh/kWp, samt en årlig enerproduksjon på 290 822 kWh. En sammenligning av årlig energiproduksjon fra solcellene, energi hentet fra nettet og det totale energibehovet til bygget på månedsbasis, er grafisk fremstilt i Figur 16. Energiproduksjonen fra solcelleanlegget er som forventet størst i sommerhalvåret, når energiforbruket er minst.



Figur 16: Grafisk fremstilling og sammenligning av energiproduksjon fra solceller (gul), energi hentet fra nettet (blå) og byggets totale energibehov (grå) for hver måned gjennom året.

For å beregne kostnadene knyttet til dette tiltaket, er det gjennomført en kostnadsanalyse i Excel. Kostnader knyttet til de forskjellige komponentene, montering, frakt, elektrikerarbeid samt administrasjonsarbeid i forbindelse med prosjektet, er lagt til grunn i denne analysen. Malen denne kostnadsanalysen har tatt utgangspunkt i, er opprinnelig benyttet i et prosjekt i Danmark og er foreslått til denne oppgaven av min veileder ved NMBU, Jesper Frausig. Den er blitt noe forenklet, i tillegg til at danske priser er endret til norske ved hjelp av valutakurser og noen erfaringstall fra HRP. Hele analysen er vedlagt i Vedlegg 4. De mest sentrale nøkkeltallene fra analysen er presentert i Tabell 11.

Tabell 11: Sentrale nøkkeltall hentet fra kostnadsanalysen til tiltak 2.

Varetype	Total kostnad (inkl. mva)
PV-moduler	Kr 2 136 336
Invertere	Kr 494 170
Montering/rammesystem	Kr 683 143
PV-montering	Kr 661 000
Elektrikerarbeid	Kr 427 056
Frakt	Kr 12 500
Administrasjon	Kr 86 455
Totalt	Kr 4 500 660

Tiltak 3: Skifte all innendørsbelysning til LED

Det anbefales å skifte resterende innendørsbelysning til LED-belysning. Basert på informasjonsinnsamlingen på befaring, anbefales det å skifte til LED-belysning på samtlige kontorer i fløy N og S. Disse har lysarmaturer av eldre standard, som anses som lite energieffektivt. Ved å skifte til LED-belysning vil det både bli mer energieffektivt og sjeldnere behov for utskiftning og vedlikehold av lyskilder, da LED-belysning har lengre levetid.

I forbindelse med dette tiltaket er det gjort noen antakelser. Disse antakelsene er basert på observasjoner fra befaring, og erfaringsutvekslinger fra HRP. Det er antatt at hvert kontor i de to fløyene har to lysstoffarmaturer, der et er av typen sirkelarmatur og et nedhengt. Det antas at de to armaturene har effekt på henholdsvis 2x 18W og 2x 36W. Det er i tillegg enkelte mindre rom, som lager, arkiv og lignende, med mindre armaturer, med antatt spesifikk effekt på 8W/m². Dette utgjør totalt en installert effekt på 13 kW. Ved å inkludere tap i koblinger, som er antatt å være 30%, er den totale systemeffekten 16,9 kW. Det er i tillegg antatt at de nye lysarmaturene har en årlig besparelse i vedlikeholdskostnader på 15 000 kr. Ut fra oversikt over antall rom i plantegninger og ovennevnte antagelser, er det estimert utskiftning av 250 lysarmaturer over et totalt belyst areal på 1400 m². Det er antatt en driftstid på 3120 timer per år for innendørs belysning, basert på 10 driftstimer per dag, 6 dager i uka, hele året.

Systemeffekt for ny belysning er antatt å være 3 kW, men den nye belysningen vil ikke gi noe varmetilskudd til omgivelsene, i motsetning til den gamle belysningen. Det er antatt at varmetilskuddet er på 30%, så dette må trekkes fra i beregningen av den totale energibesparelsen. Ettersom varmetilskuddet ikke representerer noen gevinst når det ikke er behov for oppvarming, er det lagt inn 15% i beregningene, basert på at varmebehovet bare gir en effekt i vinterhalvåret. Energibesparelsen estimeres dermed ved å ta differansen mellom systemeffekten til den gamle og den nye systemeffekten, multiplisert med antall årlige driftstimer og totalt energitilskudd. Sistnevnte innebærer at det trekkes fra de 15% som går tapt. Total energibesparelse kommer da på 36 863 kWh per år. Dette tiltaket innebærer også en effektbesparelse, siden den totale systemeffekten går ned etter innføring av tiltak. Den er i dette tilfellet 13,9 kW, som er differansen mellom den gamle og nye systemeffekten. Effektbesparelsen må også inkluderes i beregningen av årlig økonomisk besparelse.

Kostnadene i dette tiltaket er hovedsakelig basert på erfaringstall fra HRP, og er gjengitt i en forenklet versjon i Tabell 12. Hele analysen, inkludert mellomregninger, er vedlagt i sin helhet som Vedlegg 5.

Tabell 12: Kostnadsanalyse for innendørs belysning.

Varetype	Total kostnad (inkl. mva)
Armaturer	Kr 312 500
Elektrikerarbeid	Kr 250 000
Frakt	Kr 12 500
Prosjektering	Kr 20 000
Totalt	Kr 595 000

Tiltak 4: Skifte all utendørsbelysning til LED

Siden samtlige utendørsbelysninger er av eldre, og lite energieffektiv standard, foreslås det å skifte dette til LED-belysning. Dagens utebelysning består av 3 lysmaster av større størrelse med en effekt på 250 W per armatur. Det er i tillegg 33 mindre lysmaster og pullerter med en effekt på 70 W per armatur. Dette utgjør en total installert effekt på 3 kW. Ved å inkludere tap i koblinger, som er antatt å være 30%, er den totale systemeffekten 3,9 kW. Tiltaket går

ut på å skifte ut alle disse lysarmaturene med LED-belysning. Det er antatt at driftstiden per i dag er 4000 timer per år, og at denne videreføres etter utskiftning til LED-belysning. Det er i antatt at den nye utebelysningen har en årlig besparelse i vedlikeholdskostnader på 10 000 kr, og at de har en antatt levetid på 15 år.

Antatt systemeffekt etter utskiftning til LED-belysning, er 0,5 kW. Energibesparelsen estimeres dermed ved å ta differansen mellom systemeffekten til den gamle og den nye løsningen, multiplisert med antall årlige driftstimer. Total energibesparelse kommer da på 13 600 kWh per år. Dette tiltaket innebærer også en effektbetjening, siden den totale systemeffekten går ned etter innføring av tiltak. Den er i dette tilfellet 3,4 kW, som er differansen mellom den gamle og nye systemeffekten. Effektbetjeningen må også inkluderes i beregningen av årlig økonomisk besparelse.

Kostnadene i dette tiltaket er hovedsakelig basert på erfaringstall fra HRP, og er gjengitt i en forenklet versjon i Tabell 13. Hele analysen, inkludert mellomregninger, er vedlagt i sin helhet som Vedlegg 6.

Tabell 13: Kostnadsanalyse for utendørs belysning.

Varetype	Total kostnad (inkl. mva)
Armaturer	Kr 215 625
Elektrikerarbeid	Kr 90 000
Frakt	Kr 12 500
Prosjektering	Kr 20 000
Totalt	Kr 328 125

Tiltak 5: Ventilasjon

Det foreslås flere tiltak knyttet til ventilasjonsanleggene. De foreslåtte tiltakene er basert på informasjon om hvert ventilasjonsaggregat i Tabell 7. For noen av aggregatene som er av eldre standard og ikke har skiftet noen komponenter i nyere tid, anbefales det å skifte hele aggregatet. For enkelte andre aggregater, foreslås det bare å skifte vifter eller varmegjenvinnere.

Ventilasjonsaggregat 36.07 er fra 1997, og ingen øvrige komponenter er skiftet siden det. Det foreslås derfor å skifte ut dette aggregatet fullstendig.

36.14, 36.15, 36.16, 36.17 og 36.18 er alle fra 1997, men 14, 15 og 18 har skiftet varmegjenvinner i nyere tid. Det anbefales derfor å skifte vifter i alle disse aggregatene, fra de gamle reimdrevne viftene, til nye direktdrevne vifter. Det anbefales i tillegg å skifte varmegjenvinner i 36.18, fra kryssvarmeveksler til roterende varmegjenvinner.

Alle ventilasjonsanleggene i Tabell 7 dekker totalt hele arealet i hovedbygningen, på 19 304 m². Som et resultat av de foreslåtte tiltakene over, er det estimert en total energibesparelse på 69 727 kWh per år, der 58 828 kWh er energibesparelse knyttet til utskiftning av vifter og 10 899 kWh er energibesparelse knyttet til oppvarming. Grunnlaget for beregningen med sentrale nøkkeltall er gjengitt i sin helhet i Vedlegg 7. Den installerte effekten til anlegget går også ned fra 116 kW til 93 kW, noe som gir en reduksjon på 23 kW. Tiltakene har alle en antatt økonomisk levetid på 15 år. Det er antatt en årlig besparelse i vedlikeholdskostnader på 10 000 kr.

Tiltaket omfatter i tillegg innregulering av ventilasjonsanlegget, både i forbindelse med utskiftning av aggregat, vifter og gjenvinnere, og fordi det ikke har blitt gjort på mange år. Innreguleringen sørger blant annet for at ventilasjonsanlegget opererer med riktige luftmengder. Erfaringstall fra HRP tilsier at et riktig innregulert ventilasjonsanlegg reduserer netto energiforbruk med 5-10%. Det anbefales å innregulere følgende 10 ventilasjonsaggregater: 36.01, 36.02, 36.03, 36.05, 36.06, 36.07, 36.10, 36.13, 36.14 og 36.18. De øvrige aggregatene betjener kun et eller et fåtall rom, og er derfor ikke like viktige å innregulere. Basert på erfaringstall fra HRP, er det gått utfra at innreguleringen vil ha en total kostnad på kr. 50 000 eksklusiv merverdiavgift per ventilasjonsaggregat.

Det er her gått utfra en energibesparelse på 5%, og den totale energibesparelsen er beregnet med hensyn på dette ut fra målt energiforbruk. Den totale energibesparelsen etter innreguleringen blir da 52 710 kWh per år, der 14 695 kWh, 30 065 kWh og 7 950 kWh er energibesparelse fra henholdsvis vifter, oppvarming og kjøling. Dette tiltaket har en antatt levetid på 15 år, som betyr at det i praksis bør innreguleres hvert 15. år.

Den samlede kostnadsanalysen til disse tiltakene, er presentert i tabellen under. Alle priser og tall er erfaringstall fra HRP. Det er gjort noen antakelser i forbindelse med budsjettering av

timer til prosjektering og installasjon, samt til elektrikerarbeid. Hele analysen er gjengitt i sin helhet i Vedlegg 8.

Tabell 14: Kostnadsanalyse for ventilasjon.

Varetype	Total kostnad (inkl. mva)
Materialer	Kr 1 350 000
Elektrikerarbeid	Kr 15 000
Frakt	Kr 12 500
Prosjektering	Kr 50 000
Innregulering	Kr 625 000
Totalt	Kr 2 052 500

3.6 Lønnsomhetsanalyse, NNV og LCOE

NNV og LCOE for alle tiltak er beregnet i Excel med utgangspunkt i tall fra lønnsomhetsanalysene. Lønnsomhetsanalysen tar utgangspunkt i parameterne investeringskostnader, årlige driftskostnader, årlig energibesparelse, årlig økonomisk besparelse, netto årlig økonomisk besparelse (medregnet driftskostnader) og tiltakets levetid. Alle parameterne i lønnsomhetsanalysen er hentet fra kostnadsberegninger, energiberegninger og -simuleringer. Det er tatt utgangspunkt i en energipris på 137 øre/kWh, effektpris på 450 kr/kW og en kalkulasjonsrente på 4%, i henhold til Statsbyggs oppgitte verdier. For netto nåverdiberegningene, er det gått ut fra en analyseperiode på 30 år for alle tiltakene, der eventuelle reinvesteringer og restverdi etter 30 år er medberegnet. Reinvesteringen er beregnet ved å ta det opprinnelige investeringsbeløpet multiplisert med diskonteringsfaktoren i reinvesteringsåret. Restverdien er beregnet utfra antall år som er igjen av den teknologiske levetiden etter reinvesteringen, i slutten av analyseperioden. Dette gjør at det er lettere å sammenligne de forskjellige tiltakene. Tiltaket kan i praksis betraktes som lønnsomt dersom nåverdien er positiv.

3.6.1 Væske-til-vann-varmepumpe

Siden varmepumpen og energibrønnene har ulik levetid, må den økonomiske levetiden vektas i forbindelse med netto nåverdiberegninger. Dette gjøres ved å summere produktene av kostnaden og levetiden til varmepumpen og energibrønnene, og dele på den totale kostnaden for hele anlegget. Den vektete økonomiske levetiden blir da 24 år. Det er antatt at dette anlegget krever lite vedlikehold, og det er derfor gått utfra årlige vedlikeholdskostnader på 5000 kr. En reinvestering i år 24 og restverdien i år 30, er inkludert i nåverdiberegningen. Lønnsomhetsanalysen til dette tiltaket er presentert i Tabell 15, der nåverdien og LCOE avslutningsvis er lagt til grunn.

Tabell 15: Lønnsomhetsanalyse for varmepumpe.

Investeringskostnad	Årlige vedlikeholds-kostnader	Årlig energi-besparelse	Årlig økonomisk besparelse	Netto årlig økonomisk besparelse	Levetid	NNV	LCOE (øre/kWh)
Kr 5 883 000	Kr 5000	353 516 kWh	Kr 484 317	Kr 479 317	24 år	Kr 1 691 341	109

Det er estimert en nåverdi på kr 1 691 341. Siden nåverdien er positiv, kan tiltaket fra et økonomisk perspektiv, betraktes som lønnsomt. LCOE er estimert til 109. Det er å foretrekke at LCOE er så lav som mulig og fortrinnsvis lavere enn energikostnaden, da det sier noe om kostnaden til den energigenererende teknologien. Dersom LCOE er høyere enn energikostnaden (137 øre/kWh), er tiltaket mindre lønnsomt enn å kun hente strøm fra nettet.

3.6.2 Solceller

Basert på at solceller som regel har en levetid på 20-30 år, er det antatt en levetid på 25 år i disse beregningene. Driftskostnadene inkluderer det som anses som vanlig drift og slitasje i løpet av levetiden. Det er lagt inn en reinvestering i år 25, og en restverdi beregnet utfra reinvesteringsbeløpet i år 25, i år 30. Lønnsomhetsanalysen er presentert i Tabell 16, der nåverdien og LCOE avslutningsvis er lagt til grunn.

Tabell 16: Lønnsomhetsanalyse for solceller.

Investerings-kostnad	Årlige vedlikeholds-kostnader	Årlig energi-besparelse	Årlig økonomisk besparelse	Netto årlig økonomisk besparelse	Levetid	NNV	LCOE (øre/kWh)
Kr 4 500 660	Kr 45 007	290 822 kWh	Kr 398 426	Kr 353 420	25 år	Kr 1 166 969	114

Det er estimert en nåverdi på kr 1 166 969. Siden nåverdien er positiv, kan tiltaket fra et økonomisk perspektiv, betraktes som lønnsomt. LCOE er estimert til 114.

3.6.3 Innendørs belysning

LED-belysning har en antatt levetid på 15 år, og det er derfor tatt med en reinvestering i år 15. Restverdi i år 30 er ikke medberegnet, siden tiltaket har en levetid på 15 år og derfor uansett må reinvesteres etter år 30. Det er antatt at tiltaket vil ha en årlig besparelse på 15 000 kr i vedlikeholdskostnader, sammenlignet med før tiltak, siden LED-belysning har lang levetid og det er lagt inn en reinvestering etter 15 år, som fullstendig utskiftning. Lønnsomhetsanalysen er presentert i Tabell 17, der nåverdien og LCOE avslutningsvis er lagt til grunn.

Tabell 17: Lønnsomhetsanalyse for innendørs belysning.

Investerings-kostnad	Besparelse årlige vedlikeholdskostnader	Årlig energi-besparelse	Årlig effekt-besparelse	Årlig økonomisk besparelse	Netto årlig økonomisk besparelse	Levetid	NNV	LCOE (øre/kWh)
Kr 595 000	Kr 15 000	36 863 kWh	13,9 kW	Kr 56 757	Kr 71 757	15 år	Kr 315 443	88

Det er estimert en nåverdi på kr 315 443. Siden nåverdien er positiv, kan tiltaket fra et økonomisk perspektiv, betraktes som lønnsomt. LCOE er estimert til 88.

3.6.4 Utendørs belysning

De antakelsene som er gjort i forbindelse med lønnsomhetsanalysen til innendørs LED-belysning, gjelder også for utendørs LED-belysning. Det er antatt at tiltaket vil ha en årlig besparelse på 10 000 kr i vedlikeholdskostnader, sammenlignet med før tiltak. Lønnsomhetsanalysen, inkludert nåverdi og LCOE, til utendørs belysning er presentert i Tabell 18.

Tabell 18: Lønnsomhetsanalyse for utendørs belysning.

Investeringskostnad	Besparelse årlige vedlikeholdskostnader	Årlig energi-besparelse	Årlig effekt-besparelse	Årlig økonomisk besparelse	Netto årlig økonomisk besparelse	Levetid	NNV	LCOE (øre/kWh)
Kr 328 125	Kr 10 000	13 600 kWh	3,4 kW	Kr 20 162	Kr 30 162	15 år	Kr 11 241	133

Det er estimert en nåverdi på kr 12 602. Siden nåverdien er positiv, kan tiltaket fra et økonomisk perspektiv, betraktes som lønnsomt. LCOE er estimert til 133.

3.6.5 Ventilasjon

Siden dette tiltaket har en økonomisk levetid på 15 år, er det tatt med en reinvestering i år 15. Restverdi i år 30 er ikke medberegnet, siden tiltaket har en levetid på 15 år og derfor uansett må reinvesteres etter år 30. Det er antatt at tiltaket vil ha en årlig besparelse i vedlikeholdskostnader på 10 000 kr. Lønnsomhetsanalysen er presentert i Tabell 19, der nåverdien og LCOE avslutningsvis er lagt til grunn.

Tabell 19: Lønnsomhetsanalyse for ventilasjon.

Investeringskostnad	Besparelse årlige vedlikeholdskostnader	Årlig energi-besparelse	Årlig effekt-besparelse	Årlig økonomisk besparelse	Netto årlig økonomisk besparelse	Levetid	NNV	LCOE (øre/kWh)
Kr 2 052 500	Kr 10 000	122 437 kWh	23 kW	Kr 178 089	Kr 188 089	15 år	Kr 60 256	135

Det er estimert en nåverdi på kr 60 256. Siden nåverdien er positiv, kan tiltaket fra et økonomisk perspektiv, betraktes som lønnsomt. LCOE er estimert til 135.

3.7 Kravanalyse

Kravanalysen tar utgangspunkt i kravspesifikasjonen som er definert tidligere, og evaluerer hvor godt hvert tiltak tilfredsstiller hvert krav. Grønn kravoppnåelse betyr at kravet er godt tilfredsstilt, gult betyr at det er middels tilfredsstilt og rødt betyr at det er lite tilfredsstilt. De absolutte kravene må være grønne for at tiltaket skal kunne gjennomføres, mens de øvrige kravene bør være det, men det er ikke et krav for å gjennomføre tiltaket.

Tabell 20: Kravanalyse av alle fem tiltakene.

Krav	Varmepumpe	Solceller	Innendørs LED	Utendørs LED	Ventilasjon
Klima- og miljøvennlig					
Tiltaket er lønnsomt (positiv NNV og LCOE lavere enn energikostnad)					
Ingen eller få krav om endringer på bygningskropp					
Tiltaket er i henhold til NS 3031 og TEK17					
Lang levetid og stabil drift					

Varmepumpe og solceller er vurdert til middels kravoppnåelse på kravet om få eller ingen endringer på bygningskropp. Det skyldes at varmpumpen krever utbygging av energibrønner av større skala utenfor bygget, samt installasjon av varmpumper innvendig, som sannsynligvis vil kreve litt plass og justeringer. Solcellene kan i utgangspunktet monteres direkte på taket, men er likevel vurdert som middels fordi det innebærer en del arbeid med tilkobling til det elektriske anlegget. Det er i tillegg uklart om dagens standard på taket er helt i orden og godkjent for umiddelbar montasje av solceller, eller om det krever reparasjoner eller utbedringer først.

Utendørs belysning og ventilasjonstiltaket er vurdert til gul på kravet om lønnsomhet, fordi NNV er veldig lav og LCOE er veldig nærme energikostnaden. Det er derfor å anse som lønnsomt, men det skal ikke mye til før det ikke lenger er det.

Siden alle tiltakene medfører utskiftning av eldre komponenter (belysning og ventilasjon) eller fullstendig nye materialer (varmpumpe og solceller), må dette være i henhold til NS3031 og

TEK17, og det kan derfor antas at alle tiltakene tilfredsstiller grønn kravoppnåelse på dette kravet.

3.8 SWOT-analyse

For å kartlegge interne og eksterne faktorer knyttet til hvert tiltak, gjennomføres en SWOT-analyse. SWOT står for strengths, weaknesses, opportunities og threats, eller på norsk styrker, svakheter, muligheter og trusler (Rolstadås et al., 2020). Interne faktorer dreier seg om styrkene og svakhetene knyttet internt til tiltaket eller prosjektet, mens eksterne faktorer omhandler de mulighetene og truslene som er knyttet til omgivelsene rundt tiltaket eller prosjektet (Rolstadås et al., 2020). SWOT-analysen utføres ved hjelp av tabellene gitt under.

Tabell 21: SWOT-analyse for tiltak 1.

Tiltak 1 – Væske-til-vann-varmepumpe	
Interne faktorer	
Styrker	Svakheter
<ul style="list-style-type: none"> • Stabil energiløsning gjennom hele året. Ikke væravhengig siden den utnytter energien fra berg. • Lang levetid på energibrønner • Klimavennlig 	<ul style="list-style-type: none"> • Forholdsvis dyre investeringskostnader • Forholdsvis kort levetid på selve varmepumpen
Eksterne faktorer	
Muligheter	Trusler
<ul style="list-style-type: none"> • Senke behovet for fjernvarme og evt. strøm fra nettet, og dermed redusere strømrregningen 	<ul style="list-style-type: none"> • Boring og arbeider med energibrønner kan være sjenerende for naboer og brukerne av bygget. • Energibrønnene opptar noe plass utendørs • Grunnforhold kan påvirke investeringskostnad og kanskje også energiutbyttet

Tabell 22: SWOT-analyse for tiltak 2.

Tiltak 2 – Solceller på tak	
Interne faktorer	
Styrker	Svakheter
<ul style="list-style-type: none"> • Fornybar energi • Høy produksjon i sommerhalvåret • Stort takareal • Flatt tak • Tilnærmet vedlikeholdsfritt • Kostnadsfritt å drifte 	<ul style="list-style-type: none"> • Dårlig produksjon i vinterhalvåret • Forholdsvis dyre investeringskostnader
Eksterne faktorer	
Muligheter	Trusler
<ul style="list-style-type: none"> • Senke behovet for strøm fra nettet, og dermed redusere strømregningen • Selge overskuddsstrøm tilbake til nettet 	<ul style="list-style-type: none"> • Høy vekt, kan bli for tungt for taket • Kan være sjenerende for naboer • Produksjonen kan ikke reguleres • Solcellene kan i verste fall medføre høyere snøansamling på taket, som kan medføre en trussel i forhold til takets bæreevne

Tabell 23: SWOT-analyse for tiltak 3.

Tiltak 3 – Innendørs LED-belysning	
Interne faktorer	
Styrker	Svakheter
<ul style="list-style-type: none"> • Mye mer energieffektivt • Lang levetid • Krever tilnærmet ingen vedlikehold 	<ul style="list-style-type: none"> • I en del tilfeller er LED-lysarmaturer konstruert slik at hele må byttes ved feil på lyskilden.
Eksterne faktorer	
Muligheter	Trusler
<ul style="list-style-type: none"> • Mer klimavennlig 	

Tabell 24: SWOT-analyse for tiltak 4.

Tiltak 4 – Utendørs LED-belysning	
Interne faktorer	
Styrker	Svakheter
<ul style="list-style-type: none"> • Mye mer energieffektivt • Lang levetid • Krever tilnærmet ingen vedlikehold • 	
Eksterne faktorer	
Muligheter	Trusler
<ul style="list-style-type: none"> • Mer klimavennlig 	

Tabell 25: SWOT-analyse for tiltak 5.

Tiltak 5 – Ventilasjon	
Interne faktorer	
Styrker	Svakheter
<ul style="list-style-type: none"> • Gir mer stabil energiforsyning • Mer energieffektivt • Nytt anlegg blir sannsynligvis mer driftssikkert 	
Eksterne faktorer	
Muligheter	Trusler
<ul style="list-style-type: none"> • Mer moderne og bedre styringsmuligheter 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan gi misfornøyde brukere frem til anlegget er godt innregulert eller hvis styring ikke samsvarer med bruksmønster og behov.

3.9 Flermålsanalyse

Hensikten med en flermålsanalyse, er i utgangspunktet å vurdere ulike alternativer i en alternativanalyse, inkludert nullalternativet, opp mot hverandre i henhold til gitte kvantitative og kvalitative evalueringskriterier, for å vurdere hvilket som er best. I dette tilfellet er alternativanalysen erstattet med en tiltaksanalyse, der hvert tiltak presenteres hver for seg. Målet er derfor ikke å finne ut hvilket tiltak som er best, men å vurdere flere aktuelle tiltak individuelt. Med andre ord er målet at alle tiltakene iverksettes, men at nytten i hvert tiltak vurderes. Flermålsanalysen benyttes derfor som et virkemiddel for å vurdere nytten av hvert tiltak i forhold til relevante kvalitative og kvantitative evalueringskriterier. I dette tilfellet brukes netto nåverdi og energi- og effektbesparelse som kvantitative evalueringskriterier. Som kvalitative evalueringskriterier brukes komfort med hensyn på faktorer som støy, lys, temperatur, luftkvalitet og lignende, regulering og stabilitet med hensyn på tidsforskyvning. De kvantitative verdiene er hentet fra lønnsomhetsanalysene til hvert tiltak. Kvalitative kriterier vurderes med en score, utfra et helhetlig skjønnsmessig inntrykk, blant annet med utgangspunkt i SWOT-analysen.

Hvert evalueringskriterium vurderes ut fra en skala fra 1-7, der 1 er lavest måloppnåelse, 4 er middels måloppnåelse og 7 er høyest måloppnåelse. Det beregnes deretter både vanlig gjennomsnittsscore og vektet gjennomsnittsscore for hvert tiltak, basert på hvert kriteriums individuelle score. Det vektete gjennomsnittet beregnes utfra en vekt av hvert evalueringskriterium som totalt utgjør 100%. Vektingen er vurdert basert på antagelser og skjønnsmessige inntrykk, utfra hvilke kriterier som anses som viktigst. Følgende evalueringskriterier og tilhørende vekting er definert som aktuelle for denne flermålsanalysen:

- Netto nåverdi: 35%
- Energi- og effektbesparelse: 15%
- Komfort: 20%
- Regulering: 15%
- Stabilitet: 15%

I delkapitlene under presenteres en kort vurdering av hvert evalueringskriterium til alle tiltakene, før den fullstendige flermålsanalysen følger avslutningsvis.

3.9.1 Væske-til-vann-varmepumpe

Netto nåverdi: Væske-til-vann-varmepumpen har en netto nåverdi på 1 691 341 kr. Tatt i betraktning at netto nåverdien tar utgangspunkt i investeringskostnader, energibesparelse og vedlikeholdskostnader, er dette i øvre sjiktet. Dette tiltaket medfører med andre ord svært høy lønnsomhet, og vurderes derfor til høyeste måloppnåelse, 7, på dette kriteriet.

Energi- og effektbesparelse: Væske-til-vann-varmepumpen har en total energibesparelse på 353 516 kWh per år. Dette utgjør ca. 11% energibesparelse, dersom det tas utgangspunkt i det totale energiforbruket (inkludert fjernvarme) for 2021. Det er en såpass betydelig andel, at det vurderes til høyeste måloppnåelse, 7 på dette kriteriet.

Komfort (lyd, lys, temp, luftkvalitet etc): En væske-til-vann-varmepumpe er mer stillegående og temperaturstabil enn for eksempel en luft-til-luft-varmepumpe. Bergvarmepumpen vil bidra til økt luftkvalitet gjennom ventilasjonsanlegget, ved å kontinuerlig skifte ut gammel luft med ny. Den vil i tillegg til enhver tid kunne levere ønsket lufttemperatur i rommet gjennom ventilasjonsanlegget. Alt dette bidrar til økt komfort for brukerne av bygget, og det vurderes derfor til høy måloppnåelse, 6, på dette kriteriet.

Regulering: Siden varmepumpen leverer varmen til ventilasjonsanlegget, som distribuerer det videre ut i bygget, reguleres det meste gjennom ventilasjonsanlegget. Energiproduksjon fra varmepumpen er forholdsvis stabil og bestemmes primært utfra antall energibrønner og kapasiteten til varmepumpen, og det er derfor begrenset hvor mye dette kan reguleres. Det vurderes derfor til middels høy måloppnåelse, 5, på dette kriteriet.

Stabilitet (tidsforskyvning): Siden bergvarmepumpen benytter energi fra bakken, som anses som veldig temperaturstabil, kan dette anses som en stabil teknologi og energiforsyning. Varmepumpen vil produsere energi jevnt gjennom året, og ikke være avhengig av eksterne faktorer som utetemperatur og nedbør i nevneverdig grad. Varmepumpen distribuerer energi til både oppvarming og kjøling jevnt gjennom året, og møter derfor på generelt grunnlag det behovet som foreligger til enhver tid. Når det gjelder driftsstabilitet, er også varmepumpen god. Den krever i utgangspunktet ikke spesielt mye vedlikehold og er relativt driftssikker. Det vurderes derfor til høy måloppnåelse, 6, på dette kriteriet.

3.9.2 Solceller

Netto nåverdi: Solceller har en netto nåverdi på 1 166 969 kr. Tatt i betraktning at netto nåverdien tar utgangspunkt i investeringskostnader, energibesparelse og vedlikeholdskostnader, er dette i øvre sjiktet. Dette tiltaket medfører med andre ord svært høy lønnsomhet, og vurderes derfor til høyeste måloppnåelse, 7, på dette kriteriet.

Energi- og effektbesparelse: Solceller har en total energibesparelse på 290 822 kWh per år. Dette utgjør i underkant av 9 % energibesparelse, dersom det tas utgangspunkt i det totale energiforbruket (inkludert fjernvarme) for 2021. Det er en såpass betydelig andel, at det vurderes til høyeste måloppnåelse, 7, på dette kriteriet.

Komfort (lyd, lys, temp, luftkvalitet etc): Det er ikke så lett å vurdere dette evalueringkriteriet for solceller, fordi de kun leverer strøm til byggets elektriske anlegg, som indirekte konverteres til andre formål. Siden det hentes strøm fra nettet når solcellene ikke strekker til, vil solcelleproduksjonen aldri påvirke energiforbruket. Lydnivå og evt. sjenanse fra dette, samt tekniske installasjoner som opptar plass, er derfor det eneste som kan påvirke komforten. Et solcelleanlegg frigir lite lyd, så dette vil ikke påvirke komforten i nevneverdig grad. De tekniske installasjonene er primært på taket, der det hovedsakelig kun er driftspersonell som ferdes. Siden anlegget kobles opp mot det elektriske anlegget, vil kabler og andre komponenter være lokalisert på samme sted for dette. Det vil derfor ikke skape noe mer sjenanse enn allerede eksisterende anlegg. Det vurderes derfor til høy måloppnåelse, 6, på dette kriteriet.

Regulering: Energiproduksjonen kan ikke reguleres i den forstand at det er avhengig av sola, som ikke kan styres. Solcellene produserer derfor bare strøm når sola skinner på dem. Det vurderes derfor til lav måloppnåelse, 2, på dette kriteriet.

Stabilitet (tidsforskyvning): Siden solcelleproduksjonen følger sola, er det generelt sett ikke å anse som spesielt stabilt. Likevel vil det gi en jevnt over god produksjon i sommerhalvåret, mens det i vinterhalvåret er jevnt over en del dårligere. Ulempen med dette er at energiforbruket gjerne er høyest om vinteren og lavest om sommeren. Anlegget vil derfor ikke produsere mest når det er størst behov. Samtidig har et solcelleanlegg ganske god driftsstabilitet, fordi det som regel har lite feil. Det er også gjerne delt opp slik at en feil får liten betydning fordi resten av anlegget kan fortsette å produsere. Anlegget vil derfor utnytte

den til enhver tid tilgjengelige solenergien godt. Det vurderes derfor til middels måloppnåelse, 4, på dette kriteriet.

3.9.3 Innendørs LED-belysning

Netto nåverdi: Innendørs LED-belysning har en netto nåverdi på 315 443 kr. Sett i forhold til investeringskostnadene, er dette en veldig god netto nåverdi, og indikerer at dette tiltaket er svært lønnsomt. Det reflekteres også i LCOE-verdien på 88, som er betydelig lavere enn energikostnaden. Det vurderes derfor til høyeste måloppnåelse, 7, på dette kriteriet.

Energi- og effektbesparelse: Innendørs LED-belysning har en total energibesparelse på 30 358 kWh per år. Dette utgjør ca. 1,1 % energibesparelse, dersom det tas utgangspunkt i det totale energiforbruket (inkludert fjernvarme) for 2021. Det er i tillegg en effektbesparelse på 13,90 kW per år. Dette utgjør såpass lite at det vurderes til middels måloppnåelse, 4, på dette kriteriet.

Komfort (lyd, lys, temp, luftkvalitet etc): LED-belysning gir godt lys som kan dimmes etter behov. Sammenlignet med eldre lysrør, avgir det mindre varme til omgivelsene. Det vurderes derfor til høy måloppnåelse, 6, på dette kriteriet.

Regulering: LED-belysning kan reguleres enkelt både ved hjelp av fjernstyring og lokal styring. Ved å benytte tilstedeværelsesdetektor, er lyset kun slått på når rommet er i bruk. Det kan i tillegg tidsreguleres, slik at det kun står på ved gitte tidspunkt i løpet av et døgn. Dette bidrar også til å senke energiforbruket. Lyset kan også reguleres lokalt ved hjelp av dimmere og vanlige lysbrytere. Det vurderes derfor til høy måloppnåelse, 6, på dette kriteriet.

Stabilitet (tidsforskyvning): Siden LED-belysning har lang levetid, er det å anse som stabilt. Det er i utgangspunktet sjeldent behov for vedlikehold eller utskiftninger, så belysningen fungerer som den skal og er til å stole på. Dette sørger for stabil forsyning av lys. Tilstedeværelsesdetektor og tidsregulering kan i tillegg sørge for god tidsforskyvning. Det vurderes derfor til høy måloppnåelse, 6, på dette kriteriet.

3.9.4 Utendørs LED-belysning

Netto nåverdi: Utendørs LED-belysning har en netto nåverdi på 11 241 kr. Sammenlignet med investeringskostnadene, er dette en relativt dårlig lønnsomhet. Likevel er netto nåverdien innenfor kravet om å være over 0, og det vurderes derfor til middels måloppnåelse, 3, på dette kriteriet.

Energi- og effektbesparelse: Utendørs LED-belysning har en total energibesparelse på 13 600 kWh per år. Dette utgjør ca. 0,4 % energibesparelse, dersom det tas utgangspunkt i det totale energiforbruket (inkludert fjernvarme) for 2021. Det er i tillegg en effektbesparelse på 3,4 kW per år. Dette utgjør såpass lite at det vurderes til middels måloppnåelse, 3, på dette kriteriet.

Komfort (lyd, lys, temp, luftkvalitet etc): Når det gjelder utendørs belysning, er det ikke like mange krav til komfort som innendørs. Det er likevel viktig at lyskilden avgir godt lys som er tilstrekkelig også i mørket. Det er også å foretrekke at lyskildene ikke avgir sjenerende lyd, men dette er å anse som usannsynlig her. LED-lysarmaturer vil sannsynligvis også avgi mer presist lys, slik at det ikke lyser opp der det ikke er behov, noe som er positivt for blant annet nattaktive dyr. Det vurderes derfor til høy måloppnåelse, 6, på dette kriteriet.

Regulering: Utendørs belysning kan reguleres ved hjelp av sensorer og tidsregulering. På den måten lyser det kun ved behov – når det er mørkt ute. Dette fører også til at energiforbruket ikke er høyere enn nødvendig. Det vurderes derfor til høy måloppnåelse, 6, på dette kriteriet.

Stabilitet (tidsforskyvning): Siden LED-belysning har lang levetid, er det å anse som stabilt. Det er i utgangspunktet sjeldent behov for vedlikehold eller utskiftninger, så belysningen fungerer som den skal og er til å stole på. Dette sørger for stabil forsyning av lys når det er behov for det. Det vurderes derfor til høy måloppnåelse, 6, på dette kriteriet.

3.9.5 Ventilasjon

Netto nåverdi: Ventilasjonstiltaket har en netto nåverdi på 60 256 kr. Dette er en veldig lav nåverdi sammenlignet med investeringskostnadene, og tiltaket vil derfor bruke lang tid på å betales ned. Med tanke på at anlegget består av totalt 20 ventilasjonsaggregater, og at dette tiltaket alene omfatter 10 aggregater, vil blant annet vedlikeholdskostnadene være ganske usikre. Det gjør at dette regnestykket er ganske følsomt, og som eksempel er nåverdien negativ dersom den årlige besparelsen i vedlikeholdskostnader reduseres fra 10 000 kr til 5000 kr. Det er med andre ord små marginer som skiller dette tiltaket fra å ikke være lønnsomt. Samtidig gjelder dette også andre vei, ved at nåverdien mer enn dobles ved en økning i årlig besparelse i vedlikeholdskostnader på 5000 kr. Netto nåverdien er med andre ord innenfor kravet om å være over 0, men som vist ganske følsom, og det vurderes derfor til middels måloppnåelse, 3, på dette kriteriet.

Energi- og effektbesparelse: Ventilasjon har en total energibesparelse på 122 437 kWh per år. Dette utgjør ca. 3,7 % energibesparelse, dersom det tas utgangspunkt i det totale energiforbruket (inkludert fjernvarme) for 2021. Det er i tillegg en effektbesparelse på 23 kW per år. Det er en såpass betydelig andel, at det vurderes til høy måloppnåelse, 6, på dette kriteriet.

Komfort (lyd, lys, temp, luftkvalitet etc): God ventilasjon vil føre til betydelig bedre luftkvalitet og jevnere temperaturer. Ventilasjonsanlegget medfører noe lyd, men det er å anse som såpass ubetydelig at det ikke vil påvirke komforten til brukerne. Det vurderes derfor til høyeste måloppnåelse, 7, på dette kriteriet.

Regulering: Ventilasjonsanlegget vil kunne reguleres enkelt til en viss grad. Det vil si at det er behov for innregulering av anlegget for å endre tilluftstemperaturer og luftmengder. Det kan likevel reguleres etter behov og skrues av og på i forskjellige rom, etter preferanser fra brukerne. Det vurderes derfor til middels høy måloppnåelse, 5, på dette kriteriet.

Stabilitet (tidsforskyvning): Innregulering av anlegget og utskiftning av gjenvinnere, vifter og eldre aggregater vil føre til mer stabil og jevn energiforsyning, blant annet fordi det blir mindre vedlikeholdsbehov og feilsituasjoner sammenlignet med for de gamle aggregatene. Anlegget kan nattsenkes, men av erfaring er ikke dette å anbefale for dette bygget. Det vil derfor forsyne bygget med ventilasjon, oppvarming og kjøling ved behov. Det kan likevel være en idé å vurdere nattsinking på nytt, fordi moderne reguleringsmuligheter gir mer fleksibilitet. Når det gjelder driftsstabilitet, er anlegget i seg selv stabilt, men sammenlignet med for eksempel varmepumpe eller solceller, vil ikke ventilasjonsanlegget være like stabilt fordi det består av så mange komponenter som potensielt kan feile. Det vurderes derfor til middels måloppnåelse, 5, på dette kriteriet.

3.10 Energimerke

3.10.1 Simien

Energimerking gjøres i programmet Simien. Programmet tar utgangspunkt i informasjon om bygningskroppen, ventilasjons- og varmeanlegg, og internlast, som belysning, teknisk utstyr og tappevann, og sammenligner med standardene gitt i TEK17 og NS3031, for å bestemme energi- og oppvarmingskarakter, som er grunnlaget for energimerket.

Energi- og oppvarmingskarakteren til Hovedbygningen ble sist oppdatert i 2012. Siden det er blant annet et ventilasjonsaggregat skiftet, samt enkelte mindre komponenter. I tillegg er byggt teknisk forskrift oppdatert fra TEK10 til TEK17. Vurderingen følger kravene i TEK17 og NS3031, og det vil derfor påvirke resultatet. Energimerket bør derfor oppdateres slik at det er i henhold til dagens tilstand og standarder. Etter innføring av energieffektiviserende tiltak, bør det oppdateres på nytt.

I det oppdaterte energimerket (før tiltak), er graddagskorrigerede målte verdier for de tre siste årene (2019, 2020 og 2021) lagt til. I tillegg er de endringene og utskiftningene som er gjort på teknisk utstyr siden 2012 justert. Det er ikke gjort noen endringer på bygningskroppen siden bygget ble energimerket sist. Det er derfor antatt at alle mål og spesifikasjoner på bygningskropp stemmer fortsatt. Ventilasjonsaggregat 36.12 som betjener bassengområdet ble skiftet ut i 2013, så dette er oppdatert i det nye merket. I tillegg er det gjort justeringer på enkelte verdier knyttet til blant annet tilluft og avtrekk, luftmengder, virkningsgrad på varmegjenvinner og SFP-verdier, fordi disse ikke stemte helt for mange av ventilasjonsanleggene. Den nye vurderingen tar utgangspunkt i en nyere karakterskala enn den som ble brukt i 2012. Den nye skalaen krever lavere energibruk per areal enn den gamle skalaen, for å oppnå en gitt karakter, noe som fører til at det er vanskeligere å oppnå en god karakter med dagens skala.

I det oppdaterte energimerket etter innføring av tiltak, er SFP og temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner endret for de ventilasjonsaggregatene som er byttet. SFP er oppdatert til $2,0 \text{ kW/m}^2/\text{s}$ i driftstiden og temperaturvirkningsgraden til varmegjenvinner er endret til 85%, begge i henhold til NS3031. Det er i tillegg lagt til varmepumpe med energibrønner som energiforsyning, med 80% dekningsgrad på varmebatterier ventilasjon og videreført 100% dekningsgrad på kjølebatterier ventilasjon. Som følge av dette er dekningsgraden til fjernvarme på varmebatterier ventilasjon justert ned fra 100% til 20%, siden det nå kun benyttes som spisslast på varmepumpen. Solceller er lagt til som et element, men det er kun mulig å legge inn solfangere for oppvarming av vann som energiforsyning i Simien. Solcellene vil derfor påvirke beregnet levert energi, men ikke oppvarmingskarakteren eller andelen elektrisitet/fossil energi. Den gjennomsnittlige effekten til belysning er allerede lagt på standard og minimumsverdi i henhold til NS3031, og forblir derfor uendret.

4 Resultater

I dette kapitlet presenteres de viktigste resultatene fra alle analyser og undersøkelser. Det innebærer i dette tilfellet en oppsummering av alle foreslåtte tiltak med tilhørende nøkkeltall, flermålsanalysen, som vurderer og sammenligner tiltakene kvantitativt, samt oppdatering av energimerke før og etter innføring av tiltak.

4.1 Energieffektiviseringstiltak

Det er foreslått totalt fem tiltak for å senke energibehovet i hovedbygningen; væske-til-vann-varmepumpe, solceller på tak, skifte til både innendørs og utendørs LED-belysning og forbedringer i ventilasjonsanlegget. Alle tiltakene er vurdert individuelt. Det er derfor ikke tatt med i vurderingen at en realisering av alle tiltakene kan bidra til å senke de individuelle energibesparelsene noe. Alle tiltakene er presentert med de viktigste nøkkeltallene fra lønnsomhetsanalysene i Tabell 26.

Tabell 26: Oppsummering av alle foreslåtte tiltak, med de viktigste nøkkeltallene hentet fra lønnsomhetsanalysene.

Tiltak	Investeringskostnad	Energi- besparelse	Effekt- besparelse	Levetid	Netto nåverdi	LCOE
Væske-til-vann-varmepumpe	5 833 000 kr	353 516 kWh	-	24 år	1 691 341 kr	109 øre/kWh
Solceller	4 500 660 kr	290 822 kWh	-	25 år	1 166 969 kr	114 øre/kWh
Innendørs LED-belysning	595 000 kr	36 863 kWh	13,9 kW	15 år	315 443 kr	88 øre/kWh
Utendørs LED-belysning	328 125 kr	13 600 kWh	3,4 kW	15 år	11 241 kr	133 øre/kWh
Ventilasjon	2 052 500 kr	122 437 kWh	23 kW	15 år	60 256 kr	135 øre/kWh
Totalt	13 309 285 kr	810 733 kWh	40,3 kW			

Det er beregnet total investeringskostnad, energi- og effektbesparelse ved realisering av alle tiltakene. Den totale energibesparelsen på 810 733 kWh utgjør en andel på 24% dersom energiforbruket (inkludert fjernvarme) fra 2021 legges til grunn.

4.2 Flermålsanalyse

Resultatet av flermålsanalysen er presentert i Tabell 27 under, med score for hvert evalueringskriterium til hvert tiltak. Det vektete gjennomsnittet er beregnet utfra vektingen av hvert evalueringskriterium. Ser at vanlig gjennomsnitt og vektet gjennomsnitt generelt avviker litt fra hverandre for samtlige tiltak.

Tabell 27: Flermålsanalyse med gjennomsnitt og vektet gjennomsnitt basert på scoregivning av hvert evalueringskriterium til hvert tiltak.

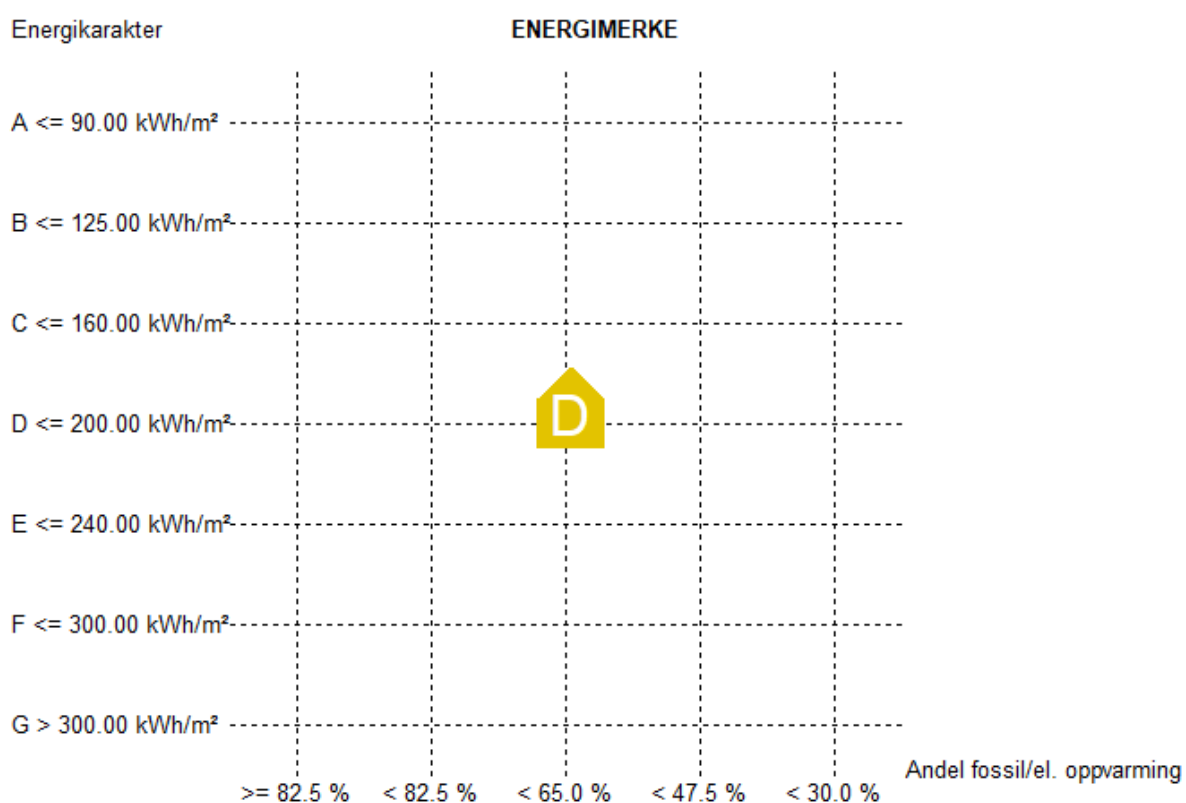
Evalueringskriterier	Væske-til-vann-varmepumpe	Solceller	Innendørs LED-belysning	Utendørs LED-belysning	Ventilasjon
Netto nåverdi	7	7	7	3	3
Energi- og effektbesparelse	7	7	4	3	6
Komfort	6	6	6	6	7
Regulering	5	2	6	6	5
Stabilitet (tidsforskyvning)	6	4	6	6	5
Gjennomsnitt	6,2	5,2	5,8	4,8	5,2
Vektet gjennomsnitt	6,35	5,6	6,05	4,5	4,85

Oppsummert, er resultatet av flermålsanalysen følgende, fra høyest til lavest score:

- Væske-til-vann-varmepumpe: Høy måloppnåelse
- Innendørs LED-belysning: Høy måloppnåelse
- Solceller: Høy måloppnåelse
- Ventilasjon: Middels måloppnåelse
- Utendørs LED-belysning: Middels måloppnåelse

4.3 Energimerke

Det oppdaterte energimerket før innføring av tiltak, er presentert i Figur 17. Sammenlignet med det gamle energimerket, som er presentert i Figur 2 innledningsvis, er det ikke store endringer. Energikarakteren har gått ned fra C til D, og det estimerte energiforbruket har gått opp fra 183 kWh/m² til 184 kWh/m². Som nevnt tidligere, er karakterskalaen oppdatert siden 2012, så den lille endringen i energimerket skyldes denne justeringen av skalaen. Dette vises også på skalaen på den vertikale akse i Figur 17. Oppvarmingskarakteren er fortsatt estimert til gul, men andelen elektrisitet og fossil energi har gått ned fra 67,3% til 54,5%.

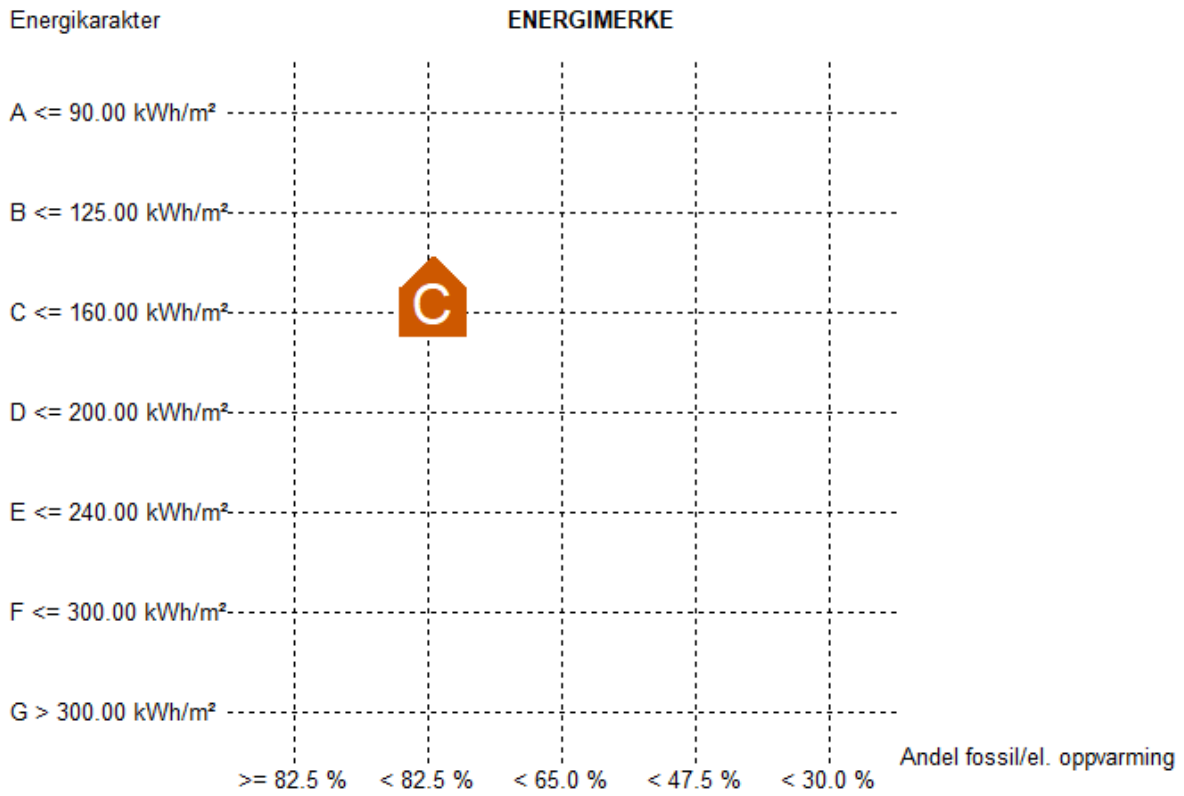


Beregnet levert energi normalisert klima: 183.50 kWh/m²
 Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 54.5 %

Beregnet levert energi	
Beskrivelse	Verdi
Energibruk normalisert klima	184 kWh/m ²
Energibruk lokalt klima	183 kWh/m ²

Figur 17: Energimerke oppdatert etter dagens tilstand og standard.

Det oppdaterte energimerket etter innføring av tiltak er presentert i Figur 18. Sammenlignet med det oppdaterte energimerket før innføring av tiltak, har energikarakteren gått opp fra D til C, og det estimerte energiforbruket har gått ned fra 184 kWh/m² til 140 kWh/m². Hovedårsaken til denne endringen er solcellene som produserer strøm som leveres direkte til bygget, og på den måten fører til mindre behov for strøm fra nettet. Erfaringsmessig utgjør endringen i SFP-faktor og temperaturvirkningsgrad til varmegjenvinner lite i forbindelse med energimerket. Andelen elektrisitet/fossil energi har gått opp fra 54,5% til 66,5%, og oppvarmingskarakteren har som følge av dette gått ned fra gul til mørk oransje. Dette skyldes antakelig at dekningsgraden til fjernvarmen er gått ned fra 100% til 80% på varmebatterier ventilasjon, og er erstattet med 80% dekningsgrad fra varmepumpe. Selv om varmepumpen er mer energieffektiv enn fjernvarme, bruker den strøm fra nettet levert til bygget, mens fjernvarmen blir levert fra en fjernvarmesentral. Elektrisitetsforbruket i forbindelse med oppvarming og ventilasjon går dermed opp, og dette fører til en økning i andelen direkte elektrisitet som gjør at oppvarmingskarakteren blir dårligere.



Beregnet levert energi normalisert klima: 139.74 kWh/m²
 Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 66.5 %

Beregnet levert energi	
Beskrivelse	Verdi
Energibruk normalisert klima	140 kWh/m ²
Energibruk lokalt klima	140 kWh/m ²

Figur 18: Oppdatert energimerke etter innføring av tiltak.

5 Diskusjon

5.1 Forskningsspørsmål 1

Forskingsspørsmål 1 er definert slik: *Hva er energieffektiviseringstiltakene og deres virkning med tanke på kostnadsbesparelse, komfort, energi- og effektbesparelse, regulering og tidsforskyvning av energi?*

Ved valg av tiltak, ble resultatene fra NVEs rapport «Analyse av energibruk i undervisningsbygg» tatt med i vurderingen av hvilke tiltak som er mest hensiktsmessige. Det fremkommer av rapporten at rom- og ventilasjonsoppvarming er den kategorien som bruker mest energi. Det går i tillegg med en del energi til kjøling, i motsetning til barnehager og skolebygninger som ikke bruker noe energi på dette. Med temperaturutviklingen vi ser i dag, vil oppvarmingsbehovet i fremtiden sannsynligvis gå noe ned, men det kan samtidig føre til økt behov for kjøling. Det har i tillegg vært og vil fortsette å være en økning i bruk av teknisk utstyr, som kan bidra til økt energiforbruk. Ved valg av tiltak ble denne informasjonen derfor tatt med i vurderingen, slik at energibesparelsen ble så stor som mulig. Totalt fem ulike energieffektiviseringstiltak er vurdert ved hjelp av ulike analyser og opp mot de gitte evalueringskriteriene i denne oppgaven. Tiltakene er væske-til-vann-varmepumpe, solceller på tak, innendørs og utendørs LED-belysning og ventilasjonstiltak. Væske-til-vann-varmepumpen og ventilasjonstiltakene vil bidra til å senke energiforbruket i forbindelse med oppvarming og kjøling, mens solcellene vil produsere strøm miljøvennlig, slik at det blant annet kan være med på å dekke den økende andelen strøm til teknisk utstyr. Som det fremkommer i årssimuleringen av energiforbruk fra 2012, i Figur 3, går 10% av det totale energiforbruket med til belysning. Ved å skifte fra lysarmaturer til ny LED-belysning, vil belysningen bli langt mer energieffektiv og dermed senke energiforbruket som går med til denne posten.

I flermålsanalysen ble hvert tiltak vurdert individuelt i forhold til hvert av evalueringskriteriene gitt ovenfor ved hjelp av en scoregiving fra 1-7, der 1 er dårligst og 7 er best. Dette ble også brukt som et virkemiddel for å vurdere tiltakene opp mot hverandre. Analysen viste at væske-til-vann-varmepumpe kom best ut og ble vurdert som det beste og mest lønnsomme tiltaket utfra de gitte kriteriene. Deretter fulgte innendørs LED-belysning, solceller, ventilasjon og til slutt utendørs LED-belysning med dårligst score. Denne

rekkefølgen samsvarer bra med rekkefølgen ved rangering etter netto nåverdi. Varmepumpen, solceller og innendørs LED-belysning har både de tre beste nåverdiene og de best score i flermålsanalysen, mens ventilasjon og utendørs LED-belysning scorer dårligst begge. Dersom tiltakene rangeres etter energibesparelse, samsvarer resultatet derimot ikke like godt med resultatene fra flermålsanalysen. Innendørs belysning er rangert som nummer to i flermålsanalysen, mens det har nest lavest energibesparelse. Ventilasjonstiltaket har en relativt høy energibesparelse, som gjør at det rangeres som nummer tre fra høyest til lavest på dette punktet, samtidig som det rangeres som nummer 4 i flermålsanalysen. Dette indikerer at energibesparelsen relativt sett, sammenlignet med investeringskostnadene, er veldig bra for innendørs belysning, mens det er helt middels for ventilasjonstiltaket. Dette reflekteres også videre i netto nåverdiene, der innendørs belysning har en veldig høy nåverdi sett i forhold til investeringskostnadene, mens ventilasjonstiltaket har en relativt lav og noe usikker nåverdi sett i forhold til investeringskostnadene. Siden netto nåverdien vektes såpass høyt i denne analysen, trekkes derfor snittet til ventilasjon mye ned som følge av dette, selv om samtlige av de andre evalueringskriteriene har oppnådd høy score. Dette fremkommer også dersom gjennomsnitt og vektet gjennomsnitt sammenlignes. Både ventilasjon og solceller har relativt høy differanse, med henholdsvis 0,4 og 0,35, mens utendørs belysning, som også scorer relativt dårlig på netto nåverdi, har en differanse på 0,3. Varmepumpen og innendørs belysning har på sin side henholdsvis 0,15 og 0,25 i differanse. Det kan ses i sammenheng med vektingen og hvor mye evalueringskriteriene med dårlig score utgjør. Solceller scorer relativt dårlig på regulering og stabilitet som har relativt lav vekting, så det vektete gjennomsnittet er derfor hele 0,4 poeng høyere enn det vanlige gjennomsnittet. Ventilasjon scorer derimot veldig dårlig på netto nåverdi, som er det evalueringskriteriet som er høyest vektet, og det utgjør derfor mye mer i det vektete gjennomsnittet enn det vanlige gjennomsnittet. For dette tiltaket er derfor det vektete gjennomsnittet hele 0,35 poeng lavere enn det vanlige gjennomsnittet. Ser derfor at flermålsanalysen er en god metode for å vurdere ulike tiltak eller alternativer opp mot både hverandre og seg selv, ut fra gitte kriterier. Det er naturligvis noen usikkerheter knyttet til de ulike analysene, som gjør at resultatene er basert på enkelte antakelser. I forbindelse med lønnsomhetsberegningene, ble det regnet med en energipris på 137 øre/kWh og en kalkulasjonsrente på 4%. Dette er tall som er oppgitt av Statsbygg og som i utgangspunktet indeksreguleres årlig. Likevel er det ikke gitt at

energiprisen følger markedsprisen. Spotprisen i markedet har økt en del bare de siste månedene, og vil derfor på mange tidspunkt være betydelig høyere enn dette. Siden energiprisen brukes til å beregne kostnadsbesparelsen, som igjen benyttes i netto nåverdiberegningene, vil en høyere energipris kunne gi bedre lønnsomhet.

Ventilasjonsiltaket medfører som nevnt tidligere relativt lav lønnsomhet, selv om det har positiv nåverdi. Dette skyldes at usikkerheten knyttet til vedlikeholdskostnader er ganske stor, noe som gjør beregningen mye mer følsom. Til tross for lav lønnsomhet, er dette et viktig tiltak med relativt god energibesparelse. Tiltaket vil bidra til mer stabil og energieffektiv ventilasjon, samt bedre regulering. Sett fra et større, mer utenforstående perspektiv, er det også positivt med en energibesparelse av denne størrelse, fordi det medfører et lavere forbruk av strøm. Ser også at dette tiltaket fort blir betydelig mer lønnsomt dersom energiprisen og årlig besparelse i vedlikeholdskostnader justeres opp.

Når det gjelder solcelletiltaket, er ikke eksterne faktorer som vekten på anlegget og hvor mye taket klarer å bære tatt med i denne vurderingen. Det er antatt at taket og bygget er såpass solid at det tåler et solcelleanlegg av denne størrelsen. Dersom denne antakelsen likevel ikke skulle stemme, måtte antallet moduler blitt redusert slik at tyngden ikke overskrider hva som er forsvarlig. Dette ville ført til en lavere energibesparelse som igjen fører til lavere netto nåverdi. Samtidig er fornybar energi veldig i vinden om dagen, og blir stadig mer etterspurt. Når energiprisen i tillegg har vært historisk høy den siste tiden, har flere og flere – både kommersielle aktører og private huseiere – åpnet øynene for solceller som et supplement til strømmen fra nettet. Med økende etterspørsel, vil satstingen på dette feltet og tilbudet også øke, som følge av høyere konkurranse på leverandørsiden. Dette vil totalt sett bidra til å senke prisene, og solceller blir dermed en stadig mer konkurransedyktig og prisgunstig teknologi, også når energiprisen er lav, slik den historisk sett har vært i Norge. Det anses derfor som positivt at store, offentlige aktører som Statsbygg går foran som et ledende eksempel og viser at satsingen på fornybar energi er et viktig ledd i kampen mot klimakrisen.

5.2 Forskningsspørsmål 2

Forskningsspørsmål 2, som skal diskuteres i dette delkapitlet, er formulert slik: *Hva er den økonomiske og tekniske konsekvensen av gjennomføring av energieffektiviserende tiltak?*

Før de foreslåtte energieffektiviseringstiltak gjennomføres og realiseres, må det gjøres noen vurderinger knyttet til økonomiske aspekter og teknisk gjennomføringsevne. Disse aspektene er vurdert så godt det lar seg gjøre på et overordnet plan, uten å gå for mye i dybden på hvert tiltak, i denne oppgaven. Først og fremst bør netto nåverdien beregnes, som et virkemiddel for å vurdere tiltakets lønnsomhet. Netto nåverdien tar utgangspunkt i investeringskostnader, årlig kostnadsbesparelse (som er beregnet utfra årlig energibesparelse), årlige driftskostnader, eventuelle reinvesteringer etter endt levetid og restverdi på slutten av analyseperioden. Denne detaljerte tilnærmingen gjør at beregningene kan vurderes som troverdige og realistiske, og brukes som grunnlag for videre gjennomføring av tiltakene. De tekniske aspektene er også vurdert så godt det lar seg gjøre uten å gå inn på et detaljnivå, med utgangspunkt i ulike programvarer tilpasset hvert tiltak og det aktuelle bygget. Dette fører til at det foreligger mer tyngde i resultatene, enn om de kun var basert på raske beregninger og gjennomsnitts- og erfaringstall.

Felles for alle tiltakene, er at de vil medføre en betydelig investeringskostnad. Disse kostnadene kan ved første vurdering fremstå store og overveldende, og det er derfor enkelt å avvise forslagene, og tenke at det medfører for høye kostnader. Det er derfor desto viktigere å legge ved så grundige beregninger som mulig, slik som netto nåverdiberegninger, som nevnt ovenfor. Ved nærmere vurdering av disse beregningene, fremkommer det raskt hvorvidt tiltaket er økonomisk lønnsomt, eller ikke.

De aller fleste tiltak medfører også tekniske konsekvenser i form av større eller mindre bygningsmessige utbredelser, både innvendig og utvendig. Dette kan også virke negativt i begynnelsen, spesielt hvis det er omfattende utbedringer som forespeiles å ta litt tid. Dette er kanskje ekstra viktig for undervisningsbygg som er i bruk store deler av året, og krever en viss komfort og standard for brukerne. Omfattende tiltak som for eksempel stenger ned deler av bygget i en periode, kan derfor skape problemer. Anskaffelser av brakker eller andre midlertidige lokaler er derfor en mulig konsekvens som bør tas med i vurderingen. Samtidig kan mye løses ved å velge riktig timing. De fleste undervisningsbygg har lavt eller redusert aktivitetsnivå på sommeren, ofte i perioden mai-september. Dersom det planlegges godt, kan

mye derfor gjøres i denne perioden, slik at logistikkutfordringer begrenses til det minimale. Dersom dette ikke er mulig, bør de langsiktige virkningene av tiltakene vurderes nøye. Selv om det kan skape enkelte problemer i en kortere periode, lønner det seg ofte på sikt.

5.3 Forskningsspørsmål 3

Forskingsspørsmål 3, som skal diskuteres i dette delkapitlet, er formulert slik: *I hvilken grad realiseres energieffektiviserende tiltak i bygg i praksis eller i så fall hvilken styring krever det?*

Det er for tidlig å vurdere hvorvidt tiltakene som er presentert i denne oppgaven realiseres, eller ikke. Det foreligger heller ikke noe data eller statistikk på hvorvidt tidligere tiltak har blitt realisert, eller ikke. Dette spørsmålet kan derfor kun besvares utfra observasjoner av tidligere tiltaksrapporter sammenlignet med dagens standard på byggene. På generelt grunnlag, kan derfor enkelte fellestrekk og gjentakende mønstre trekkes frem. Statsbygg har gjennomført lignende rammeavtaler som den HRP har i dag tidligere, med andre bedrifter. Målet med rammeavtalene er å energikartlegge og energimerke alle byggene Statsbygg eier. En del av denne energikartleggingen er å foreslå tiltak som kan realiseres for å senke energiforbruket. Ved gjennomgang av tidligere tiltaksrapporter fra flere år tilbake for enkelte bygg, og deretter sammenligne med dagens standard i bygget, kommer det ofte frem at majoriteten av tiltakene verken er fulgt opp eller realisert. Det er også mer vanlig at små tiltak realiseres, enn store tiltak. Det vil si mindre kostbare og mindre tidskrevende tiltak. Årsaken til det er at det gjerne er knyttet langt færre usikkerheter til kostnadene, samt at det gjerne er like lønnsomt per investerte krone, sammenlignet med større og mer kostbare tiltak. Et godt eksempel på dette er tiltaket for innendørs LED-belysning, som har god lønnsomhet, lave investeringskostnader og er relativt enkelt å gjennomføre. Det er ofte en gjenganger at tiltaksrapportene havner i skuffen umiddelbart etter mottakelse, og at mange av tiltakene derfor ikke engang tas opp til vurdering. Det er derfor viktig at tiltakene følges opp av driftspersonell umiddelbart etter at tiltaksrapport er mottatt. Jo lengre tid det går etter at rapporten er mottatt, jo mindre sannsynlig blir det at tiltakene realiseres. For at tiltakene skal realiseres, er det også viktig at driftspersonell har kompetanse og erfaring på området, og er kvalifisert til å følge opp driften. Dersom dette ikke er tilfelle, bør eksternt personell med kompetanse på området leies inn. Sist, men ikke minst, er det nærliggende å tro at en så detaljert tiltaksrapport som mulig øker sannsynligheten for at tiltakene blir realisert. Det innebærer at alle beregninger og vurderinger er så nøyaktige som mulig, slik at det ikke

medfører merarbeid og ekstra kostnader for driftspersonell å måtte finne ut ting på egenhånd, før oversendelse av oppdrag til annen oppdragsgiver. Dersom det må omfattende merarbeid utover det som er presentert i tiltaksrapport til før tiltaket kan realiseres, øker terskelen for å gjennomføre det, og sannsynligheten for realisering av tiltak går ned.

5.4 Forskningsspørsmål 4

Forskningsspørsmål 4, som skal diskuteres i dette delkapitlet, er formulert slik: *Hvordan bidrar bærekraftig bygg-/miljøpolitikk til energieffektiverende tiltak?*

Det stilles stadig høyere krav til standarder for både nybygg og eksisterende bygg. Mange av disse kravene er gitt i byggteknisk forskrift (TEK17) og NS 3031, og er med på å øke fokuset på energiøkonomisering og -effektivering. Kombinert med generelt økende fokus på miljø og bærekraft i samfunnet, presses også byggebransjen og industrien til å ta del i det grønne skiftet. Ulike støtteordninger for miljøvennlige og innovative energiløsninger, er med på å gjøre dette mer attraktivt å satse på. Det kan i tillegg gi anerkjennelse i samfunnet og bransjen dersom en bedrift satser på ny og miljøvennlig teknologi, noe som igjen kan føre til at andre aktører følger etter. I denne oppgaven er et av Statsbyggs bygg brukt som utgangspunkt for problemstillingen. Som en statlig, stor og anerkjent organisasjon, er det viktig at Statsbygg går foran som et godt eksempel for resten av landets store og små bedrifter og organisasjoner. Det er viktig at de sitter i førersetet når det gjelder å tilpasse seg klimaendringene og finne nye løsninger for å imøtekomme dette. Dersom Statsbygg setter offentlig fokus på energiøkonomisering og satsning på fornybar energi, som for eksempel solceller, kan det bidra til at flere følger etter.

Den Norske Regjeringens klimaplan for perioden 2021-2030 skal sørge for at Norge når sitt klimamål, som er i tråd med Parisavtalen og EUs klimamål. Klimaplanen inkluderer blant annet forbudet mot oljefyring, som trådte i kraft i 2020, i tillegg til andre lover, reguleringer og støtteordninger. Forbudet mot oljefyring gjorde at de byggene som fortsatt benyttet dette som oppvarmingskilde, måtte vurdere og finne andre alternativer. Selv om oljefyring ikke har vært standard oppvarmingskilde i de fleste bygg på mange år, var det fortsatt enkelte eldre bygg som benyttet dette. Det er vanskelig å vurdere hvilke energiløsninger som i ettertid har erstattet oljefyring uten relevante data, men siden det er hensiktsmessig å erstatte oljefyring med en energikilde som kan fortsette å bruke radiatorer og vannbårne gulvsystemer, er det nærliggende å tro at fjernvarme eller væske-til-vann-varmepumpe er gode og vanlige

erstattet. Som det fremkommer i flermålsanalysen, er også væske-til-vann-varmepumpen en svært god energikilde som scorer høyt på samtlige evalueringskriterier i denne analysen, og som i tillegg er energieffektive. Forbudet mot oljefyring har derfor sannsynligvis ført til økt kunnskap om andre energikilder. Det kan imidlertid også være installert elektrokjeler til å erstatte oljefyringssystemene.

Energieffektivisering og -økonomisering kan også ses i sammenheng med nasjonal og internasjonal politikk, og dagens verdensbilde. I Norge har energiprisen vært rekorddyr de siste månedene, sammenlignet med at dette tradisjonelt sett har vært billig. Det kan ses i sammenheng med at all strømproduksjon i Norge kommer fra vannkraft, som er en fornybar og rimelig energikilde. Siden det har vært lite i vann i reservoarene det siste året, som følge av lite nedbør, har det vært vanskelig å møte det behovet som er i Norge med egenprodusert strøm. Behovet for importert strøm fra Europa har derfor vært økende, noe som har bidratt til å øke energiprisen. Når strømprisene øker, øker også interessen for og etterspørselen etter andre og rimeligere alternativer, som fornybar energi. Tradisjonelt sett, når energiprisene har vært lave, har det vært billigere med strøm fra nettet, enn egenprodusert fornybar energi, som for eksempel solceller. Det skyldes at kostnadsbesparelse i løpet av levetiden er for liten i forhold til investeringskostnadene. Når energiprisene øker, blir det derimot mer lønnsomt med fornybar energi, og som det fremkommer i lønnsomhetsanalysen til solceller, har de i dette tilfellet en LCOE som er lavere enn energiprisen. Det betyr at det er mer lønnsomt med solceller enn å kjøpe strøm fra nettet.

Den økende etterspørselen etter fornybar energi, kan også ses i sammenheng med krigen mellom Russland og Ukraina. Som følge av at Russland invaderte Ukraina i februar 2022, har de fått store deler av verden imot seg. Mange land og globale organisasjoner har innført strenge sanksjoner mot Russland og forsøker så langt det lar seg gjøre å ikke drive handel med dem. Som Europas største gassdistributør, og en stor energidistributør til resten av verden, kan dette by på enkelte utfordringer. Europa er i utgangspunktet avhengig av å kjøpe gass av Russland, men når dette ikke lenger er ønskelig, må de enten kjøpe fra andre nasjoner, eller i stor grad erstatte gass med andre energikilder. Det finnes med andre ord ikke en løsning som kan iverksettes umiddelbart. Etterspørselen etter, og satsningen på, fornybar energi kan derfor øke. For stor energiproduksjon, er vindkraft et godt alternativ, og spesielt egnet på vestkysten av Europa, hvor det er forholdsvis flatt og mye vind. For mindre og mer lokal

energiproduksjon, er solceller et godt alternativ, siden det kan monteres et anlegg direkte på hvert hus/bygg.

Med andre ord bidrar derfor både nasjonal og internasjonal politikk, og situasjonen i verden i dag, til et økende fokus på fornybar energi og energieffektivisering. En gjennomgang av energiregnskapet til større bygg, etterfulgt av innføring av energieffektiviseringstiltak, er et enkelt, men veldig effektivt virkemiddel som kan bidra til å senke energiforbruket betydelig.

5.5 Forskningsspørsmål 5

Forskningsspørsmål 5, som skal diskuteres i dette delkapitlet, er formulert slik: *Hvilken virkning har energieffektiviserende tiltak på verdien av bygg?*

Det er vanskelig å vurdere hvilken virkning energieffektiviserende tiltak har på verdien av bygg uten relevante data. Siden dette er et pågående prosjekt, der de fleste tiltakene ikke er realisert enda, er det for tidlig å vurdere ettervirkningene av tiltakene. Samtidig er det enkelte punkter som kan trekkes frem, som det kan tenkes er sannsynlig at vil bidra til å øke verdien på et bygg. Ved innføring og realisering av energieffektiviserende tiltak, vil energimerket som regel forbedres. Det skyldes at det spesifikke energiforbruket går ned og det er typisk å foreslå tiltak relatert til oppvarming. Førstnevnte gir bedre energikarakter, mens sistnevnte gir bedre oppvarmingskarakter. Totalt sett gir dette et bedre energimerke. Et godt energimerke gir et godt inntrykk av bygget og indikerer at det er energieffektivt og innehar moderne løsninger. Dette oppleves ofte som positivt, og kan også være interessant i et kommersielt leiemarked. Dersom leietaker selv har ansvar for energikostnadene, vil et bygg med et godt energimerke kunne være mer attraktivt, både i form av at det er lettere å få leid ut og i form av at leieprisen kan økes. På en annen side vil konsekvensene av et dårlig energimerke sannsynligvis være få for skoler eller andre formålsbygg, fordi det er uaktuelt å flytte. Det kan likevel brukes som et argument for å påvirke eieren til å gjøre investeringer knyttet til energieffektivisering.

Det kan også tenkes at implementering av nye, innovative og miljøvennlige løsninger, vil forbedre inntrykket av bygget, og dermed potensielt øke verdien på det. Det er likevel vanskelig å bedømme dette sett utenfra, fordi alle byggene i dette prosjektet er eid av Statsbygg, og blir derfor ofte ikke solgt. Om de blir solgt, er det ikke på det åpne markedet, slik som privatboliger. For å vurdere dette helt nøyaktig, kreves derfor en del data og eksterne takstmenn. I rapporten «Merverdien av grønne bygg» (2019) fra Grønn Byggallianse og

Høgskolen i Østfold (Dursin et al., 2019) undersøkes det i hvilken grad eiere mener grønne bygg gir merverdi, basert på 7 indikatorer, som blant annet er økt omsetningsverdi, økte leieinntekter, reduserte driftskostnader osv. Det fremkommer av rapporten at norske eiere mener grønne bygg gir middels merverdi, som vil si at det norske markedet ikke responderer like positivt på grønne bygg som i mange andre land. På et overordnet nivå, kan det derfor antas at energieffektiviserende tiltak kan føre til noe økning i verdien på bygget, men det vil sannsynligvis ikke utgjøre en betydelig forskjell.

5.6 Energimerke

Byggets energimerke er beregnet i programmet Simien. Energimerket følger derfor en standard som er innebygd i programmet. Noen av resultatene kan derfor bli noe misvisende. Energimerket før innføring av tiltak, var gul D, med beregnet levert energi ved normalisert klima på 184 kWh/m² og 54,5% el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov. Etter innføring av tiltak, er energimerket endret til oransje C, med beregnet levert energi ved normalisert klima på 140 kWh/m² og 66,5% el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov. Energikarakteren og beregnet levert energi er altså forbedret, mens oppvarmingskarakteren og andelen el/olje/gass har blitt dårligere. Førstnevnte var som forventet, mens det ikke var forventet at oppvarmingskarakteren skulle bli dårligere. Nedgangen i oppvarmingskarakter skyldes sannsynligvis at store deler av energitilførselen fra fjernvarme er erstattet med væske-tilvann-varmepumpe. Siden varmepumpen bruker strøm, mens fjernvarmen kommer fra en ekstern fjernvarmesentral, tolker antakelig programmet dette som at strømforbruket i forbindelse med oppvarming går opp. Det bør også diskuteres hvorvidt det er riktig å inkludere elektrisitet som en negativ faktor i oppvarmingskarakteren. I Norge kommer, som nevnt tidligere, store deler av strømmen fra vannkraft, som er en fornybar energikilde. Det medfører derfor ikke riktighet at elektrisitet skal vurderes på lik linje med olje og gass i oppvarmingskarakteren. Oppvarming ved hjelp av strøm er kanskje ikke det mest energieffektive, men det er ikke nødvendigvis negativt i et større miljømessig perspektiv. Til tross for at Norge har store muligheter for å realisere overskuddsproduksjon på fornybar elektrisitet, kan det likevel være fornuftig å benytte andre energikilder for å frigjøre kapasitet i nettet til de bruksområdene hvor det er vanskelig å erstatte elektrisitet, Oppvarmingsresultatet viser at energimerket ikke nødvendigvis forteller spesielt mye i seg selv, men at den underliggende informasjonen må vurderes.

Energikarakteren har blitt forbedret som følge av at beregnet levert energi har gått markant ned. Dette skyldes hovedsakelig solcellene som produserer egen strøm, slik at behovet for strøm fra nettet ikke er like stort. Utskiftningene i ventilasjonsanlegget og til LED-belysning utgjør liten forskjell i denne sammenhengen, selv om det fremkommer av analysene at de også medfører betydelige energibesparelser.

Det bør også nevnes at det i NVEs rapport fra 2014, ble konkludert med gjennomsnittlig spesifikt energibruk på 260 kWh/m² per år for universitet- og høgskolebygg, og at resultatene er betydelig lavere enn dette både før og etter innføring av tiltak. Det tyder med andre ord på at dette bygget er godt innenfor normalen for denne typen bygg, og at tiltakene har betydelig effekt.

5.7 Usikkerhet knyttet til analyser og resultater

Siden denne oppgaven er bygd opp som en mulighetsstudie, består metoden og fremgangsmåten av mange forskjellige analyser, beregninger og undersøkelser. Ettersom resultatene baserer seg på så mange ulike analyser, øker også sannsynligheten for usikkerhet og feilkilder. Først og fremst er det brukt forskjellige typer programvarer til flere av tiltakene. Dette øker usikkerheten og i verste fall troverdigheten i resultatene. En standardisert modell som kunne benyttes likt for alle tiltakene, hadde forsterket resultatene. Siden tiltakene, da primært varmepumpen og solcellene, er såpass ulike, er det derimot vanskelig å finne en felles programvare som sikrer nøyaktige og realistiske resultater tilpasset hvert enkelt tiltak. Det krever derfor ulike, individuelt tilpassede programvarer for å få så nøyaktige og realistiske resultater som mulig, men dette kan føre til at sammenligningsgrunnlaget er noe svekket. Siden både PVSol og When2Heat benytter blant annet værdata og geografisk lokasjon som grunnlag for sine beregninger, kan en eventuell feilkilde være at dataene er hentet fra ulike kilder, eller at de baserer seg på ulike år.

Lønnsomhetsberegningene er bygd opp likt for alle tiltakene og baserer seg på de samme formlene. Likevel er enkelte av nøkkeltallene, som investeringskostnadene, energibesparelse og levetid hentet fra ulike kilder. Investeringskostnadene baserer seg på budsjettet til hvert tiltak, der noen kostnader er hentet fra leverandører, noen fra tidligere prosjekter, mens andre er erfaringstall fra HRP. Siden investeringskostnadene og energibesparelsen påvirker de videre lønnsomhetsberegningene i stor grad, kan dette også være en kilde til usikkerhet. Kravanalysen, og spesielt flermålsanalysen baserer seg i stor grad på resultatene av

lønnsomhetsanalysene, så dersom det er knyttet usikkerhet til lønnsomhetsberegningene, følger dette også de videre analysene.

På en annen side, ville en standardmodell der hvert tiltak følger de samme prosedyrene og bruker samme programvare også føre til usikkerhet i beregningene, ved at tiltakene ikke på samme måte er individuelt tilpasset det aktuelle bygget. Tallene ville derfor sannsynligvis vært mer generelle og på den måten også usikre med tanke på videre vurderinger.

Usikkerheten kan testes ved å undersøke følsomheten i de ulike vurderingene, både kvantitative og kvalitative. Som eksempel er dette gjort for vedlikeholdskostnader for væske-til-vann-varmepumpe og ventilasjonstiltaket. Lønnsomheten til væske-til-vann-varmepumpen ble ikke påvirket i nevneverdig grad av en justering av vedlikeholdskostnader. For ventilasjonstiltaket utgjorde en justering av vedlikeholdskostnadene derimot stor forskjell på lønnsomheten. Dette viser at det er viktig å undersøke følsomhet, og at det er individuelt hvor følsom hver beregning er i forhold til justering av enkelte parametere.

Ved videre vurdering av resultatene, kan det diskuteres hvorvidt fremgangsmåten og metodikken i denne oppgaven la nok grunnlag for å besvare forskningsspørsmålene. Besvarelsen og refleksjonen rundt forskningsspørsmål 1 er i stor grad basert på resultatene fra flermålsanalysen. Det gir konkrete resultater å vise til i refleksjonen rundt dette forskningsspørsmålet, som bidrar til å styrke argumentasjonen. Forskningsspørsmål 2 diskuteres basert på et mer overordnet plan enn forskningsspørsmål 1, men med større fokus på flere ledd i fremgangsmåten. Diskusjonen er i stor grad basert på refleksjoner rundt potensielle scenarier med utgangspunkt i resultatene, og kunne vært forbedret ved å fremlegge dokumentasjon. Siden dette er et pågående prosjekt, finnes derimot ikke denne dokumentasjonen per nå, men det kan være et aktuelt punkt for videre arbeid. Dette gjelder også delvis for forskningsspørsmål 3, der det også mangler ny dokumentasjon. Likevel foreligger det noe dokumentasjon fra tilsvarende prosjekter fra noen år tilbake, som er grunnlag for diskusjonen. Diskusjonen rundt forskningsspørsmål 4 baserer seg på teorien om klimapolitikk, både i Norge og internasjonalt, gitt i kapittel 2.6, i tillegg til generell viten om dagens verdensbilde i forhold til blant annet økende energipriser. Det er derfor usikkert hvorvidt mer data eller informasjon ville endret utfallet av dette forskningsspørsmålet. Forskningsspørsmål 5 er i utgangspunktet vanskelig å besvare helt konkret fordi det ikke foreligger relevante data på dette stadiet i prosjektet. Diskusjonen baserer seg derfor i stor

grad på antakelser og hypoteser. Det kunne derfor vært hensiktsmessig på et tidligere stadium å forsøke å samle inn data fra lignende tidligere prosjekter, som grunnlag for å besvare dette bedre. Forskningsspørsmål 5 er derfor delvis flyttet til videre arbeid, slik at det kan vurderes ordentlig på et senere tidspunkt.

Totalt sett kan metodikken og arbeidsflyten som er benyttet i denne oppgaven anses som nok grunnlag for å besvare forskningsspørsmålene, men at noe av diskusjonen er noe svekket av manglende data. Det kunne derfor vært større fokus på innsamling av data fra tidligere prosjekter, for å bedre kunne besvare forskningsspørsmålene.

6 Konklusjon

I denne oppgaven er energieffektiviserende tiltak til undervisningsbygg, og effekten av disse analysert. Hovedbygningen ved Universitetet i Sørøst-Norge (USN) ble brukt som utgangspunkt i arbeidet med å belyse problemstillingen og de fem forskningsspørsmålene.

Resultatene av mulighetsstudien viser at alle de fem foreslåtte energieffektiviseringstiltakene var lønnsomme og hadde en betydelig energibesparelse. Væske-til-vann-varmepumpe ble vurdert som det beste tiltaket, etter vurdering av flere evalueringskriterier i flermålsanalysen. Innendørs LED-belysning ble vurdert som nummer to, solceller nummer tre, ventilasjon nummer fire og utendørs LED-belysning nummer fem. De fem tiltakene fører til en total energibesparelse på 24% per år, som var litt under Statsbyggs forventning om 30%.

Byggets energimerke blir noe forbedret dersom de energieffektiviserende tiltakene blir gjennomført. Energikarakteren forbedres fra D til C, mens oppvarmingskarakteren går ned fra gul til oransje. Sistnevnte skyldes omlegging fra fjernvarme til varmepumpe, og dermed høyere internt energiforbruk. Solcellene fører til redusert behov for strøm fra nettet, og blir dermed den primære årsaken til forbedringen i energikarakteren.

Satsning på fornybar energi og innføring av ENØK-tiltak er viktige bidragsyttere for å bekjempe klimakrisen. Økt fokus på dette, samt økt bevissthet rundt energiforbruk og tiltak som kan redusere dette er derfor viktig. God oppfølging av tiltaksrapporter og datainnsamling i ettertid, er viktig for å sikre at tiltakene blir realisert i praksis og for å kartlegge hvilke tiltak som på generell basis er mest hensiktsmessige.

Det kan derfor konkluderes med at innføring av energieffektiviserende tiltak i både undervisningsbygg og andre offentlige bygg er å anbefale, og at det finnes både større og mindre tiltak som gir god energibesparelse og samtidig er lønnsomme.

7 Videre arbeid

Videre bør det legges vekt på oppfølging av tiltak, samt forsikre om at tiltaksrapportene blir fulgt opp. Det bør deretter fokuseres på å samle inn data for å kartlegge hvilke tiltak som er mest hensiktsmessige, hvilke som går igjen ofte og hvilke som kanskje ikke medførte så stor energibesparelse som forventet. Deretter vil det være fordelaktig å presentere en oversikt over de tiltakene som oftest går igjen og som i tillegg viser seg å fungere godt, og generalisere disse etter kategori. Dette vil bidra til å forenkle tilsvarende prosjekter i fremtiden.

Det kunne i tillegg vært interessant å se mer på mulighetene for å utnytte bassenget i dette bygget til for eksempel energilagring. Det ble vurdert helt i startfasen av denne oppgaven, men det ble konkludert med at det ikke ville være hensiktsmessig her. Tanken var at vannet i svømmebassenget, som allerede holder relativt høy temperatur, kunne benyttes til å lagre varme som kan hentes ut og brukes for eksempel i kombinasjon med varmpumpen til ventilasjonsanlegget. Vannet ville da på enkelte tidspunkt blitt kjølt ned før det hadde blitt varmet opp igjen. Siden bassenget er mye i bruk, ville ikke bassenget til enhver tid holdt en temperatur som oppfattes som tilfredsstillende for brukerne. Dette var derfor ikke en aktuell løsning for dette bygget, men kan til senere vurderes for bygg som ikke bruker bassenget like mye. Et annet alternativ for bygg med oppvarmet basseng, er solfangere som varmer opp bruksvannet direkte ved hjelp av sola. Dette kan potensielt bidra til en betydelig reduksjon i strøm som går med til tappevann. I rapporten «Heating of indoor swimming pools by solar thermal collectors in summerhouses in Denmark» (2017) fra Danmarks Tekniske Universitet (DTU) (Dannemand et al., 2017) undersøkes potensialet og lønnsomheten ved bruk av ulike typer solfangere til oppvarming av innendørs svømmebasseng, i tillegg til en sammenligning av solfangere og solceller. Konklusjonen er at solfangere har kortere tilbakebetalingstid enn solceller, men etter 20 år har solceller en høyere total besparelse. Selv om denne rapporten tok for seg mindre svømmebasseng i private sommerhus, kan resultatene brukes også i arbeid med kommersielle svømmebasseng, som er tilfelle for Hovedbygningen. Det kan derfor være interessant å undersøke potensialet for dette videre i tilsvarende bygninger.

Det foreligger per nå ikke nok grunnlag for å besvare forskningsspørsmål 5 (Hvilken virkning har energieffektiviserende tiltak på verdien av bygg?) ordentlig. En naturlig forlengelse av de

fire andre forskningsspørsmålene, samt for veien videre, vil derfor være å fokusere på å samle inn data for å kunne besvare dette spørsmålet.

8 Bibliografi

- Brealey, R. A., Myers, S. C. & Allen, F. (2017). *Principles of Corporate Finance*: Mc Graw Hill Education.
- Corporate Finance Institute. (u.d.). *Levelized Cost of Energy (LCOE)*.
www.corporatefinanceinstitute.com: Corporate Finance Institute. Tilgjengelig fra:
<https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/levelized-cost-of-energy-lcoe/>.
- Dannemand, M., Furbo, S., Andersen, C. A., Heller, A. & Madsen, H. (2017). *Heating of indoor swimming pools by solar thermal collectors in summerhouses in Denmark*. Danmarks Tekniske Universitet (DTU): Institut for Byggeri og Anlæg.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2017). *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*.
www.dibk.no: Direktoratet for byggkvalitet. Tilgjengelig fra:
<https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2022). *Hvem er Direktoratet for byggkvalitet?* www.dibk.no:
Direktoratet for byggkvalitet. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/om-oss/hvem-er-direktoratet-for-byggkvalitet/>.
- Dubey, S., Sarvaiya, J. N. & Seshadri, B. (2013). Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World - A Review. *ScienceDirect*: 11.
- Dursin, K., Frivoll, R. & Bramslev, K. (2019). *Merverdien av grønne bygg*.
www.byggalliansen.no: Grønn Byggallianse og Høgskolen i Østfold.
- Eisenstraut, A. & Brown, A. (2014). *Heating without global warming*. www.iea.org:
International Energy Agency (IEA).
- Enova. (2016a). *Luft-til-luft-varmepumpe*: Enova. Tilgjengelig fra:
<https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/varmepumper/luft-til-luft-varmepumpe/>.
- Enova. (2016b). *Væske-til-vann-varmepumpe*. Tilgjengelig fra:
<https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/varmepumper/vaske-til-vann-varmepumpe-/>.
- Enova. (2018). *Akkumulatortank*. www.enova.no: Enova. Tilgjengelig fra:
<https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/akkumulatortank/>.
- Enova. (2020). *Det er forbudt å fyre med fossil olje, men det finnes andre løsninger*.
www.enova.no: Enova. Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/fjerne-fossil-oppvarming/>.
- Enova. (u.d.-a). *Enova støtter mennesker som går foran og prøver ny teknologi*.
www.enova.no: Enova. Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/privat/>.
- Enova. (u.d.-b). *Luft-til-vann-varmepumpe*. Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/varmepumper/luft-til-vann-varmepumpe/>.
- Enova. (u.d.-c). *Våre tilbud til næringslivet*. www.enova.no: Enova. Tilgjengelig fra:
<https://www.enova.no/Bedrift/>.

- Enova Kunnskap. (u.d.). *Graddagstall gjør det mulig å sammenligne energibruk i bygg*. www.enova.no: Enova. Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/kunnskap/graddagstall/>.
- Europakommisjonen, Copernicus, ECMWF & Service, C. C. (2022). *ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present*. www.cds.climate.copernicus.eu. Tilgjengelig fra: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>.
- FN-sambandet. (2020). *Parisavtalen*. www.fn.no: FN-sambandet. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>.
- FN-sambandet. (2021). *13 Stoppe klimaendringene*. www.fn.no: FN-sambandet. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/stoppe-klimaendringene>.
- FN-sambandet. (2022a). *11 Bærekraftige byer og lokalsamfunn*. www.fn.no: FN-sambandet. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/baerekraftige-byer-og-lokalsamfunn>.
- FN-sambandet. (2022b). *FNs bærekraftsmål*. www.fn.no: FN-sambandet. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>.
- Forskningsrådet. (u.d.). *Forskningsrådet*. www.forskningsradet.no: Forskningsrådet. Tilgjengelig fra: <https://www.forskningsradet.no/>.
- Gevorkian, P. (2017). *Grid-Connected Photovoltaic Power Generation*: Cambridge University Press.
- Holtebekk, T., Holtsmark, T. & Rosvold, K. A. (2018). *Belysning*. Store Norske Leksikon: www.snl.no. Tilgjengelig fra: https://snl.no/belysning?fbclid=IwAR3kCXrLCFZWJPBC-VwmeEC3XJVTNCKCVIYC39zW_Dy45L-qOtWY7Y633fo.
- Industrial Fans Direct. (2013). *Belt driven vs. direct drive fans*. www.industrialfansdirect.com: Industrial Fans Direct. Tilgjengelig fra: <https://www.industrialfansdirect.com/blogs/info-center/85154244-belt-driven-vs-direct-drive-fans>.
- Innovasjon Norge. (u.d.). *Vi gir lokale ideer globale muligheter*. www.innovasjon norge.no: Innovasjon Norge. Tilgjengelig fra: <https://www.innovasjon norge.no/>.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2013). *Heat Pumps Technology Brief*.
- ITBguiden. (2018). *Ventilasjonsprinsipper*. www.itbguiden.no: ITBguiden. Tilgjengelig fra: <https://www.itbguiden.no/tverrfaglig-koordinering/riv-vvs/ventilasjon/>.
- Klima- og miljødepartementet. (2021a). *EØS-avtalen om klima og miljø*. Regjeringen.no: Regjeringen.no. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/eos-avtalen-og-miljo1/id2339794/>.
- Klima- og miljødepartementet. (2021b). *Klimaendringer og norsk klimapolitikk*. Regjeringen.no. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>.
- Kommunal- og distriktsdepartementet. (2022). *Miljøvennlige boliger og bygg*. www.regjeringen.no: Regjeringen.no. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/plan-bygg-og->

[eiendom/plan bygningsloven/bygg/innsikt/byggkvalitet/miljovennlige-boliger-og-bygg/id2345447/](https://www.tekna.no/plan-bygningsloven/bygg/innsikt/byggkvalitet/miljovennlige-boliger-og-bygg/id2345447/).

Kreith, F. & Goswami, D. Y. (2007). *Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy*: CRC Press Taylor & Francis Group.

Lavenergiprogrammet. (2020). *Slik får du et energieffektivt ventilasjonsanlegg*. www.tekna.no: Tekna. Tilgjengelig fra: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/slik-far-du-et-energieffektivt-ventilasjonsanlegg/>.

Lavenergiprogrammet. (2021). *Typiske ventilasjonsanlegg i næringsbygg*. www.tekna.no: Tekna. Tilgjengelig fra: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/typiske-ventilasjonslosninger-i-naeringsbygg/>.

Linder, J. (2021). *Lysdiode*. www.snl.no: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/lysdiode>.

Magnussen, I. H., Ericson, T., Fidje, A., Fonnelløp, J. E., Langseth, B., Magnussen, I. H., Rode, W. W. & Saugen, B. (2016). *Varmepumper i energisystemet*. www.publikasjoner.nve.no: Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

Miljødirektoratet. (2019a). *Energieffektivisering og -omlegging i eksisterende bygg*. www.miljodirektoratet.no: Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energitiltak/bygg-og-anlegg/energieffektivisering-og-omlegging-eksisterende-bygg/>.

Miljødirektoratet. (2019b). *EUs system for klimakvoter*. www.miljodirektoratet.no: Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/klimakvoter/eus-klimakvotesystem/>.

Miljøstatus/Miljødirektoratet. (2021). *Klimaendringene skjer her og nå*. miljøstatus.miljodirektoratet.no. Tilgjengelig fra: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/>.

Multiconsult AS, Analyse & Strategi AS & Entro AS. (2014). *Analyse av energibruk i undervisningsbygg*. www.publikasjoner.nve.no: Norges vassdrags- og energidirektorat.

Nordli, S. (2019). *Sammenligning av energiforbruk før og etter gjennomførte ENØK-tiltak på case-studiet Arkitektur- og designhøgskolen i Oslo*. OsloMet: OsloMet og Statsbygg.

Næss, P. (2005). *Bedre behovsanalyser; Erfaringer og anbefalinger om behovsanalyser i store offentlige investeringsprosjekter (Conceptrapport nr. 5)*.

Open Power System Data. (2022). *When2Heat Heating Profiles*. www.open-power-system-data.org: Open Power System Data. Tilgjengelig fra: <https://data.open-power-system-data.org/when2heat/>.

REC. (u.d.). *REC TwinPeak 2**. Tilgjengelig fra: <https://www.recgroup.com/en/products/rec-twinpeak-2-en>.

- Regjeringen.no. (2021). *Klimaendringer og norsk klimapolitikk*: Regjeringen.no. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>.
- Rolstadås, A., Johansen, A., Olsson, N. & Langlo, J. A. (2020). *Praktisk prosjektledelse*. 2. utg.: Fagbokforlaget.
- Rosvold, K. A. (2019a). *Halogenpære*. www.snl.no: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/halogenp%C3%A6re>.
- Rosvold, K. A. (2019b). *Lyspære*. www.snl.no: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/lysp%C3%A6re>.
- Rosvold, K. A. (2021). *LED-belysning*. www.snl.no: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/LED-belysning>.
- Ruhnau, O., Hirth, L. & Praktiknjo, A. (2019). Time series of heat demand and heat pump efficiency for energy system modeling. *Scientific Data*: 10.
- Sendy, A. (2021). *Pros and cons of string inverters vs. microinverters*. www.solarreviews.com: SolarReviews. Tilgjengelig fra: <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-string-inverter-vs-microinverter>.
- Smets, A., Jäger, K., Isabella, O., Swaaij, R. V. & Zeman, M. (2016). *Solar Energy - The physics and engineering of photovoltaic conversion technologies and systems*: UIT Cambridge Ltd.
- Solcellespesialisten. (u.d.). *Solcelleanlegg på flate tak*. www.solcellespesialisten.no: Solcellespesialisten. Tilgjengelig fra: <https://solcellespesialisten.no/flate-tak>.
- Standard Norge. (2014). *Norsk Standard NS 3031:2014*. Beregning av bygningers energiytelse, Metode og data: Standard Norge.
- Swegon. (u.d.). *Dette bør du vite om varmevekslere*. www.swegon.com/no. Tilgjengelig fra: <https://www.swegon.com/no/guider/tekniske-guider/ulike-varmevekslertyper/>.
- Twidell, J. & Weir, T. (2015). *Renewable Energy Resources*. Third edition utg.: Routledge.
- Utenriksdepartementet. (2021). *Hva EØS-avtalen omfatter*. Regjeringen.no: Regjeringen.no. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/europapolitikk/eos1/hva-avtalen-omfatter/id685024/>.
- varmepumpeinfo. (2022). *Væske-til-vann-varmepumpe*. www.varmepumpeinfo.no: varmepumpeinfo. Tilgjengelig fra: <https://www.varmepumpeinfo.no/varmepumpetyper/vaske-til-vann-varmepumpe>.
- WWF. (u.d.). *Klimaendringer*. www.wwf.no: WWF. Tilgjengelig fra: https://www.wwf.no/klima-og-energi/klimaendringer?utm_source=1400&gclid=EAlaIQobChMIzY-8qWn9QIVUZBoCR2q3AQEEAAYASAAEgKkpfD_BwE.
- Zhang, T. (2017). *What's a good value for kWh/kWp? An overview of specific yield*. www.solarpowerworldonline.com: Solar Power World. Tilgjengelig fra: <https://www.solarpowerworldonline.com/2017/08/specific-yield-overview/>.

9 Vedlegg

Vedlegg 1: Pythonskript med analyse av energidata.

```
[ ] import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

[ ] #Laster inn energidata fra Statsbygg E05
power = pd.read_excel('Alle målere 01.01.2021 - 18.01.2022.xlsx')
# Laster inn utetemperaturer
utetemp = pd.read_excel('Temperatur 01.01.2021 - 18.01.2022.xlsx')

[ ] power = power[3:len(power)-4]
col = ['date', 'meter', '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', '9', '10', '11', '12', '13', '14', '15', '16', '17', '18', '19', '20', '21', '22', '23', '24', 'sum']
drops = ['sum']
if len(power.columns) > 27:
    col = ['date', 'meter', 'type', 'unit', '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', '9', '10', '11', '12', '13', '14', '15', '16', '17', '18', '19', '20', '21', '22', '23', '24', 'sum']
    drops = ['sum', 'type', 'unit']
power.columns = col
power = power.drop(labels=drops, axis=1)
power['date'] = pd.to_datetime(power['date'], format='%d.%m.%Y')
power = power.set_index(['meter', 'date'])
power = power.stack().reset_index()
power.columns = ['meter', 'date', 'hour', 'power']
power.date = power.date + pd.to_timedelta(power.hour*':00:00')
power = power.reset_index()
#power = power.set_index(['date'])
meters = power.pivot(index='index', columns='meter', values='power').columns.tolist()
if 'Snitt' in meters:
    meters.remove('Snitt')
if 'Snitt ukedager' in meters:
    meters.remove('Snitt ukedager')
utecols = ['Havn', 'Stasjon', 'Time', 'Temp']
utetemp.columns = utecols
utetemp = utetemp[utetemp.columns.tolist()[2:]]
utetemp['Time'] = pd.to_datetime(utetemp['Time'], format='%d.%m.%Y %H:%M')

power = power.merge(utetemp, left_on='date', right_on='Time', how='inner')
power['weekday'] = power.date.dt.weekday
power['month'] = power.date.dt.month
powerNatt = power[power['hour'] == '4']
power = power.set_index('date')
meters

[ ] # Endre variabel "meter" til en av målerne skrevet ut i linjen over
meter_variabel = 'E1 Abn måler hovedbygg og bygg M (t)'

[ ] power.to_csv("power.csv")

[ ] select_data=power[power.meter==meter_variabel]

select_data["power"]

[ ] select_data[select_data.index.year==2021].power.to_csv("kun_elforbruk.csv")

[ ] # Graf over energiforbruk i angitt periode
# NB! Hoppene man ser med jevnlig mellomrom i grafen under skyldes hull i tidsserien. Jobber med å finne en løsning
#power = power.set_index(['date'])
power[(power['meter']==meter_variabel) & (power.index < '2022-01-01')]['power'].plot()

plt.xlabel('Dato - 2021')
plt.ylabel('Energiforbruk [kWh/h]')

# Tittel
plt.title('Energiforbruk 2021 for ' + meter_variabel)
plt.legend()

[ ] # ET-kurve for valgt måler
power[power['meter']==meter_variabel].plot.scatter(x='Temp', y='power')
plt.xlabel('Utetemperatur[C]')
plt.ylabel('Energiforbruk [kWh/h]')

# Tittel
plt.title('ET-kurve for ' + meter_variabel)
plt.legend()

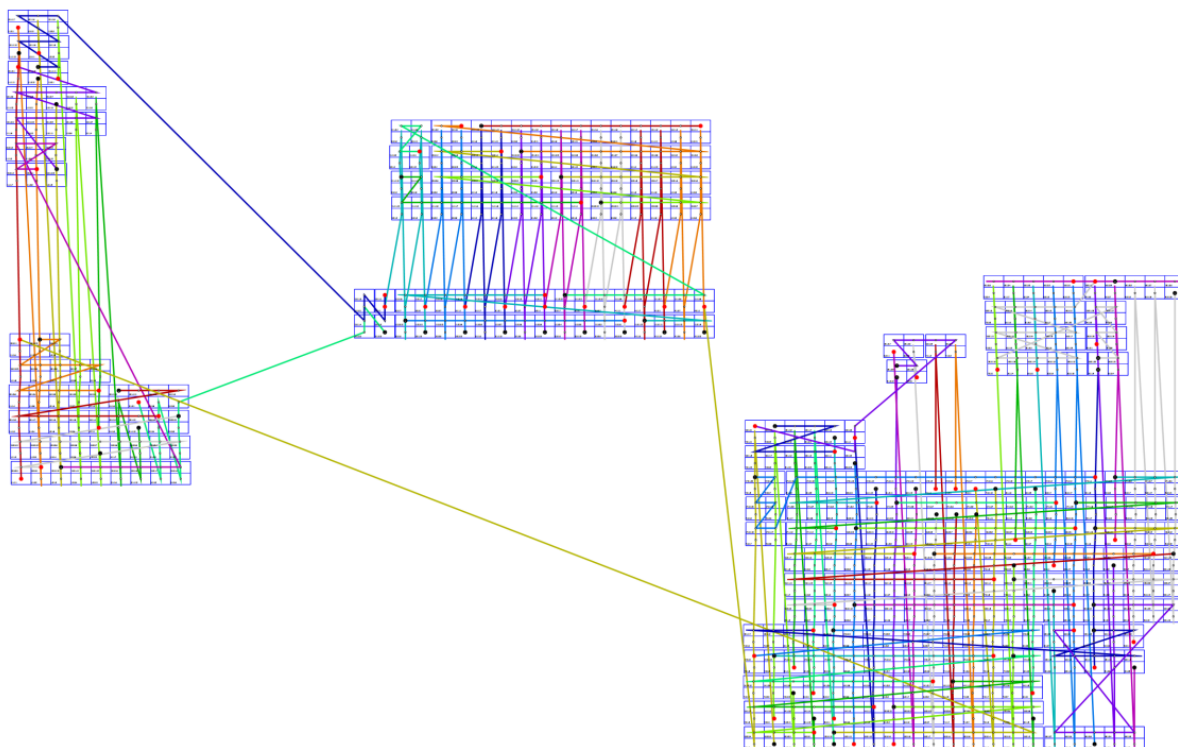
[ ] # Logg energiforbruk natt.
# Nyttig for å sjekke styring varmekabel/ elektrisk oppvarming, samt nattlast (pumper og evt. lys - avhengig av drift)
powerNatt.set_index('date', inplace=True)
a = powerNatt[powerNatt['meter'] == meter_variabel]['power'].plot()
powerNatt[powerNatt['meter'] == meter_variabel]['Temp'].plot(ax=a)
plt.xlabel('Dato - 2021')
plt.ylabel('Energiforbruk [kWh/h]')

# Tittel
plt.title('Logg energiforbruk natt (04:00) for måler ' + meter_variabel)
plt.legend((meter_variabel, 'Utetemperatur'))
```

Vedlegg 2: Fullstendig kostnadsanalyse for tiltak 1 - væske-til-vann-varmepumpe.

Kostnadsanalyse varmepumpe									
Varetype	Vare	Stk./meter	Kostpris/stk	Kostpris totalt	Inkl. mva	Salgspris/stk	Salgspris totalt	Dekningsbidrag (kr)	Dekningsgrad
Materialer									
	Energibrønner	30	kr 100 000,00	kr 3 000 000,00	kr 125 000,00	kr 3 750 000,00	kr 750 000,00	25 %	
	Varmepumpe	1	kr 800 000,00	kr 800 000,00	kr 1 000 000,00	kr 1 000 000,00	kr 200 000,00	25 %	
	Rør	1	kr 400 000,00	kr 400 000,00	kr 500 000,00	kr 500 000,00	kr 100 000,00	25 %	
	Akkumulatortank	1,00	kr 100 000,00	kr 100 000,00	kr 125 000,00	kr 125 000,00	kr 25 000,00	25 %	
	Nødventilasjon	1	kr 200 000,00	kr 200 000,00	kr 250 000,00	kr 250 000,00	kr 50 000,00	25 %	
	Totalt materialer			kr 4 500 000,00		kr 5 625 000,00	kr 1 125 000,00		
Arbeid									
	Bygningsmessig arbeid	1	kr 150 000,00	kr 150 000,00	kr 187 500,00	kr 187 500,00	kr 37 500,00	25 %	
	Totalt arbeid			kr 150 000,00		kr 187 500,00	kr 37 500,00		
Elarbeid									
	Elektrikerarbeid	8	kr 800,00	kr 6 400,00	kr 1 000,00	kr 8 000,00	kr 1 600,00	25 %	
	Totalt elarbeid			kr 6 400,00		kr 8 000,00	kr 1 600,00		
Frakt									
	Varmepumpe	1	kr 10 000,00	kr 10 000,00	kr 12 500,00	kr 12 500,00	kr 2 500,00	25 %	
	Totalt frakt			kr 10 000,00		kr 12 500,00	kr 2 500,00		
Prosjektering									
	Prosjektledelse	40	kr 1 000,00	kr 40 000,00	kr 1 250,00	kr 50 000,00	kr 10 000,00	25 %	
	Totalt administrasjon			kr 40 000,00		kr 50 000,00	kr 10 000,00		
	Totalt			kr 4 706 400,00		kr 5 883 000,00	kr 1 176 600,00		

Vedlegg 3: System- og koblingskjema for solcellene på taket over F- og S-fløya. Firkantene illustrerer solcellemoduler vinklet mot øst/vest, koblet i serie. Strekene illustrerer koblingene mellom modulene og de tilhørende inverterne.



Vedlegg 4: Fullstendig kostnadsanalyse for tiltak 2 - solceller.

Kostnadsanalyse solceller									
Varetype	Vare	Stk./meter	Kostpris/stk	Kostpris totalt	Inkl. mva	Salgspris/stk	Salgspris totalt	Dekningsbidrag (kr)	Dekningsgrad
PV-moduler									
	REC Solar TwinPeak 4 REC365 Black - 365 Wp	868	kr 1 968,97	kr 1 709 069,13	kr 2 461,22	kr 2 136 336,41	kr 427 267,28	25 %	
	Totalt PV-moduler	868		kr 1 709 069,13		kr 2 136 336,41	kr 427 267,28		
Inverter									
	SMA STP15000TL-30	0	kr 30 666,00	kr -	kr 38 332,50	kr -	kr -	25 %	
	SMA Sunny Tripower 12000TL-20	18	kr 21 963,09	kr 395 335,67	kr 27 453,87	kr 494 169,58	kr 98 833,92	25 %	
	Totalt inverter	18		kr 395 335,67		kr 494 169,58	kr 98 833,92	20 %	
Display - visualisering									
	Display	0	kr 4 000,00	kr -	kr 5 000,00	kr -	kr -	25 %	
	Totalt display			kr -	kr -	kr -	kr -		
Montering/rammesystem									
	Wasi øst/vest A2>30 kWp	316 820,00	kr 1,60	kr 506 912,00	kr 2,00	kr 633 640,00	kr 126 728,00	25 %	
	Diverse forberedelse	158,41	kr 250,00	kr 39 602,50	kr 312,50	kr 49 503,13	kr 9 900,63	25 %	
	Totalt montering/rammesystem			kr 546 514,50		kr 683 143,13	kr 136 628,63	20 %	
PV-montering									
	Ekstern montering	868	kr 600,00	kr 520 800,00	kr 750,00	kr 651 000,00	kr 130 200,00	25 %	
	Kran timepris 28 meter utlegg (inkl. transport)	4	kr 2 000,00	kr 8 000,00	kr 2 500,00	kr 10 000,00	kr 2 000,00	25 %	
	Totalt PV-montering			kr 528 800,00		kr 661 000,00	kr 132 200,00	20 %	
Elarbeid									
	Kabler (gjnt. 7m per modul)	6076	kr 9,00	kr 54 684,00	kr 11,25	kr 68 355,00	kr 13 671,00	25 %	
	Kabelstikk (per string)	86,8	kr 17,00	kr 1 475,60	kr 21,25	kr 1 844,50	kr 368,90	25 %	
	Elmaterier (f.eks. sikringsbokser osv.)	316 820,00	kr 0,64	kr 202 764,80	kr 0,80	kr 253 456,00	kr 50 691,20	25 %	
	Elektriker	173,6	kr 800,00	kr 138 880,00	kr 1 000,00	kr 173 600,00	kr 34 720,00	25 %	
	Totalt elarbeid			kr 341 644,80		kr 427 056,00	kr 85 411,20	20 %	
Frakt									
	Moduler (pris per tonn fra DE)	1	kr 10 000,00	kr 10 000,00	kr 12 500,00	kr 12 500,00	kr 2 500,00	25 %	
	Totalt frakt			kr 10 000,00		kr 12 500,00	kr 2 500,00	20 %	
Administrasjon									
	Tegninger mv.	73,36	kr 600,00	kr 44 018,40	kr 750,00	kr 55 023,00	kr 11 004,60	25 %	
	Garantier (moduler)	1 %	kr 1 709 069,13	kr 17 090,69	kr 2 136 336,41	kr 21 363,36	kr 4 272,67	25 %	
	Prosjektledelse	110,05	kr 600,00	kr 66 027,60	kr 750,00	kr 82 534,50	kr 16 506,90	25 %	
	Kjøregodtgjørelse (ifbm befaring o.l.)	896	kr 3,50	kr 3 136,00	kr 4,38	kr 3 920,00	kr 784,00	25 %	
	Totalt administrasjon			kr 69 163,60		kr 86 454,50	kr 17 290,90	20 %	
	Totalt			kr 3 600 527,69		kr 4 500 659,62	kr 900 131,92	20 %	

Vedlegg 5: Fullstendig kostnadsanalyse for tiltak 3 - innendørs belysning.

Kostnadsanalyse innendørs belysning									
Varetype	Vare	Stk./meter	Kostpris/stk	Kostpris totalt	Inkl. mva	Salgspris/stk	Salgspris totalt	Dekningsbidrag (kr)	Dekningsgrad
Materialer									
	Armaturer	250	kr 1 000,00	kr 250 000,00	kr 1 250,00	kr 312 500,00	kr 62 500,00	25 %	
	Totalt materialer			kr 250 000,00		kr 312 500,00	kr 62 500,00		
Elarbeid									
	Elektrikerarbeid	250	kr 800,00	kr 200 000,00	kr 1 000,00	kr 250 000,00	kr 50 000,00	25 %	
	Totalt elarbeid			kr 200 000,00		kr 250 000,00	kr 50 000,00		
Frakt									
	Frakt	1	kr 10 000,00	kr 10 000,00	kr 12 500,00	kr 12 500,00	kr 2 500,00	25 %	
	Totalt frakt			kr 10 000,00		kr 12 500,00	kr 2 500,00		
Prosjektering									
	Prosjektledelse	16,00	kr 1 000,00	kr 16 000,00	kr 1 250,00	kr 20 000,00	kr 4 000,00	25 %	
	Totalt administrasjon			kr 16 000,00		kr 20 000,00	kr 4 000,00		
	Totalt			kr 476 000,00		kr 595 000,00	kr 119 000,00		

Veilegg 6: Fullstendig kostnadsanalyse for tiltak 4 - utendørs belysning.

Kostnadsanalyse utendørs belysning									
Varetype	Vare	Stk./meter	Kostpris/stk	Kostpris totalt	Inkl. mva	Salgspris/stk	Salgspris totalt	Dekningsbidrag (kr)	Dekningsgrad
Materialer									
	Store master	3	kr 13 500,00	kr 40 500,00	kr 16 875,00	kr 50 625,00	kr 10 125,00	25 %	
	Små master	33	kr 4 000,00	kr 132 000,00	kr 5 000,00	kr 165 000,00	kr 33 000,00	25 %	
	Totalt materialer			kr 172 500,00		kr 215 625,00	kr 43 125,00		
Elarbeid									
	Elektrikerarbeid	36	kr 2 000,00	kr 72 000,00	kr 2 500,00	kr 90 000,00	kr 18 000,00	25 %	
	Lyftleie	1	kr 10 000,00	kr 10 000,00	kr 12 500,00	kr 12 500,00	kr 2 500,00	25 %	
	Totalt elarbeid			kr 72 000,00		kr 90 000,00	kr 18 000,00		
Frakt									
	Frakt	1	kr 10 000,00	kr 10 000,00	kr 12 500,00	kr 12 500,00	kr 2 500,00	25 %	
	Totalt frakt			kr 10 000,00		kr 12 500,00	kr 2 500,00		
Prosjektering									
	Prosjektledelse	8,00	kr 1 000,00	kr 8 000,00	kr 1 250,00	kr 10 000,00	kr 2 000,00	25 %	
	Totalt administrasjon			kr 8 000,00		kr 10 000,00	kr 2 000,00		
	Totalt			kr 262 500,00		kr 328 125,00	kr 65 625,00		

Veilegg 7: Beregningsgrunnlag for energibesparelsen til ventilasjonstiltaket.

FØR TILTAK																		
Anlegg	01-06 + 36.19 + 36.07		36.07		36.08A og B		36.10		36.14-15		36.16		36.17		36.18			
Luftmengde drift	86 000 m³/h	6 000 m³/h	9 000 m³/h	5 000 m³/h	21 250 m³/h	5 000 m³/h	2 500 m³/h	8 700 m³/h										
Varmegjenvinning	78 %	65 %	75 %	0 %	78 %	40 %	45 %	74 %										
Tilluftstemp.	21 °C	21 °C	18 °C	21 °C	21 °C	19 °C	21 °C	21 °C										
SFP	2,5 kW/m³/s	3,5 kW/m³/s	2,5 kW/m³/s	2,0 kW/m³/s	4,0 kW/m³/s	3,5 kW/m³/s	4,0 kW/m³/s	4,0 kW/m³/s										
	Start	Stopp	Start	Stopp	Start	Stopp	Start	Stopp	Start	Stopp	Start	Stopp	Start	Stopp	Start	Stopp	Start	
Mandag	05:30	15:30	05:30	15:30	10:00	14:00	09:00	21:00	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30
Tirsdag	05:30	15:30	05:30	15:30	10:00	14:00	09:00	21:00	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30
Onsdag	05:30	15:30	05:30	15:30	10:00	14:00	09:00	21:00	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30
Torsdag	05:30	15:30	05:30	15:30	10:00	14:00	09:00	21:00	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30
Fredag	05:30	15:30	05:30	15:30	10:00	14:00	09:00	21:00	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30
Lørdag	00:00	00:01	00:00	00:01	12:00	14:00	09:00	21:00	00:00	00:01	00:00	00:01	00:00	00:01	00:00	00:01	00:00	00:01
Søndag	00:00	00:01	00:00	00:01	12:00	14:00	09:00	21:00	00:00	00:01	00:00	00:01	00:00	00:01	00:00	00:01	00:00	00:01
Driftstimer per uke	50 timer/uke	50 timer/uke	24 timer/uke	84 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke
Anlegg	01-06 + 36.19 + 36.07		36.07		36.08A og B		36.10		36.14-15		36.16		36.17		36.18			
Effekt vifter (kW)	60	6	6	3	24	5	3	10										
Energibruk vifter (kWh/år)	155 381	15 177	7 800	12 133	61 430	12 647	7 227	25 150										
Energibruk varme (kWh/år)	284 141	31 538	13 260	126 067	70 209	39 590	20 650	33 971										
ETTER TILTAK																		
Anlegg	01-06 + 36.19 + 36.07		36.07		36.08A og B		36.10		36.14-15		36.16		36.17		36.18			
Luftmengde drift	86 000 m³/h	6 000 m³/h	9 000 m³/h	5 000 m³/h	21 250 m³/h	5 000 m³/h	2 500 m³/h	8 700 m³/h										
Varmegjenvinning	78 %	83 %	75 %	0 %	78 %	40 %	70 %	74 %										
Tilluftstemp.	21 °C	21 °C	18 °C	21 °C	21 °C	19 °C	21 °C	21 °C										
SFP	2,5 kW/m³/s	2,0 kW/m³/s	2,5 kW/m³/s	2,0 kW/m³/s	2,0 kW/m³/s	2,0 kW/m³/s	2,0 kW/m³/s	2,0 kW/m³/s										
	Start	Stopp	Start	Stopp	Start	Stopp	Start	Stopp	Start	Stopp	Start	Stopp	Start	Stopp	Start	Stopp	Start	
Mandag	05:30	15:30	05:30	15:30	10:00	14:00	09:00	21:00	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30
Tirsdag	05:30	15:30	05:30	15:30	10:00	14:00	09:00	21:00	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30
Onsdag	05:30	15:30	05:30	15:30	10:00	14:00	09:00	21:00	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30
Torsdag	05:30	15:30	05:30	15:30	10:00	14:00	09:00	21:00	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30
Fredag	05:30	15:30	05:30	15:30	10:00	14:00	09:00	21:00	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30	05:30	15:30
Lørdag	00:00	00:01	00:00	00:01	12:00	14:00	09:00	21:00	00:00	00:01	00:00	00:01	00:00	00:01	00:00	00:01	00:00	00:01
Søndag	00:00	00:01	00:00	00:01	12:00	14:00	09:00	21:00	00:00	00:01	00:00	00:01	00:00	00:01	00:00	00:01	00:00	00:01
Driftstimer per uke	50 timer/uke	50 timer/uke	24 timer/uke	84 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke	50 timer/uke
Anlegg	01-06 + 36.19 + 36.07		36.07		36.08A og B		36.10		36.14-15		36.16		36.17		36.18			
Effekt vifter (kW)	60	3	6	3	12	3	1	5										
Energibruk vifter (kWh/år)	155 381	8 672	7 800	12 133	30 715	7 227	3 614	12 575										
Energibruk varme (kWh/år)	284 141	15 318	13 260	126 067	70 209	39 590	11 264	33 971										
RESULTAT																		
Energibesparelse vifter (kWh)	58 828				Oppvarming	Vifteenergi	% til gode som oppvarming	Netto oppvarming										
Energibesparelse oppvarming (kWh)	10 899		Energiforbruk før ENØK (kWh)	619 426	296 346	25 %	545 190											
			Energiforbruk etter ENØK (kWh)	593 820	238 118	25 %	534 291											

Vedlegg 8: Fullstendig kostnadsanalyse for tiltak 5 - ventilasjon.

Kostnadsanalyse ventilasjon									
Varetype	Vare	Stk./meter	Kostpris/stk	Kostpris totalt	Inkl. mva	Salgspris/stk	Salgspris totalt	Dekningsbidrag (kr)	Dekningsgrad
Materialer og arbeid									
	Bytte aggregat - 36.07	1	kr 450 000,00	kr 450 000,00	kr 562 500,00	kr 562 500,00	kr 112 500,00	25 %	
	Bytte vifter - 36.17	2	kr 30 000,00	kr 60 000,00	kr 37 500,00	kr 75 000,00	kr 15 000,00	25 %	
	Bytte gjenvinner - 36.1	1	kr 50 000,00	kr 50 000,00	kr 62 500,00	kr 62 500,00	kr 12 500,00	25 %	
	Bytte vifter - 36.18	2	kr 70 000,00	kr 140 000,00	kr 87 500,00	kr 175 000,00	kr 35 000,00	25 %	
	Bytte vifter - 36.14	2	kr 70 000,00	kr 140 000,00	kr 87 500,00	kr 175 000,00	kr 35 000,00	25 %	
	Bytte vifter - 36.15	2	kr 70 000,00	kr 140 000,00	kr 87 500,00	kr 175 000,00	kr 35 000,00	25 %	
	Bytte vifter - 36.16	2	kr 50 000,00	kr 100 000,00	kr 62 500,00	kr 125 000,00	kr 25 000,00	25 %	
	Totalt materialer			kr 1 080 000,00		kr 1 350 000,00	kr 270 000,00		
Elarbeid									
	Elektrikerarbeid	15	kr 800,00	kr 12 000,00	kr 1 000,00	kr 15 000,00	kr 3 000,00	25 %	
	Totalt elarbeid			kr 12 000,00		kr 15 000,00	kr 3 000,00		
Innregulering									
	Innregulering	10	kr 50 000,00	kr 500 000,00	kr 62 500,00	kr 625 000,00	kr 125 000,00	25 %	
	Totalt innregulering			kr 500 000,00		kr 625 000,00	kr 125 000,00		
Frakt									
	Frakt	1	kr 10 000,00	kr 10 000,00	kr 12 500,00	kr 12 500,00	kr 2 500,00	25 %	
	Totalt frakt			kr 10 000,00		kr 12 500,00	kr 2 500,00		
Prosjektering									
	Prosjektledelse	40,00	kr 1 000,00	kr 40 000,00	kr 1 250,00	kr 50 000,00	kr 10 000,00	25 %	
	Totalt administrasjon			kr 40 000,00		kr 50 000,00	kr 10 000,00		
	Totalt			kr 1 642 000,00		kr 2 052 500,00	kr 410 500,00		



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway