

Utnyttelse av solenergi på Bømlo kommune sin bygningsmasse

Hans Simen Arnessen Bø
Jørgen Kallevåg

Bacheloroppgave i Energiteknologi
Bergen, Norge 2024



Utnyttelse av solenergi på Bømlo kommune
sin bygningsmasse
- En mulighetsstudie

Hans Simen Arnessen Bø

Jørgen Kallevåg

Institutt for Maskin- og Maritime Studium

Høgskulen på Vestlandet

NO-5063 Bergen, Norge

IMM 2024-M74

Høgskulen på Vestlandet
Fakultet for Teknologi, Miljø- og Samfunnsvitskap
Institutt for Maskin- og Maritime Studium
Inndalsveien 28
NO-5063 Bergen, Norge

Omslag fotografi © Norbert Lümmer

English title: Utilization of solar energy in Bømlo municipality's building stock
- A feasibility study

Forfatter(e), studentnummer: Hans Simen Arnessen Bø h602089
Jørgen Kallevåg h597759

Studieprogram: Energiteknologi
Dato: Mai 2024
Rapportnummer: IMM 2024-M74
Veileder ved HVL: Boris Balakin, Professor ved HVL
Oppdragsgiver: Bømlo kommune
Oppdragsgivers referanse: Katrine Strand Sæterbø

Antall filer levert digitalt: 3

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av Hans Simen Arnessen Bø og Jørgen Kallevåg som en del av faget MAS354, og markerer slutten på tre lærerike år ved Institutt for maskin- og maritime studium (IMM) ved Høgskulen på Vestlandet (HVL), campus Kronstad, Bergen. Oppgaven er skrevet i løpet av vårsemesteret 2024 og representerer 20 studiepoeng.

Oppgaven tar for seg en mulighetsstudie utformet i samarbeid med Bømlo kommune. Motivasjonen for å skrive en slik oppgave kom som følge av et sterkt ønske fra prosjektgruppen om å levere noe konkret som kunne anvendes av kommunen kort tid etter ferdigstilling.

Vi ønsker å rette en stor takk til vår interne veileder, Professor Boris Balakin, for all hjelp under oppgaveskrivingen. Han har gitt oss god veiledning underveis og bistått med blant annet informasjon, litteratur og kritiske spørsmål. Samtidig har han vært rask med å svare på spørsmål, og vi føler vi alltid har blitt prioritert.

Vi vil også takke vår eksterne veileder Katrine Strand Sæterbø, rådgiver klima og miljø, Bømlo kommune, for all hjelp og informasjon hun har kommet med underveis i oppgaveskrivingen. Hun har alltid bistått oss med forespurt data og informasjon om de respektive byggene vi har valgt å skrive om. Dette har vært nødvendig for at vår oppgave skulle komme i mål. Vi erfarer at oppgavens nøyaktighet og resultat er noe begge parter kan være fornøyde med.

Takk også til Slava Liakhov fra Inaventa Solar for verdifull innsikt og gode svar på våre spørsmål rundt solfangere, samt Halvor Krunenes fra Multiconsult for hans bidrag med verdifulle prisestimer for solcelleanlegg.

Sammendrag

Denne bacheloroppgaven undersøker potensialet for å implementere solenergianlegg på syv kommunale bygg i Bømlo kommune, med fokus på både solcelleanlegg og solfangeranlegg. Byggene det er fokusert på er Bremnes ungdomsskule, Meling skule, Moster skule, Svortland skule, Bømlo bu- og helsesenter, Bømlo Rådhus og Bømlo symjehall. Studien har som mål å evaluere potensialet for energiproduksjon fra solenergianlegg og deres økonomiske bærekraft, samt å vurdere hvordan termisk energi og elektrisitetsgenerering kan kombineres effektivt. Gjennom den økonomiske analysen og et scoringssystem er de syv byggene rangert etter egnethet.

Analysene viser at samtlige bygg kan være lønnsomme investeringer for solenergi, med Bremnes ungdomsskule som det mest fremtredende eksempelet. Skolen utmerker seg spesielt med en lav Levelized Cost of Energy (LCOE) på 49 øre/kWt, tilbakebetalingstid på cirka 10 år, og høy nåverdi på over 2 millioner kroner, noe som gjør det til en ideell kandidat for solenergi prosjekter. Andre bygg, som Bømlo bu- og helsesenter og Bømlo symjehall, viser også positive økonomiske indikatorer, spesielt når det gjelder nåverdi, til tross for høyere investeringskostnader og driftsutgifter.

Størrelsen på solenergianleggene viser seg å være en avgjørende faktor for økonomisk avkastning, hvor større anlegg oppnår skalaøkonomier som reduserer systemkostnadene. Dette gjelder både for solcelleanlegg og solfangeranlegg, selv om prisreduksjonen er mer markant for solcelleanlegg.

Studien fremhever betydningen av grundig planlegging og tilpasning av solenergianlegg til de unike forholdene ved hvert bygg. Ved å bruke en kombinasjon av solceller og solfangere kan Bømlo kommune optimalisere sine solenergiløsninger samtidig som de er økonomisk lønnsomme.

Søkeord: Solenergi, solceller, solfangere, Bømlo

Abstract

This bachelor's thesis investigates the potential for implementing solar energy systems on seven municipal buildings in Bømlo municipality, focusing on both photovoltaic systems and solar thermal collectors. It focuses on the potential for implementing solar energy systems on seven municipal buildings in Bømlo municipality: Bremnes ungdomsskule, Meling skule, Moster skule, Svortland skule, Bømlo bu- og helsesenter, Bømlo Rådhus, and Bømlo symjehall. The study aims to evaluate the potential for energy production from solar energy systems and their economic sustainability, as well as how thermal energy and electricity generation can be effectively combined. Through economic analysis and a scoring system, the seven buildings are ranked according to their suitability.

The analyses show that all selected buildings can be profitable investments for solar energy, with Bremnes ungdomsskule being the most prominent example. The school stands out particularly with a low Levelized Cost of Energy (LCOE) of 0.49 NOK/kWh, a payback period of approximately 10 years, and a high net present value (NPV) of over 2 million NOK, making it an ideal candidate for solar energy projects. The economic analysis and scoring system also highlight particularly positive economic indicators for other buildings, such as Svortland skule and Meling skule.

The size of the solar energy systems proves to be a crucial factor for economic returns, with larger systems achieving economies of scale that reduce system costs. This applies to both PV systems and solar thermal collectors, although the cost reduction is more significant for PV systems.

Despite some limitations and uncertainties in the data, the study emphasizes the importance of thorough planning and adaptation of solar energy systems to the unique conditions of each building. By using a combination of PV systems and solar thermal collectors, Bømlo municipality can optimize its solar energy solutions while also being economically viable.

Keywords: Solar energy, photovoltaic systems, solar thermal collectors, Bømlo

Innholdsliste

Forord	V
Sammendrag	VII
Abstract	IX
Forkortelser og definisjoner	XVI
1 Innledning	1
1.1 Bømlo Kommune	3
1.2 Oppgavens utforming	4
2 Metode	5
2.1 Valg av metode	5
2.2 Datainnsamling	5
2.2.1 Kvalitativ datainnsamling	5
2.2.2 Kvantitativ datainnsamling	6
2.3 Verktøy	7
2.4 Utvalg	8
2.5 Usikkerhet, feilkilder og begrensninger	8
3 Teori	11
3.1 Solen	11
3.2 Fotovoltaisk teknologi	12
3.2.1 Prinsipp	12
3.2.2 Oppbygging og teknologier	13
3.2.3 Virkningsgrad og tap	15
3.3 Solfanger	16
3.3.1 Prinsipp	16
3.3.2 Oppbygging og teknologier	17
3.3.3 Virkningsgrad og tap	18

3.4	Solinnstråling, orientering og helning	19
4	Kartlegging og analyse	23
4.1	Energikostnad og fremtidig prisutvikling	23
4.2	Overskuddsenergi	24
4.3	Utvalgte bygninger for analyse	25
4.4	Kartlegging av eksisterende energiforbruk	26
4.5	Data om byggene	28
4.6	Monteringssteder	30
4.7	Utstyrvalg	32
4.7.1	Solcellepanel	32
4.7.2	Solfanger	32
4.8	Analyse av solinnstråling	33
4.9	Estimering av solenergiproduksjon	34
4.10	Scorings- og rangeringssystem	35
5	Økonomisk analyse og lønnsomhetsvurdering	38
5.1	Systemkostnader for solceller	38
5.2	Systemkostnader for solfanger	39
5.3	LCOE	41
5.4	Tilbakebetalingsmetoden	42
5.5	Nåverdimetoden	42
5.6	Diskonteringsrente	43
6	Resultat	44
6.1	Produksjon, forbruk og installasjonsdetaljer for solenergianlegget	44
6.2	Økonomisk resultater	49
6.3	Prioritering og rangering	54
6.4	Diskusjon av resultat	55
6.4.1	Produksjon, forbruk og installasjonsdetaljer for solenergianlegget	55

6.4.2	Økonomi.....	56
6.4.3	Prioritering og rangering	57
7	Diskusjon.....	59
7.1	Tekniske valg	59
7.2	Økonomiske valg og vurderinger.....	59
7.3	Sensitivitetsanalyse	61
7.4	Overskuddsenergi.....	64
7.5	Lokal kraftproduksjon	65
7.6	Symbolverdi	66
8	Konklusjon	67
	Referanser.....	68
	Liste over Figurer	73
	Liste over Tabeller	74
	Vedlegg	75
	Beregninger av areal.....	75
A1	Bremnes ungdomsskule.....	75
A2	Meling skule	76
A3	Moster skule	77
A4	Svortland skule	78
A5	Bømlo bu- og helsesenter	79
A6	Bømlo rådhus	80
A7	Bømlo symjehall	81
	Kraftforbruk	82
A8	Totalt kraftforbruk for utvalgte bygg	82
	Beregninger for solenergianlegg	82
A9	Kalkulator for solcelleproduksjon	82
A10	Bremnes ungdomsskule.....	83

Utnyttelse av solenergi på Bømlo kommune sin bygningsmasse

A11	Meling skule	84
A12	Moster skule	85
A13	Svortland skule	86
A14	Bømlo bu- og helsesenter	87
A15	Bømlo rådhus	88
A16	Bømlo symjehall	89
Økonomiske beregninger		90
A17	Bremnes ungdomsskule.....	90
A18	Meling skule	94
A19	Moster skule	98
A20	Svortland skule	102
A21	Bømlo bu- og helsesenter	106
A22	Bømlo rådhus	110
A23	Bømlo symjehall	114
Rangeringsberegning.....		118
A24	Rangeringsberegning.....	118

Forkortelser og definisjoner

Generelle termer

<i>BBH</i>	Bømlo bu- og helsesenter
<i>FN</i>	Forente Nasjoner
<i>m²</i>	Kvadratmeter
<i>Plusskunde</i>	En prosument som leverer mindre enn 100 kW til nettet
<i>Prosument</i>	En kunde som både produserer og konsumerer elektrisk energi på taket av en bygning.
<i>Selvkonsum</i>	Forbruk av egenprodusert energi
<i>Spisslast</i>	Tidsperioder når energiforbruket/produksjonen er på sitt høyeste
<i>Takkompleksitet</i>	Grad av teknisk utfordring ved installasjon av solenergianlegg

Teknologi og systemer

<i>Akkumulatortank</i>	En tank som lagrer termisk energi for senere bruk i solfangeranlegg
<i>Asimut</i>	Vinkelen på solpanelene relativt til retningen mot sør, brukt til å bestemme optimal plassering og orientering
<i>DC</i>	Direct Current (likestrøm)
<i>G_{STC}</i>	Solinnstråling under standard testbetingelser
<i>Helningsvinkel</i>	Vinkelen som solfangerne eller solcellepanelene er plassert i forhold til horisonten

<i>kWp</i>	Kilowatt peak (maksimal effekt under standard testbetingelser)
<i>kWh</i>	Kilowatttime
<i>PV</i>	Photovoltaic (solcelle)
<i>PVGIS</i>	Photovoltaic Geographical Information System
<i>Solcelleanlegg</i>	Et solcelleanlegg er et system som konverterer solenergi til elektrisk energi ved hjelp av solcellemoduler
<i>Solenergianlegg</i>	Et energiproduserende anlegg bestående av både solceller og solfangere
<i>Solfangeranlegg</i>	Et anlegg bestående av solfanger, varmelager, distribusjonssystem og styringssystem
<i>UV</i>	Ultrafiolett (stråling)
<i>Vekselretter</i>	En enhet som konverterer likestrøm fra solcellepaneler til vekselstrøm som brukes i strømmettet
<i>Virkningsgrad</i>	Et mål på effektiviteten til solfangerne eller solcellepanelene i å konvertere solenergi til brukbar energi

Økonomi

<i>AC</i>	Årlige kostnader
<i>AEP</i>	Årlig energiproduksjon
<i>CAPEX</i>	Investeringskostnader ved oppstart
<i>Diskonteringsrente</i>	En rente brukt i økonomiske beregninger for å bestemme nåverdien av fremtidige inntekter og kostnader

Utnyttelse av solenergi på Bømlo kommune sin bygningsmasse

<i>LCOE</i>	Levelized Cost of Energy (gjennomsnittlig energikostnad over levetiden til anlegget)
<i>Lf</i>	Årlig tapsfaktor (degraderingsrente)
<i>Nåverdi (NPV)</i>	Nåverdien av fremtidige inntekter minus kostnader, diskontert til dagens verdi
<i>OPEX</i>	Driftskostnader
<i>Skalaøkonomi</i>	Reduksjon i kostnader per enhet som følge av økt produksjonsvolum
<i>Systemkostnad</i>	Totale kostnader for installasjon, drift og vedlikehold av solenergianlegg

1 Innledning

I møte med fremtidens klimautfordringer, og et økende fokus på bærekraft og fornybare energiløsninger, ønsker Bømlo kommune å kartlegge muligheten for å implementere solenergianlegg på den eksisterende bygningsmassen deres. FN sitt bærekraftsmål 7 og delmål 7.2 sier at innen 2030 må andelen fornybar energi i verdens samlede energiforbruk øke betydelig. Ifølge Regjeringen er de fleste delmålene i bærekraftsmål 7 så godt som oppnådd, og det er i hovedsak delmål 7.2 det skal jobbes videre med. 73 prosent av Norges totale energiforbruk kommer fra fornybar energi, inkludert transport, og denne andelen er noe regjeringen jobber med å øke [1].

Blant flere klimatiltak har det å utforske nye fornybare energikilder fått plass i samfunnsdelen av kommuneplanen i Bømlo kommune [2], og er videre utfyllende behandlet i en politisk sak som omhandler fremtidig energibruk i kommunale bygg [3]. Kommunens fokus ligger på å identifisere bærekraftige løsninger internt, og et av hovedpunktene i den politiske saken er å gjennomføre en kartlegging av alle kommunale bygg for å evaluere potensialet og gevinstene ved ettermontering av solenergianlegg. Målet er å bruke solenergiproduksjonen til å dekke kommunens eget energibehov, og i tillegg lade opp deres elektriske bilpark [3]. Denne kartleggingen viser en vilje til å implementere konkrete tiltak for å redusere karbonavtrykket og øke bruken av ren energi. Dette vil ikke bare bidra til å møte det lokale energibehovet, men også vise kommunens engasjement i å være en aktiv deltaker i overgangen til en mer bærekraftig fremtid.

Selv om Norge historisk sett har hatt et energioverskudd og billig strøm, har situasjonen de siste årene endret seg. Energibehovet og energiprisene har økt betydelig, og det er forventet at disse skal fortsette å øke i fremtiden på grunn av utfasingen av fossil energi og etableringen av nye kraftkrevende næringer. I Statnett sin langsiktige markedsanalyse for Norge, Norden og Europa antar de at prisene vil synke frem mot 2030 før de stiger igjen, men at de fortsatt vil være volatile. For å møte det økende behovet og få kontroll på prisene mener flere at det er nødvendig med ny og fornybar energiproduksjon [4].

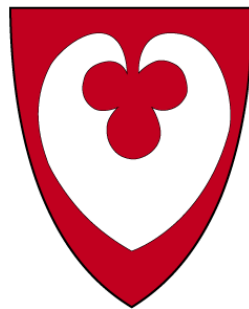
Denne rapporten har som mål å systematisk kartlegge solenergiapotensialet knyttet til et utvalg av bygningsmassen til Bømlo kommune. En analyse av ytterligere determinanter, som for eksempel solinnstråling, skal også utføres. Basert på tilgjengelig areal og forbruksdata fra relevante bygninger, utarbeides forslag til dimensjonering av solenergianlegg for hver enkelt

bygning. Selv om det finnes mange måter å utnytte energien fra solen på, fokuserer denne rapporten på solceller og solfangere på tak, som er teknologiene som er brukt i Norge. Hovedmålet med rapporten er å gi Bømlo kommune en dypere forståelse av potensialet for investeringer i solenergianlegg ved å kombinere solceller og solfangere, og hvilke bygninger det anbefales å begynne med ut fra egnethet. I tråd med vår problemstilling har vi strategisk valgt å formulere konkrete delmål for å systematisk adressere de definerte utfordringene:

- Identifisere potensielle bygg for installasjon av solcelleanlegg.
- Kartlegge eksisterende energiforbruk for de utvalgte bygningene.
- Analysere solinnstråling og tilgjengelige arealer for optimal plassering av solenergianlegg.
- Evaluere og identifisere den mest effektive kombinasjonen av solfangere og solcellepaneler for å maksimere energiproduksjon og økonomisk levedyktighet, samtidig som man sikrer en optimal balanse mellom produksjon av termisk energi og elektrisitetsgenerering.
- Dimensjonere størrelsen på solenergianlegget i tråd med analysen av ressursene og behovene.
- Utarbeide et kostnadsoverslag for implementeringen av solenergianlegget.
- Ta i bruk ulike økonomiske analysemetoder for å undersøke om det er lønnsomt for Bømlo kommune å investere i solenergianlegg.
- Utarbeide en rangering av bygningene basert på hvor egnet de er for implementering av solenergiproduksjon.

1.1 Bømlo Kommune

Bømlo kommune, som ligger på vestkysten av Norge, er en øykommune som karakteriseres av sitt rike maritime miljø og et dynamisk næringsliv. Med et folketall på cirka 12 000 og et areal på 247 km², spiller kommunen en viktig rolle som både industriell og kulturell aktør i regionen. Næringslivet er særlig preget av maritim industri, inkludert fiske, oppdrett, og sjøfart, samt en ekspansiv havbruksnæring. Bømlo fremstår som et senter for innovasjon og bærekraft, drevet av en sterk gründertradisjon og en driftig lokalbefolkning som historisk sett har vært tilpansningsdyktige i møte med skiftende konjunkturer og markeder. Kommunen har også et rikt kulturliv og ni skoler, en videregående skole, og en folkehøgskole, og har over 300 frivillige lag og organisasjoner. Bømlo kommunes visjon er “Berekraftige Bømlo”, og kommunen har sluttet seg til FN sine 17 bærekraftsmål, noe som understreker deres dedikasjon til bærekraftig utvikling [5]. I Figur 1 er Bømlo Kommune sitt kommunevåpen illustrert [6].



Figur 1 - Bømlo kommune sitt kommunevåpen [6]

1.2 Oppgavens utforming

Bacheloroppgaven er delt opp i flere kapitler, med hver sin hensikt. I metoddelen vil det bli gitt en detaljert redegjørelse for valg av tilnærminger og prosedyrer som ble benyttet for å undersøke en eventuell løsning til solceller og solfangeren på de respektive bygg. Dette inkluderer beskrivelser av kvalitative og kvantitative datainnsamlingsmetoder, kommunikasjonsmetoder og verktøy som er brukt.

I teoriseksjonen vil det grundig redegjøres for prinsipp, oppbygning og tekniske spesifikasjoner som virkningsgrad og tap i solceller og solfangere. Videre vil det utforskes gunstige forhold for drift og effektivitet for både solceller og solfangere. Det vil også redegjøres for faktorer som solinnstråling, vinkeljustering og materialvalg og hvordan dette påvirker system og energiproduksjon. Denne delen vil inkludere en del relevant teori og tidligere forskning innen solenergi for å legge et solid grunnlag for våre analyser.

Deretter vil potensialet for solenergi i de utvalgte byggene bli nøye kartlagt gjennom en analyse av energikostnader, overskuddsenergi og energibehov. Dette vil inkludere en detaljert gjennomgang av hvert bygg, samt en grundig vurdering av potensielle monteringssteder for solenergianleggene. Videre vil det gjennomføres en grundig økonomisk analyse for hvert bygg, inkludert beregninger av LCOE, tilbakebetalingstid og nåverdi for solenergianleggene, samt scoring av hvert bygg ved hjelp av et scoringssystem.

I resultatseksjonen vil det bli gitt en detaljert oversikt over alle funn og resultater som er oppnådd gjennom våre beregninger. Dette inkluderer produksjonen, distribusjonen, størrelsen og energiutbyttet til solenergianleggene, samt det årlige energiforbruket for hvert bygg. Her vil også det bli presentert resultatet av scoringen og byggene vil bli rangert.

I diskusjonsdelen vil vi dykke ned i analysen og tolkningen av våre funn, og plassere dem i en større kontekst. Vi vil utforske implikasjonene av våre resultater for både teori og praksis innen solenergi, og diskutere eventuelle begrensninger eller usikkerheter ved våre metoder. Videre vil vi de tekniske og økonomiske valgene i oppgaven bli drøftet rundt, og det vil være anbefalinger og forslag til videre arbeid. Til slutt vil konklusjonsdelen oppsummere de viktigste funnene og konklusjonene som er trukket på bakgrunn av vår oppgave.

2 Metode

2.1 Valg av metode

Metode er et verktøy som benyttes for å samle inn og behandle data. Det er mange forhold som må tas hensyn til med tanke på utforming av solenergianlegg på bygg. I denne bacheloroppgaven er det derfor brukt en kombinasjon av kvalitative og kvantitative forskningsmetoder for å samle inn og analysere data. Kvalitativ metode fokuserer på tolkning av informasjon og data i form av for eksempel tekstanalyse, intervju og personlig deltakelse [7]. Kvantitativ metode vender seg mer mot for eksempel talldata, statistisk analyse og kildesøk [8].

I dette kapittelet vil metodene som ble brukt for innhenting av data og informasjon presenteres. Gjennom denne metodiske tilnærmingen til datainnsamling ble det sikret et solid datagrunnlag for den videre analysen av solenergipotensiålet knyttet til kommunens bygningsmasse. Dette legger grunnlaget for en informert vurdering av mulighetene for implementering av solenergianlegg, i tråd med kommunens mål om bærekraftig og fornybar energiforsyning.

2.2 Datainnsamling

2.2.1 Kvalitativ datainnsamling

I forbindelse med kartleggingen av solenergipotensiålet for Bømlo kommunes bygningsmasse ble det initiert en grundig datainnsamlingsprosess. Informasjon om alle kommunalt eide bygninger, inkludert tegninger, bruksområder for hver bygning, samt strømforbruket for året 2023, ble anskaffet gjennom kommunikasjon med Katrine S. Sæterbø i Bømlo kommune. Disse dataene var alle kvalitative data som var nødvendig informasjon for å kunne utføre mulig nøyaktig videre beregninger av solenergipotensiålet, og for å oppnå et mest mulig virkelighetsnært resultat. Denne forespørselen ble utført elektronisk, via e-post, og relevant dokumentasjon ble mottatt på tilsvarende vis.

Korrespondanse gjennom e-post med ansatte i bedrifter som vi anså som relevante for oppgaven, samt samtaler med fagfolk og intern veileder Pr. Boris Balakin ble også brukt som kvalitative metoder for datainnsamling. Prosessen med å kontakte bedrifter viste seg å være mer ressurskrevende enn først antatt, men den var likevel essensiell for å skaffe innsikt basert

på praktisk erfaring og ekspertise innenfor fagfeltet. Prosjektgruppens erfaring er at denne tilnærmingen og datainnsamlingen som ble gjennomført var avgjørende for å kunne få et realistisk bilde av hvordan et solenergianlegg kan operere i praksis.

2.2.2 Kvantitativ datainnsamling

Detaljert informasjon om fordelingen av strømforbruket i de ulike byggene til kommunen var ikke direkte tilgjengelig fra Bømlo kommune. For å kompensere for manglende data, ble det gjort estimater basert på tilgjengelig litteratur og statistikk for gjennomsnittlig strømforbruk for tilsvarende bygningstyper. Denne tilnærmingen muliggjorde en approksimering av energiforbruket der direkte data var fraværende.

For å bestemme det tilgjengelige areal for installasjon av solenergianlegg, ble en kombinasjon av digitale og fysiske kvalitative metoder anvendt. Digitale karttjenester, som Google Maps, Google Earth, ble brukt til å estimere tilgjengelig takareal og evaluere takflater med hensyn til deres egnethet for å utnytte solenergi [9], [10]. Videre ble det gjennomført en ekskursjon til de aktuelle bygningene for å utføre en inspeksjon av potensielle installasjonsområder. Under disse besøkene ble det spesielt fokusert på vurdering av takareal som kunne utnyttes, samt identifisering av eventuelle faktorer som kunne påvirke effektiviteten til solenergianlegget, som skyggelegging fra trær, fjell, andre bygninger, eller konstruksjonselementer som kunne komme i konflikt med installasjonen av solcellepanelene.

Data om solinnstråling for de spesifikke lokasjonene ble innhentet fra Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), som tilbyr detaljert informasjon om solstråling basert på geografisk plassering. Denne informasjonen er avgjørende for å vurdere det potensielle energiutbyttet fra solenergianlegg.

Ytterligere ble data for solcellepaneler (PV-paneler) og solfangere valgt ved hjelp av forskningsartikler og kommunikasjon med aktører i markedet. Dette omfattet spesifikasjoner, ytelse, og kostnadsestimater for ulike solenergiprodukter tilgjengelig på markedet. Ved å innhente denne informasjonen, ble det mulig å gjennomføre en nøyaktig teknisk og økonomisk vurdering av ulike solenergiløsninger, optimalisert for de spesifikke forholdene og behovene til Bømlo kommunes bygningsmasse.

2.3 Verktøy

I løpet av dette prosjektet ble det i hovedsak nyttet to verktøy for å utføre nødvendige beregninger og analyser av solenergipotensiålet: Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), Google Earth Pro og Microsoft Excel. Disse kvantitative verktøyene ble valgt for deres funksjonalitet og evne til å støtte en detaljert og nøyaktig vurdering av solenergipotensiålet for de utvalgte bygningene i Bømlo kommune.

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) er et ledende verktøy utviklet av Joint Research Centre (JRC) ved Europakommisjonen for estimering av solressurser og energiytelse for solenergianlegg. I dette prosjektet ble PVGIS brukt for å innhente presise data om solinnstråling for den spesifikke geografiske plasseringen av hver bygning. Dette tillot en nøyaktig beregning av det potensielle energiutbyttet fra både fotovoltaiske solcellepaneler og termiske solfangere. Selv om dataene fra PVGIS generelt er pålitelige må satellittbaserte solinnstrålingsdata verifiseres mot målinger på bakkenivå for å få en forståelse av usikkerheten i disse dataene. Dette kalles validering av dataene [11].

Google Earth Pro er en avansert versjon av det populære geografiske utforskningsverktøyet som lar brukere se satellittbilder, kart, terreng, 3D-bygninger og mye mer, fra hele verden på sine datamaskiner. Dette programmet tilbyr detaljerte geografiske data, og gir brukere muligheten til å utføre en rekke analyser og målinger direkte på kartet. Fra å bestemme avstander og areal til å visualisere topografiske egenskaper og analysere miljøforhold, har Google Earth Pro blitt et verdifullt verktøy for forskere og ingeniører [12]. I sammenheng med dette prosjektet, benyttes Google Earth Pro til å vurdere potensielle lokasjoner for solenergiinstallasjoner ved å identifisere egnede takflater, estimere takflatenes areal og bestemme bygningenes orientering. Målingene kan ha noen unøyaktigheter, da de ikke tar høyde for høydeforskjeller, men er generelt veldig pålitelige. De er mer enn tilstrekkelige for formålet i denne rapporten, da det også er lagt inn en såpass stor sikkerhetsmargin i estimatene at man kan se bort fra unøyaktighetene i disse avstandsmålingene fra satellittene. For helt nøyaktige måledata må man utføre fysiske målingen på lokasjon.

Microsoft Excel ble brukt for å håndtere og analysere data, utføre økonomiske beregninger, og modellere energiproduksjonsscenarioer. Det tillot prosjektgruppen å organisere og bearbeide store mengder data på en effektiv måte, inkludert informasjon om bygningenes energiforbruk, estimerer av solenergiproduksjon fra PVGIS, og økonomiske analyser for implementering av

solenergianlegg. Ved hjelp av Excel kunne prosjektgruppen utføre detaljerte økonomiske vurderinger, inkludert beregning av LCOE, tilbakebetalingstid og nåverdi.

Sammen bidro disse verktøyene til en grundig og omfattende analyse av solenergipotensialet som ligger i et utvalg av Bømlo kommune sin bygningsmasse, med PVGIS som ga de nødvendige sol-dataene. Google Earth som ga nødvendig informasjon om bygningene og Excel som støttet datahåndtering, økonomisk modellering, og resultatpresentasjon. Deres kombinerte bruk muliggjorde en velbegrunnet tilnærming til vurdering av solenergiløsninger.

Bruken av de ulike verktøyene som er nødvendige for prosjektet, samt analysen av solinnstråling og de økonomiske aspektene, blir beskrevet nærmere og forklart senere i oppgaven. Dette vil inkludere en gjennomgang av de ulike metodene, modellene og ligningene som anvendes for å sikre nøyaktighet i beregningene.

2.4 Utvalg

Gitt tidsbegrensningen for prosjektet, besluttet vi å konsentrere beregningene og analysene om et begrenset utvalg av bygninger. Kommunen uttrykte et spesifikt ønske om at Bømlo rådhus skulle prioriteres. Utover dette, ble valget av ytterligere bygninger delegert til prosjektgruppen. Basert på dette, identifiserte prosjektgruppen seks andre bygninger som oppfylte visse kriterier: de var av betydelig størrelse, hadde ulikt bruksområde, relativt nytt byggeår, og et tak som er ansett som godt egnet for implementering av solenergianlegg. Utvalget består av fire skoler, et sykehjem, et rådhus og en svømmehall, og er beskrevet i nærmere detalj i kapittel 4.3

Utvalgte bygninger for analyse

2.5 Usikkerhet, feilkilder og begrensninger

I denne studien er det flere kilder til usikkerhet og potensielle feilkilder som kan påvirke nøyaktigheten av resultatene. For det første er mange av estimatene basert på tilgjengelig litteratur og generelle statistikker, snarere enn spesifikke målinger. For eksempel er forbruksdata for strøm estimert basert på litteratur og statistikk for lignende bygningstyper, noe som kan introdusere avvik fra de faktiske forholdene.

Videre er arealestimater for installasjon av solenergianlegg utført ved bruk av digitale karttjenester som Google Earth og Maps. Selv om disse verktøyene gir en god indikasjon, kan de ikke alltid gi den nøyaktigheten som kreves for detaljert planlegging og installasjon. Det er viktig med grundigere fysiske inspeksjoner for å bekrefte at de digitale estimatene stemmer.

Energiprisene brukt i de økonomiske analysene er basert på langsiktige prognoser fra Norges vassdrags- og energidirektorat og Statnett. Selv om disse prognosene gir en indikasjon på fremtidige trender, er energimarkedet kjent for sin volatilitet, og faktiske priser kan avvike betydelig fra prognosene. Tidsserien for kraftpris som er benyttet i lønnsomhetsanalysen er basert på et historisk gjennomsnitt i kraftpris der nullpriser og negative priser ikke er inkludert.

Når de økonomiske resultatene er presentert, er det valgt å bruke konservative verdier. Levetiden er satt til 25 år for resultatet til LCOE [13], det er brukt 90 øre/kWt fra Tabell 2, og en diskonteringsrente på 4% [13]. Nåverdiene er derimot beregnet for 30 års levetid. For solfangeranlegget er det dimensjonert for å dekke 60% av forbruket for å unngå overdimensjonering [14, s. 11], [15, s. 20]. Produksjonen som er brukt er fra den beste produksjonsmåned i året, som normalt er mai eller juni. Når solfangeranlegget ikke produserer nok, skal vannet varmes opp av elektrisitet.

En annen begrensning er knyttet til de tekniske forholdene ved bygningene. Det ble ikke utført detaljerte vurderinger av takkonstruksjonenes evne til å tåle vekten og belastningen fra solenergianleggene. Mangelen på slike vurderinger betyr at det er en risiko for at eksisterende takkonstruksjoner kan trenge oppgraderinger eller forsterkninger, noe som kan øke kostnadene betydelig. Kommunen informerte om at det ikke foreligger planer om arbeid på takene av noen av de aktuelle byggene i nærmeste fremtiden, noe som indikerer at eksisterende takkonstruksjon antas å være tilstrekkelige for formålet uten umiddelbare behov for oppgraderinger eller vedlikehold som kan påvirke installasjonen av solenergianlegg.

Videre er det antatt en selvkonsumsrate på 100%, som innebærer at all produsert energi brukes direkte av bygningene. Dette er en forenkling som ikke tar hensyn til tidspunktene for energiproduksjon og energiforbruk, og eventuelle overskudd eller underskudd av energi i løpet av dagen. Realistisk sett vil det være tider hvor bygningene produserer mer energi enn de kan bruke, og tider når de må hente energi fra nettet.

Scorings- og rangeringssystemet for å rangere bygningene er utviklet med utgangspunkt i multikriterieanalyse. Multikriterieanalyse gir en effektiv ramme for å inkludere ulike aspekter

i evalueringer, men metoden kan også være sårbar for bias, noe som kan føre til vurderinger som er ubalanserte eller forvrengte.

Til sist er det verdt å merke seg at det ikke ble tatt hensyn til om det må gjøres noen utbedringer på det eksisterende systemet i bygget eller om for eksempel størrelsen på hovedsikringen i bygningene er stor nok. Beregningene inkluderer ikke eventuelle kostnader knyttet til oppgradering av kraftnettet og begrenset nettkapasitet vil kunne påvirke størrelsen til produksjonsanlegget.

Disse usikkerhetene og begrensningene bør adresseres om kommunen bestemmer seg for å investere i solenergianlegg for å sikre en mer nøyaktig og realistisk vurdering av solenergipotensialet og økonomien ved slike prosjekter. Grundigere og mer presise målinger og detaljerte tekniske vurderinger vil kunne forbedre kvaliteten og påliteligheten av resultatene.

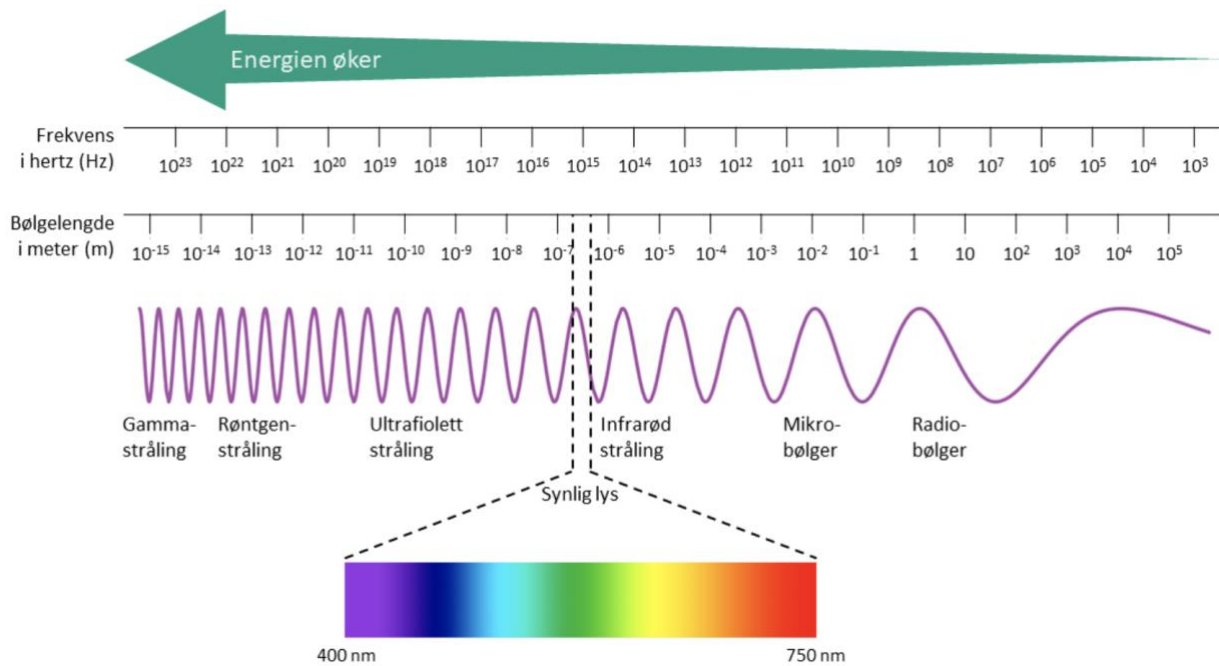
3 Teori

Denne rapportens teoridel har som mål å etablere et solid fundament for forståelsen og implementeringen av solenergianlegg på tak på kommunale bygg i Bømlo kommune. Ved å utforske grunnleggende prinsipper for solenergi og solcelleteknologi, legger denne delen grunnlaget for en dypere innsikt i potensialet solenergi har for å møte kommunens energibehov på en bærekraftig måte og på den måten nå FNs bærekraftsmål. Teoridelen er avgjørende for å sikre at prosjektets tilnærminger og løsninger er vitenskapelig forankret i globale og nasjonale mål om ren og fornybar energi. Ved å koble teoretiske perspektiver med praktisk anvendelse, bidrar teoridelen til å understreke hvordan dette kan realiseres i Bømlo kommune.

3.1 Solen

Solen, hjertet av vårt solsystem og vår nærmeste stjerne er en gigantisk kule av supervarm, ionisert gass kalt plasma [16]. I hovedsak er solen oppbygd av gassene hydrogen og helium, og dens gravitasjon holder alt fra de største planetene til de minste himmellegemer i bane rundt seg selv [17]. Solen stråler energi i form av elektromagnetisk stråling med et bredt spekter av bølgelengder. Dette inkluderer kortbølget gammastråling, røntgenstråling og ultrafiolett (UV) stråling, samt synlig lys, infrarød stråling og langbølget radiostråling [18].

Strålingsenergien som kommer fra sola består i all hovedsak av infrarød stråling, synlig lys og ultrafiolett stråling. Infrarød stråling, også kalt varmestråling dekker rundt 49% av den totale strålingsenergien fra sola, og har bølgelengder mellom 700 nanometer - 1 millimeter. Strålingsenergien som kommer fra den synlige delen av spekteret dekker omtrent 43%, og har bølgelengder mellom 400 - 750 nanometer. 7% av solstrålingen er ultrafiolett, med bølgelengder mellom 100 - 400 nanometer og mindre enn 1% av solstrålingen utstråles som røntgenstråler, gammastråler og radiobølger [19]. I Figur 2 kan man se de ulike strålingstypene i det elektromagnetiske spekteret med tilhørende bølgelengde og frekvens [20]. Her kan en observere at energien øker i forhold til korte bølgelengder og høy frekvens. Når det gjelder solcellepaneler og solfangere, er det spesielt synlig lys, samt infrarød og en del av den ultrafiolette strålingen som er av interesse [21].



Figur 2 - Det elektromagnetiske spekteret [20]

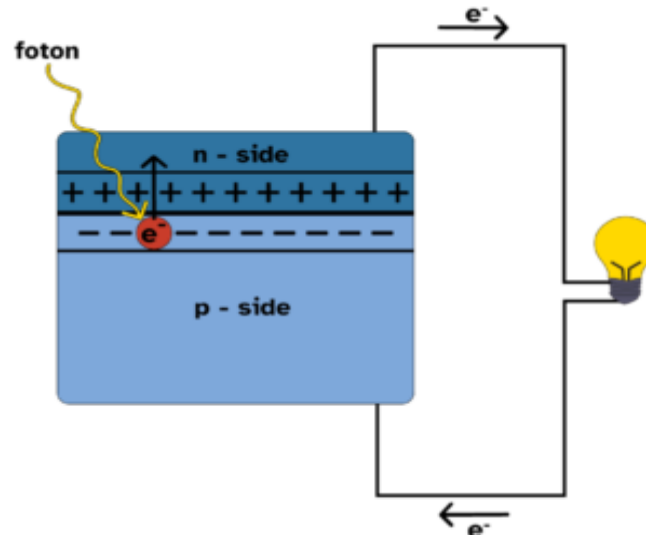
3.2 Fotovoltaisk teknologi

3.2.1 Prinsipp

“Fotovoltaikk”, ofte forkortet som PV, har fått sitt navn fra prosessen med å omdanne lys (fotoner) til elektrisitet (volt/spenning), en prosess som kalles den fotovoltaiske effekten [22]. Fotovoltaiske celler i solcellepanelene er designet for å absorbere fotoner fra sollyset, og produsere elektrisk strøm gjennom en fotokjemisk prosess vist i Figur 3. Ved å konvertere solenergi direkte til elektrisitet, gir solcellepaneler en ren og fornybar energikilde som kan bidra til å redusere avhengigheten av fossile brensler og redusere klimagassutslippene.

Fotovoltaisk teknologi er en metode for å omdanne sollys direkte til elektrisk energi ved bruk av materialer som virker som halvledere. På overflaten av solcellen er det et tynt antireflekerende lag, ofte i mørke farger som svart eller mørkeblått, for å maksimere lysabsorpsjon. Under dette laget ligger halvledermaterialet, som vanligvis er silisium. Dette silisiumets elektriske ledningsevne forbedres gjennom en prosess kalt doping, der små mengder av andre stoffer som bor og fosfor tilsettes. Fosfor, som har fem elektroner i sitt ytterste skall, brukes til å skape et overskudd av elektroner (n-doping), mens bor, med tre elektroner, skaper en mangel på elektroner (p-doping) [23].

I en solcelle dannes det en barriere mellom det n-dopede og det p-dopede området, som skaper en ladningsforskjell som hindrer fri bevegelse av elektroner mellom sidene. Når solcellen utsettes for sollys, slår energien fra fotonene løs elektroner, som beveger seg fra p-siden til n-siden og skaper elektriske hull på p-siden som vist i Figur 3. Denne bevegelsen bryter balansen og skaper en strøm av elektroner gjennom en ekstern krets. Barrierfeltet sikrer at elektronene ikke kan flytte seg tilbake og “tvinger” de til å gå gjennom kretsen, som gjør at det genereres elektrisitet så lenge solcellen er eksponert for lys (foton) [23].



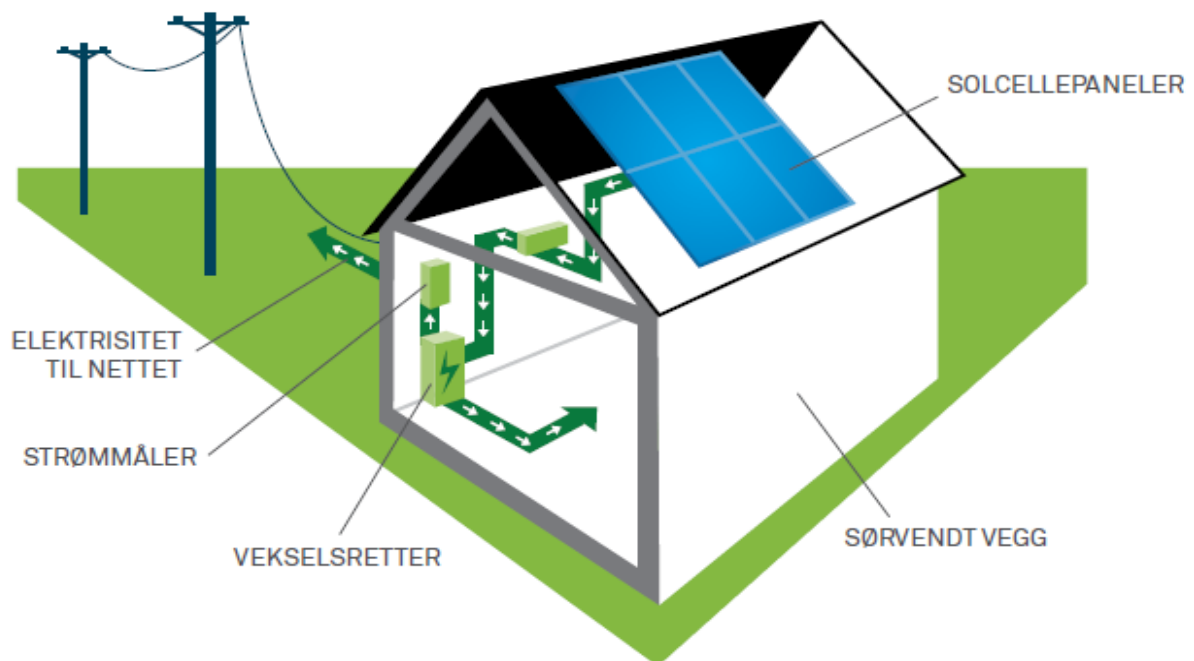
Figur 3 - Enkel illustrasjon av hvordan et elektron beveger seg når den har blitt truffet av sollys (foton) og skaper elektrisitet [23]

3.2.2 Oppbygging og teknologier

En enkelt PV-enhet kalles en celle. Vanligvis produserer en individuell PV-celle omtrent 1 til 2 watt strøm, og er ofte ikke tykkere enn fire menneskehår. For å kunne motstå ytre påvirkninger over mange år er cellene pakket inn mellom beskyttende materialer, som er en kombinasjon av glass og/eller plast. For å øke strømproduksjonen fra PV-cellene kobles de sammen i kjeder for å danne større enheter kjent som paneler eller moduler. Modulene kan så brukes enkeltvis, eller flere de kan kobles sammen til større enheter, kjent som matriser som kan være del av et større solcellesystem [22].

En eller flere matriser kan så kobles til det elektriske nettet som en del av et komplett PV-system som vist i Figur 4. Takket være denne modulære strukturen kan PV-systemer konstrueres for å møte nesten ethvert elektrisk kraftbehov, enten det er stort eller lite, og det vil da være tilgjengelig installasjonsareal som er den begrensende faktoren. PV-moduler og matriser utgjør bare en del av et PV-system. Systemene inkluderer også monteringsutstyr som

peker panelene mot solen, samt en vekselretter som omformer likestrøm fra modulene til vekselstrøm som brukes i det norske strømmettet i tillegg til all elektrisk kabling [22].



I dette huset produserer solcellene elektrisitet til eget bruk og nettet

Kilde: lightsky.co.uk

Figur 4 - Enkel fremstilling av de ulike komponentene i et solcelleanlegg [24]

Solcellemarkedet i dag er for det meste dominert av to hovedtyper teknologi: multikrystallinske solceller og monokrystallinske solceller. De monokrystallinske solcellene, som er konstruert fra en enkelt silisiumkrystall, viser en jevn og ofte svart overflate som absorberer lys effektivt. I motsetning til dette består multikrystallinske solceller av flere krystallkorn, noe som tradisjonelt gir en distinkt, farget overflate. Selv om de typisk har dette utseende, har de i senere år kommet paneler uten denne fargede overflaten på markedet. Generelt har monokrystallinske solceller en høyere effektivitet, mens multikrystallinske solceller er mindre energikrevende å produsere og derfor ofte billigere ved lik effekt [24].

I tillegg kan tynnfilm-solceller nevnes som en av de teknologiene som er fremtredende på dagens marked, men ikke i like stor grad som multikrystallinske og monokrystallinske solceller. Som antydnet av navnet, er tynnfilm-solceller tynne og fremstilt med bruk av et lite antall materialer, noe som vanligvis resulterer i lavere kostnader per panel. Disse panelene har en uniform farge og kan produseres for å være fleksible. Dette gjør dem særlig godt egnet for

installasjon på overflater hvor krystallinske solceller ikke ville fungere optimalt. Virkningsgrader her er typisk også litt lavere enn krystallinske solceller [24]. I Tabell 1 er det gjort en enkel sammenligning mellom de forskjellige solcellepanelene for å grovt sammenligne de ulike teknologiene.

Tabell 1 - Enkel sammenligning mellom monokrystallinsk-, multikrystallinsk- og tynn-film-solcellepanel

<i>Teknologi</i>	<i>Fordel</i>	<i>Ulemper</i>
Monokrystallinsk	Høy virkningsgrad og ytelse. Estetisk penere. Plassbesparende.	Høyere kostnad
Multikrystallinsk	Lavere kostnad	Lavere virkningsgrad, ytelse og mindre estetisk pene
Tynn-film	Fleksibel, lettere, større designfrihet når det komme til installasjon	Lavere virkningsgrad og ytelse

3.2.3 Virkningsgrad og tap

Virkningsgraden til fotovoltaiske systemer, det vil si hvor effektivt PV-celler omdanner sollys til elektrisitet, varierer avhengig av typen halvledermateriale og teknologien som brukes i PV-cellene. Walter Shockley og Hans Queisser kom i 1961 frem til en teoretisk maksgrense for solceller, og denne grensen ble kalt Shockley-Queisser-grensen. Den opprinnelige beregningen av Shockley og Queisser estimerte en maksimal teoretisk virkningsgrad på omtrent 30 % for en krystallinsk silisiumsolcelle. Ifølge den moderne versjonen av SQ-grensen er den maksimale teoretiske virkningsgraden for solceller laget av krystallinsk (amorft) silisium omtrent 33 %, som i dag er den mest aksepterte verdien [25]. Effektiviteten til kommersielt tilgjengelige PV-paneler lå på under 10% i midten av 1980-tallet, økte til rundt 15% innen 2015, og er nå over 23% for de mest avanserte modulene til bygninger [26]. For mer avanserte og betydelig dyrere paneler, som ikke brukes til vanlige installasjoner på bygninger, er virkningsgraden høyere. For eksempel bruker NASA paneler med en virkningsgrad på over 30 %, og forskere ved NREL har utviklet avanserte paneler med en virkningsgrad på 47,1 % [27], [28].

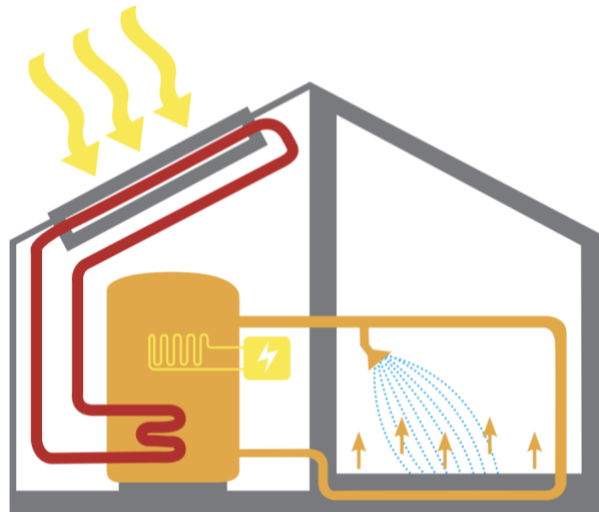
I et solcelleanlegg oppstår det ulike typer tap som påvirker systemets ytelse. Disse tapene kan være skyggetap, tap grunnet vinkelen solstrålene treffer solpanelene på, forurensningstap fra støv, fugleskitt og snø, og modultap som skyldes nedbryting over tid, temperaturøkning, og variasjoner i modulenes effektivitet. Videre oppstår det tap i kabler, invertere, transformatorer, og elektriske kabler. Verdiene for disse tapene varierer og avhenger av plassering og utstyr, men samlet sett utgjør de typisk rundt 25 % tap [29], [30].

Solcellemodulenes effektivitet er kjent for å avta over tid, en prosess som ofte betegnes som degradering. Forskning fra 2020 utført på solcelleanlegget til ASKO i Vestby indikerer at denne degraderingsraten kan være spesielt lav i nordiske klimaforhold i forhold til varmere områder, med estimater ned mot kun 0,10-0,19% årlig degradering [31].

3.3 Solfanger

3.3.1 Prinsipp

En solfanger er en teknologisk enhet som konverterer solenergi til varme [32]. Hovedprinsippet til en solfanger er at enheten absorberer strålingsenergien i solinnstrålingen. Enheten er designet for å konvertere solstråling direkte til varme uten å gå veien om strøm, noe som er svært fordelaktig om formålet er oppvarming [33]. En solfanger er gjerne oppbygd med følgende komponenter: absorbatoren, dekklag, isolasjon og transportmedium [15, s. 11]. Absorbatoren er den mest sentrale komponenten i solfangeren da det er denne som omformer solstrålingen til varme. Absorbatoren er ofte en tynn og mørk metallplate. Over absorbatoren ligger et transparent dekklag. Dekklaget er til for å øke temperaturen, noe som vil resultere i økt effektivitet i solfangeren [32]. Absorbent varme fra solfangeren må effektivt transporteres til varmelageret for videre bruk. Dette oppnås ved hjelp av et transportmedium, vanligvis enten væske eller luft. Vann er et foretrukket valg på grunn av dets evne til å absorbere og transportere store mengder varme. Imidlertid, når det er risiko for frost, benyttes ofte en blanding av vann og glykol for å hindre frysing, selv om dette reduserer vannets kapasitet til å absorbere varme [32]. Et solfangeranlegg inkluderer i hovedsak solfangere, varmelager (akkumulatortank), distribusjonssystem (rør og pumper) og et styringssystem [15, s. 11]. I Figur 5 er det illustrert en forenklet skisse av et solfangeranlegg.



Figur 5 - Forenklet skisse av et solfangeranlegg [14, s. 14], [33]

Anleggets effektivitet, altså hvor godt solfangerne og andre komponenter kan konvertere sollys til varme og hvor mye tap det er i systemet, er en annen viktig faktor. Teknologiske fremskritt har bidratt til stadig høyere effektivitet i solfangere, men selv innenfor samme teknologiske kategori er det variasjoner i effektiviteten mellom ulike produsenter og modeller.

Skyggef forhold, orientering og helningsvinkel på solfangerne påvirker også energiproduksjonen. Skygger fra bygninger, trær eller andre hindringer kan redusere solinnstrålingen og dermed redusere effektiviteten til solcellepanelene. Riktig orientering og helningsvinkel kan bidra til å maksimere solfangst og dermed øke energiproduksjonen.

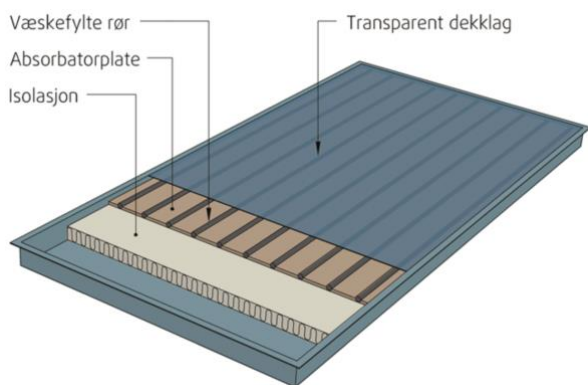
Samlet sett er det en kombinasjon av disse faktorene som bestemmer hvor mye energi et solenergianlegg kan produsere. Optimalisering av disse variablene er viktig for å sikre maksimal utnyttelse av solenergi-potensialet og optimal lønnsomhet for solenergi-prosjekter.

3.3.2 Oppbygging og teknologier

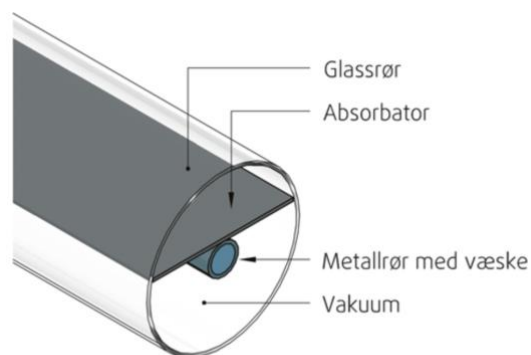
Det finnes flere typer solfangere på dagens marked. De to vanligste typene er plane solfangere og vakuumsolfangere. En plan solfanger har en plan absorbatoren der væsken sirkulerer gjennom rør plassert under absorbatoren, eller i kanaler i selve absorbatoren [14, s. 16]. Montasje kan skje utenpå eksisterende tak eller vegger, eller de kan integreres inn i fasaden og erstatte eksisterende tak og kledning. Plane solfangere betraktes ofte som mer visuelt pene og estetisk behagelige, da de kan minne mer om solcellepaneler eller takplater enn for eksempel vakuumsolfangere. En ulempe ved denne typen solfanger er imidlertid mengden varmetap og refleksjonstap, noe som fører til en lavere virkningsgrad sammenlignet med

vakuumsolfangere [34, s. 114]. I Figur 6 kan man se en forenklet illustrasjon av en plan solfanger.

I en vakuumsolfanger er absorbatoren plassert i et glassrør med vakuum. Vakuudet har langt bedre varmeisoleringssevne enn luft, og dermed reduseres varmetapet fra solfangeren betydelig [15, s. 17]. Det lave varmetapet som resultat av den gode isolasjonen er grunnen til at vakuumsolfangere er omtalt som den mest avanserte solfangeren for bygg, med høyest virkningsgrad [34, s. 117]. Figur 7 illustrerer et utsnitt av en vakuumsolfanger.



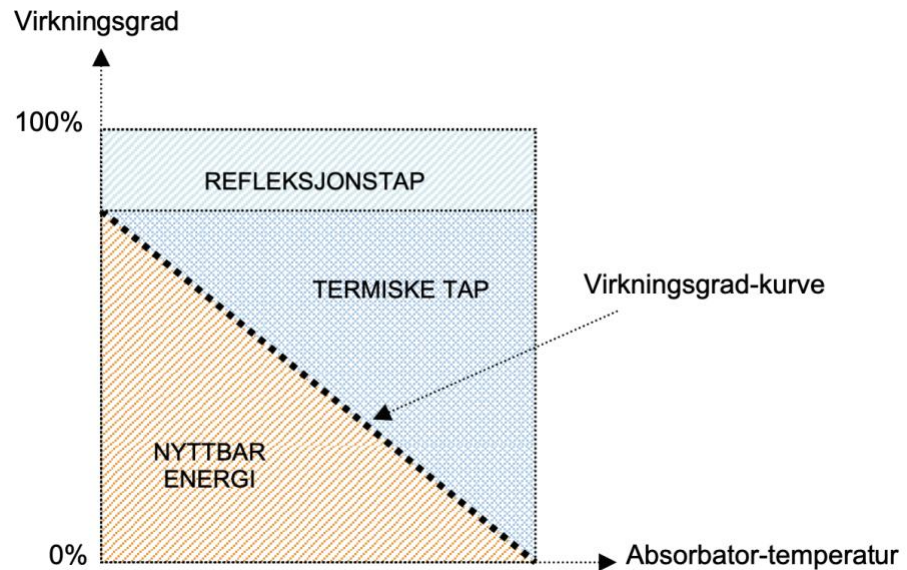
Figur 6 - Prinsipiell oppbygning av en plan solfanger
[32] Brukt med tillatelse fra SINTEF



Figur 7 - Enkel oppbygning av en vakuumsolfanger
[32] Brukt med tillatelse fra SINTEF

3.3.3 Virkningsgrad og tap

Virkningsgraden altså målet på hvor effektiv solfangeren er vil variere ut ifra flere forhold. Rundt 20% av solenergien som treffer solfangeren vil gå tapt gjennom overflaterrefleksjon fra glasset og absorbatoren [15, s. 14], [34, s. 123]. Graden av refleksjon varierer med solstrålenes innfallsvinkel samt glassets reflekterende egenskaper. En mer flat innfallsvinkel vil gi reduksjon i refleksjon. Vakuumsolfanger har ofte høyere virkningsgrad enn plane solfangere på grunn av deres runde rør som skaper et vinkelrett parti mot solen som igjen resulterer i et lavere refleksjonstap. I tillegg er konveksjonstap, termiske tap, systemtap som for eksempel i rørføringer, samt faktorer som materialkvalitet og driftsforhold utslagsgivende for den totale virkningsgraden hos solfangere [34, s. 123]. Figur 8 viser en skjematisk fremstilling av virkningsgraden til en solfanger i forhold til graden av tap [15, s. 14].

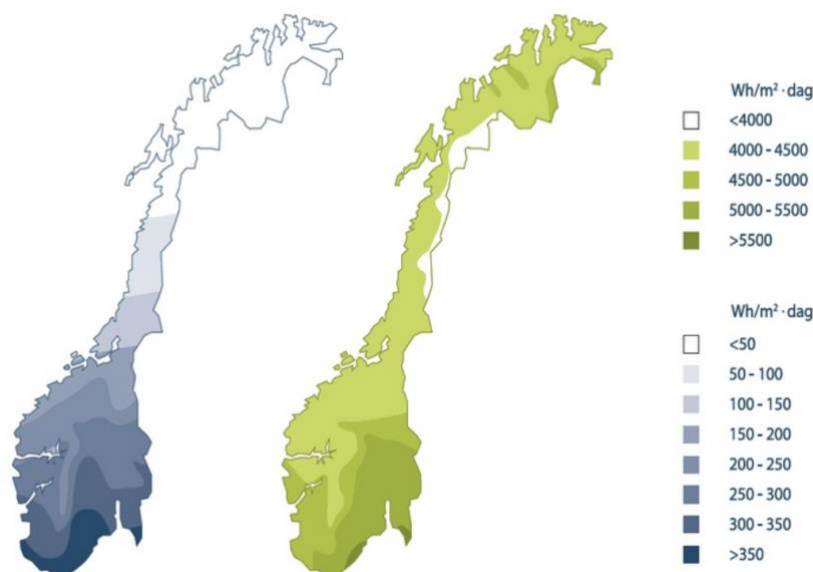


Figur 8 - Forenklet skjematisk fremstilling av virkningsgraden til en solfanger [15, s. 14] Brukt med tillatelse fra SINTEF

Prestasjon og virkningsgrad vil altså variere i stor grad ut ifra disse forhold og variabler, men kan ligge mellom 40% til rundt 80%. For sammenligning vil en typisk virkningsgrad være rundt 50-60% for plane solfangere og 60-70% for vakuumsolfangere [32]. Skal en eksakt virkningsgrad beregnes bør en derimot bruke spesifikk data for solfangeren og de andre komponentene brukt i det aktuelle prosjektet.

3.4 Solinnstråling, orientering og helning

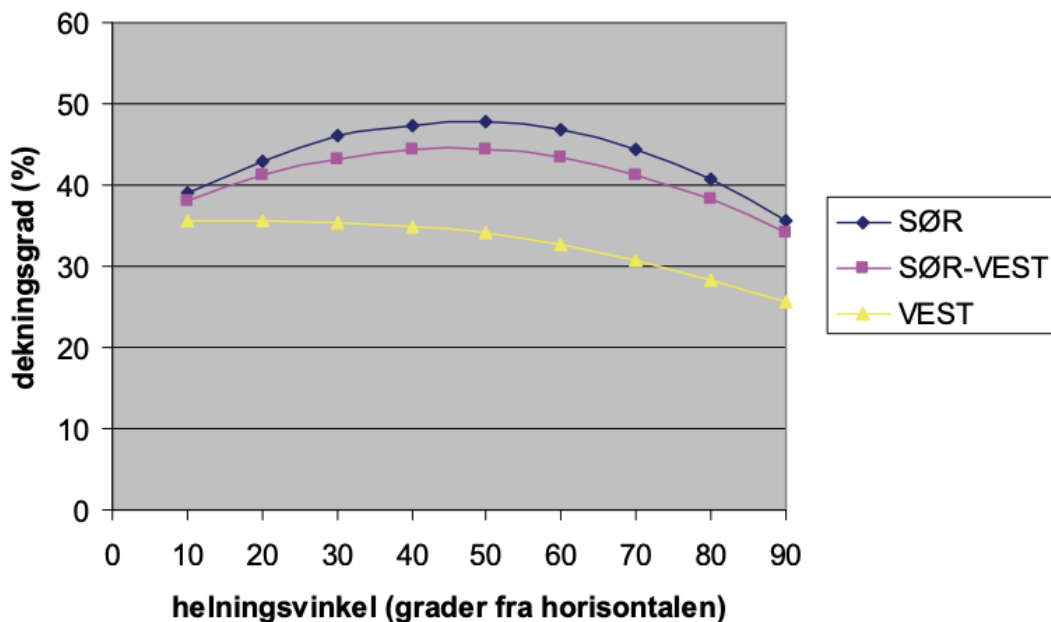
Hvor mye energi et solenergianlegg produserer, varierer avhengig av flere faktorer. Disse inkluderer blant annet geografisk beliggenhet, orientering (asimut) og helningsvinkel på anlegget. I tillegg vil skyggeforhold og den totale effektiviteten av anlegget spille inn på hvor mye energi en kan produsere. Solens intensitet og tilgjengelighet avhenger av geografisk plassering. Altså vil et solenergianlegg som er plassert i en region med mer sollys generelt produsere mer energi enn et anlegg i en skyggefull eller mindre solrik region. I Figur 9 illustreres forskjellene i solinnstråling i januar og juli i forhold til plassering i Norge [35].



Figur 9 - Illustrasjon av solinnstrålingen mot horisontal flate i januar (venstre) og i juli (høyre) [35]
 Illustrasjon: Endre Barstad. Brukt med tillatelse fra SINTEF

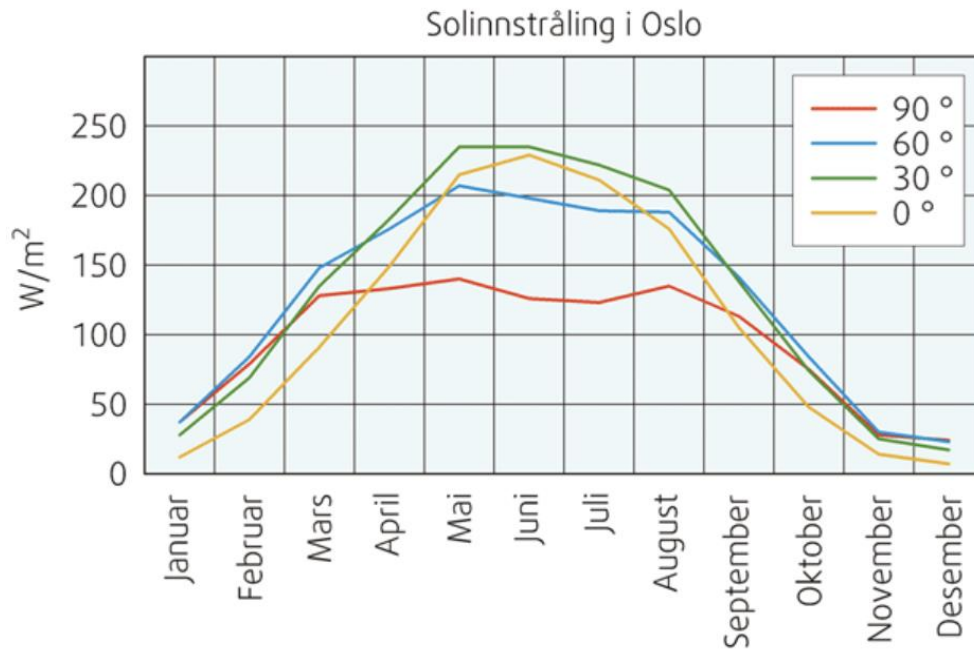
Optimal orientering for et solfangeranlegg er direkte mot sør, mens øst- og vestvendte anlegg kan være hensiktsmessige for en høyere energiproduksjon om morgenen og på ettermiddagen [32], [14, s. 10]. Det vil dog ikke være en høy reduksjon i innstråling ved små avvik fra sør, eksempelvis vil et avvik på 45° fra sør kun gi cirka 5% reduksjon av energiutbyttet [15, s. 21]. Den ideelle helningsvinkelen for solfangerne må tilpasses basert på de spesifikke forholdene og kravene i hvert enkelt prosjekt. Faktorer å ta til betraktning er varmebehov, altså om en har et solfangeranlegg for romoppvarming og/eller tappevann og variasjoner for behov gjennom året [32]. Et solfangeranlegg orientert sørover med en vinkel på cirka $30-45^\circ$ er ideelt for å oppnå maksimal energiproduksjon gjennom året. Dette resulterer i høyest energiproduksjon rundt midt på dagen om sommeren [14, s. 10]. Dersom solfangeranlegget kun skal benyttes til å varme opp tappevann, er en helningsvinkel på cirka 45° gunstig. Ved enkelte forhold vil en vertikal helningsvinkel på 90° være mer egnet. Eksempelvis ved å plassere solfangerne på en vegg, eller integrert i fasaden. En vertikal helningsvinkel på 90° tillater bedre utnyttelse av den lavtstående vår- og høstsolen, noe som ofte samsvarer bedre med behovet for oppvarming. Videre unngår man problemet med snødekning om vinteren ved en slik helningsvinkel [14, s. 10].

Figur 10 viser energiutbytte (dekningsgrad) til et solfangeranlegg brukt til vannoppvarming som funksjon av solfangerens orientering og helningsvinkel [15, s. 22]. Figuren viser hvordan faktorer som orientering og helningsvinkel kan påvirke energiutbyttet til en solfanger. En kan for eksempel observere en høyere dekningsgrad for solfangeranlegget med en orientering mot sør og helningsvinkel på rundt 50° mot et solfangeranlegg orientert mot eksempelvis vest med en 30° helningsvinkel.



Figur 10 - Energiutbytte (dekningsgrad) til et solfangeranlegg brukt til vannoppvarming som funksjon av solfangerens orientering og helningsvinkel [15, s. 22] Brukt med tillatelse fra SINTEF

Figur 11 viser gjennomsnittlig solinnstråling (W/m^2) per døgn for en solfanger vendt mot sør med ulike vinklinger i forhold til horisontalplanet (0°) [32]. I figuren kan en for eksempel se at en vil ha en lavere solinnstråling på anlegg med 90° vinkling i sommermånedene juni og juli, sett opp imot anlegg med 30° vinkling i samme periode. Dette begrunnes av at solen står høyere på himmelen på sommerstid. Både Figur 10 og Figur 11 er brukt for illustrasjonsformål da anlegg, solfangertype og plassering viker fra hva denne oppgaven bruker.



Figur 11 - Gjennomsnittlig solinnstråling (W/m^2) per døgn for en solfanger vendt mot sør med ulike vinklinger i forhold til horisontalplanet 0° [32] Brukt med tillatelse fra SINTEF

Når det kommer til oppstilling av både solfanger og solcellepanel på flate områder spiller skygge en viktig rolle, og kan påvirke det nødvendige arealet for solenergianlegget betydelig. Når det er flere rader med panel, vil en brattere helningsvinkel resultere i mer skygge fra et panel til panelet bak, noe som krever større avstand mellom panelene. For å unngå denne skyggen mellom radene, velger man ofte en lavere helningsvinkel for større anlegg. Ved å senke helningsvinkelen reduseres størrelsen på skyggen mellom panelene, noe som gjør det mulig å plassere solcellepanelene tettere sammen. Dette kan bidra til å optimalisere utnyttelsen av tilgjengelig areal og øke total energiproduksjon per kvadratmeter.

Samtidig må det tas hensyn til kompromisser, da en lavere helningsvinkel kan påvirke effektiviteten til solfangerne og solcellepanelene. Ideelt sett må man finne en balanse mellom å minimere skygge, og opprettholde tilstrekkelig solfangst for å sikre best mulig energiproduksjon. Dette underbygger behovet for nøye planlegging og optimal utforming av solenergianlegg, spesielt når det gjelder å plassere solfangerne for å maksimere energiproduksjonen og utnyttelsen av tilgjengelig areal [14, s. 10], [36].

4 Kartlegging og analyse

Dette kapitlet utforsker potensialet for solenergi i utvalgte bygninger ved å gjennomføre en detaljert analyse av energikostnader, overskuddsenergi og faktiske energibehov i de utvalgte bygningene. Analysen innledes med en vurdering av energikostnad og prisutvikling, etterfulgt av en kartlegging av eksisterende energiforbruk, og en presentasjon av de aktuelle byggene. Monteringssteder for solpaneler og spesifikasjonene til panelene blir evaluert for å maksimere effektiviteten av energiproduksjonen. Kapitlet avsluttes med å forklare hvordan analysen solinnstråling og solenergiproduksjon er gjennomført basert på de innsamlede dataene.

4.1 Energikostnad og fremtidig prisutvikling

Det er som regel økonomisk fordelaktig å anvende den produserte elektrisiteten selv, ettersom dette unngår kostnader knyttet til nettleie, merverdiavgift og forbruksavgift på strøm som ellers måtte vært kjøpt fra nettet. Det er imidlertid urealistisk å anta at byggene vil kunne benytte all energi de produserer selv på grunn av svingninger i produksjon og forbruk, men for enkelhetens skyld er det i dette prosjektet antatt en selvkonsumrate på 100%. Dette betyr at byggene antas å bruke all kraft de selv produserer, noe som muliggjør en fastprissettelse av kraften i den økonomiske analysen, tilsvarende prisen som ville vært betalt for strømmen dersom solenergianlegget ikke var installert.

På grunn av den betydelige usikkerheten rundt fremtidige strømpriser, er det i denne oppgaven utviklet tre ulike scenarier for å illustrere lønnsomheten til solenergianleggene under forskjellige markedsforhold. Dette er illustrert i Tabell 2.

Tabell 2 - Strømprisscenarier fra 90-190 øre eksklusive avgifter

<i>Scenario</i>	<i>Pris per kWh (eks. avgifter)</i>
Lav	90 øre
Medio	140 øre
Høy	190 øre

Prisestimatene for de ulike scenarioene er basert på langsiktige kraftmarkedsanalyser utført av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Statnett [4], [12]. Prisene som er estimert inkluderer nettleie, eksklusive avgifter, på cirka 50 øre/kWh [38]. Ved å anvende disse scenarioene kan analysen gi en mer nyansert forståelse av solenergianleggenes potensielle økonomiske ytelse over tid, og slik ta høyde for volatiliteten i kraftmarkedet.

4.2 Overskuddsenergi

Om kommunen velger å installere solcellepaneler, vil disse tidvis produsere mer strøm enn det som forbrukes. Siden byggene ikke er utstyrt med batterier eller andre metoder for energilagring, må overskuddsstrømmen følgelig sendes tilbake til strømmettet. Kommunene kan få betalt for overskuddsenergien som sendes ut på nettet igjen, og dette vil gjøre kommunen og byggene som produserer strøm til prosumenter. Om en nettkunde bruker og produserer elektrisk kraft blir den kalt en prosumert. Om en leverer mindre enn 100 kW inn på nettet vil en også bli definert som en plusskunde. Plusskunder er unnlatt å betale et fastledd for innmating, og slipper i tillegg å betale nettleie for den mengden strøm de selv produserer og forbruker direkte. Denne besparelsen gjør at det som regel er mer lønnsomt å bruke egenprodusert strøm selv, fremfor å selge den ut på nettet til spotpris [39].

I dette prosjektet vil flere av bygningene det er forsket på kunne produsere mer enn 100 kW. En vil da ikke kunne bli definert som plusskunde, men en kraftprodusent, og en må dermed betale et fastledd for all den elektriske kraften som leveres ut på nettet. I 2023 var denne satsen 1,36 øre/kWh (ekskl. mva). En kan i midlertidig fortsatt benytte egenproduksjonen til å dekke eget forbruk uten å betale noe ekstra. En kan utnytte hele hovedsikringen til utmating av elektrisk kraft [39].

Overskuddsenergi er også et tema for solfangere. Grunnet forskjellene som ofte oppstår mellom solenergiproduksjonen, og ulike bygg sitt behov for oppvarming, samt den relativt begrensede effekten som solfangere kan levere i forhold til den nødvendige effekten ved varmtvannstapping, kommer behovet for solenergiakkumulering [34, s. 129]. For solfangere er den termiske energien ofte lagret i en akkumulatortank. En akkumulatortank fungerer som et lager for varmtvann og tillater oppbevaring av termisk energi over lengre perioder med lite varmetap. Dette gjør det mulig å utnytte varmen som produseres for senere bruk. En slik tank er spesielt gunstig for å jevne ut effektbelastningen over tid, noe som kan være avgjørende med

tanke på reduksjon av strømpriser, da disse kan variere avhengig av tidspunkt på døgnet og mengden strøm som forbrukes [40].

4.3 Utvalgte bygninger for analyse

I prosessen med å identifisere hvilke av Bømlo kommune sine bygninger som kan egne seg til solenergianlegg, ble det gjort et strategisk valg av syv bygninger. Dette utvalget ble gjort med tanke på bygningenes størrelse, bruksområde, og potensial for effektiv utnyttelse av solenergi, i tillegg til symbolverdi. De utvalgte bygningene inkluderer fire utdanningsinstitusjoner, kommunens administrasjonssenter, et helse- og omsorgssenter, samt en svømmehall, hver med sine unike karakteristikk og krav til energiforbruk.

Bremnes ungdomsskule, Meling skule, Moster skule og Svortland skule representerer en del av utdanningssektoren i kommunen. Skolene ble valgt fordi de har store takflater som er ideelle for installasjon av solcellepaneler og solfangere. Disse institusjonene har også betydelig energiforbruk og er relativt nye bygg, noe som gjør dem til attraktive kandidater for reduksjon av energikostnader og karbonavtrykk gjennom solenergi.

Bømlo bu- og helsesenter tilbyr viktige helsetjenester til kommunens innbyggere og har et kontinuerlig behov for energi til oppvarming og drift. Implementering av solenergianlegg på dette anlegget kan bidra til å sikre en mer bærekraftig og kostnadseffektiv energiforsyning.

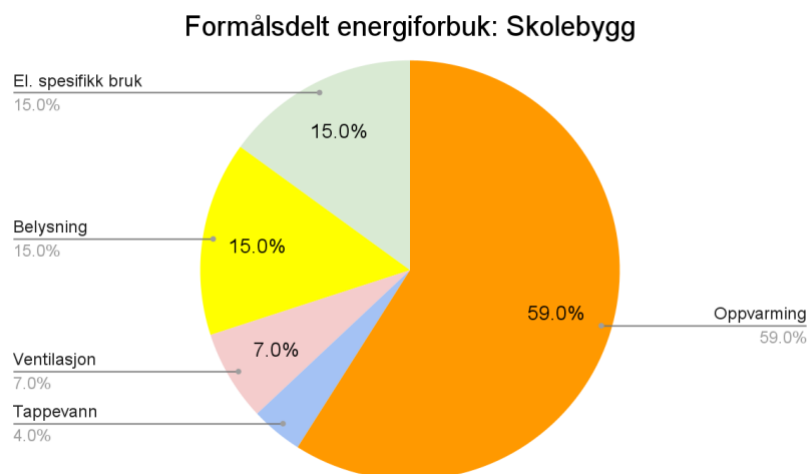
Bømlo Rådhus fungerer som kommunens administrasjonssenter med sentral og synlig beliggenhet i kommunesenteret, og spiller en sentral rolle i kommunens daglige operasjoner. Bygningen ble valgt på grunn av dens sentrale betydning, samt et uttrykt ønske fra kommunen om å prioritere rådhuset i solenergi prosjektet. Rådhuset kan representere en mulighet til å demonstrere kommunens oppfyllelse av forpliktelsene til bærekraftige energiløsninger.

Bømlo symjehall tilbyr rekreasjons- og treningsfasiliteter til kommunens innbyggere. Som tidligere nevnt, er svømmehallen spesielt egnet for installasjon av solfangere, gitt byggets store behov for oppvarming av basseng og dusjvann. Dette gjør den til en ideell kandidat for å demonstrere effektiviteten av solenergiløsninger, og da spesielt solfangerteknologi.

4.4 Kartlegging av eksisterende energiforbruk

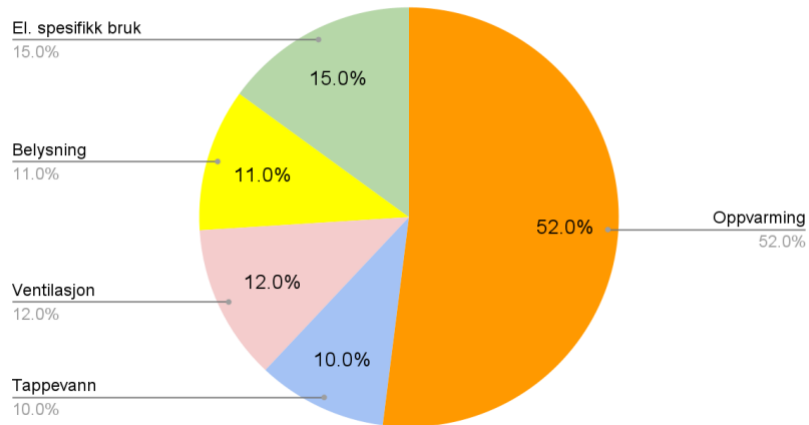
For å evaluere potensialet for integrasjon av solenergiløsninger i de utvalgte bygningene i Bømlo kommune, ble det foretatt en analyse av det formålsdelte energiforbruket i sykehjem, skolebygg, svømmehall og kontorbygg. Denne analysen, som er avgjørende for å identifisere muligheter for optimalisering gjennom solenergi, deler energiforbruket inn i kategorier hvor solfanger- og solcelleteknologier kan utnyttes mest effektivt. Den formålsdelte energiforbruken ble estimert ved hjelp av representativ statistikk fra NVE og gjennom e-postkorrespondanse med leder av Teknisk drift i kommunen, Vardan Vardanyan, som gir grunnlag for å forstå det typiske energiforbruket i lignende bygningstyper [41], [42]. Denne tilnærmingen ble nødvendig ettersom Bømlo kommune ikke hadde detaljert data tilgjengelig for hvert bygg.

Formålsdelt energiforbruk hentet fra statistikk fra NVE og e-postkorrespondanse med kontaktperson, Katrine Strand Sæterbø, i Bømlo kommune i de ulike bygningstypene er fremstilt i Figur 12, Figur 13, Figur 14 og Figur 15. Energiforbruket til svømmehallen, estimert av Bømlo kommune, er formålsdelt mellom oppvarming av vann og resten er til drift av diverse elektriske systemer som ventilasjon, avfukting, belysning, sauna, pumper, og annet elektrisk utstyr [41], [42]. Totalt kraftforbruk kan sees i Vedlegg A8.



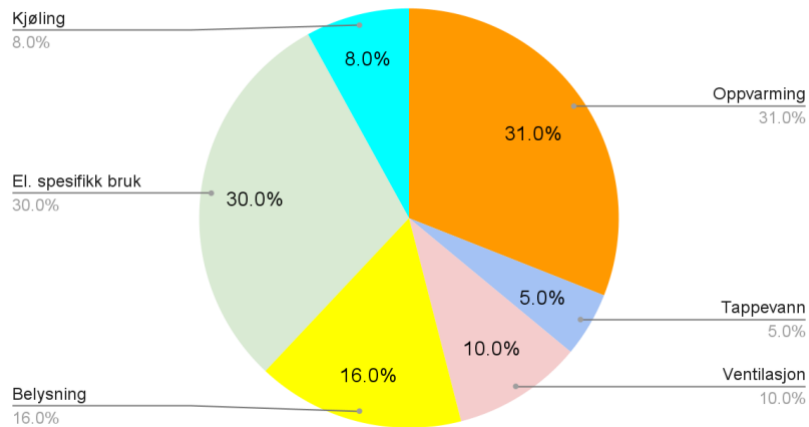
Figur 12 - Formålsdelt energiforbruk for skolebygg

Formålsdelt energiforbruk: Bømlo bu- og helsesenter



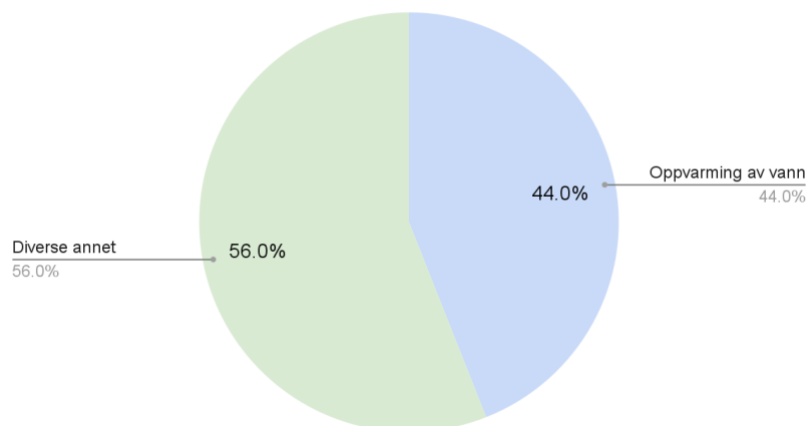
Figur 13 - Formålsdelt energiforbruk for Bømlo bu- og helsesenter

Formålsdelt energiforbruk: Bømlo Rådhus



Figur 14 - Formålsdelt energiforbruk for Bømlo Rådhus

Formålsdelt energiforbruk: Bømlo symjehall



Figur 15 - Formålsdelt energiforbruk for Bømlo symjehall

Både skoler, sykehjem, kontorbygg og svømmehallen har relativt faste rutiner og bruk gjennom året, og det er derfor i dette prosjektet antatt at forbruket av varmtvann er jevnt hele året [43].

Basert på den spesifikke fordelingen av energiforbruk er det i dette prosjektet lagt opp til at solfangere skal benyttes for spesifikt å adressere behovet for tappevann, mens solcellepaneler tar for seg de resterende aspektene av energiforbruket i tillegg til å varme opp tappevannet om ikke solfangerne leverer nok effekt. Dette skillet gjør det mulig å utnytte solenergi med forventning om å maksimere energieffektiviteten og bidra til energibesparelser.

4.5 Data om byggene

Asimuten for bygningene ble estimert ved hjelp av Google Earth Pro. Ved anvendelse av "Linjal"-funksjonen i programmet, og gjennom å trekke en linje langs møneretningen eller langs et rett segment på taket, ble informasjon om bygningenes orientering innhentet [9]. Denne metoden muliggjorde en presis bestemmelse av bygningenes orientering, som er kritisk for å vurdere det potensielle energiutbyttet fra solenergianlegg. Denne asimuten registreres i PVGIS, og spiller en avgjørende rolle i å bestemme potensialet for utnyttelse av solenergi. Asimutens betydning ligger i dens påvirkning på mengden solenergi som kan høstes, og er dermed en kritisk variabel i beregningen av forventet energiproduksjon fra solenergianlegg. Ved å ta hensyn til asimuten, kan man optimalisere designet og plasseringen av solenergisystemene for å maksimere akkumuleringen av energi og effektiviteten til installasjonene [36].

Azimuten, eller orienteringen, er vinkelen på solpanelene relativt til retningen mot sør. -90° er øst, 0° er sør, og 90° er vest. Dette er også standarden som blir brukt i programvaren PVGIS.

For å estimere tilgjengelig takareal på hus med skråtak, har vi brukt satellittbilder fra Google Maps for måling og visuell inspeksjon av takene ovenfra, og sammenlignet med data mottatt fra kontaktpersonen i Bømlo kommune [42]. Fordi bildene er tatt direkte ovenfra, gir de ikke en nøyaktig fremstilling av skråtakets faktiske flate. For å korrigere for dette, og oppnå en mer nøyaktig arealberegning, har vi multiplisert det opprinnelige arealet fra bildene med en vinkelfaktor. Denne faktoren justerer for takets helning, og gjør at vi kan estimere det reelle takarealet mer presist. Vinkelfaktorene er på 1,0 for flatt tak, 1,0864 for tak med en helning på 23° , og 1,4945 for tak med en helning på 48° [44]. Tabell 3 viser en oversikt over de utvalgte

byggene, estimert takareal og vinkelen til takene. Bømlo symjehall har en buet takkonstruksjon. Her har prosjektgruppen valgt å bruke vinkelfaktoren for flatt tak på 1,0.

Tabell 3 - Oversikt over utvalgte bygg, takarealet og takvinkel

<i>Bygg</i>	<i>Takareal (m²)</i>	<i>Takvinkel</i>
Bremnes Ungdomsskule	2245	Flatt
Meling skule	1803	Flatt, 23° og 48°
Moster skule	1985	Flatt
Svortland skule	1510	23°
Bømlo bu- og helsesenter	3847	Flatt og 23°
Bømlo rådhus	806	Flatt og 23°
Bømlo symjehall	1218	Flatt og buet

Arealet som kan utnyttes er områdene vendt mot sør, vest og øst, altså de områdene med størst solinnstråling på bygget. Skyggelagte områder samt utnyttbare områder som følger av skygge, takvindu og annet som kan komme i veien er tatt hensyn til, og er ikke med i beregningen. I tillegg ble det gjennomført ekskursjoner for å vurdere arealet direkte, og identifisere eventuelle hindringer som kunne påvirke installasjonen.

Etter å ha målt opp takarealet ble det tatt i bruk en utnyttelsesfaktor på 70% for å estimere det effektive arealet [45], [46]. Denne faktoren som er brukt av flere etablerte aktører i bransjen og tar hensyn til nødvendig plass for brannveier, rørføring, invertere, avstand til kanten av taket og diverse andre installasjoner og oppstikk på taket. Denne tilnærmingen sikrer en realistisk beregning av hvor mye av takarealet som faktisk kan utnyttes til solenergianlegg. I Vedlegg A1-A7 illustreres takarealene som kan utnyttes på de ulike byggene. Illustrasjonen er gjennomført ved hjelp av Google Earth, med en funksjon der det er mulig å markere ønsket område. Som en kan se på vedleggene er det seksjonert ut deler av taket før det deretter ble summert til nyttig takareal per bygg.

4.6 Monteringssteder

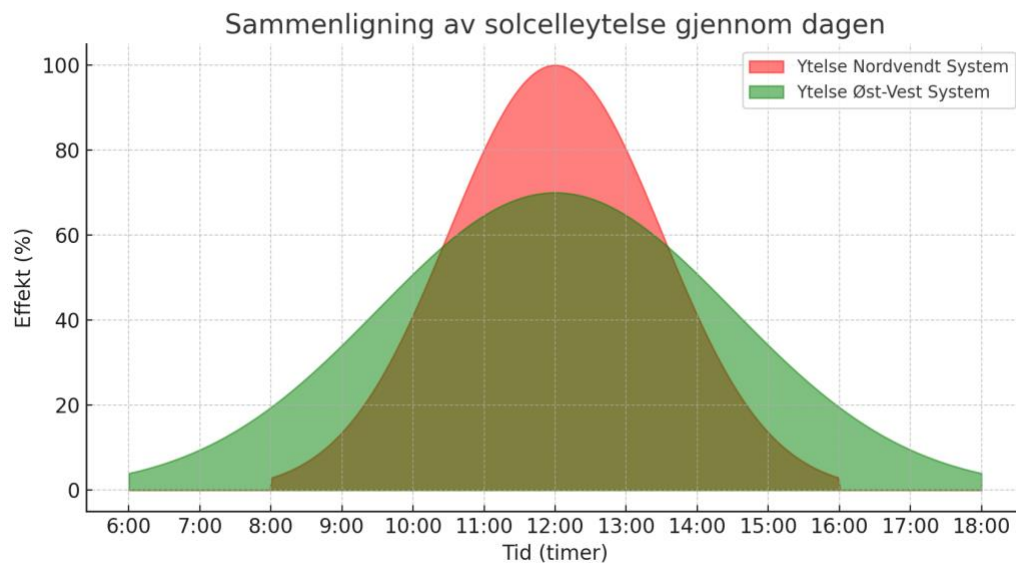
På flate tak monteres solcellepanelene på stativer med 10° helning, hvor annenhver rad er rettet mot øst og vest som vist i Figur 16. PV-anleggene på flate tak kan være utformet for å hvile fritt på taket, med dens egenvekt og ekstra ballast som holder det på plass. Dette valget er basert på flere årsaker. En slik installasjonsmetode, anbefalt av ledende installatører, bidrar til en jevnere fordeling av energiproduksjonen gjennom dagen, sammenlignet med systemer som kun er orientert mot sør og som opplever høyere spisslast midt på dagen. Ved høyere spisslast midt på dagen må vekselretterne dimensjonere deretter, noe som kan føre til høyere kostnader [46], [47]. Ved å spre kraftproduksjonen utover dagen vil en også kunne bruke mer av energien selv, noe som er mer gunstig enn å selge kraften [48].



Figur 16 - Eksempel på hvordan solceller kan monteres på flate tak. 10° helning, hvor annenhver rad er rettet mot øst og vest. Hentet fra tu.no [49]

Installasjonsmetoden som benyttes krever mindre utstyr og monteringsstativ. Ved å plassere panelene nært hverandre unngås skyggeproblematikk, noe som muliggjør en arealbesparelse på omtrent 15-20% sammenlignet med tradisjonelle sørvendte anlegg. Dette gjør metoden både areal- og kostnadseffektiv [50]. Figur 17 er en forenklet illustrasjon som kan vise hvordan en unngår den store spisslasten med et PV-anlegg som er orientert øst-vest, og produksjonen blir spredt lenger utover dagen. Dette er kun en illustrasjon og ikke basert på noen reelle målinger

og utarbeidet v.h.a. OpenAI [51]. (Ord brukt: Reproduser graf. Enklere utseende. Nordvendt system produserer i mindre tidsrom. Reprodusert fra [52].)



Figur 17 - Sammenligning av solcelleytelse i løpet av en dag for nordvendt- og øst-vest-vendt system

PV-anlegg montert på sørvendt, skrått tak vil som vist i Figur 17 produsere mest energi midt på dagen når solen står høyest på himmelen. Dette fører til en høy makseffekt som krever større og mer kostbare vekselrettere dimensjonert for å håndtere denne toppbelastningen. Et sørvendt anlegg vil produsere mer enn et øst- og vestvendt anlegg fordi solinnstrålingen vil være høyere. Om en monterer solcellene på øst- og vestvendte tak vil en også her kunne spre produksjonen mer utover dagen, og kan med det dimensjonere for en rimeligere vekselretter [46].

Når det kommer til solfangere var antallet solfangere nødvendig for å dekke tappevannsbehovet relativt lite, noe som gjorde det mulig å prioritere en optimal helningsvinkel der forholdene tillot det. På bygg med tilstrekkelig flate takarealer vil solfangerne derfor bli installert med en helningsvinkel på 45° , orientert så direkte mot sør som mulig, gitt byggets eksisterende orientering. For å forhindre skygge på solcellepanelene, vil solfangerne strategisk bli plassert langs nordkanten av taket.

På bygg der flate takarealer er fraværende, eller der det vurderes mer hensiktsmessig, vil solfangerne bli montert direkte på skråtak. Solfangerne vil da følge takets eksisterende helningsvinkler, som er enten 23° eller 48° , avhengig av den spesifikke bygningens takvinkel.

4.7 Utstyrvalg

I dette kapittelet presenteres den spesifikke typen solcellepanel og solfangere som er valgt for prosjektet, inkludert informasjon om deres virkningsgrad og andre relevante tekniske spesifikasjoner. Disse valgene er basert på en evaluering av tilgjengelige teknologier og deres egnethet til å møte energibehovene ved de ulike installasjonsstedene.

4.7.1 Solcellepanel

I dette prosjektet er det valgt å fokusere på den mest brukte, og vanligste typen solceller i dagens marked, nemlig monokrystallinske solceller. Disse solcellemodulene er kjent for sin høye effektivitet, og de tilhører kategorien av førstegenerasjons solcelleteknologi. Monokrystallinske solcellepaneler kan oppnå en virkningsgrad på opptil 24,4%, men for formålene med dette prosjektet er det valgt paneler med en virkningsgrad på 21,5% og W_p på 420. Dette etter å ha sammenlignet flere solcellepanel fra ulike leverandører i Norge [53], [54].

I oppgaven er det benyttet en ytelsesfaktor på 82,5% som tar hensyn til disse tapene beskrevet i kapittel 3.2.3 Virkningsgrad og tap, for å gi et realistisk bilde av solcelleanleggets effektivitet. Denne ytelsesfaktoren er estimert for et 100 kWp PV-anlegg, installert på et næringsbygg i Bergen, og er sett på som passende å bruke for byggene denne oppgaven fokuserer på [55].

Med grunnlag i funnene forklart i 3.2.3 Virkningsgrad og tap, og for å ivareta en forsiktig tilnærming, er det i dette prosjektet satt en årlig degraderingsrate på 0,3%. Dette er noe mer konservativt enn det som er observert ved ASKO Vestbys anlegg, men representerer fortsatt en forbedring sammenlignet med medianraten på 0,5% for solcellemoduler generelt [56]. Ved å benytte en noe høyere degraderingsrate sikrer prosjektet en buffer mot potensielle variasjoner i fremtidig modulprestasjon, samtidig som det opprettholdes realistiske forventninger til anleggets levetid og økonomiske ytelse.

4.7.2 Solfanger

Valget av type solfanger ble basert på en vurdering av flere kriterier som er relevante for prosjektet. Alle bygg i denne oppgaven er offentlige bygg, hvor mye folk ferdes i og rundt byggene, noe som gjør at viktigheten av estetikk og et godt visuelt uttrykk ikke kan oversees. Vakuumsolfangere er i teorien de mest effektive, men de har et karakteristisk utseende som skiller seg mer ut, og de ble derfor besluttet å bruke plane solfanger. En plan solfanger er

visuelt sett mer lik et solcellepanel og i og med at denne oppgaven omfatter en kombinasjon av de to teknologiene ble dette sett på som en avgjørende faktor.

For plane solfangere er det, som forklart i kapittel 3.3.3 Virkningsgrad og tap, varierende virkningsgrader fra 40% og helt opp mot 80% for de mest effektive. For dette prosjektet ble det besluttet å anvende en konservativ midlere virkningsgrad på 50% for videre beregninger som tar høyde for tap på en lignende måte som ved å bruke ytelsesfaktor for solcellepanel. Denne mildere virkningsgraden ble valgt for å sikre pålitelighet i energiproduksjonsestimatene, redusere risikoen for å overvurdere anleggets ytelse, og på den måten sikre at prosjektet økonomiske analyser er basert på realistiske og oppnåelige produksjonstall.

På samme måte som med solcellepanel, er det estimert en degraderingsrate for solfangere. Gjennom korrespondanse med Inaventa Solar har prosjektgruppen fått innsikt i mulige faktorer som over tid kan redusere effektiviteten til solfangere. Det kom fram at det ikke er noen generell degraderingsrate for solfangere, men at det eksempelvis i deres egne produkter kan forekomme at polykarbonatplaten som fungerer som et beskyttende lag over absorbatoren kan bli mindre gjennomsluktig. Dette skjer dog trolig maks én gang under solfangerens levetid samt at platen er billig og lett å bytte ut [57]. Degraderingsraten for solfangerne i dette prosjektet er fastsatt til 0,1% årlig.

4.8 Analyse av solinnstråling

For å estimere solenergipotensialet til fotovoltaiske- (PV) og solfangersystemer er en grundig analyse av solinnstrålingen essensiell. Det innledende steget i denne analysen inkluderer bestemmelse av asimut og helning for hvert av skråtakene til de respektive bygningene som vurderes for installasjon. På flate tak monteres PV-paneler på stativer med en helning på 10°, organisert i alternerende rader orientert mot øst og vest, noe som gir asimuter på 90° og -90°. For solfangersystemer tilpasses helningsvinkelen, asimuten og plasseringen spesifikt for hver enkelt bygning for optimal ytelse og tilpassing til bygning som forklart i kapittel 3.4 Solinnstråling, orientering og helning.

Data samlet inn for disse parameterne ble analysert ved hjelp av simuleringsverktøyet PVGIS, som tilbyr detaljert informasjon om solinnstrålingen for hver enkelt takflate og bygning [11]. Asimut og areal for hver takoverflate ble notert ned. Resultatene ble systematisk organisert i et

Excel-regneark for bedre oversikt og for å legge til rette for videre analyser. Denne metodiske tilnærmingen legger grunnlaget for å vurdere bygningenes egnethet for PV- og solfangersystemer, samt for å beregne systemene sin forventede energiproduksjon og ytelse.

4.9 Estimering av solenergiproduksjon

For å estimere hvor mye energi som potensielt kan produseres av solcelleanlegget og solfangerne ble alle nødvendige data vurdert ved hjelp av Excel. Det ble her utviklet et Excel-ark som tillot innlegging av forskjellige verdier og parametere, og som ga en estimert produksjon basert på disse inndataene.

For PV-systemet ble Ligning 1 anvendt for å beregne energiproduksjonen [58]:

$$E = A \times r \times H \times PR \quad (1)$$

hvor E er den årlige energiproduksjonen, A er arealet av solcellepanelene, r er effektiviteten til solcellene, H er den årlige solinnstrålingen mottatt på panelenes overflate, og PR (Performance Ratio/ytelsesfaktor) er en faktor som reflekterer kvalitative aspekter av systemet, inkludert systemtap.

Ved å legge inn de relevante parameterne for hver bygning og takflate i Excel, kunne den estimerte energiproduksjonen beregnes, noteres og summeres for å gi en oversikt over systemets potensielle utbytte.

PV-systemets totalt installerte effekt ble også beregnet da denne er nødvendig å vite i den økonomiske analysen. Denne ble estimert ved å bruke Ligning 2:

$$\text{Installert effekt (kWp)} = A \times \eta \times G_{STC} \quad (2)$$

Her er A det totale arealet av solcellepanelene målt i kvadratmeter, η er virkningsgraden til solcellepanelene uttrykt som en dimensjonsløs desimal, og G_{STC} er standard solinnstråling under standard testbetingelser, som typisk er en kilowatt per kvadratmeter. Når disse faktorene multipliseres, gir de den totale installerte effekten i kilowatt-peak, som representerer den maksimale elektriske effekten PV-systemet kan produsere under optimale forhold. Denne informasjonen er avgjørende for å gjennomføre en økonomisk analyse av solcelleanlegget, da det gir grunnlag for å beregne forventet energiproduksjon, kostnadsbesparelser og avkastning på investeringen.

For solfangerne ble analysen fokusert på å dekke energibehovet for oppvarming av tappevann og eventuelt bassengvann. Med inspirasjon fra boken Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer av David Zijdemans ble Ligning 3 brukt for å estimere nødvendig areal for solfangerne [34]:

$$A = \frac{E_{behov}}{I \times \eta \times PR \times D} \quad (3)$$

A representerer det nødvendige arealet av solfangerne, mens E_{behov} er lik det totale kraftforbruket for en måned multiplisert med andelen av kraftforbruket som går til oppvarming av tappevann. Gjennomsnittlig solinnstråling i den måneden med høyest solinnstråling er angitt som I . Virkningsgraden til solfangerne er representert ved η , mens ytelsesfaktoren for systemet, som tar hensyn til diverse tap, er betegnet som PR . Til slutt beskriver D dekningsgraden til forbruket.

Denne beregningen gjør det mulig å bestemme hvor stort areal som er nødvendig for å dekke det spesifikke energibehovet for tappevann oppvarming gjennom solfangerne, og bidrar til å optimere investeringen ved å sikre at installasjonen er dimensjonert riktig i forhold til behovet.

4.10 Scorings- og rangeringssystem

Kommunens ønske for en prioriteringsliste for installasjon av solenergianlegg krever en metodisk tilnærming for å vurdere og rangere potensielle bygninger. Dette kapitlet beskriver utviklingen og bruken av et scorings- og rangeringssystem som er designet for å møte denne utfordringen.

Det anvendte scorings- og rangeringssystemet er basert på en multikriterieanalyse, som gir en helhetlig vurdering av hvert potensielt installasjonssted. Den generelle prosessen for multikriterieanalyse inneholder tre trinn som bidrar til å strukturere beslutningstakingen når flere faktorer skal vurderes, og de tre trinnene er som følger [59]:

Trinn 1. Definerings av relevante kriterier

Det første trinnet i en multikriterieanalyse er å identifisere og definere de kriteriene som er relevante for beslutningsprosessen, samt å liste opp de ulike alternativene som skal vurderes. For eksempel, i konteksten av solenergianlegg, vil relevante kriterier kunne være investeringskostnad, nåverdi, tilbakebetalingstid, drifts- og vedlikeholdskostnader, samt symbolverdi.

Trinn 2: Numerisk vurdering av kriteriene

I dette trinnet blir byggene gitt en plassering relativt til de andre byggene ut fra hvor godt de leverer på kriteriet, fra 1 til 7 der 7 representerer det mest ønskelige utfallet, til hvert kriterium for å vise deres relative betydning. For hvert kriterium blir det også tildelt en prosent som viser betydningen og vekten til dette kriteriet.

Trinn 3. Beregning av samlet numeriske verdier for å bestemme rangeringen til byggene

Det siste trinnet omhandler å bruke verdiene og vekten til å beregne en total score for hvert bygg. Denne scoren danner grunnlaget for å rangere av byggene. Den samlede poengsummen for hvert bygg beregnes ved å multiplisere poengsummen med vekten for hvert kriterium og deretter summere disse for å få en total score som vist i Ligning 4. For dette prosjektet vil dette innebære å beregne en samlet poengsum for hver bygning basert på hvordan de scorer på de forskjellige kriteriene, slik at man kan prioritere hvilke prosjekter som skal implementeres først.

$$Total\ score = \sum_i^n (S_i \times W_i) \quad (4)$$

S_i representerer scoren til bygningen på det i -te kriteriet, mens W_i betegner vekten av det i -te kriteriet, som en prosent, reflekterende dets relative viktighet i den totale evalueringen. n angir antall kriterier som vurderes.

Modellen implementeres gjennom Microsoft Excel som tillater raske oppdateringer og tilpasninger basert på endrede data eller prioriteringer og kan sees i A22. Dette sikrer at prioriteringslisten kan revideres regelmessig i takt med teknologiske forbedringer eller endringer i økonomiske forhold.

I *Trinn 2*, for å rangere bygningene relativt til hverandre, ble det nødvendig å sammenfatte data for både solcelle- og solfangeranleggene installert på hvert bygg, siden disse anleggene bidrar med forskjellige verdier til de ulike kriteriene. Drift- og vedlikeholdskostnader, investeringskostnad, og nåverdi for hvert anlegg ble summert for å gi en total verdi for anlegget. For beregningen av den samlede LCOE ble andelene av energiproduksjon fra både solcelle- og solfangeranleggene først vurdert. Deretter ble LCOE for hvert anlegg vektet i henhold til deres respektive bidrag til total energiproduksjon, før de ble summert sammen for å gi en samlet LCOE-verdi for hvert bygg. For å finne samlet tilbakebetalingstid, ble Ligning 6 brukt, der total investeringskostnad og total energiproduksjon for første året til begge anleggene ble lagt sammen for å finne samlet tilbakebetalingstid.

Denne prosessen hjelper til med å strukturere komplekse beslutninger og sikrer at alle relevante faktorer blir vurdert på en metodisk måte. Ved å anvende denne formen for scoringssystem oppnår man en mer balansert og informert beslutningsprosess, og kan på denne måten gi kommunen et godt utgangspunkt når det kommer til å velge hvilke bygg en bør begynne med.

5 Økonomisk analyse og lønnsomhetsvurdering

Dette kapittelet analyserer økonomien rundt implementering av solenergisystemer på sju ulike kommunale bygg i Bømlo kommune. Først sammenlignes systemkostnadene for PV og solfangere for å etablere investeringsgrunnlaget. Deretter beregnes Levelized Cost of Energy (LCOE) for å vurdere den gjennomsnittlige kostnaden per produsert kilowattime. Analyser av tilbakebetalingstid og nåverdien av fremtidige kontantstrømmer, gjennom Tilbakebetalingsmetoden og Nåverdimetoden, gir ytterligere innsikt i prosjektenes finansielle levedyktighet. Resultatene fra disse beregningene vil gjøre det mulig å sammenligne de ulike solenergianleggene med hverandre, og demonstrere den økonomiske levedyktigheten.

5.1 Systemkostnader for solceller

I de siste årene har solcellemarkedet opplevd betydelige endringer som har påvirket kostnadene ved å installere fotovoltaiske systemer. En markant økning i antallet solcelleinstallatører, sammen med en betydelig reduksjon i prisen på materiell, har ført til at kostnadene for PV-anlegg har falt betraktelig. Siden starten av 2023 til starten av 2024 falt modulprisene med over 50% [60], [61].

Etter e-postkorrespondanse med Multiconsult, samt informasjon hentet fra nyere rapporter, har prosjektgruppen utarbeidet Tabell 4 med oppdaterte kostnadsestimater som har dannet grunnlaget for den økonomiske analysen og lønnsomhetsvurderingen av de enkelte byggene. Det fremstår klart at systemstørrelsen har en signifikant innvirkning på kostnadene forbundet med solcelleanlegg. Systemstørrelsen påvirker ikke bare totalprisen, men også hvordan kostnadene fordeles. For større anlegg blir det også en reduksjon i prosentandelene knyttet til kostnader for både vekselrettere samt drifts- og vedlikeholdskostnader. Før prisedgangen stod modulene for omtrent 30% av totalkostnaden, mens vekselretter stod for mellom 5-9% av totalkostnaden [13], [62].

Vekselretterkostnadene er av betydning i de økonomiske beregningene, ettersom det er sannsynlig at disse komponentene vil trenge utskifting etter omtrent 15 år [13]. Denne forventningen om levetid og påfølgende utskiftningskostnader må derfor tas med i vurderingen av anleggets samlede økonomiske levetidskostnader.

Kostnadene forbundet med installasjon av fotovoltaiske systemer varierer betydelig og utgjør en vesentlig del av totalkostnaden for slike anlegg. Flere faktorer påvirker installasjonskostnadene, hvorav de mest betydningsfulle er takets kompleksitet, anleggets størrelse, og tilgjengeligheten rundt installasjonsstedet [62].

Takets kompleksitet, om det er flatt eller skrått, og eksisterende infrastruktur, kan øke tekniske utfordringer og ressursbehov under installasjonen, noe som fører til høyere kostnader. Videre har størrelsen på anlegget en direkte innvirkning på økonomien i skala; større anlegg har ofte lavere kostnader per kilowatt installert kapasitet grunnet effektiviseringer i innkjøp og installasjon. Tilgangen rundt bygget påvirker også installasjonskostnadene ved at begrenset tilgang kan medføre behov for spesialutstyr eller ekstra arbeidstid til montering.

Tabell 4 - Kostnadsestimater for solcelleanlegg. Modifisert tabell fra [13] med oppdaterte tall fra e-postkorrespondanse med Multiconsult [62]. Priser eks. mva.

Kostnadskategori	Installert effekt (kWp)	Systemkostnad (kr/kWp)	Vekselretter (prosent av systemkostnad)	Årlig drift og vedlikehold (% av systemkostnad)
1	50-100	7000-9000	7%	1%
2	100-500	6000-7000	6%	0,5%
3	>500	5000-6000	5%	0,5%

5.2 Systemkostnader for solfanger

I Norge er det for tiden få aktører på markedet for solfangere, og markedet er mye større internasjonalt [57]. På grunn av dette er prissettingen i denne oppgaven basert på internasjonale priser som er oppgitt gjennom e-postkorrespondanse med Inaventa Solar. Denne tilnærmingen sikrer en realistisk vurdering av kostnadene forbundet med solfangeranlegg gitt den begrensede lokale konkurransen.

Den gjennomsnittlige prisen for en solfanger ligger på 2 200 kr/m², eksklusiv merverdiavgift og montering [57]. Denne prisen reflekterer kun kostnaden for solfangerpanelet og inkluderer

ikke nødvendige tilleggsutstyr eller systemkomponenter som varmelagring, styringsmekanismer og røranlegg. For et komplett solvarmeanlegg som kun adresserer behovet for tappevann, som er fokuset i dette prosjektet, er budsjettprisen satt til 3 500 kr/m² solfanger. Her er en typisk installasjonsstørrelse cirka 10 m². Dette kostnadsestimatet antas å være representativt for de fleste bygninger i prosjektet, med unntak av anlegg som svømmehallen og Bømlo bu- og helsesenter hvor kapasitetbehovet og installasjonskompleksiteten er større.

For eksisterende bygninger der det skal ettermonteres må det forventes tilleggskostnader på mellom 30% og 40% på toppen av basisprisen for komponentene, som dekker nødvendige monteringsarbeid [57]. Denne ekstrakostnaden reflekterer utfordringene og arbeidet knyttet til integrasjon av solfangersystemer i eksisterende infrastrukturer.

For større solfangerprosjekter varierer prisestimatene og er avhengige av en rekke prosjektspesifikke forhold, inkludert skala og installasjonskompleksitet. For disse større anleggene kan prisen per m² ligge mellom kr 3 000 og kr 3 500, med tillegg av monteringskostnader som utgjør cirka 30% [57].

I dette prosjektet er det fastsatt systempriser for de ulike byggene basert på estimater fra Inaventa Solar og en evaluering av de spesifikke forholdene ved hvert enkelt bygg. For de mindre anleggene er systemprisen satt til 4500 kr/m², mens systemprisen for de større solfangeranleggene på svømmehallen og Bømlo bu- og helsesenter er bestemt til 4200 kr/m². For de to større solfangeranleggene er prisen normalt sett lavere, men for å ha en konservativ tilnærming her òg så blir den satt i det øvre prissjiktet når det kommer til slike store solfangeranlegg. Spesielt for svømmehallen er det vanskelig å anslå pris, da det kan være en mer kompleks installasjon som kan øke kostnadene.

Solvarmeanlegg krever generelt sett lite vedlikehold og driftstilsyn på grunn av dets automatiske styringsløsninger [14, s. 20], [15, s. 26], [57]. Vedlikeholdsbehovene vil variere ut fra faktorer som type solfanger, anleggsstørrelse og systemløsning brukt i anlegget, og det er derfor viktig med spesifikke avtaler eller informasjon fra produsent eller leverandør. Eksempel på ulike vedlikeholdsoppgaver kan være sjekk av PH-verdi i solfangere der glykol nyttes som varmemedium. En for lav PH-verdi kan korrodere komponenter i anlegget. Andre oppgaver kan være kontroll av trykk, luftinnhold og væskeinnhold i solfangerkretsen, rengjøring av smussfilter, kontroll av ventiler, pumpe og kontrollering av fuktinntrenging [32]. Som følge av generelt lave vedlikeholdspriser og store variasjoner i forhold til de enkelte anlegg vil priser i

forhold til økonomiske beregninger i oppgaven være basert på estimater. Solvarmeanlegg har en estimert levetid på 25-30 år, hvor det forventes at noen komponenter må byttes etter 10-15 år. Derfor har prosjektgruppen valgt å gå videre med en vedlikeholdskostnad på 2% per år av investeringskostnad. Denne prisen inkluderer jevnlig tilsyn samt eventuelle kostnader tilknyttet bytte av komponenter.

5.3 LCOE

Levelized Cost of Energy (LCOE) er en metode for å beregne gjennomsnittlige produksjonskostnader for energi over anleggets levetid. Den inkluderer alle kostnader knyttet til investering, drift, vedlikehold og brensel, og deler disse på den totale energiproduksjonen. LCOE representerer den gjennomsnittlige prisen som må oppnås fra salg av energi for at investeringen i et energianlegg skal betale seg over anleggets forventede levetid. Denne metoden er mye brukt i energibransjen for å beregne produksjonskostnadene. LCOE utført i dette prosjektet er reell, noe som vil si at inflasjon ikke er tatt hensyn til i diskonteringsrenten. [63].

$$LCOE = \frac{\text{Kostnader over anleggets levetid}}{\text{Kraftproduksjon i anleggets levetid}} = \frac{CAPEX + \sum_{n=1}^i \frac{AC}{(1+r)^n}}{\sum_{n=1}^i \frac{AEP (kWt) \times 1 - Lf}{(1+r)^n}} \quad (5)$$

AC representerer de årlige kostnadene, mens AEP betegner den årlige energiproduksjonen. Lf angir den årlige tapsfaktoren eller degraderingsrenten, og $CAPEX$ representerer investeringskostnadene ved oppstart. n angir år nummer, i refererer til prosjektets økonomiske levetid, og r betegner diskonteringsrenten. Ligning 5 er hentet fra Multiconsult sin kostnadsstudie [55].

5.4 Tilbakebetalingsmetoden

Tilbakebetalingsmetoden, også kalt Payback-metoden, er en enkel økonomisk beregning som brukes til å estimere hvor lang tid det tar å tjene inn igjen den opprinnelige investeringskostnaden. Enkelt forklart betyr det at jo kortere tid det tar å tjene inn igjen investeringskostnadene sammenlignet med hvor lenge investeringen varer, desto bedre er investeringen. Denne metoden er nyttig for å vurdere investeringens likviditetsrisiko og hvor raskt investoren kan forvente å gjenvinne sin investering. Tilbakebetalingsperioden beregnes ved å dele de totale investeringskostnadene med den årlige kontantstrømmen fra investeringen. Den gir et intuitivt mål på investeringsrisikoen, men tar ikke hensyn til renteeffekten eller kontantstrømmer etter tilbakebetalingsperioden [64].

$$\text{Tilbakebetalingstid} = \left(\frac{\text{investeringsbeløp}}{\text{forventet årlig kontantstrøm}} \right) \quad (6)$$

5.5 Nåverdimetoden

Nåverdi beskriver dagens verdi av noe på et tidspunkt i fremtiden, og blir ofte brukt for å finne verdien av dagens penger betalt om et gitt antall år. Dette fordi dagens penger taper seg i verdi på grunn av potensiell avkastning og inflasjon [65]. Nåverdimetoden (NPV) evaluerer investeringers lønnsomhet ved å diskontere fremtidige kontantstrømmer til nåtidens verdi, justert for tidsverdien av penger og varierte tidspunkter for inn- og utbetalinger. En positiv nåverdi indikerer lønnsomhet, mens en negativ nåverdi antyder at det ikke er lønnsomt. Valg av diskonteringsrente når en beregner nåverdi er viktig, da en for høy eller lav rente kan feilvurdere prosjektets økonomiske verdi. I praksis må man ofte prioritere blant flere investeringer basert på deres relative nåverdi [64].

Nåverdimetoden kan vise om kapitalen som blir investert i de ulike solenergianleggene vil gi mer verdi tilbake i fremtiden. Den regner om fremtidige inntekter og utgifter til dagens verdi, slik at en kan se om investeringen vil lønne seg. Dette gjør at en kan ta bedre beslutninger om hvorvidt det lønner seg å investere i et slikt anlegg, og hvilken av byggene det lønner seg å prioritere.

$$NPV = -I_0 + \sum_{n=1}^i \frac{C_n}{(1+r)^n} \quad (7)$$

hvor I_0 er investeringskostnaden år 0, n er antall år, r er diskonteringsrenten, C_n er netto kontantstrøm gjeldende år, og i er levetiden i år.

5.6 Diskonteringsrente

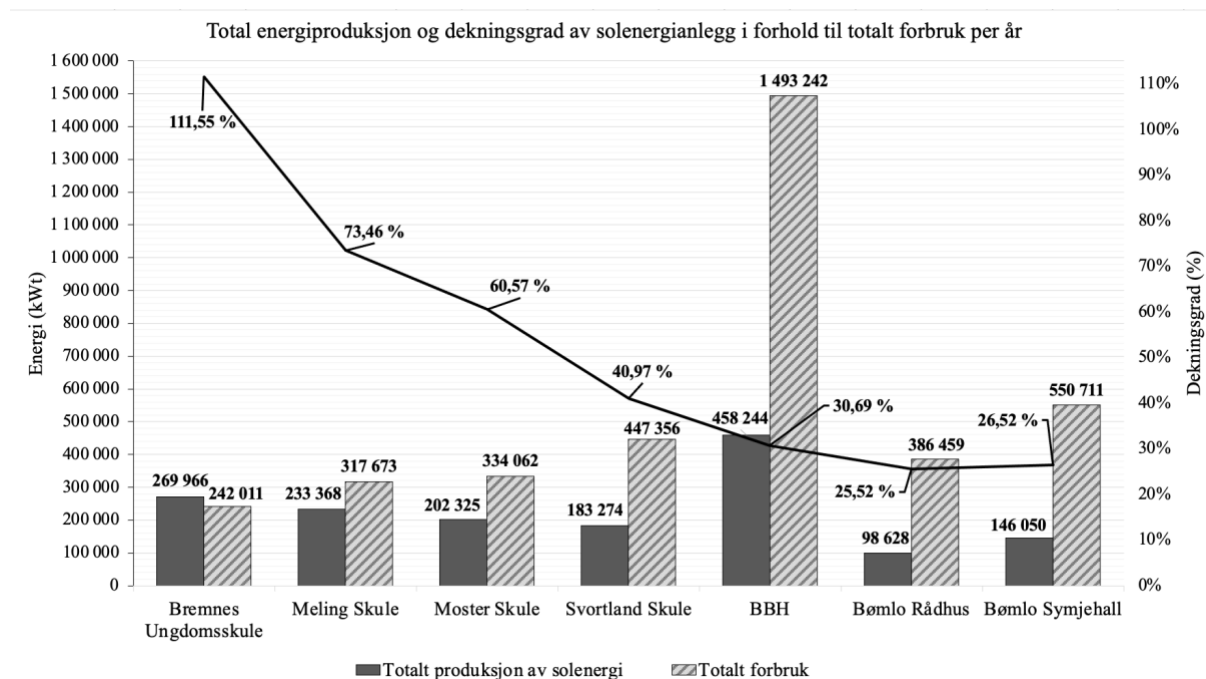
Diskonteringsrente er den renten som brukes til å beregne nåverdien av fremtidige kontantstrømmer i et prosjekt. Diskonteringsrenten spiller en kritisk rolle i vurderingen av et prosjekts lønnsomhet: en lav diskonteringsrente øker nåverdien av fremtidige inntekter, noe som gjør investeringen mer tiltrekkende. På den andre siden vil en høy diskonteringsrente redusere nåverdien, noe som kan føre til at lønnsomme investeringer feilaktig avvises. Om renten settes for lavt, kan det resultere i at investeringer som egentlig er ulønnsomme, ser lønnsomme ut. Diskonteringsrenten kan også være et avkastningskrav som forventes av eier for å være villig til å investere [66]. Ifølge Multiconsult sin rapport fra 2024 kan avkastningskravet i privat sektor være opp mot 10%, mens det normalt sett er lavere i offentlig sektor og kan der være cirka 4% [13].

6 Resultat

I dette kapitlet vil resultatene av studien bli lagt frem. Først vil vi se på estimatene for solenergiproduksjon og fordelingen mellom solceller og solfangere i de forskjellige byggene, noe som er essensielt for de påfølgende økonomiske beregningene og for å gi en omfattende forståelse av de ulike systemene. Videre vil vi gjennomgå de økonomiske analysene, hvor vi fokuserer på beregninger som LCOE, tilbakebetalingstid og nåverdi. Til slutt vil resultatene fra scoringsmodellen bli presentert, før vi avslutter med en diskusjon av hele resultatdelen.

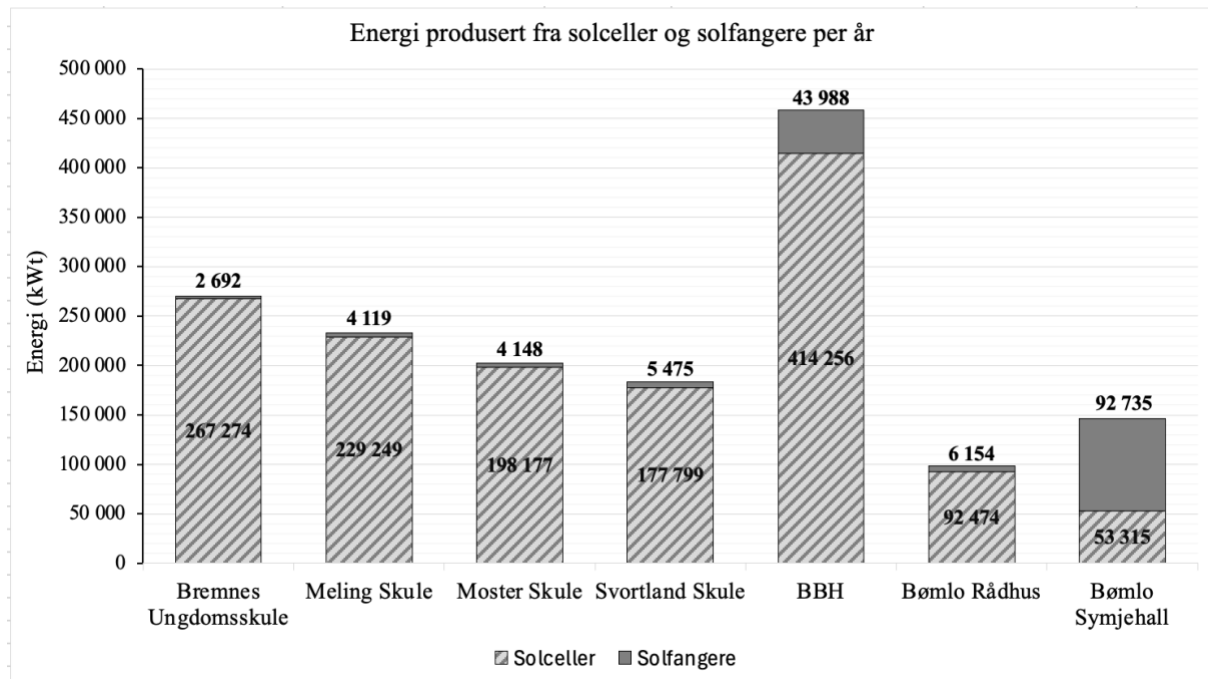
6.1 Produksjon, forbruk og installasjonsdetaljer for solenergianlegget

Ved å se på den kombinerte totale produksjonen fra solcelleanleggene og solfangeranleggene er det mulig å se hvor langt unna hvert respektive bygg er å dekke sitt totale forbruk gjennom et år. I Figur 18 blir den totale energiproduksjonen og energiforbruket til hvert bygg presentert ved hjelp av et stolpediagram. De heltrukne stolpene viser produksjonen og de stripete stolpene viser forbruket. Linjediagrammet viser dekningsgraden i prosent. Figur 18 viser at Bremnes ungdomsskule, som eneste bygg, produserer mer energi enn bygget forbruker per år. Videre kan man se varierende resultat i produksjon mot forbruk for de resterende byggene.



Figur 18 - Total energiproduksjon og dekningsgrad av solenergianlegg i forhold til totalt forbruk per år

Figur 19 illustrerer fordelingen av energi produsert av solcelle- og solfangeranlegg over et år for hver bygning. Grafen gir en visuell fremstilling av hvor mye energi som produseres av hver type anlegg, og hjelper med å vise hvilken teknologi, solceller eller solfangere, som dominerer energiproduksjonen i de forskjellige byggene. Denne informasjonen er nyttig for å forstå hvordan forskjellige teknologier bidrar til energiforsyningen i hver lokasjon.



Figur 19 - Fordelingen av produksjon fra solceller og solfangere ved utvalgt bygg

Tabell 5 gir en oversikt over årlig energiproduksjon fra solenergianlegg ved utvalgte bygg. Den viser separat produksjonen fra solcelleanlegg og solfangere for hvert bygg, og gir et bilde av hvordan hver bygning bidrar til energiproduksjonen fra solenergi.

Tabell 5 - Årlig energiproduksjon fra solenergianlegg ved utvalgte bygg

<i>Bygg</i>	<i>Årlig produksjon solcelleanlegg (kWt)</i>	<i>Årlig produksjon solfanger (kWt)</i>
Bremnes ungdomsskule	267 274	2 692
Meling skule	229 249	4 119
Moster skule	198 177	4 148
Svortland skule	177 799	5 475
Bømlo bu- og helsesenter	414 256	43 988
Bømlo rådhus	92 474	6 154
Bømlo symjehall	53 315	92 735

I Tabell 6 presenteres solcelle- og solfangeranleggenes installasjonsdetaljer. Resultatene er kalkulert ved hjelp av Microsoft Excel og viser størrelsesomfanget til de respektive solenergianleggene på hvert bygg. Arealet for solfangere knyttes opp mot deres krav om å dekke tappevannsbehov og antall solceller er et resultat av det gjenstående utnyttbare takareal. Som følge av den lave produksjonsandelen solfangeranleggene skal dekke på samtlige bygg bortsett fra på Bømlo symjehall og delvis BHH, er det store takareal tilgjengelig for solceller, noe som også gjenspeiler det store antall solceller.

Tabell 6 - Installasjonsdetaljer

<i>Bygg</i>	<i>Nominell installert effekt (kWp)</i>	<i>Antall solcellepaneler på ca. 2m²</i>	<i>Energiutbytte solfanger (kWh/m²/år)</i>	<i>Areal solfanger (m²)</i>
Bremnes ungdomsskule	330,1	786	517,67	5,2
Meling skule	289,4	689	541,99	7,6
Moster skule	279,9	666	499,77	8,3
Svortland skule	220,9	526	511,68	10,7
Bømlo bu- og helsesenter	579,0	1379	501,00	87,8
Bømlo rådhus	123,1	293	517,12	11,9
Bømlo symjehall	69,3	165	481,99	192,4

Tabell 7 gir en oversikt over det årlige forbruket av elektrisitet og tappevann for ulike bygninger. Den beskriver to typer energiforbruk: årlig forbruk av elektrisitet, som indikerer mengden elektrisk energi hver bygning bruker i løpet av et år, og årlig forbruk av tappevann, som viser energimengden brukt til oppvarming av tappevann for hver bygning gjennom året. Denne informasjonen blir brukt til å identifisere den mest effektive kombinasjonen av solfangere og solcellepaneler for å maksimere energiproduksjon og økonomisk levedyktighet, som var et av delmålene.

Tabell 7 - Årlig energiforbruk for utvalgt bygg

<i>Bygg</i>	<i>Årlig forbruk elektrisitet (kWh)</i>	<i>Årlig forbruk tappevann (kWh)</i>
Bremnes ungdomsskule	232 330	9 680
Meling skule	304 966	12 707
Moster skule	300 656	33 406
Svortland skule	429 461	17 894
Bømlo bu- og helsesenter	1 343 918	149 324
Bømlo rådhus	367 136	19 323
Bømlo symjehall	307 206	243 505

6.2 Økonomisk resultater

Tabell 8 og Tabell 9 presentere økonomiske beregninger relatert til solenergiinvesteringer ved de utvalgte bygningene for henholdsvis solcelle- og solfangeranlegg. Den gir en detaljert oversikt over tre sentrale økonomiske indikatorer: LCOE, tilbakebetalingstid og nåverdi. En kan fra tabellene sammenligne disse indikatorene for å vurdere hvilken av byggene som er den beste investeringen. En lavere LCOE indikerer en mer kostnadseffektiv energiproduksjon, en kort tilbakebetalingstid er fordelaktig og en høyere nåverdi antyder en lønnsom investering over tid. Tabellene viser at det er varierende resultat for alle de tre indikatorene.

Tabell 8 - Oversiktstabell for solcelleanlegg (LCOE for 25 år, tilbakebetalingstid ved 90 øre/kWh og Nåverdi ved 90 øre/kWh og diskonteringsrente på 4 %)

Bygg	LCOE (øre/kWh)	Tilbakebetalingstid (år)	Nåverdi (kr)
Bremnes ungdomsskule	32	7,5	2 202 451
Meling skule	42	9,8	1 420 561
Moster skule	47	11,0	1 019 948
Svortland skule	41	9,7	1 126 600
Bømlo bu- og helsesenter	47	10,1	2 464 121
Bømlo rådhus	44	10,4	528 486
Bømlo symjehall	54	11,6	247 099

Utnyttelse av solenergi på Bømlo kommune sin bygningsmasse

I Tabell 9 er det imidlertid mye likere resultat når de økonomiske indikatorene sammenlignes. Bømlo symjehall og Bømlo bu- og helsesenter skiller seg ut her da de er betydelig større anlegg enn de andre bygningene, og dette resulterer i at de har en mye høyere nåverdi.

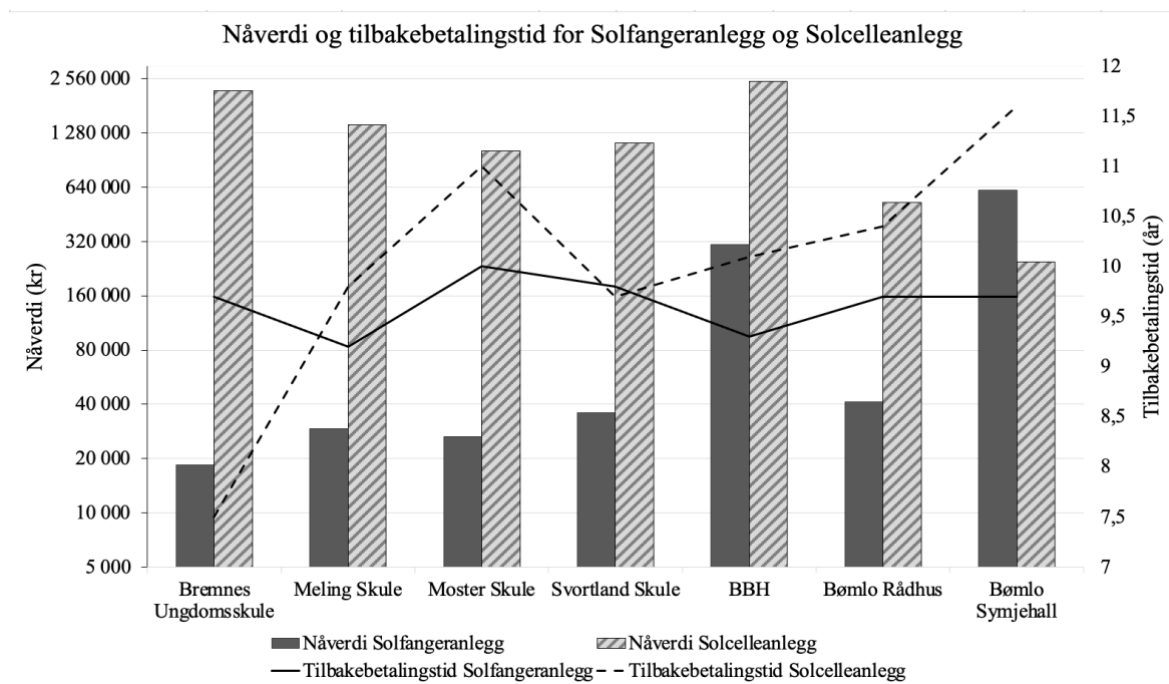
Tabell 9 - Oversiktstabell for solfangeranlegg (LCOE for 25 år, tilbakebetalingstid ved 90 øre/kWh og Nåverdi ved 90 øre/kWh og diskonteringsrente på 4 %)

<i>Bygg</i>	<i>LCOE (øre/kWh)</i>	<i>Tilbakebetalingstid (år)</i>	<i>Nåverdi (kr)</i>
Bremnes ungdomsskule	49	9,7	18 506
Meling skule	47	9,2	29 166
Moster skule	50	10,0	26 462
Svortland skule	49	9,8	36 074
Bømlo bu- og helsesenter	47	9,3	307 921
Bømlo rådhus	49	9,7	41 115
Bømlo symjehall	49	9,7	618 495

Figur 20 presenterer en visuell sammenligning av nåverdi og tilbakebetalingstid for solfanger- og solcelleanlegg ved forskjellige bygninger. Grafen kombinerer søylediagrammer og linjediagrammer for å illustrere disse økonomiske målene.

Søylediagrammet i figuren illustrerer nåverdien av solfanger- og solcelleanlegg ved forskjellige bygninger. Solfangeranleggene representeres av de helt fylte søylene, mens solcelleanleggene er vist med stripete søyler. Nåverdien er angitt på venstre vertikale akse i norske kroner, og høyden på hver søyle indikerer det økonomiske beløpet i nåverdi for hvert anlegg.

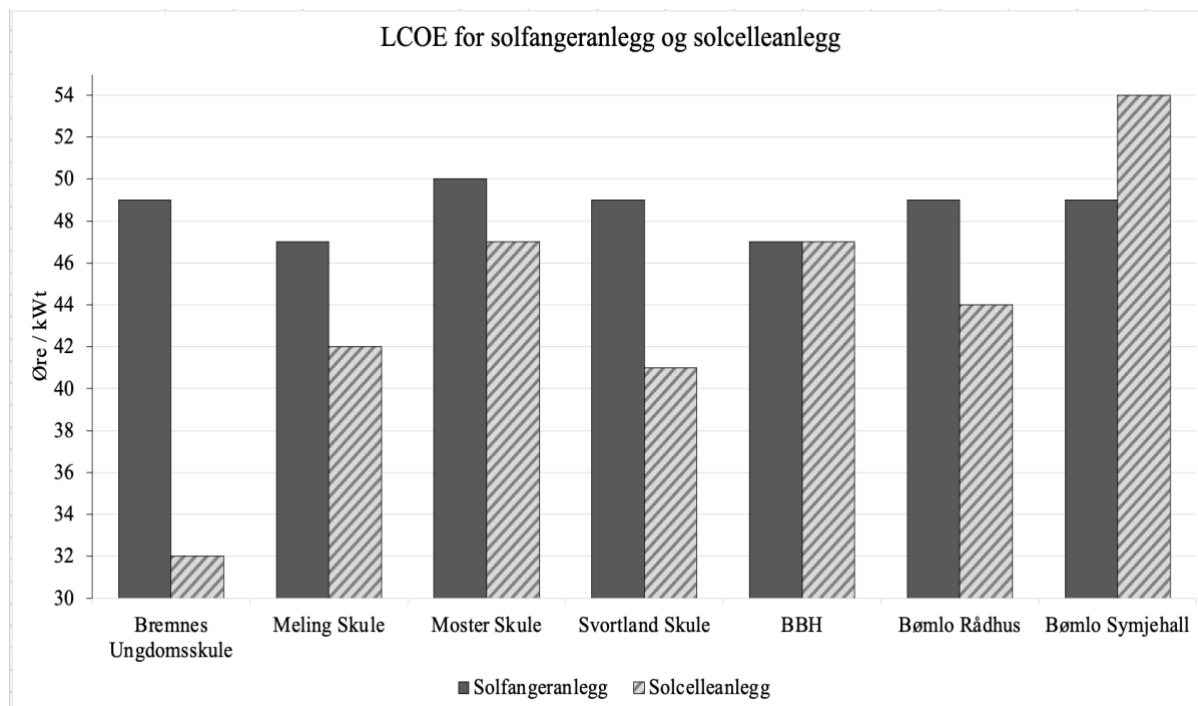
Den heltrukne linjen i linjediagrammet viser tilbakebetalingstiden i år for solfangeranlegg, men den stiplede linjen viser for solcelleanlegg. Tilbakebetalingstiden er målt på høyre vertikale akse, og linjene indikerer antall år det tar for anleggene å betale seg selv tilbake gjennom besparelser eller inntekter ved salg av strøm.



Figur 20 - Nåverdi og tilbakebetalingstid for solfangeranlegg og solcelleanlegg

Utnyttelse av solenergi på Bømlo kommune sin bygningsmasse

Tabell 9 illustrerer LCOE for både solfanger- og solcelleanlegg til hvert av de utvalgte byggene. Den venstre vertikale akse viser strømprisen i øre/kWt. De heltrukne stolpene viser LCOE for solfangeranlegget til byggene, mens de stripete stolpene viser LCOE for solcelleanleggene. Levetiden for anlegget som her er illustrert er 25 år.



Figur 21 - LCOE for solfanger- og solcelleanlegg

Tabell 10 fremstiller investeringskostnader (CAPEX) og driftskostnader (OPEX) for solfangeranlegg og solcelleanlegg for de utvalgte bygningene. For hvert bygg er det oppgitt både CAPEX og OPEX for solfangere og solceller, noe som gir en indikasjon på den økonomiske belastningen forbundet med både etablering og vedlikehold av disse anleggene.

Tabell 10 - CAPEX og OPEX for solfangeranlegg og solcelleanlegg

<i>Bygg</i>	<i>CAPEX solfangeranlegg (kr)</i>	<i>OPEX solfangeranlegg (kr)</i>	<i>CAPEX solcelleanlegg (kr)</i>	<i>OPEX solcelleanlegg (kr)</i>
Bremnes ungdomsskule	23 400	18 986	1 906 328	368 267
Meling skule	34 200	27 749	2 127 090	410 914
Moster skule	37 350	30 304	2 057 265	397 425
Svortland skule	48 150	39 067	1 623 615	313 652
Bømlo bu- og helsesenter	368 760	299 198	3 951 675	1 526 780
Bømlo rådhus	53 550	43 448	904 785	174 788
Bømlo symjehall	808 080	655 645	593 208	224 090

6.3 Prioritering og rangering

Målet med evalueringen var å rangere bygningene basert på deres potensial for investeringer i solenergi ved å bruke et sett av definerte kriterier. For å fastsette en objektiv rangering av bygningene, ble det brukt en vektingsmodell hvor de forskjellige kriterier ble vektet i henhold til deres antatte betydning for prosjektets suksess. Dette er Nåverdi, LCOE, og investeringskostnad ble vektet høyest med 25 % hver, mens tilbakebetalingstid ble vektet med 15 % og drifts- og vedlikeholdskostnader med 10 %. Dette og hvordan hvert bygg scorer er vist i Tabell 11. Hvordan dette er gjennomført er forklart i nærmere detalj i kapittel 4.10

Scoring- og rangeringssystem. Resultatene fra dette scoringssystemet er basert på forutsetningen om at solcelleanlegget og solfangeranlegget på hvert bygg betraktes som et system og vurderes samlet.

Tabell 11 - Scoringssystem (MKA) med utvalgte bygninger, kriterier og vektleggingen til kriteriene

Kriterier og vektlegging	Bremnes ungdomsskule	Meling skule	Moster skule	Svortland skule	Bømlo bu- og helsesenter	Bømlo rådhus	Bømlo symjehall
Nåverdi (NPV) (25%)	6	5	3	4	7	1	2
LCOE (25%)	7	5	2	6	3	4	1
Investeringskost. (25%)	4	2	3	5	1	7	6
Tilbakebetalingstid (15%)	7	5	1	6	4	2	3
Drift og vedlikeholdskost. (10%)	5	3	4	6	1	7	2

Tabell 12 viser den endelige rangeringen av bygningene basert på de vektete kriteriene. En ser der at Bremnes ungdomsskule oppnådde høyest score, primært på grunn av sterk ytelse i kategorier med høy vekting, som nåverdi og LCOE. Dette antyder at investeringen ikke bare er kostnadseffektiv, men også forventes å gi en solid avkastning over tid. Svortland skule kom på andreplass med god score på både LCOE og tilbakebetalingstid, noe som indikerer en fordelaktig balanse mellom kostnad og nytte. Scoren indikerer hvordan anleggene presterer i forhold til hverand

Tabell 12 - Prioriteringsliste for beste egnethet for solenergianlegg. 1-7, der 1 er best

<i>Rangering</i>	<i>Score</i>	<i>Bygg</i>
1	5,80	Bremnes ungdomsskule
2	5,25	Svortland skule
3	4,05	Meling skule
4	4,00	Bømlo Rådhus
5	3,45	Bømlo bu- og helsesenter
6	2,90	Bømlo symjehall
7	2,55	Moster skule

6.4 Diskusjon av resultat

6.4.1 Produksjon, forbruk og installasjonsdetaljer for solenergianlegget

Fra Tabell 7 observeres det at Bømlo bu- og helsesenter har det høyeste forbruket av både elektrisitet og tappevann. I kontrast har Bremnes ungdomsskule betydelig lavere forbruk, noe som delvis kan forklares med at skolen er nyere og bygget med moderne, energieffektive løsninger. Uten at det er sagt noe om energiforbruk per kvadratmeter her så er dette naturlig da Bremnes ungdomsskule er et nyere bygg og bygd etter strenge krav til energieffektivitet. Bremnes ungdomsskule brukes hovedsakelig på dagtid, noe som bidrar til lavere energiforbruk sammenlignet med Bømlo bu- og helsesenter, som er et eldre bygg med mer energikrevende aktivitet døgnet rundt.

Figur 19 illustrerer hvordan de fleste byggene har en betydelig overvekt av solceller, med unntak av Bømlo symjehall. Her er forbruket til oppvarming av vann betydelig høyere, og derfor fokuseres det på solfangere som er mer effektive for dette formålet. Solfangerne genererer den nødvendige termiske energien med høy effektivitet, i motsetning til solceller som først må produsere elektrisitet før den kan brukes til oppvarming av vann. Det omfattende forbruket av tappevann ved Bømlo bu- og helsesenter gjør at dette bygget har det nest største solfangeranlegget, noe som også understøttes av tallene i Tabell 5 og visualiseringen i Figur 19. Disse fremhever tydelig byggets store forbruk og produksjon.

Når vi ser på total produksjon og forbruk i Tabell 5 og Tabell 7, står Bømlo bu- og helsesenter ut som et bygg med både høyt forbruk og høy produksjon. Dette skyldes dets store størrelse og kontinuerlige aktivitet gjennom døgnet. Selv om bygget er estimert til å kunne produsere mer enn dobbelt så mye energi som de andre byggene, har det fortsatt en av de laveste dekningsgradene på grunn av sitt høye energibehov. Det fremkommer og fra Figur 18 at Bremnes ungdomsskule er det eneste bygget som har kapasitet til å produsere mer energi enn det totalt forbruker årlig, noe som potensielt kan gjøre skolen til en netto energiproducent. Dette resultatet skyldes dels byggets lave energibruk, og dels det store og effektive solenergianlegg.

6.4.2 Økonomi

Den økonomiske analysen, representert ved Tabell 8, Tabell 9 og Figur 20, gir viktige innsikter i kostnadseffektiviteten og den økonomiske bærekraften til solenergianleggene. Her skiller Bremnes ungdomsskule seg ut, og demonstrerer en ideell situasjon med lav LCOE og kort tilbakebetalingstid, kombinert med en høy nåverdi, noe som peker på en robust økonomisk modell for solenergiinvesteringer. Disse faktorene er essensielle for å bedømme lønnsomheten til solenergi prosjekter, og funnene for Bremnes ungdomsskule tyder på at dette kan være en lønnsom investering. Den høye nåverdien til ungdomsskolen må sees i sammenheng med investeringskostnaden og størrelsen på anlegget, da det krever at en substansiell mengde kapital blir investert for å gjennomføre prosjektet.

Tabell 9 viser at det er svært liten forskjell i LCOE og tilbakebetalingstid for solfangeranleggene. Selv Bømlo symjehall og Bømlo bu- og helsesenter, som har relativt store solfangeranlegg, skiller seg ikke nevneverdig ut med tanke på disse parameterne. Figur 21 illustrerer en tydelig trend der solcelleanlegg generelt har lavere LCOE enn solfangeranlegg, som tyder på at solcelleanlegg vil være bedre investeringer enn solfangeranlegg på de fleste bygg.

Figur 20 og Tabell 10 avdekker at større anlegg som Bømlo bu- og helsesenter og Bømlo symjehall, til tross for deres høyere investeringskostnader og driftsutgifter, genererer betydelige nåverdier som reflekterer deres økonomiske potensial over tid. Dette antyder at størrelsen på solenergianlegg kan være en avgjørende faktor for å maksimere økonomisk avkastning, spesielt med en god kombinasjon av solfangere og solceller. Figur 20 demonstrerer også at tilbakebetalingstiden varierer mindre dramatisk enn nåverdien, men avdekker en tendens til lengre tilbakebetalingstid for solcelleanlegg sammenlignet med solfangeranlegg.

Resultatene indikerer at det er klare fordeler ved å investere i større solenergianlegg der det er mulig. Ved å installere større anlegg for solceller og solfangere kan man vanligvis oppnå en reduksjon i systemkostnaden, som beskrevet i kapittel 5.1 Systemkostnader for solceller og 5.2 Systemkostnader for solfanger, selv om prisreduksjonen ikke er like markant for solfangeranlegg som for solcelleanlegg, da solfangeranlegg ikke ser ut til å oppnå samme skalaøkonomi som solcelleanlegg. Systemkostnaden spiller en vesentlig rolle for alle aspekter av den økonomiske analysen.

Det er verdt å merke seg at basert på analysene presentert i de relevante figurene og tabellene, viser alle bygningene tegn til å være lønnsomme investeringer når det gjelder solenergianlegg. Som illustrert i Figur 18 og Figur 20, samt støttet av data i Tabell 8 og Tabell 9, har hver bygning vist positive økonomiske indikatorer som nåverdi, dekningsgrad og LCOE. Dette indikerer at både solfanger- og solcelleanleggene ikke bare dekker en betydelig del av deres energibehov, men også gjør det på en kostnadseffektiv måte som forventes å gi økonomisk avkastning over tid. Grunnen til at solceller tilsynelatende kommer bedre ut av det økonomisk i denne studien kan tilskrives den dramatiske nedgangen i pris for solcellemoduler de siste årene, og at solfangere ikke har hatt en like stor nedgang.

6.4.3 Prioritering og rangering

Resultatene fra scoringssystemet, illustrert i Tabell 12, gir en rangering av bygg basert på en kombinasjon av økonomiske og produksjonsmessige kriterier. Dette systemet setter Bremnes ungdomsskule på toppen, noe som understreker byggets overlegenhet både i form av energiproduksjon og økonomiske parametere. Rangeringen fremhever også viktigheten av å balansere ulike faktorer som nåverdi, LCOE og tilbakebetalingstid for å oppnå en helhetlig vurdering av solenergianleggenes effektivitet og levedyktighet. Grunnen til de gode resultatene

er det store, flate taket med lite kompleksitet, som resulterer i lave systemkostnader og mulighet for optimalisering av utnyttningen fra solinnstråling og areal som kan sees i Vedlegg A1, A10 og A17.

Svortland og Meling skule følger etter Bremnes ungdomsskule i rangeringen og viser også lovende, om enn noe mindre fremtredende, resultater. Disse solenergianleggene demonstrerer en fordelaktig balanse mellom kostnad og ytelse, som kan tyde på at det kan være en god investering.

At de øvrige byggene ikke scorer like høyt og rangeres lavere på listen, betyr ikke nødvendigvis at de er uegnede eller dårlige investeringer. Rangeringen sorterer kun byggene fra mest til minst egnet basert på de fastsatte kriteriene. Nærmere analyse av de underliggende tallene viser at alle byggene vil være lønnsomme, gitt de kriteriene som er anvendt.

7 Diskusjon

7.1 Tekniske valg

Dimensjoneringen av anlegget og valget av størrelse og virkningsgrad er gjort med en konservativ tilnærming for å sikre pålitelige og realistiske resultater som kunne integreres i den økonomiske delen av prosjektet. Virkningsgraden, tapsfaktoren og degraderingsfaktoren for solcellepaneler kan variere betydelig. Basert på en grundig gjennomgang og sammenligning av forskjellige forskningsstudier og artikler på fagfeltet, ble det foretatt en vurdering som resulterte i valget av verdier som anses som realistiske for dagens solcellepaneler.

Når det gjelder solfangere, ble valget mellom vakuumsolfangere og plane solfangere vurdert. Disse to typene solfangere er de primære alternativene, og er beskrevet i kapittel 3.3.2

Oppbygging og teknologier. Etter gjennomgangen av valg av utstyr ble det besluttet å bruke plane solfangere. Videre ble det også vurdert om ulike typer solfangere kunne benyttes på de forskjellige bygningene, avhengig av estetiske hensyn og bruksområdet. Imidlertid ble det bestemt å bruke samme type solfanger for alle bygningene, med en virkningsgrad og midlere virkningsgrad på 50%. Dette gjorde at beregningene var like for alle bygningene, og førte til at det ble lettere å sammenligne resultatene. Denne virkningsgraden er noe konservativ, da virkningsgraden til solfangere kan være betydelig høyere.

7.2 Økonomiske valg og vurderinger

Sensitiviteten i de økonomiske analysene er utforsket ved bruk av tre forskjellige strømpriser og varierte diskonteringsrenter for nåverdiberegninger. Resultatene fra disse analysene viser hvordan disse variablene kan påvirke prosjektets økonomi betydelig. Strømprisen, som påvirkes av faktorer som politiske beslutninger, inflasjon, værforhold, nettleie etc., representerer en stor usikkerhet i fremtidsprognosene.

For investeringskostnaden til de ulike anleggene ble det gjort en grundig vurdering av markedet, da det kontinuerlig skjer endringer og utviklinger. Det ble innhentet kostnadsestimater fra ulike aktører i markedet, og det ble funnet et stort antall varierte estimater og kostnadsfordelinger i ulike artikler, rapporter og hos forskjellige leverandører. Disse estimatene varierte betydelig, og var i tillegg ofte utdaterte. Som et resultat av denne situasjonen ble det besluttet å innhente

estimerer fra utvalgte aktører og deretter, basert på informasjonen om byggene og de mottatte estimatene, fastsette en systempris for hvert enkelt bygg og anlegg. Det ble vurdert og sett på hvordan systemkostnadene fordeler seg, men siden dette også endrer seg hele tiden ble det gjort en vurdering på at systemprisen er det viktigste i dette prosjektet. Denne tilnærmingen ble valgt for å sikre at investeringskostnadene ble så nøyaktige og relevante som mulig på tross av den dynamiske naturen til kraftmarkedet. Systemkostnaden for hvert anlegg ble evaluert individuelt basert på anleggets størrelse og kompleksiteten til installasjonene, der informasjonen mottatt fra Inaventa Solar og Multiconsult ble benyttet i evalueringen.

Det er også viktig å merke seg at selvkonsum av den produserte energien er antatt å være 100% i beregningene, noe som er urealistisk med tanke på variasjoner i energiproduksjon og forbruk gjennom både døgnet og året. Denne antagelsen har stor innvirkning på den økonomiske analysen og prosjektets lønnsomhet. En reduksjon i selvkonsumsgraden vil direkte føre til lavere avkastning på investeringen. I beregningene for LCOE og tilbakebetalingstid er det brukt en enkelt diskonteringsrente. Flere diskonteringsrenter kunne ha blitt brukt for å vise ulike scenarier, men dette ble vurdert som unødvendig siden variasjoner i diskonteringsrente ikke ville ha hatt like stor påvirkning på resultatene som ved nåverdiberegningene, hvor det er benyttet flere diskonteringsrenter. Beregningene for LCOE er gjengitt som reelle som forklart i kapittel 5.3 LCOE.

Økonomisk sett kan verdien av investeringen være vanskelig å bestemme på grunn av de mange faktorene som spiller inn. Men ifølge den utførte økonomiske analysen utført i Excel funnet i vedlegg A17 til A23, vil anleggene være nedbetalt etter omtrent 10 år, og selv om den forventede levetiden er 25 - 30 år er det sannsynlig at begge anleggstyper vil vare lenger. Dette bør av den grunn betraktes som en langsiktig investering. Når anleggene er nedbetalte, vil det ikke bare gi gratis strøm for eget forbruk, men også muligheten for å selge overskuddsstrøm til nettet, som skaper en ny inntektskilde for kommunen. Selv om de opprinnelige investeringskostnadene kan være høye, viser analyser at investeringen vil lønne seg over tid. Ulike måter som kan være aktuelle for å redusere den opprinnelige investeringskostnaden er blant annet å søke støtte fra organer som Enova, utforske gunstige finansieringsmuligheter, eller se om investeringen kan kvalifisere for bedre lånevilkår.

Til tross for betydelig usikkerhet og volatilitet i framtidens energimarkeder, kan installasjon av solcelleanlegg tilby en reduksjon av prisrisikoen. Siden de primære kostnadene er knyttet til installasjonen, kan en sluttkunde sikre en del av sin energikostnad til en forutsigbar pris. Denne

prisen kan beregnes med relativt stor nøyaktighet, og den opplever minimal årlig variasjon, hovedsakelig på grunn av den stabile solinnstrålingen over tid.

7.3 Sensitivitetsanalyse

Underveis i den økonomiske analysen ble det observert at det økonomiske utfallet for solenergianlegg er spesielt sensitivt for endringer i nøkkelvariabler som strømpris, investeringskostnader, levetid og diskonteringsrente. Disse faktorene berører alle anlegg, men for å illustrere dette vil vi her bare presentere en sensitivitetsanalyse for et eksempel på hvordan disse variablene påvirker de økonomiske resultatene. Eksempel som er brukt er for solfangeranlegget på Bømlo Symjehall.

For å gjennomføre en sensitivitetsanalyse, etablerte vi først en basislinje for de aktuelle variablene. Denne basislinjen inkluderer en levetid på 25 år, en diskonteringsrente på 4%, og en strømpris på 90 øre/kWt. Deretter ble hver variabel modifisert individuelt for å observere hvordan endringer påvirker det økonomiske utfallet.

LCOE ble analysert over tre forskjellige levetidsperioder: 20 år, 25 år og 30 år. Tilbakebetalingstiden ble evaluert ved tre forskjellige strømpriser. Denne analysen dekker hele solenergianlegget. Nåverdien av solfangeranlegget ble studert for tre ulike strømtyper og seks forskjellige diskonteringsrenter for hver strømpris, mens solcelleanlegget ble analysert ved tre forskjellige strømpriser og fire ulike diskonteringsrenter for hver strømpris.

Ved å anvende disse endringene enkeltvis og analysere deres innvirkning på prosjektets økonomiske parametre, oppnår vi en dypere forståelse av hvilke faktorer som er mest kritiske for anleggets økonomi. Denne innsikten er avgjørende for effektiv risikostyring og informert beslutningstaking i solenergiinvesteringer.

Tabell 13 illustrerer LCOE for et solfangeranlegg ved Bømlo symjehall og viser hvordan energikostnadene påvirkes av anleggets levetid. Gjennom en framstilling av LCOE ved forskjellige levetider, 20, 25, og 30 år, demonstreres det tydelig at en forlengelse av levetiden reduserer energikostnadene betydelig.

Tabell 13 - LCOE for solfangeranlegg på Bømlo symjehall

<i>Levetid (år)</i>	<i>Energikostnad (øre)</i>
20	58
25	49
30	42

Tabell 14 presenterer tilbakebetalingstiden for et solfangeranlegg ved Bømlo symjehall, relatert til ulike energikostnader. Den viser en invers relasjon mellom energikostnad og tilbakebetalingstid og viser hvor sensitiv tilbakebetalingstiden er for høyere energipriser. Her ser en at høyere energikostnad resulterer i kortere betalingstid, og ved 90 øre/kWt er tilbakebetalingstiden cirka 10 år.

Tabell 14 - Tilbakebetalingstid for solfangeranlegg på Bømlo symjehall

<i>Energikostnad (øre/kWt)</i>	<i>Tilbakebetalingstid (år)</i>
90	9,7
140	6,2
190	4,6

Tabell 15, Tabell 16 og Tabell 17 gir en oversikt over nåverdien for et solfangeranlegg ved Bømlo symjehall, gitt en strømpris på henholdsvis 90 øre/kWt, 140 øre/kWt og 190 øre/kWt under ulike diskonteringsrenter. Tabellene viser hvordan ulike høyere diskonteringsrenter resulterer i en lavere nåverdi, og reflekterer risikoen ved en slik investering og hvordan høyere diskonteringsrente kan påvirke en potensiell avkastning.

Tabell 15 - Nåverdi for strømpris 90 øre/kWh for solfangeranlegg på Bømlo symjehall

<i>Diskonteringsrente (%)</i>	<i>Nåverdi (kr)</i>
3	807 827
4	618 495
5	460 965
6	328 963
7	217 575
8	122 938

Tabell 16 - Nåverdi for strømpris 140 øre/kWh for solfangeranlegg på Bømlo symjehall

<i>Diskonteringsrente (%)</i>	<i>Nåverdi (kr)</i>
3	1 705 554
4	1 411 037
5	1 165 991
6	960 653
7	787 383
8	640 170

Tabell 17 - Nåverdi for strømpris 190 øre/kWh for solfangeranlegg på Bømlo symjehall

<i>Diskonteringsrente (%)</i>	<i>Nåverdi (kr)</i>
3	2 603 280
4	2 203 578
5	1 871 016
6	1 592 343
7	1 357 192
8	1 157 403

Under den økonomiske analysen er det også observert at lave investeringskostnader er essensielle for prosjektets lønnsomhet, men dette er ikke illustrert på noe vis i sensitivitetsanalysen. Virkningsgraden til de ulike teknologiene har også stor påvirkning på alle resultatene, og den konservative virkningsgraden til solfangere kan være litt av grunnen til at solfangeranleggene virker å være en noe dårligere investering enn solceller per dags dato.

7.4 Overskuddsenergi

Bremnes ungdomsskule, et moderne bygg fra 2018, er konstruert i henhold til nyere byggeforskrifter som resulterer i lavere energiforbruk. Bygget har også et omfattende og egnet takareal tilgjengelig for installasjon av solenergianlegg, og dersom hele dette arealet utnyttes til energiproduksjon, vil skolen ifølge våre estimater produsere mer energi enn den selv forbruker gjennom året. Selv om dette er det eneste bygget som totalt sett produserer mer energi i løpet av et år enn det forbruker, vil sannsynligvis alle byggene produsere mer energi i løpet av dagtid på sommeren, når energiproduksjonen er på sitt høyeste, sammenlignet med deres forbruk.

Vedrørende håndtering av denne form for overskuddsenergi fra solcelleanleggene ble flere alternativer vurdert, inkludert bruk av batterier. Flere faktorer førte til at bruk av batterier ble ansett som uaktuelt, blant annet plasskrav, høye kostnader, energitap ved lagring og etiske hensyn knyttet til utvinningen av råvarene for batteriproduksjon. Gjenbruk av batterier fra lokale rederier, som for eksempel Eidesvik, ble diskutert med kommunen, men har ikke blitt grundig utforsket siden bruken av batterier som energilager ble ansett som uaktuelt. Det er verdt å merke seg at bedriftene Maritime Cleantech og Cowi har utgitt en rapport hvor de kartlegger verdikjeden for batterier i den maritime sektoren. Rapporten ser på muligheten for å bruke disse batteriene til å lagre energi fra kilder som blant annet solceller [67]. Det ble vurdert som mer praktisk å selge overskuddsstrømmen direkte ut på nettet eller eventuelt nytte "Skybatteri" der overskuddsstrømmen blir lagret i "skyen" når og kan hentes ut igjen når strømprisen er høy og en ikke produserer selv, typisk om vinteren. Denne løsningen er per dags dato bare tilgjengelig for privatkunder [68]. Ved Bømlo bu- og helsehus, et sykehjem med strenge krav til stabil strømforsyning, kunne batterier imidlertid hatt en viktig funksjon for å sikre stabil strømtilførsel.

Ut fra analysen gjort for solenergiproduksjon så vil flere bygg i kommunen tidvis produsere store mengder overskuddsenergi. Med tanke på at Bømlo kommune nylig har oppdatert sin bilpark til elbiler, ville etableringen av en ladeinfrastruktur for disse kommunale elbilene, som kunne ladet med solcelleenergi, vært fordelaktig. Det ville også vært mulig å tilby fordelaktige ladeavtaler til kommunalt ansatte som benytter elbiler, særlig siden disse er på arbeid i de aktuelle byggene, og kan lade under perioder med høy solenergiproduksjon. Kommuneplanen understreker også behovet for å bygge ut ladeinfrastruktur for elbiler, og som nevnt kunne solenergi potensielt spilt en rolle her [2].

Når det gjelder lagring av termisk energi produsert fra solfangerne, skjer dette typisk ved hjelp av en akkumulatortank eller energibrønner i fjellgrunnen. I energibrønner lagres solenergien i bakken og brukes direkte til oppvarming av bygget, noe som sikrer tilstrekkelig energi selv under svært kalde vintre. Selv om dette alternativet ikke ble vurdert som aktuelt for dette prosjektet på grunn av kostnader og omfattende arbeid, er det en velprøvd og effektiv metode for lagring av solenergi som brukes med suksess i mange sammenhenger [69].

Implementering av smartstyringssystemer i byggene kunne óg vært en effektiv måte å håndtere overskuddsenergi på, men dette er ikke utforsket nærmere i dette prosjektet. Med et slikt system kunne overskuddsstrøm brukes til å varme opp varmtvannstanker, lade elbiler, eller varme opp elektriske gulv eller andre varmesystemer, og fungere som et energilager. Smartstyring ville også tillate kontroll basert på strømprisene, og bidra til økonomiske besparelser ved optimalisert energibruk [70].

7.5 Lokal kraftproduksjon

Lokal kraftproduksjon gir ikke bare fordeler for det enkelte bygg som produserer energien, men kan også positivt påvirke strømmettet generelt ved å redusere behovet for kostbare oppgraderinger, noe som igjen kan bidra til å holde nettleien nede. Per nå har Bømlo minimal egen kraftproduksjon, noe det kan bli behov for i fremtiden. Finnås Kraftlag og Bømlo kommune har vurdert næringslivets kraftbehov og forutsier en økning på omtrent 40 MW over de neste ti årene. Dette vil kreve betydelige investeringer i både transmisjonsnett og mer kraftproduksjon. Den estimerte produksjonen på omtrent 2 MW fra de foreslåtte solenergianleggene i denne oppgaven kan fungere som en viktig avlastning og tilførsel til kraftmarkedet, der den stabile og regulerbare vannkraften vil fortsette å være den primære

kraftkilden [71]. Finnås Kraftlag AS, etablert i 1946 i Bømlo-området, fungerer som et kraftselskap som håndterer salg av strøm og kraft. I henhold til nye reguleringer er nettvirksomheten skilt ut i Bømlo Kraftnett, som tar seg av drift og vedlikehold av kraftnettet [72].

7.6 Symbolverdi

En overgang til fornybare energikilder og lokal energiproduksjon på kommunale bygninger vil kunne være en positiv faktor i kommunens omdømme og ha stor symbolverdi. En utbygging av solenergianlegg på kommunale bygg vil kunne svare på bærekraftsmålene som er fremhevet i innledningen av denne rapporten, og etablere kommunen som et forbilde for sine innbyggere. Dette kan i sin tur inspirere innbyggere og lokale bedrifter til å adoptere lignende teknologier på deres egne eiendommer, noe som fremmer bærekraftig utvikling, og forsterker et initiativ til en kollektiv innsats mot grønnere energiløsninger.

Symbolverdi var i en tidlig fase med i scoringssystemet som ble brukt for å rangere byggene, men ble valgt bort i endelig versjon da den var for objektiv og ikke ble ansett som direkte relevant for de økonomiske beslutningene i et slikt prosjekt. Den kan likevel komme til å spille en rolle om kommunen skal ta avgjørelse om hvilke bygg som skal prioriteres.

8 Konklusjon

Denne studien har analysert potensialet for å implementere solenergianlegg på syv kommunale bygg i Bømlo kommune, med fokus på solcelleanlegg og solfangeranlegg. Resultatene viser at alle byggene kan være lønnsomme investeringer, med betydelige forskjeller i kostnadseffektivitet og økonomisk bærekraft mellom de ulike anleggene. Bremnes ungdomsskule utmerker seg spesielt med en lav LCOE på 49 øre/kWh, tilbakebetalingstid på cirka 10 år, og høy nåverdi på over 2 millioner kroner, noe som gjør det til en ideell kandidat for solenergi prosjekter. Andre bygg, som Bømlo bu- og helsesenter og Bømlo symjehall, viser også positive økonomiske indikatorer, spesielt når det gjelder nåverdi, til tross for høyere investeringskostnader og driftsutgifter.

Analysen avslører at størrelsen på solenergianlegg spiller en avgjørende rolle i å maksimere økonomisk avkastning. Større anlegg oppnår vanligvis en reduksjon i systemkostnadene, selv om denne reduksjonen ikke er like markant for solfangeranlegg som for solcelleanlegg. Det er verdt å merke seg at de økonomiske analysene er følsomme for endringer i nøkkelvariabler som strømpris, investeringskostnader, levetid og diskonteringsrente. Sensitivitetsanalysen viser at økonomiske utfall for solenergianlegg kan variere betydelig avhengig av disse faktorene.

Til tross for noen begrensninger og usikkerhet i datagrunnlaget, fremhever denne studien viktigheten av grundig planlegging og tilpassing av solenergianlegg til de unike forholdene ved hvert bygg. Ved å bruke en kombinasjon av solceller og solfangere, som vist i denne oppgaven, kan Bømlo kommune optimalisere sine solenergiløsninger ytterligere, øke andelen fornybar energi i energimiksen og bidra til en mer bærekraftig fremtid. Analysene har vist at samtlige bygg har potensial til å produsere betydelige mengder energi samtidig som de er økonomisk lønnsomme.

Referanser

- [1] «Ren energi til alle». Besøkt: 21. januar 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ren-energi-til-alle>
- [2] «Kommuneplanen-sin-samfunnsdel-Bomlo-2049». Besøkt: 21. januar 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: https://www.bomlo.kommune.no/_f/p1/i23ff72f9-8bbb-411a-aaa3-04a42723bed0/kommuneplanen-sin-samfunnsdel-bomlo2049-kps-2019-2049.pdf
- [3] John Nordseth Nesse, «Fremtidig energibruk i kommunale bygg». Bømlo Kommune, 25. november 2021.
- [4] «langsiktig-markedsanalyse-2022-2050.pdf». Besøkt: 21. januar 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/planer-og-analyser/lma/langsiktig-markedsanalyse-2022-2050.pdf>
- [5] «Om Bømlo - Bømlo kommune». Besøkt: 7. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.bomlo.kommune.no/om-oss/fakta-om-kommunen/>
- [6] G. Thorsnæs, «Bømlo – kommune», *Store norske leksikon*. 17. februar 2024. Besøkt: 7. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: https://snl.no/B%C3%B8mlo_-_kommune
- [7] S. Grønmo, «kvalitativ metode», *Store norske leksikon*. 22. august 2023. Besøkt: 23. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: https://snl.no/kvalitativ_metode
- [8] S. Grønmo, «kvantitativ metode», *Store norske leksikon*. 26. januar 2023. Besøkt: 23. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: https://snl.no/kvantitativ_metode
- [9] «Introduction - Google Earth User Guide». Besøkt: 11. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://earth.google.com/intl/ar/userguide/v4/index.htm>
- [10] «Info – Google Maps». Besøkt: 7. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.google.com/maps/about/#/>
- [11] «JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission». Besøkt: 22. februar 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#api_5.1
- [12] «Google Earth», Google Earth. Besøkt: 6. mars 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.google.com/intl/no/earth/about/>
- [13] «Tekno-okonomisk-potensial-for-solkraft-pa-bygg_20230922.pdf». Besøkt: 24. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: https://solenergiklyngen.no/wp-content/uploads/2023/10/Tekno-okonomisk-potensial-for-solkraft-pa-bygg_20230922.pdf
- [14] «NorskSolenergi_håndbok_solvarme_A4_web.pdf». Besøkt: 24. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: https://sgp.no/wp-content/uploads/2017/12/NorskSolenergi_ha%CC%8Aandbok_solvarme_A4_web.pdf
- [15] I. Andresen, «Planlegging av solvarmeanlegg for lav- energiboliger og passivhus. En

introduksjon».

- [16] «Solar Science - NASA Science». Besøkt: 7. februar 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://science.nasa.gov/heliophysics/focus-areas/solar-science/>
- [17] «Sun: Facts - NASA Science». Besøkt: 7. februar 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://science.nasa.gov/sun/facts/>
- [18] O. Engvold, «Sola», *Store norske leksikon*. 4. januar 2024. Besøkt: 7. februar 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://snl.no/Sola>
- [19] «ClimateBits: Solar Radiation», Science On a Sphere. Besøkt: 20. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://sos.noaa.gov/catalog/datasets/climatebits-solar-radiation/>
- [20] «EduData». Besøkt: 20. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.edudata.no/notebook/elektromagnetisk-straling-og-bolgelengder>
- [21] G. Huang, K. Wang, og C. N. Markides, «Efficiency limits of concentrating spectral-splitting hybrid photovoltaic-thermal (PV-T) solar collectors and systems», *Light Sci. Appl.*, bd. 10, nr. 1, s. 28, feb. 2021, doi: 10.1038/s41377-021-00465-1.
- [22] «Solar Photovoltaic Technology Basics», Energy.gov. Besøkt: 23. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-technology-basics>
- [23] «Solceller | UngEnergi». Besøkt: 23. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://ungenergi.no/energikilder/solenergi/solceller/>
- [24] «Solceller - Norsk solenergiforening», Norsk solenergiforening. Besøkt: 1. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.solenergi.no/solstrm>
- [25] A. R. Zanatta, «The Shockley–Queisser limit and the conversion efficiency of silicon-based solar cells», *Results Opt.*, bd. 9, s. 100320, des. 2022, doi: 10.1016/j.rio.2022.100320.
- [26] «Photovoltaics and electricity - U.S. Energy Information Administration (EIA)». Besøkt: 23. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php>
- [27] «High-Efficiency Solar Cell | T2 Portal». Besøkt: 18. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://technology.nasa.gov/patent/LEW-TOPS-50>
- [28] «News Release: NREL Six-Junction Solar Cell Sets Two World Records for Efficiency». Besøkt: 18. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.nrel.gov/news/press/2020/nrel-six-junction-solar-cell-sets-two-world-records-for-efficiency.html>
- [29] A. KhareSaxena, S. Saxena, og K. Sudhakar, «Energy performance and loss analysis of 100 kWp grid-connected rooftop solar photovoltaic system», *Build. Serv. Eng. Res. Technol.*, bd. 42, nr. 4, s. 485–500, jul. 2021, doi: 10.1177/0143624421994224.

- [30] M. M. Fouad, L. A. Shihata, og E. I. Morgan, «An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, bd. 80, s. 1499–1511, des. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.141.
- [31] E. B. Sveen, M. B. Øgaard, J. H. Selj, og G. Otnes, «PV System Degradation Rates in the Nordics», *37th Eur. Photovolt. Sol. Energy Conf. Exhib. 1563-1566*, s. 4 pages, 3336 kb, 2020, doi: 10.4229/EUPVSEC20202020-5CV.3.36.
- [32] «552.455 Vannbaserte solfangere. Funksjon og energiutbytte - Byggforskserien». Besøkt: 23. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/542/vannbaserte_solfangere_funksjon_og_energiutbytte
- [33] «Solfangere», Norsk solenergiforening. Besøkt: 23. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.solenergi.no/solvarme>
- [34] D. Zijdemans, *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*, 1. utg. Oslo: Skarland Press AS, 2012.
- [35] «solinnstråling», Gemini.no. Besøkt: 26. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://gemini.no/2018/03/hvor-godt-virker-egentlig-solceller-i-nordisk-klima/solinnstraling/>
- [36] H. Häberlin og H. Häberlin, *Photovoltaics: System Design and Practice*. Newark, UNITED KINGDOM: John Wiley & Sons, Incorporated, 2012. Besøkt: 16. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/hogskbergen-ebooks/detail.action?docID=835145>
- [37] «NVE Rapport nr. 25/2023: Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2023 : energiomstillingen – en balansegang».
- [38] «Nettleige og vilkår», Finnås Kraftlag - Nett. Besøkt: 30. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://nett.finnas-kraftlag.no/nettleige-og-vilkar/category1618.html>
- [39] «Prosumenter - NVE». Besøkt: 18. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/kunde/nett/prosumenter/>
- [40] «Akkumulatortank – Søk om støtte», Enova. Besøkt: 1. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/akkumulatortank/>
- [41] «Analyse av energibruk i yrkesbygg». Besøkt: 20. februar 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_24.pdf
- [42] Katrine Strand Sæterbø, «Informasjon angående kommunale bygg for bacheloroppgaven om solenergi», 30. januar 2024.
- [43] J. Ove, «Solvarmeanlegg for lavenergiboliger».
- [44] «Slope Factor Calculator». Besøkt: 2. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.spikevm.com/calculators/roof/slope-factor.php>

- [45] Christer, «Innkjøp eller leie av solcelleanlegg til offentlige bygg?», Soleie. Besøkt: 22. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://soleie.no/2022/01/26/veiledning-for-offentlige-byggeiere-og-innkjopere/>
- [46] «Solceller til næringsbygg», Solcellespesialisten. Besøkt: 12. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.solcellespesialisten.no/solceller-til-naeringsbygg>
- [47] «Flate Tak», Solcellespesialisten. Besøkt: 19. mars 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.solcellespesialisten.no/flate-tak>
- [48] S. Backe, «Derfor lønner det seg å bruke strømmen fra solcellene selv». Besøkt: 18. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/derfor-lonner-det-seg-a-bruke-strommen-fra-solcellene-selv/>
- [49] Solcellespesialisten, «Her er prosjektet som setter standarden for solcelleanlegg på flate tak», Tu.no. Besøkt: 15. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.tu.no/tumstudio/solcelleanlegg/annonse-her-er-prosjektet-som-setter-standarden-for-solcelleanlegg-pa-flate-tak/512723>
- [50] T. Khatib og R. Deria, «East-west oriented photovoltaic power systems: model, benefits and technical evaluation», *Energy Convers. Manag.*, bd. 266, s. 115810, aug. 2022, doi: 10.1016/j.enconman.2022.115810.
- [51] «ChatGPT - Diagrams & Data: Research, Analyze, Visualize», ChatGPT. Besøkt: 15. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://chatgpt.com/g/g-jBdvgesNC-diagrams-data-research-analyze-visualize>
- [52] L. O, «Benefits of East-West Solar PV Systems», Solar 1 Electrical. Besøkt: 15. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://solar1electrical.com.au/blogs-posts/benefits-of-east-west-solar-pv-systems/>
- [53] J. Dhilipan, N. Vijayalakshmi, D. B. Shanmugam, R. Jai Ganesh, S. Kodeeswaran, og S. Muralidharan, «Performance and efficiency of different types of solar cell material – A review», *Mater. Today Proc.*, bd. 66, s. 1295–1302, jan. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.05.132.
- [54] «425W solar panel datasheet». Besøkt: 24. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://cdn.sanity.io/files/npfjlg28/production/02d8deb2727e50d65e5df2ba9eb972489e8f73de.pdf>
- [55] «Kostnadsstudie, Solkraft i Norge 2013». Besøkt: 22. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: https://www.enova.no/upload_images/9EF9602A2B454C008F472DF2A98F6737.pdf
- [56] D. C. Jordan og S. R. Kurtz, «Photovoltaic Degradation Rates—an Analytical Review», *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, bd. 21, nr. 1, s. 12–29, 2013, doi: 10.1002/pip.1182.
- [57] S. Liakhov, «Informasjon, erfaringer og data for solfangere og installasjon av

solvarmeanlegg.», 12. april 2024.

- [58] C. Carl, «CALCULATING SOLAR PHOTOVOLTAIC POTENTIAL ON RESIDENTIAL ROOFTOPS IN KAILUA KONA, HAWAII».
- [59] E. Triantaphyllou, *Multi-criteria decision making methods: a comparative study*, Nachdr. i *Applied optimization*, no. 44. Dordrecht: Kluwer, 2010.
- [60] «Solar Market Analysis February 2024 - Hope at the end of turbulence i», Solar Market Analysis February 2024 - Hope at the end of turbulence i. Besøkt: 30. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.pvxchange.com/Market-Analysis-February-2024-Hope-at-the-end-of-turbulence-in-PV-market>
- [61] «Renewable power generation costs in 2022», 2022.
- [62] Halvor Krunenes, «Generelle prisestimat for solcelleanlegg», 30. april 2024.
- [63] B. Thorud, «Hva er det med distribuert solenergi?», *Prakt. Økon. Finans*, bd. 32, nr. 3, s. 297–313, des. 2016, doi: 10.18261/issn.1504-2871-2016-03-09.
- [64] «Hagland Finans - Investeringsanalyse», Hagland Finans. Besøkt: 19. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://haglandfinans.no/tjenester/okonomiske-analyser/investeringsanalyse/>
- [65] «Hva er nåverdi - Fiken forklarer». Besøkt: 19. april 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://fiken.no/forklarer/naverdi>
- [66] «Nåverdimetoden», *Store norske leksikon*. 21. april 2024. Besøkt: 4. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://snl.no/n%C3%A5verdimetoden>
- [67] «Kartlegger gjenbruk av batterier i maritim sektor», COWI. Besøkt: 4. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.cowi.no/om-cowi/nyheter-og-presse/kartlegger-gjenbruk-av-batterier-i-maritim-sektor>
- [68] «Skybatteri – Batteriløs lagring av solenergi», Hkraft.no. Besøkt: 13. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://hkraft.no/solkraft/skybatteri/>
- [69] R. Solbrekke, «Hvordan fungerer en energibrønn?», Energiverket. Besøkt: 5. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://energiverket.no/hvordan-fungerer-en-energibrønn/>
- [70] «Pris- og effektstyrt energilagringssystem | Søk om støtte», Enova. Besøkt: 5. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/pris-og-effektstyrt-energilagringssystem-for-boliger/>
- [71] I. in Sunnhordland, «Kraftsituasjonen i Sunnhordland», ArcGIS StoryMaps. Besøkt: 5. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://storymaps.arcgis.com/stories/891b8607da2d453082a0322cd9961249>
- [72] «Finnås Kraftlag - Forside», Finnås Kraftlag. Besøkt: 8. mai 2024. [På nett]. Tilgjengelig på: <https://www.finnas-kraftlag.no/>

Liste over Figurer

Figur 1 - Bømlo kommune sitt kommunevåpen [6]	3
Figur 2 - Det elektromagnetiske spekteret [20]	12
Figur 3 - Enkel illustrasjon av hvordan et elektron beveger seg når den har blitt truffet av sollys (foton) og skaper elektrisitet [23]	13
Figur 4 - Enkel fremstilling av de ulike komponentene i et solcelleanlegg [24]	14
Figur 5 - Forenklet skisse av et solfangeranlegg [14, s. 14], [33]	17
Figur 6 - Prinsipiell oppbygning av en plan solfanger [32] Brukt med tillatelse fra SINTEF. 18	
Figur 7 - Enkel oppbygning av en vakuumsolfanger [32] Brukt med tillatelse fra SINTEF ... 18	
Figur 8 - Forenklet skjematisk fremstilling av virkningsgraden til en solfanger [15, s. 14] Brukt med tillatelse fra SINTEF	19
Figur 9 - Illustrasjon av solinnstrålingen mot horisontal flate i januar (venstre) og i juli (høyre) [35] Illustrasjon: Endre Barstad. Brukt med tillatelse fra SINTEF	20
Figur 10 - Energiutbytte (dekningsgrad) til et solfangeranlegg brukt til vannoppvarming som funksjon av solfangerens orientering og helningsvinkel [15, s. 22] Brukt med tillatelse fra SINTEF	21
Figur 11 - Gjennomsnittlig solinnstråling (W/m ²) per døgn for en solfanger vendt mot sør med ulike vinklinger i forhold til horisontalplanet 0° [32] Brukt med tillatelse fra SINTEF	22
Figur 12 - Formålsdelt energiforbruk for skolebygg	26
Figur 13 - Formålsdelt energiforbruk for Bømlo bu- og helsesenter	27
Figur 14 - Formålsdelt energiforbruk for Bømlo Rådhus	27
Figur 15 - Formålsdelt energiforbruk for Bømlo symjehall	27
Figur 16 - Eksempel på hvordan solceller kan monteres på flate tak. 10° helning, hvor annenhver rad er rettet mot øst og vest. Hentet fra tu.no [49]	30
Figur 17 - Sammenligning av solcelleytelse i løpet av en dag for nordvendt- og øst-vest-vendt system	31
Figur 18 - Total energiproduksjon og dekningsgrad av solenergianlegg i forhold til totalt forbruk per år	44
Figur 19 - Fordelingen av produksjon fra solceller og solfangere ved utvalgt bygg	45
Figur 20 - Nåverdi og tilbakebetalingstid for solfangeranlegg og solcelleanlegg	51
Figur 21 - LCOE for solfanger- og solcelleanlegg	52

Liste over Tabeller

Tabell 1 - Enkel sammenligning mellom monokrystallinsk-, multikrystallinsk- og tynn-film-solcellepanel.....	15
Tabell 2 - Strømprisscenarier fra 90-190 øre eksklusive avgifter	23
Tabell 3 - Oversikt over utvalgte bygg, takarealet og takvinkel	29
Tabell 4 - Kostnadsestimat for solcelleanlegg. Modifisert tabell fra [13] med oppdaterte tall fra e-postkorrespondanse med Multiconsult [62]. Priser eks. mva.	39
Tabell 5 - Årlig energiproduksjon fra solenergianlegg ved utvalgte bygg	46
Tabell 6 - Installasjonsdetaljer	47
Tabell 7 - Årlig energiforbruk for utvalgt bygg	48
Tabell 8 - Oversiktstabell for solcelleanlegg (LCOE for 25 år, tilbakebetalingstid ved 90 øre/kWt og Nåverdi ved 90 øre/kWt og diskonteringsrente på 4 %)	49
Tabell 9 - Oversiktstabell for solfangeranlegg (LCOE for 25 år, tilbakebetalingstid ved 90 øre/kWt og Nåverdi ved 90 øre/kWt og diskonteringsrente på 4 %)	50
Tabell 10 - CAPEX og OPEX for solfangeranlegg og solcelleanlegg.....	53
Tabell 11 - Scoringssystem (MKA) med utvalgte bygninger, kriterier og vektleggingen til kriteriene.....	54
Tabell 12 - Prioriteringsliste for beste egnethet for solenergianlegg. 1-7, der 1 er best	55
Tabell 13 - LCOE for solfangeranlegg på Bømlo symjehall	62
Tabell 14 - Tilbakebetalingstid for solfangeranlegg på Bømlo symjehall	62
Tabell 15 - Nåverdi for strømpris 90 øre/kWt for solfangeranlegg på Bømlo symjehall	63
Tabell 16 - Nåverdi for strømpris 140 øre/kWt for solfangeranlegg på Bømlo symjehall	63
Tabell 17 - Nåverdi for strømpris 190 øre/kWt for solfangeranlegg på Bømlo symjehall	63

Vedlegg

Beregninger av areal

Ved beregning av areal ble målfunksjonen i dataprogrammene Google Earth og Google Maps benyttet. I Vedlegg A1 - A7 er det nyttbare takarealet oppgaven har brukt for hvert respektive bygg. Arealet er illustrert ved gul markering på takflaten. Alle bildene er orientert mot nord.

A1 Bremnes ungdomsskule



A2 Meling skule



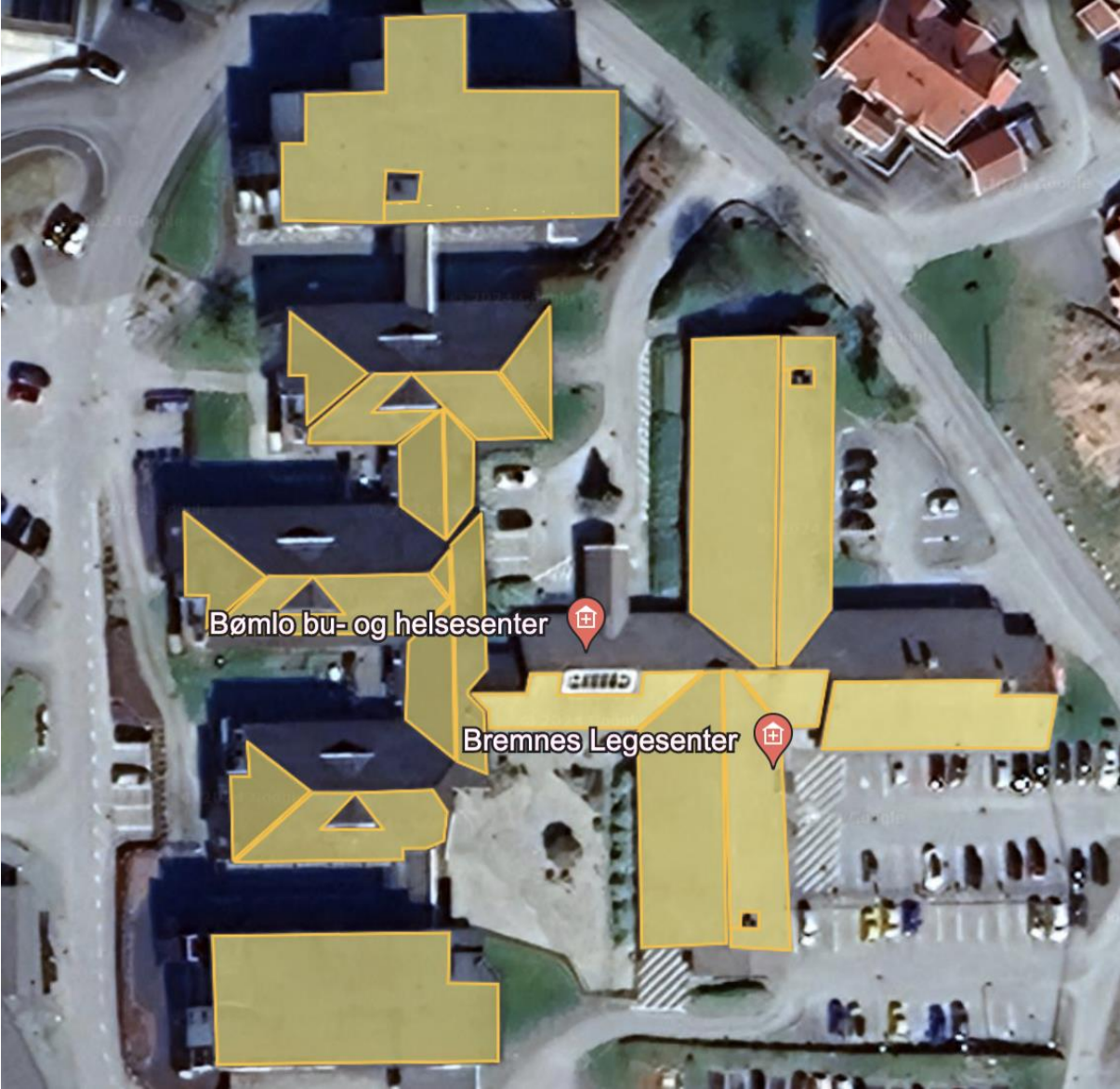
A3 Moster skule



A4 Svortland skule



A5 Bømlo bu- og helsesenter



A6 Bømlo rådhus



A7 Bømlo symjehall



Kraftforbruk

Totalt kraftforbruk på utvalgte bygg. Vedlegget er mottatt av Bømlo Kommune.

A8 Totalt kraftforbruk for utvalgte bygg

BYGGNAVN	FRÅ_TILDATO[KRAFT]	FRÅ_TILDATO[VIDAREFAKT]	KRAFTFORBRUK I PERIODE[KWH]	Kraftforbruk Hiå
Moster skule	01.12.2023 - 01.01.2024	01.12.2023 - 01.01.2024	41505,6	334062,2
Svortland skule	01.12.2023 - 01.01.2024	01.12.2023 - 01.01.2024	33880,64	323367,68
Svortland skule-El.kjel	01.12.2023 - 01.01.2024	01.12.2023 - 01.01.2024	15546	123987,9
Bømlo Symjehall	01.12.2023 - 01.01.2024	01.12.2023 - 01.01.2024	54022,24	550710,72
Bremnes ungdomsskole	01.12.2023 - 01.01.2024	01.12.2023 - 01.01.2024	24193,92	242010,67
Rådhuset	01.12.2023 - 01.01.2024	01.12.2023 - 01.01.2024	43782,88	386458,72
Bømlo bu- og helsesenter	01.12.2023 - 01.01.2024	01.12.2023 - 01.01.2024	117915,2	1164666,4
Bømlo bu- og helsesenter - El.kjel	01.12.2023 - 01.01.2024	01.12.2023 - 01.01.2024	47512,6	328575,4
Meling skule	01.12.2023 - 01.01.2024	01.12.2023 - 01.01.2024	38244,2	317672,93
			1103246,07	8135923,83

Beregninger for solenergianlegg

Ved beregninger av solenergianleggene er dataprogrammet Microsoft Excel benyttet. I Vedlegg A9 presenteres en typisk kalkulasjon for solcelleproduksjon og i Vedlegg A10 - A16 presenteres beregninger for solenergianleggene til hvert av de utvalgte byggene

A9 Kalkulator for solcelleproduksjon

Formel :	$E = A * r * H * PR$
E = Energi (kWh)	93449 kWh/år
A = Totalt areal med solcellepanel(m ²)	623 m ²
r = Solcellepanel virkningsgrad (%)	21 %
H = Årlig gjennomsnittlig solinnstråling på panel(Skygger ikke inkludert)*	865,92 kWh/m ² /år
PR = Performance ratio, koeffisient for tap (vanligvis mellom 0.9 and 0.5, default = 0.75)	0,825
Installert kWp	130,8 kWp

A10 Bremnes ungdomsskule

Bremnes Ungdomsskule		Vinkel	Vinkel	Vinkel	Vinkel
Takareal for flatt tak (kvadratmeter)	523	Totall takareal med vinkel faktor (kvadratmeter)	2246	0 grader (flatt tak)	1
1442					
147					
134					
2246					
Installert kWp	330,1				
Arilg strømproduksjon i kWt fra solceller	267274				
Diverse resultat					
Arilg produksjon prosentvis av totalt forbruk (%)		157,77			
Arilg produksjon prosentvis av totalt forbruk med faktor for utnyttelse (%)		110,44			
Arilg produksjon prosentvis av totalt forbruk uten tappevann med faktor for utnyttelse (%)		115,04			
Totalt areal utnyttet til solceller	517,67	1568			
Antall solcellepaneler a 420 Wp	786				
Utregning solfanger					
Strømforbruk til tappevann i mal (kWt)	807	Solinnstråling mal (kW/m ²) (45 grader, az=5)	187,5	Arilg produksjon	192.553
Arilg solfanger	5,2	Arilg solinnstråling 45 gr, az=5	1035,33	Arilg produksjon	189.267
Utregning PV-panel				Arilg solinnstråling (kW/m ²)	989,61
Faktor for utnyttbar areal	70 %	10 grader, azimuth = 90			972,52
		10 grader, azimuth = -90		Sum	381.820
				Med 70% utnyttelsesgrad	267274
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6
				Med 70% utnyttelsesgrad	390,13
				Arilg produksjon	192.553
				Arilg produksjon	189.267
				Arilg produksjon	381.820
				Sum	471,6

A11 Meling skule

Meling skule									
Takareal uten 23 graders vinkelfaktor (kvaadrater)	Takareal med 23 graders vinkelfaktor (kvaadrater)	Azimuth	Vinkel	Vinkel	Winkel	Winkel	Winkel	Winkel	Winkel
270	234	178	-8	23 grader	10864	23 grader	14345	48 grader	10864
164	178	178	-75		14345	48 grader			
260	283	283	-75						
84	91	91	105						
177	182	182	105						
104	113	113	-100						
212	220	220	70						
49	53	53	-100						
78	86	86	70						
162	173	173	0						
1560	1658	1658							
Sum	0	176							
	-8	234							
	-75	461							
	-100	166							
	70	220							
	105	283							
Takareal uten 48 graders vinkelfaktor (kvaadrater)	Takareal med 48 graders vinkel (kvaadrater)	Azimuth							
246	367	367	0						
Uten solfanger	359								
Mest relevante svar	Diverse resultat								
229249	Årlig produksjon prosentvis av totalt forbruk (%)	103,09							
289,4	Installert kVp solceller								
7,6	Areal til solfangeranlegg (m ²)	72,16							
541,99	Energiubytte solfangeranlegg (kWh/m ² år)								
689	Annalt solcellepanel a 420 Vp	75,17							
	Totalt areal utnyttet til solceller	1438							
Utretkning solfanger									
1059	Strømfaktor til tappevann (kVh)	167,21							
7,60	Areal solfanger	1083,98							
	Utretkning PV-panel								
70 %	Faktor for utnyttbar areal								
	Skiløkk								
	48 grader helning, azimuth = 0								
	23 grader helning, azimuth = 0								
	23 grader helning, azimuth = -8								
	23 grader helning, azimuth = -75								
	23 grader helning, azimuth = -100								
	23 grader helning, azimuth = 70								
	23 grader helning, azimuth = 105								
	Årlig solinnstråling (kWh/m ²)								
	1083,98								
	1046,29								
	1042,67								
	905,73								
	794,67								
	945,06								
	863,45								
	Årlig produksjon (kVh)								
	67 483								
	31 814								
	53 021								
	72 309								
	22 847								
	37 660								
	42 354								
	327 488								
	229249								
	Sum								
	Med 70% utnyttelsesgrad								
	289,4								
	Andel av kraftforbruk til tappevann								
	4 %								
	Virkningsgrad for plane solfanger								
	50 %								
	Dekningsgrad								
	60 %								

A12 Moster skule

Moster Skule						
Takareal for flatt tak (kvadratmeter)	427	Vinkel 0 grader (flatt tak)	Vinkel faktor 1	Kraftforbruk	334062	
	582					
	357					
	284					
	263					
	1912					
Mest relevante svar						
Årlig strømprøduksjon i kWt fra solceller	198177					
Installert kWp solceller	279,9					
Arealt til solfangerranlegg (m ²)	8,3					
Energibruytte solfangerranlegg (kW/m ² år)	499,77					
Antall solcellerpanel a 420 Wp	666					
Utrekning solfanger						
Strømførbruk til tappevann i m ² (kWt)	1114	Solinnstråling i m ² (45 grader, az=-20)	160,71	Virkningsgrad for plane solfanger	50 %	Andel av kraftforbruk til tappevann 10 %
Areall solfanger	8,31	Årlig solinnstråling 45 gr, az=-20	999,53	Dekningsgrad	60 %	
Utrekning PV-panel						
Faktor for utnyttbar areal	70 %	Årlig solinnstråling (kW/m ²)	864,44 853,28	Årlig produksjon (kWh)	142 375 140 735	Inninstallert kWp 199,9 199,9
				Sum	283 110	399,8
				Med 70% utnyttelsesgrad	198177	279,9

A16 Bømlo symjehall

Bømlo Symjehall											
Takareal for flatt tak (kvadratmeter)	251										
	251	Totalt takareal med vinkelfaktor (kvadratmeter)	251	Vinkel	251	0 grader (flatt tak)		Vinkelfaktor	1	Totalt kraftforbruk	580711
Takareal for buet tak	1218	Areal av buet tak til solceller (vinkel ca 7 grader)	220					Areal av buet tak til solfanger (vinkel ca 15 grader)	280	Energi til vannoppvarming pr år (51 driftsuker)	243505
Solcelleanlegget vil bli installert på det flate taket og på øvre halvdel av buet tak. Solfangeranlegget til være på nedre halvdel av buet tak.											
Mest relevante svar											
Årlig strømprøduksjon i kWh fra solceller	53315	Diverse resultat									
		Årlig strømprøduksjon prosentvis av totalt forbruk med faktor for utnyttelse (%)	9,68								
Installert kWp solceller	69,3	Årlig produksjon prosentvis av totalt forbruk uten tappevann med faktor for utnyttelse (%)	21,89								
Areal til solfangeranlegg (m²)	192,4	Årlig produksjon prosentvis av totalt forbruk (%)	13,83								
Energigjult bytte solfangeranlegg (kWh/m² år)	481,99	Totalt areal utnyttet til solceller	300								
Antall solcellepaneler a 420 Wp	165										
Utvepning solfanger											
Strømforsbruk til tappevann/basseng i mal (kWh)	20292	Sollinestråling juni (kWh/m²) (15 grader, az=1)	168,74					Virkningsgrad for plane solfanger, η	50 %	Andel av kraftforbruk til tappevann + oppvarming av basseng	44 %
Areal solfanger	192,4	Årlig sollinestråling 15 gr, az=-1	963,98					Deinningsgrad	80 %		
Utvepning PV-panel											
Faktor for utnyttbar areal	70 %	Årlig solinnstråling (kWh/m²)						Årlig produksjon		Installert kWp	
		10 grader, azimuth = 90	989,81					21 154		26,4	
		10 grader, azimuth = -90	972,92					20 139		26,4	
		7 grader, azimuth = -1	914,88					34 871		46,2	
		Sum						76 164		99,0	
		Med 70% utnyttelsesgrad						53315		69,3	

Økonomiske beregninger

De økonomiske beregningene for hvert bygg ble gjennomført i dataprogrammet Microsoft Excel og presenteres i vedlegg A17 - A23.

A17 Bremnes ungdomsskule

Del 1

Solselleianlegg Bremnes ungdomsskule		Anlegg lysnet		Anlegg varme		Anlegg vann		Anlegg varme		Anlegg vann		Anlegg varme		Anlegg vann	
Ar	Energiproduksjon (MWh)	Investeringstilskudd (CAEP/OP) + bytte av investert etter 15år	DRV (usikret) (kr)	Strømpris (kr/MWh)	Strømpris (kr/MWh)	Strømpris (kr/MWh)	Strømpris (kr/MWh)	Strømpris (kr/MWh)	Strømpris (kr/MWh)	Strømpris (kr/MWh)	Strømpris (kr/MWh)	Strømpris (kr/MWh)	Strømpris (kr/MWh)	Strømpris (kr/MWh)	Strømpris (kr/MWh)
0	267 274	kr 1 813 150	kr 8 078	kr 0,90	kr 260 547	kr 0,90	kr 260 547	kr 0,90	kr 260 547	kr 0,90	kr 260 547	kr 0,90	kr 260 547	kr 0,90	kr 260 547
1	266 472	kr 2 209	kr 8 444	kr 0,90	kr 239 825	kr 0,90	kr 239 825	kr 0,90	kr 239 825	kr 0,90	kr 239 825	kr 0,90	kr 239 825	kr 0,90	kr 239 825
2	265 671	kr 2 604	kr 8 810	kr 0,90	kr 219 103	kr 0,90	kr 219 103	kr 0,90	kr 219 103	kr 0,90	kr 219 103	kr 0,90	kr 219 103	kr 0,90	kr 219 103
3	264 870	kr 2 999	kr 9 176	kr 0,90	kr 198 381	kr 0,90	kr 198 381	kr 0,90	kr 198 381	kr 0,90	kr 198 381	kr 0,90	kr 198 381	kr 0,90	kr 198 381
4	264 069	kr 3 394	kr 9 542	kr 0,90	kr 177 659	kr 0,90	kr 177 659	kr 0,90	kr 177 659	kr 0,90	kr 177 659	kr 0,90	kr 177 659	kr 0,90	kr 177 659
5	263 268	kr 3 789	kr 9 908	kr 0,90	kr 156 937	kr 0,90	kr 156 937	kr 0,90	kr 156 937	kr 0,90	kr 156 937	kr 0,90	kr 156 937	kr 0,90	kr 156 937
6	262 467	kr 4 184	kr 10 274	kr 0,90	kr 136 215	kr 0,90	kr 136 215	kr 0,90	kr 136 215	kr 0,90	kr 136 215	kr 0,90	kr 136 215	kr 0,90	kr 136 215
7	261 666	kr 4 579	kr 10 640	kr 0,90	kr 115 493	kr 0,90	kr 115 493	kr 0,90	kr 115 493	kr 0,90	kr 115 493	kr 0,90	kr 115 493	kr 0,90	kr 115 493
8	260 865	kr 4 974	kr 11 006	kr 0,90	kr 94 771	kr 0,90	kr 94 771	kr 0,90	kr 94 771	kr 0,90	kr 94 771	kr 0,90	kr 94 771	kr 0,90	kr 94 771
9	260 064	kr 5 369	kr 11 372	kr 0,90	kr 74 049	kr 0,90	kr 74 049	kr 0,90	kr 74 049	kr 0,90	kr 74 049	kr 0,90	kr 74 049	kr 0,90	kr 74 049
10	259 263	kr 5 764	kr 11 738	kr 0,90	kr 53 327	kr 0,90	kr 53 327	kr 0,90	kr 53 327	kr 0,90	kr 53 327	kr 0,90	kr 53 327	kr 0,90	kr 53 327
11	258 462	kr 6 159	kr 12 104	kr 0,90	kr 32 605	kr 0,90	kr 32 605	kr 0,90	kr 32 605	kr 0,90	kr 32 605	kr 0,90	kr 32 605	kr 0,90	kr 32 605
12	257 661	kr 6 554	kr 12 470	kr 0,90	kr 11 883	kr 0,90	kr 11 883	kr 0,90	kr 11 883	kr 0,90	kr 11 883	kr 0,90	kr 11 883	kr 0,90	kr 11 883
13	256 860	kr 6 949	kr 12 836	kr 0,90	kr -7 839	kr 0,90	kr -7 839	kr 0,90	kr -7 839	kr 0,90	kr -7 839	kr 0,90	kr -7 839	kr 0,90	kr -7 839
14	256 059	kr 7 344	kr 13 202	kr 0,90	kr -27 517	kr 0,90	kr -27 517	kr 0,90	kr -27 517	kr 0,90	kr -27 517	kr 0,90	kr -27 517	kr 0,90	kr -27 517
15	255 258	kr 7 739	kr 13 568	kr 0,90	kr -47 195	kr 0,90	kr -47 195	kr 0,90	kr -47 195	kr 0,90	kr -47 195	kr 0,90	kr -47 195	kr 0,90	kr -47 195
16	254 457	kr 8 134	kr 13 934	kr 0,90	kr -66 873	kr 0,90	kr -66 873	kr 0,90	kr -66 873	kr 0,90	kr -66 873	kr 0,90	kr -66 873	kr 0,90	kr -66 873
17	253 656	kr 8 529	kr 14 300	kr 0,90	kr -86 551	kr 0,90	kr -86 551	kr 0,90	kr -86 551	kr 0,90	kr -86 551	kr 0,90	kr -86 551	kr 0,90	kr -86 551
18	252 855	kr 8 924	kr 14 666	kr 0,90	kr -106 229	kr 0,90	kr -106 229	kr 0,90	kr -106 229	kr 0,90	kr -106 229	kr 0,90	kr -106 229	kr 0,90	kr -106 229
19	252 054	kr 9 319	kr 15 032	kr 0,90	kr -125 907	kr 0,90	kr -125 907	kr 0,90	kr -125 907	kr 0,90	kr -125 907	kr 0,90	kr -125 907	kr 0,90	kr -125 907
20	251 253	kr 9 714	kr 15 398	kr 0,90	kr -145 585	kr 0,90	kr -145 585	kr 0,90	kr -145 585	kr 0,90	kr -145 585	kr 0,90	kr -145 585	kr 0,90	kr -145 585
21	250 452	kr 10 109	kr 15 764	kr 0,90	kr -165 263	kr 0,90	kr -165 263	kr 0,90	kr -165 263	kr 0,90	kr -165 263	kr 0,90	kr -165 263	kr 0,90	kr -165 263
22	249 651	kr 10 504	kr 16 130	kr 0,90	kr -184 941	kr 0,90	kr -184 941	kr 0,90	kr -184 941	kr 0,90	kr -184 941	kr 0,90	kr -184 941	kr 0,90	kr -184 941
23	248 850	kr 10 899	kr 16 496	kr 0,90	kr -204 619	kr 0,90	kr -204 619	kr 0,90	kr -204 619	kr 0,90	kr -204 619	kr 0,90	kr -204 619	kr 0,90	kr -204 619
24	248 049	kr 11 294	kr 16 862	kr 0,90	kr -224 297	kr 0,90	kr -224 297	kr 0,90	kr -224 297	kr 0,90	kr -224 297	kr 0,90	kr -224 297	kr 0,90	kr -224 297
25	247 248	kr 11 689	kr 17 228	kr 0,90	kr -243 975	kr 0,90	kr -243 975	kr 0,90	kr -243 975	kr 0,90	kr -243 975	kr 0,90	kr -243 975	kr 0,90	kr -243 975
26	246 447	kr 12 084	kr 17 594	kr 0,90	kr -263 653	kr 0,90	kr -263 653	kr 0,90	kr -263 653	kr 0,90	kr -263 653	kr 0,90	kr -263 653	kr 0,90	kr -263 653
27	245 646	kr 12 479	kr 17 960	kr 0,90	kr -283 331	kr 0,90	kr -283 331	kr 0,90	kr -283 331	kr 0,90	kr -283 331	kr 0,90	kr -283 331	kr 0,90	kr -283 331
28	244 845	kr 12 874	kr 18 326	kr 0,90	kr -303 009	kr 0,90	kr -303 009	kr 0,90	kr -303 009	kr 0,90	kr -303 009	kr 0,90	kr -303 009	kr 0,90	kr -303 009
29	244 044	kr 13 269	kr 18 692	kr 0,90	kr -322 687	kr 0,90	kr -322 687	kr 0,90	kr -322 687	kr 0,90	kr -322 687	kr 0,90	kr -322 687	kr 0,90	kr -322 687
30	243 243	kr 13 664	kr 19 058	kr 0,90	kr -342 365	kr 0,90	kr -342 365	kr 0,90	kr -342 365	kr 0,90	kr -342 365	kr 0,90	kr -342 365	kr 0,90	kr -342 365
31	242 442	kr 14 059	kr 19 424	kr 0,90	kr -362 043	kr 0,90	kr -362 043	kr 0,90	kr -362 043	kr 0,90	kr -362 043	kr 0,90	kr -362 043	kr 0,90	kr -362 043
32	241 641	kr 14 454	kr 19 790	kr 0,90	kr -381 721	kr 0,90	kr -381 721	kr 0,90	kr -381 721	kr 0,90	kr -381 721	kr 0,90	kr -381 721	kr 0,90	kr -381 721
33	240 840	kr 14 849	kr 20 156	kr 0,90	kr -401 399	kr 0,90	kr -401 399	kr 0,90	kr -401 399	kr 0,90	kr -401 399	kr 0,90	kr -401 399	kr 0,90	kr -401 399
34	240 039	kr 15 244	kr 20 522	kr 0,90	kr -421 077	kr 0,90	kr -421 077	kr 0,90	kr -421 077	kr 0,90	kr -421 077	kr 0,90	kr -421 077	kr 0,90	kr -421 077
35	239 238	kr 15 639	kr 20 888	kr 0,90	kr -440 755	kr 0,90	kr -440 755	kr 0,90	kr -440 755	kr 0,90	kr -440 755	kr 0,90	kr -440 755	kr 0,90	kr -440 755
36	238 437	kr 16 034	kr 21 254	kr 0,90	kr -460 433	kr 0,90	kr -460 433	kr 0,90	kr -460 433	kr 0,90	kr -460 433	kr 0,90	kr -460 433	kr 0,90	kr -460 433
37	237 636	kr 16 429	kr 21 620	kr 0,90	kr -480 111	kr 0,90	kr -480 111	kr 0,90	kr -480 111	kr 0,90	kr -480 111	kr 0,90	kr -480 111	kr 0,90	kr -480 111
38	236 835	kr 16 824	kr 21 986	kr 0,90	kr -499 789	kr 0,90	kr -499 789	kr 0,90	kr -499 789	kr 0,90	kr -499 789	kr 0,90	kr -499 789	kr 0,90	kr -499 789
39	236 034	kr 17 219	kr 22 352	kr 0,90	kr -519 467	kr 0,90	kr -519 467	kr 0,90	kr -519 467	kr 0,90	kr -519 467	kr 0,90	kr -519 467	kr 0,90	kr -519 467
40	235 233	kr 17 614	kr 22 718	kr 0,90	kr -539 145	kr 0,90	kr -539 145	kr 0,90	kr -539 145	kr 0,90	kr -539 145	kr 0,90	kr -539 145	kr 0,90	kr -539 145
41	234 432	kr 18 009	kr 23 084	kr 0,90	kr -558 823	kr 0,90	kr -558 823	kr 0,90	kr -558 823	kr 0,90	kr -558 823	kr 0,90	kr -558 823	kr 0,90	kr -558 823
42	233 631	kr 18 404	kr 23 450	kr 0,90	kr -578 501	kr 0,90	kr -578 501	kr 0,90	kr -578 501	kr 0,90	kr -578 501	kr 0,90	kr -578 501	kr 0,90	kr -578 501
43	232 830	kr 18 799	kr 23 816	kr 0,90	kr -598 179	kr 0,90	kr -598 179	kr 0,90	kr -598 179	kr 0,90	kr -598 179	kr 0,90	kr -598 179	kr 0,90	kr -598 179
44	232 029	kr 19 194	kr 24 182	kr 0,90	kr -617 857	kr 0,90	kr -617 857	kr 0,90	kr -617 857	kr 0,90	kr -617 857	kr 0,90	kr -617 857	kr 0,90	kr -617 857
45	231 228	kr 19 589	kr 24 548	kr 0,90	kr -637 535	kr 0,90	kr -637 535	kr 0,90	kr -637 535	kr 0,90	kr -637 535	kr 0,90	kr -637 535	kr 0,90	kr -637 535
46	230 427	kr 19 984	kr 24 914	kr 0,90	kr -657 213	kr 0,90	kr -657 213	kr 0,90	kr -657 213	kr 0,90	kr -657 213	kr 0,90	kr -657 213	kr 0,90	kr -657 213
47	229 626	kr 20 379	kr 25 280	kr 0,90	kr -676 891	kr 0,90	kr -676 891	kr 0,90	kr -676 891	kr 0,90	kr -676 891	kr 0,90	kr -676 891	kr 0,90	kr -676 891
48	228 825	kr 20 774	kr 25 646	kr 0,90	kr -696 569	kr 0,90	kr -696 569	kr 0,90	kr -696 569	kr 0,90	kr -696 569	kr 0,90	kr -696 569	kr 0,90	kr -696 569
49	228 024	kr 21 169	kr 26 012	kr 0,90	kr -716 247	kr 0,90	kr -716 247	kr 0,90	kr -716 247	kr 0,90	kr -716 247	kr 0,90	kr -716 247	kr 0,90	kr -716 247
50	227 223	kr 21 564	kr 26 378	kr 0,90	kr -735 925	kr 0,90	kr -735 925	kr 0,90	kr -735 925	kr 0,90	kr -735 925	kr 0,90	kr -735 925	kr 0,90	kr -735 925
51	226 422	kr 21 959	kr 26 744	kr 0,90	kr -755 603	kr 0,90	kr -755 603	kr 0,90	kr -755 603	kr 0,90	kr -755 603	kr 0,90	kr -755 603	kr 0,90	kr -755 603
52	225 621	kr 22 354	kr 27 110	kr 0,90	kr -775 281	kr 0,90	kr -775 281	kr 0,90	kr -775 281	kr 0,90	kr -775 281	kr 0,90	kr -775 281	kr 0,90	kr -775 281
53	224 820	kr 22 749	kr 27 476	kr 0,90	kr -794 959	kr 0,90	kr -794 959	kr 0,90	kr -794 959	kr 0,90	kr -794 959	kr 0,90	kr -794 959	kr 0,90	kr -794 959
54	224 019	kr 23 144	kr 27 84												

Del 2

RESULTAT	
Denne tar hensyn til tapsfaktor i produksjonen, og CAPEX og OPEX diskontert.	
LCOE	
20 år	kr 0,39
25 år	kr 0,32
30 år	kr 0,27
Tilbakebetalingstid	
CAPEX / Første års produksjon* Forventet strømpris	
Prisen forventer å få for salg/bruk av produsert energi	
Energipris	
kr	0,90
kr	1,40
kr	1,90
	7,5 år
	4,9 år
	3,6 år
NPV. Strømpris ->	kr 0,90
Diskonteringsrente	
3 %	kr 2 729 493
4 %	kr 2 202 451
5 %	kr 1 763 445
6 %	kr 1 395 162
NPV. Strømpris ->	kr 1,4
Diskonteringsrente	
3 %	kr 5 254 517
4 %	kr 4 434 674
5 %	kr 3 751 776
6 %	kr 3 178 891
NPV. Strømpris ->	kr 1,9
Diskonteringsrente	
3 %	kr 7 779 541
4 %	kr 6 666 897
5 %	kr 5 740 107
6 %	kr 4 962 620

Utregningene tar hensyn til tapsfaktor for solceller. At man bytter inverter etter 15 år. I tillegg tas det hensyn til en diskonteringsrente på 4%.

Del 3

Solfangeranlegg Bremnes ungdomskule		Energiutbytte solfangeranlegg (kWh/m ² år)		517,67					
Inputs i gull		Forklaring							
Anlegg Inputs									
Anleggsterrelse (m ²)	5,2	Antallpaneller i kvadrantmeter							
Produksjon første år (kWh)	2 692	Antall produksjon første år Energiutbytte solfangeranlegg							
Tarifaktor	0,103	Utgangsfaktor Energitilgang til utvirkning							
Konstanter Input									
Kostnad (kr/m ²)	4 500,00	Kostnad per m ² med solfanger, systemet							
Kostnad (kr/m ²)	468,00	Pris på verktøymateriale 2 år etter innsett							
DAV-kostnad	2 678	Investert del av kostnad (DAV-kostnader)							
DAV-afkasting (%)	2,3	Investert del av kostnad (DAV-kostnader)							
Strømpris Input									
Pris (kr/kWh)	0,90	Pris for energiutbytte per år							
Pris (kr/kWh)	1,40	Pris for energiutbytte per år							
Pris (kr/kWh)	1,90	Pris for energiutbytte per år							
Pris (kr/kWh)	0,00	Investert del av kostnad							
Diskonteringsrente									
NPV 20 år	23 400								
CAPEX	7 531	Investert OPEX							
OPEX	53 329	Investert del av kostnad							
NPV 25 år									
CAPEX	23 400								
OPEX	66 499	Investert OPEX							
Produksjon	66 499	Investert del av kostnad							
NPV 30 år									
CAPEX	23 400								
OPEX	10 332	Investert OPEX							
Produksjon	79 596	Investert del av kostnad							
Resultat									
År	Energiproduksjon (kWh)	Investeringekostnad (CAPEX)(kr)	DAV-kostnad (kr)	Strømpris afkasting (%)	Strømpris (kr/kWh)	Strømkostnad (kr)	Strømpris afkasting (%)	Strømpris (kr/kWh)	Strømkostnad (kr)
0	0	kr 23 400	kr 468	-	kr 0,90	kr 2 423	-	kr 1,40	kr 3 769
1	2 692			0%	kr 0,90	kr 2 420	0%	kr 1,40	kr 3 765
2	2 687			0%	kr 0,90	kr 2 418	0%	kr 1,40	kr 3 761
3	2 684			0%	kr 0,90	kr 2 415	0%	kr 1,40	kr 3 757
4	2 681			0%	kr 0,90	kr 2 413	0%	kr 1,40	kr 3 754
5	2 678			0%	kr 0,90	kr 2 410	0%	kr 1,40	kr 3 750
6	2 676			0%	kr 0,90	kr 2 408	0%	kr 1,40	kr 3 746
7	2 673			0%	kr 0,90	kr 2 406	0%	kr 1,40	kr 3 742
8	2 670			0%	kr 0,90	kr 2 403	0%	kr 1,40	kr 3 739
9	2 668			0%	kr 0,90	kr 2 401	0%	kr 1,40	kr 3 735
10	2 665			0%	kr 0,90	kr 2 399	0%	kr 1,40	kr 3 731
11	2 662			0%	kr 0,90	kr 2 396	0%	kr 1,40	kr 3 727
12	2 660			0%	kr 0,90	kr 2 394	0%	kr 1,40	kr 3 724
13	2 657			0%	kr 0,90	kr 2 391	0%	kr 1,40	kr 3 720
14	2 654			0%	kr 0,90	kr 2 389	0%	kr 1,40	kr 3 716
15	2 652			0%	kr 0,90	kr 2 387	0%	kr 1,40	kr 3 713
16	2 649			0%	kr 0,90	kr 2 384	0%	kr 1,40	kr 3 709
17	2 646			0%	kr 0,90	kr 2 382	0%	kr 1,40	kr 3 705
18	2 644			0%	kr 0,90	kr 2 379	0%	kr 1,40	kr 3 701
19	2 641			0%	kr 0,90	kr 2 377	0%	kr 1,40	kr 3 698
20	2 639			0%	kr 0,90	kr 2 375	0%	kr 1,40	kr 3 694
21	2 636			0%	kr 0,90	kr 2 372	0%	kr 1,40	kr 3 690
22	2 633			0%	kr 0,90	kr 2 370	0%	kr 1,40	kr 3 687
23	2 631			0%	kr 0,90	kr 2 368	0%	kr 1,40	kr 3 683
24	2 628			0%	kr 0,90	kr 2 365	0%	kr 1,40	kr 3 679
25	2 626			0%	kr 0,90	kr 2 363	0%	kr 1,40	kr 3 676
26	2 623			0%	kr 0,90	kr 2 360	0%	kr 1,40	kr 3 672
27	2 620			0%	kr 0,90	kr 2 358	0%	kr 1,40	kr 3 668
28	2 618			0%	kr 0,90	kr 2 356	0%	kr 1,40	kr 3 665
29	2 615			0%	kr 0,90	kr 2 353	0%	kr 1,40	kr 3 661
30	2 613			0%	kr 0,90	kr 2 351	0%	kr 1,40	kr 3 657
Resultat	79 596	23 400	18 986			71 637			111 435
									131 233

Del 4

RESULTAT

Denne tar hensyn til tapsfaktor i produksjonen, og CAPEX og OPEX diskontert.

LCOE med NPV	
20 år	kr 0,58
25 år	kr 0,49
30 år	kr 0,42

Tilbakebetalingstid

CAPEX/ Første års produksjon* forventes strømpris

Prisen forventer å få for salg/bruk av produsert energi

Energipris	
kr 0,90	9,7 år
kr 1,40	6,2 år
kr 1,90	4,6 år

NPV, Strømpris ->	kr 0,90
Diskonteringsrente	
3 %	kr 23 506
4 %	kr 18 010
5 %	kr 13 438
6 %	kr 9 606
7 %	kr 6 372
8 %	kr 3 625

NPV, Strømpris ->	kr 1,40
Diskonteringsrente	
3 %	kr 49 565
4 %	kr 41 016
5 %	kr 33 903
6 %	kr 27 942
7 %	kr 22 913
8 %	kr 18 639

NPV, Strømpris ->	kr 1,90
Diskonteringsrente	
3 %	kr 75 624
4 %	kr 64 022
5 %	kr 54 368
6 %	kr 46 279
7 %	kr 39 453
8 %	kr 33 654

Utregningene tar hensyn til tapsfaktor for solfangere. I tillegg tas det hensyn til en diskonteringsrente på 4%.

A18 Meling skule

Del 1

Solcelleanlegg Meling skule		Input i per/		Forklaring		Ar		Energiproduksjon (kWh)		Investeringskostnad (CAPEX) - bytte av inverter etter 15år		D&V kostnad (kr)		Strømkostnad (kr)		Strømpris økning (%)		Strømpris (kr/kWh)		Strømkostnad (kr)		
Ar	0																					
Ar	1	229 249	289,4	Anleggsmåte	kr	2 025 800	kr	10 129	kr	0,90	kr	206 244	kr	1,40	kr	320 949	0%	kr	1,90	kr	435 573	
Ar	2	228 861	0,30	Estimert produksjon (kWh) år	kr	10 332	kr	10 332	kr	0,90	kr	205 705	kr	1,40	kr	319 866	0%	kr	1,90	kr	434 266	
Ar	3	227 976		Årlig produksjon i løstkonstruksjoner eller vedhengsel over 10	kr	10 749	kr	10 749	kr	0,90	kr	204 873	kr	1,40	kr	318 026	0%	kr	1,90	kr	431 665	
Ar	4	227 192		Kostnader input	kr	10 864	kr	10 864	kr	0,90	kr	203 859	kr	1,40	kr	316 115	0%	kr	1,90	kr	430 370	
Ar	5	226 510	7,00	Kostnad for per ttp	kr	11 183	kr	11 183	kr	0,90	kr	202 848	kr	1,40	kr	314 269	0%	kr	1,90	kr	429 079	
Ar	6	225 831		Multiple tilførselsbatterier	kr	11 407	kr	11 407	kr	0,90	kr	202 030	kr	1,40	kr	312 386	0%	kr	1,90	kr	427 791	
Ar	7	225 153	35,00	Differensialkostnader: Differensialkostnader: D&V-kostnader: D&V-kostnader: D&V-kostnader	kr	11 635	kr	11 635	kr	0,90	kr	201 424	kr	1,40	kr	310 495	0%	kr	1,90	kr	426 508	
Ar	8	224 478	2%	Forventet årlig produksjon i løstkonstruksjoner	kr	11 868	kr	11 868	kr	0,90	kr	200 820	kr	1,40	kr	308 605	0%	kr	1,90	kr	425 228	
Ar	9	223 804			kr	12 105	kr	12 105	kr	0,90	kr	200 220	kr	1,40	kr	306 714	0%	kr	1,90	kr	423 953	
Ar	10	223 133			kr	12 347	kr	12 347	kr	0,90	kr	199 627	kr	1,40	kr	304 823	0%	kr	1,90	kr	422 681	
Ar	11	222 464	0,20	Pris for strømfødsel av system	kr	12 594	kr	12 594	kr	0,90	kr	199 038	kr	1,40	kr	302 932	0%	kr	1,90	kr	421 413	
Ar	12	221 796	1,40		kr	12 848	kr	12 848	kr	0,90	kr	198 452	kr	1,40	kr	301 041	0%	kr	1,90	kr	420 149	
Ar	13	221 133	1,250		kr	13 105	kr	13 105	kr	0,90	kr	197 867	kr	1,40	kr	299 150	0%	kr	1,90	kr	418 885	
Ar	14	220 478	0,03	Forventet årlig produksjon	kr	13 365	kr	13 365	kr	0,90	kr	197 282	kr	1,40	kr	297 259	0%	kr	1,90	kr	417 623	
Ar	15	219 827			kr	13 632	kr	13 632	kr	0,90	kr	196 697	kr	1,40	kr	295 368	0%	kr	1,90	kr	416 362	
Ar	16	219 177			kr	13 905	kr	13 905	kr	0,90	kr	196 112	kr	1,40	kr	293 477	0%	kr	1,90	kr	415 100	
Ar	17	218 529			kr	14 183	kr	14 183	kr	0,90	kr	195 527	kr	1,40	kr	291 586	0%	kr	1,90	kr	413 844	
Ar	18	217 884	5%	Investert av estimert i å koste 10% av CAPEX	kr	14 467	kr	14 467	kr	0,90	kr	194 942	kr	1,40	kr	289 695	0%	kr	1,90	kr	412 588	
Ar	19	217 240	101,200	Prosentandel av CAPEX	kr	14 756	kr	14 756	kr	0,90	kr	194 357	kr	1,40	kr	287 804	0%	kr	1,90	kr	411 332	
Ar	20	216 599		Kostnad av inverter	kr	15 051	kr	15 051	kr	0,90	kr	193 772	kr	1,40	kr	285 913	0%	kr	1,90	kr	410 076	
Ar	21	215 979	4%	Årlig prisreduksjon	kr	15 352	kr	15 352	kr	0,90	kr	193 187	kr	1,40	kr	284 022	0%	kr	1,90	kr	408 820	
Ar	22	215 331			kr	15 659	kr	15 659	kr	0,90	kr	192 602	kr	1,40	kr	282 131	0%	kr	1,90	kr	407 564	
Ar	23	214 686		Diskontinuerende	kr	15 972	kr	15 972	kr	0,90	kr	192 017	kr	1,40	kr	280 240	0%	kr	1,90	kr	406 308	
Ar	24	214 042			kr	16 292	kr	16 292	kr	0,90	kr	191 432	kr	1,40	kr	278 349	0%	kr	1,90	kr	405 052	
Ar	25	213 300	2 123 134	Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	16 618	kr	16 618	kr	0,90	kr	190 847	kr	1,40	kr	276 458	0%	kr	1,90	kr	403 796	
Ar	26	162 992		Diskontinert OPEX	kr	16 950	kr	16 950	kr	0,90	kr	190 262	kr	1,40	kr	274 567	0%	kr	1,90	kr	402 540	
Ar	27	4 656 630		Produksjon	kr	17 289	kr	17 289	kr	0,90	kr	189 677	kr	1,40	kr	272 676	0%	kr	1,90	kr	401 284	
Ar	28			Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	17 635	kr	17 635	kr	0,90	kr	189 092	kr	1,40	kr	270 785	0%	kr	1,90	kr	400 028	
Ar	29	210 752	2 123 134	Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	17 988	kr	17 988	kr	0,90	kr	188 507	kr	1,40	kr	268 894	0%	kr	1,90	kr	398 772	
Ar	30	210 120	194 771	Diskontinert OPEX	kr	18 250	kr	18 250	kr	0,90	kr	187 922	kr	1,40	kr	267 003	0%	kr	1,90	kr	397 516	
Ar	30	5 586 510	5 529 569	Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	18 514	kr	18 514	kr	0,90	kr	187 337	kr	1,40	kr	265 112	0%	kr	1,90	kr	396 260	
Ar	30	2 123 134		Produksjon	kr	18 788	kr	18 788	kr	0,90	kr	186 752	kr	1,40	kr	263 221	0%	kr	1,90	kr	395 004	
Ar	30	2 123 134		Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	19 052	kr	19 052	kr	0,90	kr	186 167	kr	1,40	kr	261 330	0%	kr	1,90	kr	393 748	
Ar	30	223 610		Diskontinert OPEX	kr	19 316	kr	19 316	kr	0,90	kr	185 582	kr	1,40	kr	259 439	0%	kr	1,90	kr	392 492	
Ar	30	6 586 510		Produksjon	kr	19 580	kr	19 580	kr	0,90	kr	185 000	kr	1,40	kr	257 548	0%	kr	1,90	kr	391 236	
Ar	30			Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	19 844	kr	19 844	kr	0,90	kr	184 415	kr	1,40	kr	255 657	0%	kr	1,90	kr	390 000	
Ar	30			Produksjon	kr	20 108	kr	20 108	kr	0,90	kr	183 830	kr	1,40	kr	253 766	0%	kr	1,90	kr	388 744	
Ar	30			Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	20 372	kr	20 372	kr	0,90	kr	183 245	kr	1,40	kr	251 875	0%	kr	1,90	kr	387 488	
Ar	30			Produksjon	kr	20 636	kr	20 636	kr	0,90	kr	182 660	kr	1,40	kr	250 000	0%	kr	1,90	kr	386 232	
Ar	30			Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	20 900	kr	20 900	kr	0,90	kr	182 075	kr	1,40	kr	248 119	0%	kr	1,90	kr	385 000	
Ar	30			Produksjon	kr	21 164	kr	21 164	kr	0,90	kr	181 490	kr	1,40	kr	246 238	0%	kr	1,90	kr	383 744	
Ar	30			Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	21 428	kr	21 428	kr	0,90	kr	180 905	kr	1,40	kr	244 357	0%	kr	1,90	kr	382 500	
Ar	30			Produksjon	kr	21 692	kr	21 692	kr	0,90	kr	180 320	kr	1,40	kr	242 476	0%	kr	1,90	kr	381 256	
Ar	30			Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	21 956	kr	21 956	kr	0,90	kr	179 735	kr	1,40	kr	240 595	0%	kr	1,90	kr	380 000	
Ar	30			Produksjon	kr	22 220	kr	22 220	kr	0,90	kr	179 150	kr	1,40	kr	238 714	0%	kr	1,90	kr	378 744	
Ar	30			Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	22 484	kr	22 484	kr	0,90	kr	178 565	kr	1,40	kr	236 833	0%	kr	1,90	kr	377 500	
Ar	30			Produksjon	kr	22 748	kr	22 748	kr	0,90	kr	177 980	kr	1,40	kr	234 952	0%	kr	1,90	kr	376 256	
Ar	30			Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	23 012	kr	23 012	kr	0,90	kr	177 395	kr	1,40	kr	233 071	0%	kr	1,90	kr	375 000	
Ar	30			Produksjon	kr	23 276	kr	23 276	kr	0,90	kr	176 810	kr	1,40	kr	231 190	0%	kr	1,90	kr	373 744	
Ar	30			Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	23 540	kr	23 540	kr	0,90	kr	176 225	kr	1,40	kr	229 309	0%	kr	1,90	kr	372 500	
Ar	30			Produksjon	kr	23 804	kr	23 804	kr	0,90	kr	175 640	kr	1,40	kr	227 428	0%	kr	1,90	kr	371 256	
Ar	30			Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	24 068	kr	24 068	kr	0,90	kr	175 055	kr	1,40	kr	225 547	0%	kr	1,90	kr	370 000	
Ar	30			Produksjon	kr	24 332	kr	24 332	kr	0,90	kr	174 470	kr	1,40	kr	223 666	0%	kr	1,90	kr	368 744	
Ar	30			Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	24 596	kr	24 596	kr	0,90	kr	173 885	kr	1,40	kr	221 785	0%	kr	1,90	kr	367 500	
Ar	30			Produksjon	kr	24 860	kr	24 860	kr	0,90	kr	173 300	kr	1,40	kr	219 904	0%	kr	1,90	kr	366 256	
Ar	30			Investert inkludert CAPEX. Bytt etter 15 år, så er ikke for alle år etter 15 år	kr	25 124	kr	25 124	kr	0,90	kr	172 715	kr	1,40	kr	218 023	0%	kr	1,90	kr		

Del 2

RESULTAT				
Denne tar hensyn til tapsfaktor i produksjonen, og CAPEX og OPEX diskontert.				
LCOE				
20 år	kr	0,51		
25 år	kr	0,42		
30 år	kr	0,36		
Tilbakebetalingstid				
CAPEX / Første års produksjon* forventet strømpris				
Prisen forventer å til for salg/bruk av produsert energi				
Energipris				
kr	0,90	9,8	år	
kr	1,40	6,3	år	
kr	1,90	4,7	år	
NPV, Strømpris ->	kr	0,90		
Diskonteringsrente				
	3 %	kr 1 872 621		
	4 %	kr 1 420 561		
	5 %	kr 1 044 013		
	6 %	kr 728 125		
NPV, Strømpris ->	kr	1,40		
Diskonteringsrente				
	3 %	kr 4 038 411		
	4 %	kr 3 335 207		
	5 %	kr 2 749 464		
	6 %	kr 2 258 086		
NPV, Strømpris ->	kr	1,90		
Diskonteringsrente				
	3 %	kr 6 204 200		
	4 %	kr 5 249 852		
	5 %	kr 4 454 916		
	6 %	kr 3 788 042		
Utregningene tar hensyn til tapsfaktor for solceller. At man bytter inverter etter 15 år. I tillegg tas det hensyn til en diskonteringsrente på 4%.				

Del 4

RESULTAT	
Denne tar hensyn til tapsfaktor i produksjonen, og CAPEX og OPEX diskontert.	
LCOE med NPV	kr 0,55
20 år	kr 0,47
25 år	kr 0,40
30 år	kr 0,40
Tilbakebetalingstid	
CAPEX / Første års produksjon* forventet strømpris	
Pris en forventer å få for salg/bruk av produsert energi	
Energi/pris	
kr	0,90
kr	1,40
kr	1,90
kr	9,2
kr	5,9
kr	4,4
NPV - Strømpris ->	kr 0,90
Diskonteringsrente	
3 %	kr 37 576
4 %	kr 29 166
5 %	kr 22 169
6 %	kr 16 305
7 %	kr 11 358
8 %	kr 7 154
NPV - Strømpris ->	kr 1,40
Diskonteringsrente	
3 %	kr 77 451
4 %	kr 64 369
5 %	kr 53 485
6 %	kr 44 364
7 %	kr 36 668
8 %	kr 30 129
NPV - Strømpris ->	kr 1,90
Diskonteringsrente	
3 %	kr 117 327
4 %	kr 99 573
5 %	kr 84 801
6 %	kr 72 423
7 %	kr 61 978
8 %	kr 53 103
Utregningene tar hensyn til tapsfaktor for solfangere. I tillegg tas det hensyn til en diskonteringsrente på 4%.	

A19 Moster skule

Del 1

Solcelleanlegg Moster skule		Forklaring		Strømløstnad (kr)		Strømløstnad (kr)		Strømløstnad (kr)	
Ar	Investeringssjåon (kr)	ØK V/ løstnad (kr)	Investeringssjåon (kr)	Strømløstnad (kr)	Strømløstnad (kr)	Strømløstnad (kr)	Strømløstnad (kr)	Strømløstnad (kr)	Strømløstnad (kr)
0	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
1	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
2	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
3	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
4	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
5	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
6	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
7	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
8	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
9	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
10	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
11	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
12	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
13	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
14	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
15	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
16	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
17	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
18	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
19	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
20	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
21	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
22	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
23	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
24	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
25	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
26	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
27	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
28	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
29	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
30	158 172	kr 9 937	1 959 300	kr 0,00	kr 178 359	kr 1,00	kr 277 442	kr 1,00	kr 376 626
Totalt	3 693 796	kr 2 097 285	kr 397 825	kr 153 462	kr 2 973 920	kr 153 462	kr 2 973 920	kr 153 462	kr 2 973 920

Del 2

RESULTAT	
Denne tar hensyn til tapsfaktor i produksjonen, og CAPEX og OPEX diskontert.	
LCOE	
20 år	kr 0,57
25 år	kr 0,47
30 år	kr 0,40
Tilbakebetalingstid	
CAPEX / Første års produksjon / forventet strømpris	
Prisen forventer å få for salg/bruk av produsert energi	
Energipris	
kr	0,90
kr	11,0
kr	1,40
kr	7,1
kr	1,90
kr	5,2
NPV, Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 0,90
3 %	kr 1 410 736
4 %	kr 1 019 948
5 %	kr 694 436
6 %	kr 421 363
NPV, Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 1,40
3 %	kr 3 282 979
4 %	kr 2 675 085
5 %	kr 2 168 733
6 %	kr 1 743 954
NPV, Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 1,90
3 %	kr 5 155 221
4 %	kr 4 330 223
5 %	kr 3 643 031
6 %	kr 3 066 544
Utregningene tar hensyn til tapsfaktor for solceller. At man bytter inverter etter 15 år. I tillegg tas det hensyn til en diskonteringsrente på 4%.	

Del 4

RESULTAT	
Denne tar hensyn til tpsfaktor i produksjonen, og CAPEX og OPEX diskontert.	
LCOE med NPV	
20 år	kr 0,60
25 år	kr 0,50
30 år	kr 0,44
Tilbakebetalingstid	
CAPEX / Første års produksjon* forventet strømpris	
Prisen forventer å få for salg/bruk av produsert energi	
Energipris	
kr 0,90	10,0 år
kr 1,40	6,4 år
kr 1,90	4,7 år
NPV. Strømpris ->	kr 0,90
Diskonteringsrente	
3 %	kr 34 931
4 %	kr 26 462
5 %	kr 19 415
6 %	kr 13 511
7 %	kr 8 528
8 %	kr 4 295
NPV. Strømpris ->	kr 1,40
Diskonteringsrente	
3 %	kr 75 086
4 %	kr 61 913
5 %	kr 50 951
6 %	kr 41 767
7 %	kr 34 016
8 %	kr 27 431
NPV. Strømpris ->	kr 1,90
Diskonteringsrente	
3 %	kr 115 242
4 %	kr 97 363
5 %	kr 82 488
6 %	kr 70 022
7 %	kr 59 504
8 %	kr 50 567
Utregningene tar hensyn til tpsfaktor for solfangere. I tillegg tas det hensyn til en diskonteringsrente på 4%.	

Utnyttelse av solenergi på Bømlo kommune sin bygningsmasse

A20 Svortland skule

Del 1

Solcelleanlegg Svortland skule		Forklaring		Ar		Energiproduksjon (kWh)		Investeringskostnad (CAPEX) + bytte av inverter etter 15år		D&V kostnad (kr)		Strømpris (kr/kWh)		Strømkostnad (kr)		Strømpris (kr/kWh)		Strømkostnad (kr)	
Anlegg inputs		Forklaring		Ar		Energiproduksjon (kWh)		Investeringskostnad (CAPEX) + bytte av inverter etter 15år		D&V kostnad (kr)		Strømpris (kr/kWh)		Strømkostnad (kr)		Strømpris (kr/kWh)		Strømkostnad (kr)	
Anleggskostnader (kWh)	220,0	Anleggskostnader		0	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon første år (kWh)	177 799	Produksjon første år (kWh)		1	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 2	177 799	Produksjon år 2		2	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 3	177 799	Produksjon år 3		3	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 4	177 799	Produksjon år 4		4	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 5	177 799	Produksjon år 5		5	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 6	177 799	Produksjon år 6		6	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 7	177 799	Produksjon år 7		7	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 8	177 799	Produksjon år 8		8	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 9	177 799	Produksjon år 9		9	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 10	177 799	Produksjon år 10		10	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 11	177 799	Produksjon år 11		11	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 12	177 799	Produksjon år 12		12	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 13	177 799	Produksjon år 13		13	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 14	177 799	Produksjon år 14		14	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 15	177 799	Produksjon år 15		15	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 16	177 799	Produksjon år 16		16	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 17	177 799	Produksjon år 17		17	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 18	177 799	Produksjon år 18		18	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 19	177 799	Produksjon år 19		19	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 20	177 799	Produksjon år 20		20	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 21	177 799	Produksjon år 21		21	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 22	177 799	Produksjon år 22		22	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 23	177 799	Produksjon år 23		23	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 24	177 799	Produksjon år 24		24	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 25	177 799	Produksjon år 25		25	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 26	177 799	Produksjon år 26		26	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 27	177 799	Produksjon år 27		27	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 28	177 799	Produksjon år 28		28	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 29	177 799	Produksjon år 29		29	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Produksjon år 30	177 799	Produksjon år 30		30	177 799	1 546 300	kr	0,90	kr	160 019	kr	0,90	kr	248 933	kr	0,90	kr	337 818	kr
Totalt	5 108 310	Totalt	5 108 310	Totalt	5 108 310	1 623 633	kr	0,90	kr	4 974 479	kr	0,90	kr	7 351 633	kr	0,90	kr	9 795 788	kr

Del 2

RESULTAT	
Denne tar hensyn til tapsfaktor i produksjonen, og CAPEX og OPEX diskontert.	
LOOE	kr 0,50
20 år	kr 0,41
25 år	kr 0,35
30 år	kr 0,35
Tilbakebetalingstid	
CAPEX / Første års produksjon / forventet strømpris	
Pris en forventer å få for salg/bruk av produsert energi	
Energipris	
kr 0,90	9,7 år
kr 1,40	6,2 år
kr 1,90	4,6 år
NPV, Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 0,90
3 %	kr 1 477 205
4 %	kr 1 126 600
5 %	kr 834 559
6 %	kr 589 566
NPV, Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 1,40
3 %	kr 3 156 929
4 %	kr 2 611 544
5 %	kr 2 157 259
6 %	kr 1 776 158
NPV, Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 1,90
3 %	kr 4 836 654
4 %	kr 4 096 488
5 %	kr 3 479 959
6 %	kr 2 962 750
Utregningene tar hensyn til tapsfaktor for solceller. At man bytter inverter etter 15 år. I tillegg tas det hensyn til en diskonteringsrente på 4%.	

Del 4

RESULTAT	
Denne tar hensyn til tapsfaktor i produksjonen, og CAPEX og OPEX diskontert.	
LOE med NPV	kr 0,59
20 år	kr 0,49
25 år	kr 0,43
30 år	kr 0,43
Tilbakebetalingstid	
CAPEX / Første års produksjon* forventet strømpris	
Pris en forventer å få for salg/bruk av produsert energi	
Energipris	
kr 0,90	9,8 år
kr 1,40	6,3 år
kr 1,90	4,6 år
NPV. Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 0,90
3%	kr 47 252
4%	kr 36 074
5%	kr 26 773
6%	kr 18 980
7%	kr 12 404
8%	kr 6 816
NPV. Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 1,40
3%	kr 100 252
4%	kr 82 864
5%	kr 68 397
6%	kr 56 274
7%	kr 46 045
8%	kr 37 353
NPV. Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 1,90
3%	kr 153 253
4%	kr 129 655
5%	kr 110 021
6%	kr 93 569
7%	kr 79 686
8%	kr 67 890
Utrekningene tar hensyn til tapsfaktor for solfangere. I tillegg tas det hensyn til en diskonteringsrente på 4%.	

Del 2

RESULTAT	
Denne tar hensyn til tapsfaktor i produksjonen, og CAPEX og OPEX diskontert.	
LCOE	
20 år	kr 0,56
25 år	kr 0,47
30 år	kr 0,40
Tilbakebetalingstid	
CAPEX / første års produksjon * forrentet strømpris	
Pris en forventer å få for salg/bruk av produsert energi	
Energipris	
kr 0,90	10,1 år
kr 1,40	6,5 år
kr 1,90	4,8 år
NPV. Strømpris ->	
kr 0,90	
Diskonteringsrente	
3 %	kr 3 280 999
4 %	kr 2 464 121
5 %	kr 1 783 693
6 %	kr 1 212 879
NPV. Strømpris ->	
kr 1,40	
Diskonteringsrente	
3 %	kr 7 194 610
4 %	kr 5 923 910
5 %	kr 4 865 466
6 %	kr 3 977 535
NPV. Strømpris ->	
kr 1,90	
Diskonteringsrente	
3 %	kr 11 108 220
4 %	kr 9 383 700
5 %	kr 7 947 240
6 %	kr 6 742 190
Utregningene tar hensyn til tapsfaktor for solceller. At man bytter inverter etter 15 år. I tillegg tas det hensyn til en diskonteringsrente på 4%.	

Del 4

RESULTAT	
Denne tar hensyn til tapsfaktor i produksjonen, og CAPEX og OPEX diskontert.	
LCOE med NPV	
20 år	kr 0,56
25 år	kr 0,47
30 år	kr 0,41
Tilbakebetalingstid	
CAPEX / Første års produksjon forventet strømpris	
Pris en forventer å få for salg/bruk av produsert energi	
Energipris	
kr 0,90	9,3 år
kr 1,40	6,0 år
kr 1,90	4,4 år
NPV, Strømpris ->	kr 0,90
Diskonteringsrente	
3 %	kr 397 728
4 %	kr 307 921
5 %	kr 233 198
6 %	kr 170 584
7 %	kr 117 749
8 %	kr 72 859
NPV, Strømpris ->	kr 1,40
Diskonteringsrente	
3 %	kr 823 555
4 %	kr 683 854
5 %	kr 567 619
6 %	kr 470 220
7 %	kr 388 031
8 %	kr 318 202
NPV, Strømpris ->	kr 1,90
Diskonteringsrente	
3 %	kr 1 249 382
4 %	kr 1 059 788
5 %	kr 902 041
6 %	kr 769 855
7 %	kr 658 314
8 %	kr 563 546
Utregningene tar hensyn til tapsfaktor for solfangere. I tillegg tas det hensyn til en diskonteringsrente på 4%.	

A22 Bømlo rådhus

Del 1

Solceller/legg Bømlo rådhus		Investeringer		Driftkostnader		Inntekter		Nettoinntekt		Strømpris		Strømpris		Strømpris	
År	Engangsproduksjon (kWh)	Investering (CAPEX) etter 25 år	Driftkostnader (OPEX) etter 25 år	DAV (kWh)	Nettoinntekt (kWh)	Strømpris (kr/kWh)	Strømpris (kr/kWh)	Strømpris (%)	Strømpris (kr/kWh)	Strømpris (%)	Strømpris (kr/kWh)	Strømpris (%)	Strømpris (kr/kWh)	Strømpris (%)	Strømpris (kr/kWh)
0	0	861 700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	92 474	861 700	0	4 309	4 309	0,00	83 227	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	175 701
2	92 127	861 700	0	4 305	4 305	0,00	82 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	175 173
3	91 920	861 700	0	4 283	4 283	0,00	82 228	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	174 644
4	91 644	861 700	0	4 272	4 272	0,00	81 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	174 115
5	91 399	861 700	0	4 264	4 264	0,00	81 228	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	173 622
6	91 174	861 700	0	4 258	4 258	0,00	80 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	173 173
7	90 922	861 700	0	4 252	4 252	0,00	80 228	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	172 724
8	90 644	861 700	0	4 248	4 248	0,00	79 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	172 275
9	90 278	861 700	0	4 245	4 245	0,00	79 228	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	171 826
10	90 027	861 700	0	4 242	4 242	0,00	78 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	171 377
11	89 777	861 700	0	4 238	4 238	0,00	78 228	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	170 928
12	89 488	861 700	0	4 235	4 235	0,00	77 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	170 479
13	89 222	861 700	0	4 232	4 232	0,00	77 228	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	170 030
14	88 922	861 700	0	4 228	4 228	0,00	76 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	169 581
15	88 625	861 700	0	4 225	4 225	0,00	76 228	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	169 132
16	88 334	861 700	0	4 222	4 222	0,00	75 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	168 683
17	88 134	861 700	0	4 218	4 218	0,00	75 228	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	168 234
18	87 899	861 700	0	4 215	4 215	0,00	74 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	167 785
19	87 696	861 700	0	4 212	4 212	0,00	74 228	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	167 336
20	87 488	861 700	0	4 208	4 208	0,00	73 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	166 887
21	87 222	861 700	0	4 205	4 205	0,00	73 228	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	166 438
22	86 922	861 700	0	4 202	4 202	0,00	72 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	165 989
23	86 620	861 700	0	4 198	4 198	0,00	72 228	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	165 540
24	86 300	861 700	0	4 195	4 195	0,00	71 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	165 091
25	86 041	861 700	0	4 192	4 192	0,00	71 228	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	164 642
26	85 782	861 700	0	4 188	4 188	0,00	70 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	164 193
27	85 525	861 700	0	4 185	4 185	0,00	70 228	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	163 744
28	85 222	861 700	0	4 182	4 182	0,00	69 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	163 295
29	84 922	861 700	0	4 178	4 178	0,00	69 228	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	162 846
30	84 728	861 700	0	4 175	4 175	0,00	68 728	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	162 397
Totalt	4 654 893	861 700	0	174 785	174 785	0,00	2 391 148	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,40	1,40	5 048 021

Del 2

RESULTAT	
Denne tar hensyn til tapsfaktor i produksjonen, og CAPEX og OPEX diskontert.	
LCOE	
20 år	kr 0,54
25 år	kr 0,44
30 år	kr 0,38
Tilbakebetalingstid	
CAPEX / Første års produksjon * forventet strømpris	
Pris en forventer å få for salg/bruk av produsert energi	
Energipris	
kr 0,90	10,4 år
kr 1,40	6,7 år
kr 1,90	4,9 år
NPV, Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 0,90
3 %	kr 710 837
4 %	kr 528 486
5 %	kr 376 595
6 %	kr 249 173
NPV, Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 1,40
3 %	kr 1 584 469
4 %	kr 1 300 812
5 %	kr 1 064 536
6 %	kr 866 324
NPV, Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 1,90
3 %	kr 2 458 101
4 %	kr 2 073 138
5 %	kr 1 752 478
6 %	kr 1 483 476
Utregningene tar hensyn til tapsfaktor for solceller. At man bytter inverter etter 15 år. I tillegg tas det hensyn til en diskonteringsrente på 4%.	

Utnyttelse av solenergi på Bømlo kommune sin bygningsmasse

Del 3

Solfangeranlegg Bømlo Rådhus		Energibehovet solfangeranlegg (kWh/m² år)		517,15	
Anlegg inputs		Førløring			
Avkastingsrenten (m ²)	11,0	Midlertidige investeringer			
Produksjon første år (kWh)	6 154	Produksjon første år (kWh)	6 154	kr	1 071
Landfaktor	0,10 %	Midlertidige investeringer	6 154	kr	1 092
Kontanter input	kr 4 500,00	Produksjon første år (kWh)	6 137	kr	1 137
Incentiver	kr 1 071,20	Produksjon første år (kWh)	6 139	kr	1 159
Nett kostnad	kr 3 428,80	Produksjon første år (kWh)	6 132	kr	1 182
DKP, Råttvik, IS)	kr 1 071,20	Produksjon første år (kWh)	6 111	kr	1 205
	kr 28,80	Produksjon første år (kWh)	6 145	kr	1 245
Strømpris, linet	kr 0,90	Produksjon første år (kWh)	6 099	kr	1 289
Pris, (kr/kWh)	kr 1,40	Produksjon første år (kWh)	6 092	kr	1 306
Prisklasse for år	kr 1,90	Produksjon første år (kWh)	6 086	kr	1 332
	0,00 %	Produksjon første år (kWh)	6 074	kr	1 358
		Produksjon første år (kWh)	6 088	kr	1 413
		Produksjon første år (kWh)	6 082	kr	1 441
		Produksjon første år (kWh)	6 076	kr	1 470
		Produksjon første år (kWh)	6 070	kr	1 500
		Produksjon første år (kWh)	6 064	kr	1 530
		Produksjon første år (kWh)	6 058	kr	1 560
		Produksjon første år (kWh)	6 052	kr	1 591
		Produksjon første år (kWh)	6 046	kr	1 623
		Produksjon første år (kWh)	6 040	kr	1 656
		Produksjon første år (kWh)	6 034	kr	1 689
		Produksjon første år (kWh)	6 028	kr	1 723
		Produksjon første år (kWh)	6 022	kr	1 757
		Produksjon første år (kWh)	6 016	kr	1 792
		Produksjon første år (kWh)	6 010	kr	1 828
		Produksjon første år (kWh)	6 004	kr	1 864
		Produksjon første år (kWh)	6 000	kr	1 900
		Produksjon første år (kWh)	5 996	kr	1 936
		Produksjon første år (kWh)	5 992	kr	1 972
		Produksjon første år (kWh)	5 988	kr	2 008
		Produksjon første år (kWh)	5 984	kr	2 044
		Produksjon første år (kWh)	5 980	kr	2 080
		Produksjon første år (kWh)	5 976	kr	2 116
		Produksjon første år (kWh)	5 972	kr	2 152
		Produksjon første år (kWh)	5 968	kr	2 188
		Produksjon første år (kWh)	5 964	kr	2 224
		Produksjon første år (kWh)	5 960	kr	2 260
		Produksjon første år (kWh)	5 956	kr	2 296
		Produksjon første år (kWh)	5 952	kr	2 332
		Produksjon første år (kWh)	5 948	kr	2 368
		Produksjon første år (kWh)	5 944	kr	2 404
		Produksjon første år (kWh)	5 940	kr	2 440
		Produksjon første år (kWh)	5 936	kr	2 476
		Produksjon første år (kWh)	5 932	kr	2 512
		Produksjon første år (kWh)	5 928	kr	2 548
		Produksjon første år (kWh)	5 924	kr	2 584
		Produksjon første år (kWh)	5 920	kr	2 620
		Produksjon første år (kWh)	5 916	kr	2 656
		Produksjon første år (kWh)	5 912	kr	2 692
		Produksjon første år (kWh)	5 908	kr	2 728
		Produksjon første år (kWh)	5 904	kr	2 764
		Produksjon første år (kWh)	5 900	kr	2 800
		Produksjon første år (kWh)	5 896	kr	2 836
		Produksjon første år (kWh)	5 892	kr	2 872
		Produksjon første år (kWh)	5 888	kr	2 908
		Produksjon første år (kWh)	5 884	kr	2 944
		Produksjon første år (kWh)	5 880	kr	2 980
		Produksjon første år (kWh)	5 876	kr	3 016
		Produksjon første år (kWh)	5 872	kr	3 052
		Produksjon første år (kWh)	5 868	kr	3 088
		Produksjon første år (kWh)	5 864	kr	3 124
		Produksjon første år (kWh)	5 860	kr	3 160
		Produksjon første år (kWh)	5 856	kr	3 196
		Produksjon første år (kWh)	5 852	kr	3 232
		Produksjon første år (kWh)	5 848	kr	3 268
		Produksjon første år (kWh)	5 844	kr	3 304
		Produksjon første år (kWh)	5 840	kr	3 340
		Produksjon første år (kWh)	5 836	kr	3 376
		Produksjon første år (kWh)	5 832	kr	3 412
		Produksjon første år (kWh)	5 828	kr	3 448
		Produksjon første år (kWh)	5 824	kr	3 484
		Produksjon første år (kWh)	5 820	kr	3 520
		Produksjon første år (kWh)	5 816	kr	3 556
		Produksjon første år (kWh)	5 812	kr	3 592
		Produksjon første år (kWh)	5 808	kr	3 628
		Produksjon første år (kWh)	5 804	kr	3 664
		Produksjon første år (kWh)	5 800	kr	3 700
		Produksjon første år (kWh)	5 796	kr	3 736
		Produksjon første år (kWh)	5 792	kr	3 772
		Produksjon første år (kWh)	5 788	kr	3 808
		Produksjon første år (kWh)	5 784	kr	3 844
		Produksjon første år (kWh)	5 780	kr	3 880
		Produksjon første år (kWh)	5 776	kr	3 916
		Produksjon første år (kWh)	5 772	kr	3 952
		Produksjon første år (kWh)	5 768	kr	3 988
		Produksjon første år (kWh)	5 764	kr	4 024
		Produksjon første år (kWh)	5 760	kr	4 060
		Produksjon første år (kWh)	5 756	kr	4 096
		Produksjon første år (kWh)	5 752	kr	4 132
		Produksjon første år (kWh)	5 748	kr	4 168
		Produksjon første år (kWh)	5 744	kr	4 204
		Produksjon første år (kWh)	5 740	kr	4 240
		Produksjon første år (kWh)	5 736	kr	4 276
		Produksjon første år (kWh)	5 732	kr	4 312
		Produksjon første år (kWh)	5 728	kr	4 348
		Produksjon første år (kWh)	5 724	kr	4 384
		Produksjon første år (kWh)	5 720	kr	4 420
		Produksjon første år (kWh)	5 716	kr	4 456
		Produksjon første år (kWh)	5 712	kr	4 492
		Produksjon første år (kWh)	5 708	kr	4 528
		Produksjon første år (kWh)	5 704	kr	4 564
		Produksjon første år (kWh)	5 700	kr	4 600
		Produksjon første år (kWh)	5 696	kr	4 636
		Produksjon første år (kWh)	5 692	kr	4 672
		Produksjon første år (kWh)	5 688	kr	4 708
		Produksjon første år (kWh)	5 684	kr	4 744
		Produksjon første år (kWh)	5 680	kr	4 780
		Produksjon første år (kWh)	5 676	kr	4 816
		Produksjon første år (kWh)	5 672	kr	4 852
		Produksjon første år (kWh)	5 668	kr	4 888
		Produksjon første år (kWh)	5 664	kr	4 924
		Produksjon første år (kWh)	5 660	kr	4 960
		Produksjon første år (kWh)	5 656	kr	4 996
		Produksjon første år (kWh)	5 652	kr	5 032
		Produksjon første år (kWh)	5 648	kr	5 068
		Produksjon første år (kWh)	5 644	kr	5 104
		Produksjon første år (kWh)	5 640	kr	5 140
		Produksjon første år (kWh)	5 636	kr	5 176
		Produksjon første år (kWh)	5 632	kr	5 212
		Produksjon første år (kWh)	5 628	kr	5 248
		Produksjon første år (kWh)	5 624	kr	5 284
		Produksjon første år (kWh)	5 620	kr	5 320
		Produksjon første år (kWh)	5 616	kr	5 356
		Produksjon første år (kWh)	5 612	kr	5 392
		Produksjon første år (kWh)	5 608	kr	5 428
		Produksjon første år (kWh)	5 604	kr	5 464
		Produksjon første år (kWh)	5 600	kr	5 500
		Produksjon første år (kWh)	5 596	kr	5 536
		Produksjon første år (kWh)	5 592	kr	5 572
		Produksjon første år (kWh)	5 588	kr	5 608
		Produksjon første år (kWh)	5 584	kr	5 644
		Produksjon første år (kWh)	5 580	kr	5 680
		Produksjon første år (kWh)	5 576	kr	5 716
		Produksjon første år (kWh)	5 572	kr	5 752
		Produksjon første år (kWh)	5 568	kr	5 788
		Produksjon første år (kWh)	5 564	kr	5 824
		Produksjon første år (kWh)	5 560	kr	5 860
		Produksjon første år (kWh)	5 556	kr	5 896
		Produksjon første år (kWh)	5 552	kr	5 932
		Produksjon første år (kWh)	5 548	kr	5 968
		Produksjon første år (kWh)	5 544	kr	6 004
		Produksjon første år (kWh)	5 540	kr	6 040
		Produksjon første år (kWh)	5 536	kr	6 076
		Produksjon første år (kWh)	5 532	kr	6 112
		Produksjon første år (kWh)	5 528	kr	6 148
		Produksjon første år (kWh)	5 524	kr	6 184
		Produksjon første år (kWh)	5 520	kr	6 220
		Produksjon første år (kWh)	5 516	kr	6 256
		Produksjon første år (kWh)	5 512	kr	6 292
		Produksjon første år (kWh)	5 508	kr	6 328
		Produksjon første år (kWh)	5 504	kr	6 364
		Produksjon første år (kWh)	5 500	kr	6 400
		Produksjon første år (kWh)	5 496	kr	6 436
		Produksjon første år (kWh)	5 492	kr	6 472
		Produksjon første år (kWh)	5 488	kr	6 508
		Produksjon første år (kWh)	5 484	kr	6 544
		Produksjon første år (kWh)	5 480	kr	6 580
		Produksjon første år (kWh)	5 476	kr	6 616
		Produksjon første år (kWh)	5 472	kr	6 652
		Produksjon første år (kWh)	5 468	kr	6 688
		Produksjon første år (kWh)	5 464	kr	6 724
		Produksjon første år (kWh)	5 460	kr	6 760
		Produksjon første år (kWh)	5 456	kr	6 796
		Produksjon første år (kWh)	5 452	kr	6 832
		Produksjon første år (kWh)	5 448	kr	6 868
		Produksjon første år (kWh)	5 444	kr	6 904
		Produksjon første år (kWh)	5 440	kr	6 940
		Produksjon første år (kWh)	5 436	kr	6 976
		Produksjon første år (kWh)	5 432	kr	7 012
		Produksjon første år (kWh)	5 428	kr	7 048
		Produksjon første år (kWh)	5 424	kr	7 084
		Produksjon første år (kWh)	5 420	kr	7 120
		Produksjon første år (kWh)	5 416	kr	7 156
		Produksjon første år (kWh)	5 412	kr	7 192
		Produksjon første år (kWh)	5 408	kr	7 228
		Produksjon første år (kWh)	5 404	kr	7 264
		Produksjon første år (kWh)	5 400	kr	7 300
		Produksjon første år (kWh)	5 396	kr	7 336
		Produksjon første år (kWh)	5 392	kr	7 372
		Produksjon første år (kWh)	5 388	kr	7 408
		Produksjon første år (kWh)	5 384	kr	7 444
		Produksjon første år (kWh)	5 380	kr	7 480
		Produksjon første år (kWh)	5 376	kr	7 516
		Produksjon første år (kWh)	5 372	kr	7 552
		Produksjon første år (kWh)	5 368	kr	7 588
		Produksjon første år (kWh)	5 364	kr	7 624
		Produksjon første år (kWh)	5 360	kr	7 660
		Produksjon første år (kWh)	5 356	kr	7 696
		Produksjon første år (kWh)	5 352	kr	7 732
		Produksjon første år (kWh)	5 348	kr	7 768
		Produksjon første år (kWh)	5 344	kr	7 804
		Produksjon første år (kWh)	5 340	kr	7 840
		Produksjon første år (kWh)	5 336	kr	7 876
		Produksjon første år (kWh)	5 332	kr	7 912
		Produksjon første år (kWh)	5 328	kr	7 948
		Produksjon første år (kWh)	5 324	kr	7 984
		Produksjon første år (kWh)	5 320	kr	8 020
		Produksjon første år (kWh)	5 316	kr	8 056
		Produksjon første år (kWh)	5 312		

Del 4

RESULTAT	
Denne tar hensyn til tapsfaktor i produksjonen, og CAPEX og OPEX diskontert.	
LCOE med NPV	kr 0,58
20 år	kr 0,49
25 år	kr 0,42
30 år	
Tilbakebetalingstid	
CAPEX/ Første års produksjon*forventet strømpris Prisen forventer å få for salg/bruk av produsert energi	
Energipris	
kr 0,90	9,7 år
kr 1,40	6,2 år
kr 1,90	4,6 år
NPV, Strømpris ->	kr 0,90
Diskonteringsrente	
3 %	kr 53 679
4 %	kr 41 115
5 %	kr 30 662
6 %	kr 21 902
7 %	kr 14 511
8 %	kr 8 231
NPV, Strømpris ->	kr 1,40
Diskonteringsrente	
3 %	kr 113 250
4 %	kr 93 707
5 %	kr 77 446
6 %	kr 63 820
7 %	kr 52 322
8 %	kr 42 553
NPV, Strømpris ->	kr 1,90
Diskonteringsrente	
3 %	kr 172 822
4 %	kr 146 299
5 %	kr 124 230
6 %	kr 105 738
7 %	kr 90 134
8 %	kr 76 876
Utrekningene tar hensyn til tapsfaktor for solfangere. I tillegg tas det hensyn til en diskonteringsrente på 4%.	

A23 Bømlo symjehall

Del 1

År	Ennigproduksjon (MWh)	Investeringkostnad (CAPEX) + bytte av inverter etter 15 år	OMV-kostnad (kr)	Størrelstnad (kr)	Størrelstnad (kr/MWh)	Størrelstnad (%)	Størrelstnad (kr/MWh)	Størrelstnad (kr)
0	0	514 400	5 848	47 884	1,40	0,9%	1,40	101 299
1	53 315		5 848	47 884	1,40	0,9%	1,40	101 299
2	53 315		5 848	47 884	1,40	0,9%	1,40	101 299
3	52 996		5 768	47 696	1,40	0,9%	1,40	100 892
4	52 837		5 883	47 533	1,40	0,9%	1,40	100 890
5	52 678		6 001	47 410	1,40	0,9%	1,40	100 888
6	52 520		6 121	47 268	1,40	0,9%	1,40	99 788
7	52 362		6 243	47 126	1,40	0,9%	1,40	99 489
8	52 205		6 368	46 983	1,40	0,9%	1,40	99 190
9	52 049		6 496	46 841	1,40	0,9%	1,40	98 893
10	51 893		6 626	46 700	1,40	0,9%	1,40	98 598
11	51 738		6 758	46 560	1,40	0,9%	1,40	98 305
12	51 582		6 893	46 424	1,40	0,9%	1,40	98 015
13	51 427		7 031	46 284	1,40	0,9%	1,40	97 711
14	51 273		7 172	46 145	1,40	0,9%	1,40	97 418
15	51 119	38 808	7 315	46 007	1,40	0,9%	1,40	97 226
16	50 966		7 461	45 869	1,40	0,9%	1,40	96 835
17	50 813		7 611	45 731	1,40	0,9%	1,40	96 544
18	50 660		7 763	45 594	1,40	0,9%	1,40	96 254
19	50 508		7 918	45 457	1,40	0,9%	1,40	95 965
20	50 357		8 075	45 321	1,40	0,9%	1,40	95 677
21	50 206		8 234	45 186	1,40	0,9%	1,40	95 391
22	50 055		8 403	45 050	1,40	0,9%	1,40	95 105
23	49 905		8 574	44 914	1,40	0,9%	1,40	94 819
24	49 755		8 748	44 780	1,40	0,9%	1,40	94 535
25	49 606		8 927	44 645	1,40	0,9%	1,40	94 251
26	49 457		9 096	44 511	1,40	0,9%	1,40	93 968
27	49 309		9 277	44 378	1,40	0,9%	1,40	93 687
28	49 161		9 463	44 245	1,40	0,9%	1,40	93 405
29	49 013		9 652	44 112	1,40	0,9%	1,40	93 125
30	48 866		9 845	43 980	1,40	0,9%	1,40	92 846
Totalt	1 531 782	932 208	224 899	1 378 805	1,40	0,9%	1,40	97 210 888
NPV CAPEX og OPEX 20 år								
CAPEX	591 715	Investering ekskludert OPEX. Bytte etter 15 år er ikke inkludert i dette.						
OPEX	89 212	Dokument OPEX						
Produksjon	1 036 451	Ennigproduksjon over 20 år						
NPV CAPEX og OPEX 25 år								
CAPEX	591 715	Investering ekskludert OPEX. Bytte etter 15 år er ikke inkludert i dette.						
OPEX	106 606	Dokument OPEX						
Produksjon	1 285 977	Ennigproduksjon over 25 år						
NPV CAPEX og OPEX 30 år								
CAPEX	591 715	Investering ekskludert OPEX. Bytte etter 15 år er ikke inkludert i dette.						
OPEX	122 360	Dokument OPEX						
Produksjon	1 531 783	Ennigproduksjon over 30 år						

Del 2

RESULTAT	
Denne tar hensyn til tapsfaktor i produksjonen, og CAPEX og OPEX diskontert.	
LCOE	
20 år	kr 0,66
25 år	kr 0,54
30 år	kr 0,47
Tilbakebetalingstid	
CAPEX / Første års produksjon * forventet strømpris	
Energipris	Prisen forventer å få for salg/bruk av produsert energi
kr 0,90	11,6 år
kr 1,40	7,4 år
kr 1,90	5,5 år
NPV. Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 0,90
3 %	kr 352 231
4 %	kr 247 099
5 %	kr 159 527
6 %	kr 86 063
NPV. Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 1,40
3 %	kr 855 915
4 %	kr 692 376
5 %	kr 556 153
6 %	kr 441 876
NPV. Strømpris ->	
Diskonteringsrente	kr 1,90
3 %	kr 1 359 599
4 %	kr 1 137 653
5 %	kr 952 779
6 %	kr 797 689
Uregningene tar hensyn til tapsfaktor for solceller. At man bytter invester etter 15 år. ... i tillegg tas det hensyn til en diskonteringsrente på 4%.	

Utnyttelse av solenergi på Bømlo kommune sin bygningsmasse

Del 3

Solfangeranlegg Bømlo Symjehall		Energiutbytte solfangeranlegg (kWh/m ² år)	
Inputs i gul			485,96
Anlegg inputs	Førløsing		
Zonert areal (m ²)	192,2	Antall paneler i anlegget	
Produksjonsfaktorene (kWh/m ²)	92 273	Etter sommerperioden for første år	
Tipsdeltaker	0,13 %	Etter sommerperioden for første år	
		Etter sommerperioden for første år	
Kostnader input			
Inventar	kr 4 200 000	Kostnad for innlegg	
DKV kostnad	kr 16 161,60	DKV kostnad	
DKV skifting (%)	2,36 %	DKV skifting	
Størrelse input			
Pris (kr/kWh)	0,30	Pris for innlegg/år	
Pris (kr/kWh)	1,40	Pris for innlegg/år	
Pris (kr/kWh)	1,90	Pris for innlegg/år	
Pris (kr/kWh)	0,20	Pris for innlegg/år	
Diskontingsrente	4,36 %		
NPV 20 år			
CAPEX	kr 808 080	CAPEX	
OPEX	kr 260 067	OPEX	
Produksjon	kr 1 837 183	Produksjon	
NPV 25 år			
CAPEX	kr 808 080	CAPEX	
OPEX	kr 310 772	OPEX	
Produksjon	kr 2 250 764	Produksjon	
NPV 30 år			
CAPEX	kr 808 080	CAPEX	
OPEX	kr 356 886	OPEX	
Produksjon	kr 2 721 051	Produksjon	
Totalt	2 742 081	808 080	655 655

År	Energiproduksjon (kWh)	Investeringstilsvarende CO ₂ (kg)	DKV kostnad (kr)	Størrelse skifting (%)	Størrelse skifting (kr/kWh)	Størrelse skifting (kr)
0		808 080				
1	92 273		kr 16 162	0,30 %	kr 0,30	kr 33 487
2	92 642		kr 16 485	0,30 %	kr 0,30	kr 33 778
3	92 549		kr 16 415	0,30 %	kr 0,30	kr 33 285
4	92 457		kr 17 151	0,30 %	kr 0,30	kr 33 211
5	92 364		kr 17 884	0,30 %	kr 0,30	kr 33 138
6	92 272		kr 17 644	0,30 %	kr 0,30	kr 33 045
7	92 180		kr 18 201	0,30 %	kr 0,30	kr 32 962
8	92 088		kr 18 565	0,30 %	kr 0,30	kr 32 879
9	91 996		kr 18 936	0,30 %	kr 0,30	kr 32 796
10	91 904		kr 19 315	0,30 %	kr 0,30	kr 32 713
11	91 812		kr 19 701	0,30 %	kr 0,30	kr 32 631
12	91 720		kr 20 095	0,30 %	kr 0,30	kr 32 548
13	91 628		kr 20 497	0,30 %	kr 0,30	kr 32 465
14	91 537		kr 20 907	0,30 %	kr 0,30	kr 32 383
15	91 445		kr 21 325	0,30 %	kr 0,30	kr 32 300
16	91 354		kr 21 751	0,30 %	kr 0,30	kr 32 218
17	91 262		kr 22 186	0,30 %	kr 0,30	kr 32 136
18	91 171		kr 22 630	0,30 %	kr 0,30	kr 32 054
19	91 080		kr 23 083	0,30 %	kr 0,30	kr 31 972
20	90 989		kr 23 544	0,30 %	kr 0,30	kr 31 890
21	90 898		kr 24 015	0,30 %	kr 0,30	kr 31 808
22	90 807		kr 24 496	0,30 %	kr 0,30	kr 31 726
23	90 716		kr 24 988	0,30 %	kr 0,30	kr 31 644
24	90 625		kr 25 485	0,30 %	kr 0,30	kr 31 562
25	90 535		kr 25 995	0,30 %	kr 0,30	kr 31 481
26	90 444		kr 26 513	0,30 %	kr 0,30	kr 31 400
27	90 354		kr 27 040	0,30 %	kr 0,30	kr 31 319
28	90 263		kr 27 576	0,30 %	kr 0,30	kr 31 238
29	90 173		kr 28 121	0,30 %	kr 0,30	kr 31 157
30	90 083		kr 28 700	0,30 %	kr 0,30	kr 31 075
Totalt	2 742 081	808 080	kr 655 655			kr 2 462 873

År	Størrelse skifting (%)	Størrelse skifting (kr)
1	0,30 %	kr 33 487
2	0,30 %	kr 33 778
3	0,30 %	kr 33 285
4	0,30 %	kr 33 211
5	0,30 %	kr 33 138
6	0,30 %	kr 33 045
7	0,30 %	kr 32 962
8	0,30 %	kr 32 879
9	0,30 %	kr 32 796
10	0,30 %	kr 32 713
11	0,30 %	kr 32 631
12	0,30 %	kr 32 548
13	0,30 %	kr 32 465
14	0,30 %	kr 32 383
15	0,30 %	kr 32 300
16	0,30 %	kr 32 218
17	0,30 %	kr 32 136
18	0,30 %	kr 32 054
19	0,30 %	kr 31 972
20	0,30 %	kr 31 890
21	0,30 %	kr 31 808
22	0,30 %	kr 31 726
23	0,30 %	kr 31 644
24	0,30 %	kr 31 562
25	0,30 %	kr 31 481
26	0,30 %	kr 31 400
27	0,30 %	kr 31 319
28	0,30 %	kr 31 238
29	0,30 %	kr 31 157
30	0,30 %	kr 31 075
Totalt		kr 2 462 873

År	Størrelse skifting (%)	Størrelse skifting (kr)
1	0,30 %	kr 129 828
2	0,30 %	kr 129 699
3	0,30 %	kr 129 669
4	0,30 %	kr 129 640
5	0,30 %	kr 129 610
6	0,30 %	kr 129 581
7	0,30 %	kr 129 552
8	0,30 %	kr 129 523
9	0,30 %	kr 129 494
10	0,30 %	kr 129 465
11	0,30 %	kr 129 436
12	0,30 %	kr 129 407
13	0,30 %	kr 129 378
14	0,30 %	kr 129 349
15	0,30 %	kr 129 320
16	0,30 %	kr 129 291
17	0,30 %	kr 129 262
18	0,30 %	kr 129 233
19	0,30 %	kr 129 204
20	0,30 %	kr 129 175
21	0,30 %	kr 129 146
22	0,30 %	kr 129 117
23	0,30 %	kr 129 088
24	0,30 %	kr 129 059
25	0,30 %	kr 129 030
26	0,30 %	kr 129 001
27	0,30 %	kr 128 972
28	0,30 %	kr 128 943
29	0,30 %	kr 128 914
30	0,30 %	kr 128 885
Totalt		kr 3 838 913

Del 4

RESULTAT	
Denne tar hensyn til tapfaktor i produksjonen, og CAPEX og OPEX diskontert.	
LCOE med NPV	
20 år	kr 0,58
25 år	kr 0,49
30 år	kr 0,42
Tilbakebetalingstid	
CAPEX / Første års produksjon* forventet strømpris	
Pris en forventer å få for salg/bruk av produsert energi	
Energi pris	
kr 0,90	9,7 år
kr 1,40	6,2 år
kr 1,90	4,6 år
NPV, Strømpris ->	kr 0,90
Diskonteringsrente	
3 %	kr 807 827
4 %	kr 618 495
5 %	kr 460 965
6 %	kr 328 963
7 %	kr 217 575
8 %	kr 122 938
NPV, Strømpris ->	kr 1,40
Diskonteringsrente	
3 %	kr 1 705 554
4 %	kr 1 411 037
5 %	kr 1 165 991
6 %	kr 960 653
7 %	kr 787 383
8 %	kr 640 170
NPV, Strømpris ->	kr 1,90
Diskonteringsrente	
3 %	kr 2 603 280
4 %	kr 2 203 578
5 %	kr 1 871 016
6 %	kr 1 592 343
7 %	kr 1 357 192
8 %	kr 1 157 403

Utregningene tar hensyn til tapfaktor for solfangere. I tillegg tas det hensyn til en diskonteringsrente på 4%.

Rangeringsberegning

Beregningen av scoringsystem og rangering av bygg ble gjort i dataprogrammet Microsoft Excel. Dette illustreres i Vedlegg A24.

A24 Rangeringsberegning

Rangering 1-7 der 7 er best										
Kriterier	Bremnes ungdomsskule	Meling skule	Moster skule	Svortland skule	Bømlo bus- og helsesenter	Bømlo rådhus	Bømlo synehall	Vekt	Score	Rangering
Nåverdi	6	5	3	4	4	7	1	25 %	5,60	1
LCOE	7	5	2	6	6	3	4	25 %	5,25	2
Investeringstid	4	2	3	5	5	1	7	25 %	4,05	3
Tilbakebetalingstid	7	5	1	6	6	4	2	15 %	4,00	4
Drift og vedlikeholdkost.	5	3	4	6	6	1	7	10 %	3,45	5
Sum	38	4,05	2,85	8,25	3,45	3,45	4			
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									
2,1 %	97,9 %									
3,0 %	97,0 %									
8,6 %	90,4 %									
6,2 %	93,8 %									
63,5 %	36,5 %									
Soifanger % av totalprod.										
1,0 %	98,0 %									
1,8 %	96,2 %									

