

Energiforsyning til sykehus i Sudan basert på solenergi

Camilla Bakken Torp

Master i energi og miljø

Oppgaven levert: Juni 2008

Hovedveileder: Per Finden, ELKRAFT

Biveileder(e): Øystein Ulleberg, Institutt for energiteknikk

Oppgavetekst

Normeca as er et norsk selskap som i 2007 bygget et modulbasert sykehus til Sudan. Normeca arbeider nå videre med tilbud på ytterligere leveranser av flere sykehus. Sykehusene er i dag basert på energiforsyning fra aggregater drevet med fossilt brensel (diesel), men de arbeider med planer om i fremtiden å kunne levere sykehus med teknologi som i størst mulig grad bruker fornybar energi.

Oppgaven består i å gjennomføre en analyse av ulike konsept som belyser hvordan solenergi konkret kan dekke energibehovet til varmt tappevann, oppvarming, kjøling, og elektrisitet til utstyr og belysning. Det skal legges vekt på hvordan man på en optimal måte kan fase inn solenergi for å dekke disse energibehovene. Kjøling ved hjelp av absorpsjonskjølere drevet på varme fra termiske solfangere skal være i fokus. Oppgaven skal utføres ved å modellere systemene og bruke simuleringsverktøy for optimalisering. I tillegg skal det gjøres beregninger av kostnader knyttet til de ulike alternative løsninger.

Oppgaven gitt: 04. februar 2008

Hovedveileder: Per Finden, ELKRAFT



Rapportnummer

Gradering

POSTADRESSE

NTNU
INSTITUTT FOR ENERGI OG
PROSESSTEKNIKK
Kolbjørn Hejes vei 1A
N-7491 Trondheim - NTNU

TELEFONER

Sentralbord NTNU: 73 59 40 00
Instituttkontor: 73 59 27 00
Vannkraftlaboratoriet: 73 59 38 57

TELEFAX

Instituttkontor: 73 59 83 90
Vannkraftlaboratoriet: 73 59 38 54

Rapportens tittel Energiforsyning til sykehus i Sudan basert på solenergi	Dato 25. juni. 2008
	Antall sider og bilag 80 sider + 6 vedlegg
Saksbehandler / forfatter Camilla Bakken Torp	Ansv. sign.
Avdeling Varme- og energiprosesser	Prosjektnummer
ISBN nr.	Prisgruppe

Oppdragsgiver	Oppdragsgivers ref.
---------------	---------------------

Ekstrakt

	Stikkord på norsk	Indexing Terms English
Gruppe 1	Solfangere	Solar Collector
Gruppe 2	Absorpsjonskjøling	Absorption cooling
Egenvalgte stikkord		

Forord

Denne masteroppgaven er gjennomført ved Institutt for Energiteknikk på Kjeller (IFE) i samarbeid med Normeca A/S, våren 2008. Masteroppgaven er avsluttende oppgave av masterstudie i Energi og miljø ved Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet (NTNU).

Oppgaven ser på energiforsyningssystemer til feltsykehus i deler av verden der det er høy temperatur og høy solinnstråling. Målet med oppgaven er å vurdere om energisystemer basert på solenergi vil være fornuftig med tanke på reduksjon av dieselforbruk og miljøutslipp, og samtidig være økonomisk forsvarlig. Utgangspunktet for oppgaven er et ønske fra Normeca A/S om å redusere dieselforbruket i sine feltsykehus ved å ta i bruk energisystemer basert på solenergi.

Jeg vil benytte anledningen til å takke min veileder Per Finden, ved Institutt for energiteknikk for gode råd og tips underveis og Jørn Øwre i Normeca for svar på spørsmål og informasjon underveis. Jeg vil også takke medstudent Marte Gammelsæter for mini -brukerstøtte i Trnsys.

Sammendrag

Denne masteroppgaven er gjennomført ved Institutt for Energiteknikk på Kjeller (IFE) i samarbeid med Normeca A/S, våren 2008. Masteroppgaven er avsluttende oppgave av masterstudie i Energi og miljø ved Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgaven er skrevet av student Camilla Bakken Torp, og tittelen på oppgaven er ”Energiforsyning til sykehus i Sudan basert på solenergi”.

Rapporten tar for seg ulike energisystemer basert på solenergi til bruk i feltsykehus i deler av verden med høy temperatur og stor tilgang på sol. Sykehusene har høyt kjølebehov, ingen muligheter for tilknytning til elektrisitetsnett og er ofte plassert uten for sentrale veinett. Utgangspunktet for oppgaven er en forespørsel fra Normeca AS, en leverandør av feltsykehus, til Institutt for energiteknikk (IFE) om å se på energiforsyningssystemet til deres prefabrikkerte mobile feltsykehus. Ettersom sykehusene har stor tilgang på sol er det ønskelig å ta i bruk energisystemer drevet på solenergi. Det høye kjølebehov i kombinasjon med den gode sol tilgangen gjør det ekstra interessant å se på kjølesystemer drevet med solenergi. Energiforsyningen er i dag basert på strømproduserende diesellaggregater.

Ved hjelp av et modelleringsprogram skal ulike alternative energiforsyningssystemer, i hovedsak basert på solenergi, modelleres. Simuleringer og lønnsomhetsanalyser skal gjøres for å finne kunne anbefale et mulig solenergi basert energisystem for sykehusene.

Første del av rapporten er en teoridel som beskriver solenergisystemene som skal brukes, samt dataverktøy og metoder for lønnsomhet.

En termisk solfanger er en enhet som tar imot innstrålt solenergi og konverterer det til varme. Varmen avvis til et varmelager via en varmebærende krets. Varmelageret lagrer varmen til den trengs på forbruksstedet. De finnes i hovedsak tre typer termiske solfangere; plane væskesolfangere, vakuum solfangere og konsentrerende solfangere. For energisystemet i oppgaven er det valgt å bruke vakuumsolfangere som gir høy temperatur og god virkningsgrad til en fornuftig pris, samtidig som den kan monteres som en integrert del av en bygning. Solenergi produsert med termiske solfangere og som brukes til å produsere kjøling i absorpsjonskjølere har fokus i oppgaven.

En absorpsjonskjølemaskin er en innretning som bruker varme til å produsere kjøling. Grunnprinsippet er det samme som for en vanlig kompresjonsmaskin (for eksempel en luft – luft kjølepumpe) som bruker en væskes evne til å kondensere og fordampe ved ulik temperatur bestemt av metningstrykket til å flytte varme fra et sted til et annet. I stedet for å bruke mye elektrisk energi i en kompressor til å heve trykket på den fordampede væsken, bruker absorpsjonskjølemaskinen drivkraften fra en kjemisk reaksjon mellom to medier som gjør at det ene mediet absorberer det andre, og en væskepumpe til å øke trykket. Varmen som er drivkraften i syklusen, brukes til igjen å fordampe det ene mediet ut av det andre slik at syklusen fortsetter. Varme produsert av termiske solfangere kan brukes som drivkraft i prosessen.

En solcelle er en enhet kan gjøre om sollys direkte til elektrisk energi. Det er ikke lagt spesielt fokus på beskrivelse av solcelleteknologien i oppgaven ettersom det er solfangerne og absorpsjonskjøleren som har hovedfokus.

Modelleringsprogrammet som brukes er Trnsys, et fleksibelt simuleringsverktøy brukt til å gjøre dynamiske simuleringer av ulike energisystemer. Programmet baserer seg på at brukeren lager modeller av energisystemene ut fra alle komponentene systemet skal bestå av. Det finnes over 400 tilgjengelige komponenter tilgjengelig for å beskrive systemene. Modellene brukes til å gjøre simuleringer på energi produsert og forbrukt og inneholder klimadata for å teste systemene over hele verden.

Lønnsomheten til de ulike energiforsyningssystemene er vurdert ut fra en sammenlikning av systemenes årskostnad. Årskostnadene er beregnet med årskostnadsmetoden som går ut på å regne sammen alle de forventede inntekten og utgiftene til energisystemet til like store årlige beløp. Beregningene tar utgangspunkt i en kalkulasjonsrente på 4,5 % og en levetid på systemene på 20 år. Driftskostnadene kostnader til innkjøp av diesel, med en dieselpriis oppgitt fra Normeca på 6,43 kr/L eks. mva. For å se på en fremtidig mulig økning i dieselpriis er det og gjort lønnsomhetsvurderinger med en dieselpriis på 10,0 kr/L.

Normeca signerte i september 2006 en avtale med myndighetene i Sør- Sudan og helsedepartementet om byggingen av 10 semi - permanente statlige sykehus i Sør-Sudan inkludert totalt 50 mobile klinikker og 2 flyende sykehus for Nilen. Det første sykehuset, Katiko Referral Hospital, er levert til en by som heter Kapoeta sørøst i Sør-Sudan. Dette sykehuset består av 150 containere og i tillegg 160 containere til boliger for de ansatte. For utviklingen av det soldrevne energisystemet er Normeca interessert i å se på en mindre enhet som kan leveres alene eller kobles sammen som flere enheter til et sykehus av samme størrelse som Katiko Referral Hospital. Denne mindre enheten er designet av Normeca og kalt en Satellittklinik. Satellittklinikken består av 22 containere og har et totalt areal på 406 m². Den skal inneholde alt av nødvendige fasiliteter for å kunne

fungere som et komplett helsetilbud på mindre steder. For modellering og utvikling av modeller for energisystem i oppgaven, er det tatt utgangspunkt i Satellittklinikken som bygning og informasjon om dagens energisystem og lokasjon fra Katiko Referral Hospital.

Dagens energisystem er basert på strømproduserende dieselaggregater. Elektrisk energi brukes til å dekke alt energibehov til utstyr, belysning, oppvarming av varmtvann og kjøling. Bygget har ikke noe romoppvarmingsbehov. Kjølingen produseres med luftkondisjoneringsanlegg plassert på hvert rom, og varmtvann oppvarmes med elektriske varmeelementer ved tappepunktet. Dieselen transporteres totalt 1 600 km før den kan brukes i aggregatene.

En estimering av solenergi lokalt over året i Kapoeta ved hjelp av NASA klimadata gir årlig innfallende stråling på horisontal flate på 2 014 kWh, til sammenlikning har Norge ca. 1 000 kWh/år. Dette tyder på gode muligheter for bruk av energisystemer basert på solenergi.

For å kunne utvikle et energisystem for Satellittklinikken var det behov for å vite noe om energibruken i bygningen. Det ideelle hadde vært å ha tilgang på lastkurver for elektrisitetsbruk til alle energikrevende komponenter i bygningen, men siden Satellittklinikken kun foreløpig er på tegnebrettet og Katiko Referral Hospital er betydelig større og heller ikke har noe oversikt over forbruket, er det gjort manuelle estimeringer av energibehovet basert på standard verdier. Standardverdiene er hentet fra Norsk Standard for sykehus og tilpasset forholdene så godt som mulig etter Katiko Referral Hospital. Informasjon i selve bygningskonstruksjonen er oppgitt fra Normeca. Beregninger er gjort i Excel ved hjelp av likninger for energibruk i bygninger. Det er i beregningene tatt utgangspunkt i gjennomsnittlige månedlige verdier for solinnstråling og utetemperaturer for Kapoeta. Årlig energibehov til Satellittklinikken er estimert til 83 903 kWh. Ved hjelp av resultatene fra den manuelle estimeringen, og verdier for brukstid er det laget lastprofiler for forbruket som beskriver effekt per kvadratmeter i løpet av en dag.

Ettersom energisystemet som skal modelleres skal bruke solenergi som gir produksjon av energi på bestemte tider av døgnet, er det nødvendig å vite når energien forbrukes. For å modellere dette er det laget en modell i Trnsys som brukes som utgangspunkt for energiforsyningsmodellene og som beskriver de ulike energibehovene i Satellittklinikken time for time over året. Denne modellen er kalt Lastmodellen, og den baserer seg på lastprofilene laget fra den manuelle estimeringen og standard verdiene. Trnsys inneholder ikke klimadata for Kapoeta, så klimadata for nærmeste sted, Kisangani i Demokratiske Republik Kongo, er blitt brukt i stedet. Kisangani har lavere gjennomsnittstemperatur og solinnstråling enn Kapoeta. Energibehovet estimert med Lastmodellen er 89 377 kWh/år. Verdien er høyere på grunn av en økning i kjølebehovet på grunn av at time for time verdiene for solinnstråling i kombinasjon med høye temperaturer gir mye større utslag enn gjennomsnittsverdiene.

Før det ses på muligheter for bruk av energisystemer basert på fornybar energi er det viktig å redusere energiforbruket til et minimum for å spare investeringskostnader og unødvendig bruk av komponenter (brukes mye energi for å lage komponentene). Det er gitt forslag til en rekke energisparende tiltak som kan brukes i Satellittklinikken, men ettersom det er så lite informasjon tilgjengelig om utstørsbruken og flere usikkerheter i lastbruken er det ikke kjørt simuleringer på flere enn et av tiltakene. Tiltaket som er testet gikk ut å orientere Satellittklinikken slik at kortsidene på bygningen vendte mot vest og øst, som har størst solinnstråling, og at det kun er vinduer på langsiden. Målet var å redusere solinnstråling gjennom vinduene som gir økt kjølebehov. Tiltaket reduserte energiforbruket med nesten 3 000 kWh ned til 86 791 kWh/år. Tiltaket ble utført før videre utvikling av energiforsyningsmodellene.

For å ha et utgangspunkt å kunne sammenlikne de utviklede energisystemene med, ble det laget en modell som beskriver energisystemet til Satellittklinikken ut fra beskrivelsen av energisystemet til Katiko Referral Hospital i Kapoeta. Denne modellen er kalt Dieselmodellen. I Dieselmodellen dekkes alt energiforbruk i Satellittklinikken med elektrisk energi produsert med dieselaggregater, inkludert kjøling med luftkondisjoneringsanlegg. Simulering av Dieselmodellen viste at originalt energiforbruk i Satellittklinikken vil være 17 746 liter per år. Årskostnaden til anlegget er 128 212 kr med en dieselpriis på 6,43 kr/L og 191 566 kr med en dieselpriis på 10,0 kr/L.

Det ble laget fire nye energiforsyningsmodeller for Satellittklinikken. De tre første, Alternativ 1, 2 og 3 baserer seg på bruk absorpsjonskjølemaskiner til kjøling av bygget i med ulike kombinasjoner med og uten solfangere og solceller. Kjølingen distribueres gjennom bygningens ventilasjonssystem. Den siste, Solcelle- dieselmodellen, implementere solceller i Dieselmodellen og bruker fortsatt luftkondisjoneringsanlegg til å produsere kjøling. Målet med simuleringene av modellene er å finne den løsningen som gir størst mulig reduksjon av dieselforbruket og god lønnsomhet sammenliknet med Dieselmodellen. Beste løsning skal finnes ut fra lønnsomhetsberegninger med dagens dieselpriis på 6,43 kr/L. Lønnsomheten til alternativene med dieselpriis på 10,0 kr/L er beregnet for å gi et bilde av lønnsomheten med bruk av solenergi dersom dieselpriisen stiger i fremtiden.

Alternativ 1 bruker spillvarmen fra dieselaggregatet til å drive en absorpsjonskjølemaskin, og til oppvarming av varmtvann. En dieselfyrt oljekjel sikrer back- up varme. Alternativet gav en reduksjon i dieselforbruket på 2 195 L/år i forhold til originalt forbruk. Systemet vil gi en årlig sparing på 6 900 kr med dieselpriis på 6,43 kr og 14 737 kr med dieselpriis på 10,0 kr.

Alternativ 2 er likt Alternativ 1, men har i tillegg termiske solfangere for å produsere varme til absorpsjonskjøleren slik at det blir mindre behov for energibidrag fra den dieselfyrte oljekjelen. Det ble gjort simuleringer for Alternativ 2 med varierende solfangerareal fra 10 til 120 m². Beste løsning for Alternativ 2 vil ha 60 m² solfangere. Denne løsningen vil redusere dieselforbruket med 5 335 L/år og gi en årlig sparing på 9 415 kr. Dersom dieselpriisen stiger til 10,0 kr/L vil en løsning med 70 m² solfangere gi best lønnsomhet. Denne løsningen vil gi en årlig reduksjon i dieselforbruket på 7 458 liter, og en årlig sparing på 28 746 kr.

Alternativ 3 er likt Alternativ 2, men har i tillegg solceller som reduserer den elektriske lasten inn på dieselaggregatet og dermed også dieselforbruket i aggregatet. Det ble gjort simuleringer for Alternativ 3 med varierende solfangerareal fra 10 til 120 m² og solcellesystemer med maksimal effekter fra 1,29 til 11,64 kWp. Beste løsning for Alternativ 3 vil ha 70 m² solfangere og et solcellesystem med maksimal effekt på 9,05 kWp. Denne løsningen vil redusere dieselforbruket med 9 561 L/år og gi en årlig sparing på 9 824kr. Dersom dieselpriisen stiger til 10,0 kr/L vil samme løsning som den beste med dieselpriis på 6,43 kr/L gi best lønnsomhet. Årlig sparing vil da være 43 957 kr.

Solcelle- dieselmodellen er lik Dieselmodellen, men har i tillegg solceller som reduserer effektbehovet inn på dieselaggregatene ved å dekke deler av lasten. Det ble gjort simuleringer for Solcelle- dieselmodellen med solcellesystemer med maksimal effekter fra 1,29 til 25,8 kWp. Beste løsning for Solcelle- dieselmodellen vil ha et solcellesystem med maksimal effekt på 23,2 kWp. Denne løsningen vil redusere dieselforbruket med 9 731 L/år og gi en årlig sparing på 1 866kr. Dersom dieselpriisen stiger til 10,0 kr/L vil en løsning med et solcellesystem med maksimal effekt på 18,1 kWp gi best lønnsomhet. Denne løsningen vil gi en årlig reduksjon i dieselforbruket på 9 150 liter, og en årlig sparing på 41 257 kr.

Ut fra kriteriet om at beste løsning vil være den løsningen som gir en høy reduksjon i dieselforbruket samtidig som den gir god lønnsomhet sammenliknet med Dieselmodellen, anbefaltes Alternativ 3 med 70 m² solfangere og et solcellesystem med maksimal effekt på 9,05 kWp som det beste energiforsyningssystemet til Satellittklinikken ut fra dagens energipriis på 6,43 kr/L. Det er forutsatt at dette energisystemet installeres i forbindelse med byggingen av Satellittklinikken og at det ikke finnes noe energiforsyningssystem på stedet fra før.

Dersom et alternativt energiforsyningssystem skal etterinstalleres i et sykehus med et allerede eksisterende energiforsyningssystem tilsvarende Dieselmodellen, vil Solcelle- dieselmodellen anbefales fordi den vil utnytte det eksisterende anlegget best og derfor kreve mindre etterinnstillinger.

Det er i oppgaven vist at det er gode muligheter for Normeca å installere et energisystem basert på solenergi og at det derfor bør gjøres. Dimensjoneringen av systemet krever ny, nøyaktig kartlegging av Satellittklinikkens energibehov dersom de virkelige verdiene varierer sterkt med de verdiene som er brukt i oppgaven.

Abstract

This Master thesis is written at the Institute for Energy Technology in cooperation with Normeca AS in the spring semester 2008. The Master thesis is the finishing assignment of the master program in Energy and environmental technology at the Norwegian University of Science and Technology. The thesis is written by master student Camilla Bakken Torp. The title is “Solar driven energy supply systems for field hospitals in Sudan”.

The purpose of this thesis is to study different energy supply systems using solar energy for field hospitals in parts of the world with high solar insolation and high temperatures. The hospitals have high cooling demands and no possibilities to connect to a local power grid. The thesis was originally made as an inquiry from Normeca, a field hospital contractor, to the Institute for Energy Technology, to explore the possibilities of using solar energy in their prefabricated mobile field hospitals.

A small hospital named a Satellite clinic is set as the main user for the energy system. The information about the existing energy supply system for the Satellite clinic is based on the one of Normeca's hospitals in Kapoeta, Southern Sudan. This hospital generates its power from a diesel generator. The cooling is provided with separate air conditioning systems in almost every room of the building. This Satellite clinic building is composed of 22 containers and has a total areal of 406 m². The designed is done by Normeca.

Using the simulation tool Trnsys, four different energy supply models has been developed for the Satellite clinic in addition to the original Diesel- model. The first three energy supply models named Alternative 1, 2 and 3 is based on using an absorption cooling machine to produce cooling distributed through the ventilation system of the building. Alternative 1 uses the waste heat from the diesel generator as a source for the absorption cooler. A diesel boiler secures enough heat to the absorption cooler. Alternative 2 is based on Alternative 1, but also uses thermal solar collectors to supply heat, and reduce the energy demand from the diesel boiler. Alternative 3 is based on Alternative 2, but has in addition to the solar collectors a photovoltaic solar cell system that cuts the electric load to the generator and reduces the fuel consumption. The fourth system is based on the Diesel- model implementing photovoltaic solar cells cutting the load to the generator as done in Alternative 3.

Simulations done with the different models describe the possibilities to reduce the total fuel consumption in comparison to the fuel consumption of the Diesel- model. Profitability analysis is carried out to investigate the financial advantages or disadvantages of the systems. A diesel price of 6,43 kr/L is used in the analysis.

The goal of the thesis is to determine a good energy supply system for the Satellite clinic that satisfies the criteria of a considerable reduction in the total fuel consumption and reasonable financial advantages. Based on these criteria, Alternative 3 with 70 m² solar collectors and a solar cell system with the maximum power 9,05 kWp, will be recommended as the best energy supply system for the Satellite clinic.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
2	Bakgrunn for oppgaven.....	2
2.1	Normeca og sykehusene i Sør- Sudan.....	2
2.2	Fokus på bruk av termiske solfangere og absorpsjonskjølemaskin.....	2
3	Frengangsmåte for oppgaven.....	3
4	Teoridel.....	4
4.1	Solfangere:.....	5
4.1.1	Plane væske solfangere.....	5
4.1.2	Vakuumsolfangere.....	6
4.1.3	Konsentrerende solfangere.....	7
4.1.4	Likninger som beskriver effekt produsert i en solfanger.....	8
4.2	Absorpsjonskjøling:.....	9
4.2.1	Hvordan en absorpsjonskjølemaskin virker:.....	9
4.2.2	Solvarme som varmekilde for absorpsjonskjølemaskiner:.....	11
4.2.3	Likninger som brukes til å regne ut effekt fra absorpsjonskjølemaskin.....	12
4.3	Solceller.....	13
4.4	Autonome energianlegg med solenergi:.....	14
4.5	Dataprogrammer brukt i prosjektet.....	16
4.5.1	Trnsys.....	16
4.5.2	Microsoft Excel.....	16
4.6	Metode for lønnsomhetsberegninger.....	17
4.6.1	Investeringskostnader.....	18
5	Feltsykehus i Sør- Sudan.....	19
5.1	Satellittklinikken:.....	19
5.2	Dagens energisystem:.....	21
5.3	Estimering av tilgjengelig solenergi lokalt:.....	23
5.3.1	Solinnstråling:.....	23
5.3.2	Sol timer:.....	24
5.3.3	Temperaturer:.....	25
5.3.4	Nedbør og regntid:.....	25
5.4	Kartlegging av vannforbruk:.....	26
6	Energibehov til satellittklinikken:.....	27
6.1	Manuell estimering av satellittklinikken energibehov:.....	27
6.1.1	Forutsetninger og metoder.....	27
6.1.2	Resultater manuell estimering av energibehov.....	29
6.1.3	Kommentarer.....	29
6.2	Last profiler:.....	31
6.2.1	Lastprofil varmtvannsvannforbruk:.....	31
6.2.2	Elektriske lastprofiler.....	31
6.2.3	Termiske lastprofiler:.....	33
6.3	Modellering av energi -og effektbehovet i TRNSYS:.....	35
6.3.1	Lastmodellen.....	35
6.3.2	Klimadata brukt i simuleringen.....	36
6.3.3	Simuleringsmetode og mål:.....	37
6.3.4	Resultat Lastmodellen.....	37
6.3.5	Kommentarer.....	38
6.4	Energisparende tiltak:.....	40
6.4.1	Forslag til energisparende tiltak.....	40
6.4.2	Eksempel på mulig tiltak.....	41
7	Dieselforbruket til satellittklinikken.....	43
7.1	Dieselmodellen.....	43
7.2	Simuleringsmetode og mål.....	44
7.3	Resultater ved simulering av Dieselmodellen.....	44
7.4	Energipris og årskostnad med Dieselmodellen.....	45
7.5	Kommentarer.....	45
7.6	Praktisk utforming.....	46
8	Alternative energiforsyningsløsninger.....	47

8.1	Alternativ 1 - Bruk av spillvarmen fra elektrisitetsproduksjon i dieselaggregatet som varme kilde for en absorpsjonskjølemaskin.....	48
8.1.1	Diesel/absorpsjonskjølermodellen	48
8.1.2	Simuleringsmetode og mål	50
8.1.3	Simuleringsresultater	50
8.1.4	Lønnsomhetsbergning med resultater	51
8.1.5	Kommentarer	52
8.1.6	Praktisk utforming	52
8.2	Alternativ 2 - Øke effektiviteten til absorpsjonskjøleren ved å øke temperaturen på spillevarmen med en vakuumsolfanger	54
8.2.1	Diesel/solfanger absorpsjonsmodellen	54
8.2.2	Simuleringsmetode og mål	55
8.2.3	Simuleringsresultater	56
8.2.4	Lønnsomhetsberegninger med resultater	56
8.2.5	Kommentarer	57
8.2.6	Praktisk utforming	57
8.3	Alternativ 3 – Minke dieselbehovet i aggregatet ved å dekke deler av det elektriske effektbehovet med solceller i tillegg til absorpsjonskjøler og solfangere.	59
8.3.1	Solcelle-, solfanger-, absorpsjonskjøler- og dieselmodellen.....	59
8.3.2	Simuleringsmetode og mål	60
8.3.3	Simuleringsresultater	60
8.3.4	Lønnsomhetsberegninger og resultater	61
8.3.5	Kommentarer	63
8.3.6	Praktisk utforming	64
8.4	Sammenlikning av alternativene med vurdering av miljøpåvirkning/CO2-utslipp	65
8.4.1	Beste alternativ for Satellittklinikens energisystem med dieselpris på 6,43 kr/L	65
8.4.2	Løsning med best lønnsomhet dersom dieselprisen stiger til 10,0 kr/L.....	66
8.5	Solceller og Dieselmodellen, en bedre løsning enn Alternativ 3?.....	68
8.5.1	Solcelle- dieselmodellen.....	68
8.5.2	Simuleringsmetode, mål og forutsetninger	68
8.5.3	Simuleringsresultater	69
8.5.4	Lønnsomhetsberegninger og resultater	70
8.5.5	Kommentarer:	71
8.6	Følsomhetsanalyse av anbefalt energiforsyningsløsning for Satellittklinikken	72
8.6.1	Følsomhet for endret kalkulasjonsrente	72
8.6.2	Følsomhet for endret dieselpris.....	72
8.6.3	Følsomhet for endret levetid på anleggene	73
8.6.4	Følsomhet for endring i Satellittklinikken totale energibehov	74
9	Oppsummering	75
9.1	Forutsetninger for lønnsomhetsanalyser	75
9.2	Energibehovet til Satellittklinikken.....	75
9.3	Resultater av simuleringer og lønnsomhetsberegninger på energiforsyningsmodellene.....	76
10	Konklusjon - Anbefalinger til Normeca	77
11	Videre arbeid	79
12	Kilder	80

Liste over figurer:

Figur 4.1 Prinsippskisse solfangerkrets	5
Figur 4.2 Plan væske solfanger	5
Figur 4.3 Vakuum solfanger, figuren er hentet fra hjemmesiden til Apricus Solar CO., LTD	6
Figur 4.4 Enkelt og dobbelt fokuserende solfangere	8
Figur 4.5 Prinsippskisse av kompresjonskjølemaskin. Hentet fra (Forelesning 2, Stene 2006)	9
Figur 4.6 Skjematisk fremstilling av en absorpsjonskjølesyklus. Figur er tegnet med utgangspunkt i (Nordtvedt, samtale 3) og (Herold, W. K., Radermacher, R & Klein, S. A, 1996)	10
Figur 4.7 Solcelle	13
Figur 5.1 Skisse av satellittklinikken	20
Figur 5.2 Kart over transportvei for tankbil som henter diesel	22
Figur 5.3 Månedlig gjennomsnittlig innstråling på en horisontal flate [kWh/m ² dag]	23
Figur 5.4 Antall sol timer per dag i Kapoeta	24
Figur 5.5 Variasjon i daglig lufttemperatur. Hentet fra (web 13, NASA)	25
Figur 5.6 Nedbørsmengder pr måned i Kapoeta	25
Figur 6.1 Estimert energibehov for hver måned i året fordelt på ulike behov	29
Figur 6.2 Lastprofil for oppvarming av varmtvann	31
Figur 6.3 Lastprofil belysning	31
Figur 6.4 Lastprofil utstyr	32
Figur 6.5 Lastprofil pumper til kjølekrets i ventilasjonssystemet	32
Figur 6.6 Lastprofil vannpumper	33
Figur 6.7 Lastprofil vifter i ventilasjonsanlegget	33
Figur 6.8 Lastprofil energitilskudd fra personer i bygget	34
Figur 6.9 Årlig lastprofil kjøling	34
Figur 6.10 Lastmodellen	35
Figur 6.11 Solinnstråling på horisontal flate i løpet av 1. februar i Kisangani	37
Figur 6.12 Effektbehov i Satellittklinikken over et døgn, 1. februar	38
Figur 6.13 Energisparende tiltak, orientering av bygning og årlig solinnstråling på veggene	41
Figur 7.1 Dieselmодellen	43
Figur 8.1 Diesel/absorpsjonskjølermodellen	48
Figur 8.2 Solfanger-, absorpsjonskjøler- og dieselmодellen	54
Figur 8.3 Resultat Alternativ 2	56
Figur 8.4 Lønnsomhet Alternativ 2	57
Figur 8.5 Solcelle-, solfanger-, absorpsjonskjøler- og dieselmодellen	59
Figur 8.6 Resultat Alternativ 3	61
Figur 8.7 Lønnsomhet Alternativ 3 med dieselpriis 6,43 kr/L	62
Figur 8.8 Løsninger av Alternativ 3 med dieselpriis på 6,43 kr/L og lik eller høyere årlig sparing enn beste løsning av Alternativ 2	62
Figur 8.9 Lønnsomhet Alternativ 3 med dieselpriis 10,0 kr/L	63
Figur 8.10 Sammenlikning dieselforbruk og CO ₂ -utslipp med dieselpriis på 6,43 kr/L	65
Figur 8.11 Sammenlikning lønnsomhet med dieselpriis på 6,43 kr/L	66
Figur 8.12 Sammenlikning dieselforbruk og CO ₂ -utslipp for mest lønnsomme løsning for hvert alternativ dersom dieselpriisen stiger til 10,0 kr/L	67
Figur 8.13 Sammenlikning lønnsomhet med dieselpriis for mest lønnsomme løsning for hvert alternativ dersom dieselpriisen stiger til 10,0 kr/L	67
Figur 8.14 Solcelle- dieselmодellen	68
Figur 8.15 Resultat Solcelle- dieselmодellen	69
Figur 8.16 Lønnsomhet Solcelle- dieselmодellen	70
Figur 8.17 Følsomhet for endret kalkulasjonsrente	72
Figur 8.18 Følsomhet for endring i dieselpriis	73
Figur 8.19 Følsomhet for endring i anleggets levetid	73
Figur 8.20 Følsomhet for forskjell mellom beregnet og virkelig energiforbruk	74

Liste over tabeller:

Tabell 4.1 Inndata og formler for beregning av energipris for levert energi	17
Tabell 4.2 Investeringskostnader	18
Tabell 5.1 Beregning av vannforbruk	26
Tabell 5.2 Beregning av varmtvannsforbruk	26
Tabell 6.1 Resultat av manuell estimering av satellittklinikken last	29
Tabell 6.2 Klimadata for Kapoeta og Kisangani	36
Tabell 6.3 Resultat Lastmodellen	38
Tabell 6.4 Resultat energisparende tiltak	42
Tabell 7.1 Resultater simulering av energiforbruk med original energiforsyning	44
Tabell 7.2 Lønnsomhet Dieselmodell	45
Tabell 8.1 Resultat Alternativ 1	51
Tabell 8.2 Lønnsomhet Alternativ 1	51
Tabell 8.3 Sammenlikning av resultat av Solcelle- dieselmodellen med Dieselmodellen og Alternativ 3	70
Tabell 8.4 Anbefalt energiforsyningsløsning når dieselprisen er 6,43 kr/L	71
Tabell 9.1 Oppsummering av energibehov	75
Tabell 9.2 Oppsummering resultater av beste løsning av hvert mulig energiforsyningssystem med dagens dieselpris	76

Liste over formler:

Formel 1 – Varme produsert i solfanger	8
Formel 2 – Varme avgitt fra solfanger	8
Formel 3 – Virkningsgrad solfanger	8
Formel 4 – Kjølning produsert fra absorpsjonskjølemaskin	12
Formel 5 – Effekt fra solcelle	13
Formel 6 – Kjølebehov i bygning	28
Formel 7 – Elektrisk energibehov i kjølesystemer basert på virkningsgrad	28
Formel 8 – Energibehov til oppvarming av varmtvann	28
Formel 9 – Virkningsgrad luftkondisjoneringsanlegg	44
Formel 10 – Nyttbar varme avgitt som spillvarme fra dieselaggregat	44
Formel 11 – Massestrøm i krets som avhenger av temperatur og avgitt varme /opptatt varme	49

Liste over vedlegg:

Vedlegg 1 – Om Normeca	
Vedlegg 2 – Om Sudan prosjektet og Katiko Referral Hospital	
Vedlegg 3 – Likningene brukt til manuell estimering av Satellittklinikken energibehov	
Vedlegg 4 – Inndata brukt i manuelle beregninger og Trnsys simuleringer	
Vedlegg 5 – Beskrivelse av komponenter og data brukt i Trnsys modelleringer og simuleringer	
Vedlegg 6 – De fysiske komponentene; virkningsgrader, utforming og priser	

1 Innledning

Denne masteroppgaven har utspring i en forespørsel rettet til Institutt for energiteknikk (IFE) fra selskapet Normeca AS om å se på energiforsyningssystemet til deres prefabrikkerte mobile feltsykehus. Normeca utvikler sykehusløsninger for bruk i varmere områder, som Sør-Sudan. Områdene sykehusene ligger i er ofte langt utenfor sentrale vei -og elektrisitetsnett. Sykehusenes energiforsyning kommer i dag fra strømproduserende dieselaggregater. Diesel har på grunn av lang og vanskelig transport en høy kostnad samtidig som det er en lite miljøvennlig energibærer. Ettersom sykehusene ligger i varmere strøk har de et høyt kjølebehov og tilgang på mye sol. Dette gjør at Normeca ønsker å se på muligheten for å implementere energiforsyningssystemer basert på solenergi i sine sykehussystemer.

Normeca har allerede et sykehus levert og i drift i Sør- Sudan. Sykehuset heter Katiko Referral Hospital og ligger i Kapoeta, Eastern Equatoria. Lokasjonen og energiforsyningssystemet til dette sykehuset skal brukes som utgangspunkt for energiforsyningssystemene som skal modelleres i oppgaven. Sykehusene som Normeca leverer består av containere som settes sammen til større enheter. Sykehuset i Kapoeta, som består av 150 containere, er større enn det som vil være aktuelt å bruke videre, slik at energiforsyningssystemene skal utvikles for et mindre og mer mobilt sykehus kalt en Satellittklinikk. Satellittklinikken består av 22 containere og har et totalt areal på 406 m². Den skal være mobil og samtidig inneholde nok utstyr til å dekke nødvendige fasiliteter. Flere Satellittklinikker kan sammen utgjøre et stort sykehus der hver Satellittklinikk har sitt eget energiforsyningssystem.

Det skal i denne oppgaven undersøkes hvordan ulike energiforsyningssystemer basert på solenergi kan brukes til å dekke energibehovet til varmtvann, kjøling, belysning og utstyr i Satellittklinikken. Det skal ved hjelp av datasimuleringsverktøyet Trnsys lages modeller av ulike energiforsyningssystemer. Oppbygningen av modellene skal gjøres med bakgrunn i energibehovet og oppbygningen til Satellittklinikken. Modellene skal ta i bruk både termiske solfangere, absorpsjonskjølemaskiner og solceller. Et dieselaggregat skal være back- up system. Det høye kjølebehovet i kombinasjon med den gode tilgangen på sol, gjør det ekstra interessant å se på kjølesystemer drevet med solenergi. Oppgaven skal ha fokus på absorpsjonskjølemaskiner drevet med varme fra termiske solfangere.

Det skal gjøres simuleringer på energiforsyningsmodellene for å se på hvilke reduksjoner i dieselforbruket som er mulig å oppnå med ulike løsninger av modellene sammenliknet med det originale systemet med kun dieselaggregater. Ved hjelp av økonomiske lønnsomhetsberegninger skal de økonomiske fordelene ved hver løsning vurderes. Målet med oppgaven er å finne en godt energiforsyningssystem basert på solenergi som gir betydelige reduksjon i dieselforbruket og samtidig god økonomi sammenliknet med det originale dieseldrevne energisystemet.

Utviklingen av energiforsyningsmodellene krever informasjon om Satellittklinikkens energibehov. Dersom det ikke finnes tilgjengelig informasjon om dette må det estimeres ved hjelp av energiberegninger med basis i fornuftige verdier og opplysninger fra leverandør. Det skal gis forslag til mulige energisparende tiltak, og om mulig gjøres en vurdering av noen av tiltakene.

Opgaven skal inneholde en teoridel som beskriver teknologien bak de soldrevne energisystemene, samt forskning og utviklingen på autonome energisystemer med absorpsjonskjølere og termiske solfangere. En beskrivelse av programmet som skal brukes til å modellere og simulere energisystemene, og metode for vurdering av lønnsomheten skal også være med i teoridelen.

2 Bakgrunn for oppgaven

Dette kapittelet gir en kort introduksjon av Normeca og sykehusene i Sør-Sudan som oppgaven tar utgangspunkt i, og en kort beskrivelse av hvorfor det er valgt å fokusere på solenergi fra termiske solfangere og absorpsjonskjølemaskiner i oppgaven.

2.1 Normeca og sykehusene i Sør-Sudan

Normeca AS er et norsk eid selskap som ble etablert i 1983. De holder til i Lørenskog rett utenfor Oslo. Administrerende direktør i selskapet er Jan Karlsen. Selskapet leverer medisinsk utstyr for anestesi, intensiv medisin, kritisk medisin, akutt medisin, operasjonssaler og mobile sykehus og felt sykehus, smittevernutstyr samt utstyr til militært personell. I tillegg til dette har de utført servise ved anestesi- og intensiv avdelinger på norske sykehus, utført opplæring av medisinsk personell og arrangert seminarer innenfor sine operasjonsfelt flere steder i verden. Selskapet leverer utstyr til krisesituasjoner og baserer seg på å kunne tilby raske leveranser til steder med lav fremkommelighet.

I september 2006 signerte Normeca en avtale med myndighetene i Sør-Sudan og helsedepartementet om byggingen av 10 semi - permanente statlige sykehus i Sør-Sudan inkludert totalt 50 mobile klinikker og 2 flyende sykehus for Nilen (se vedlegg 2).

Det første sykehuset stod ferdig i november 2007 i en by som heter Kapoeta (også kalt Kabuyta) sørøst i Sør-Sudan. Sykehuset heter Katiko Referral Hospital. Kapoeta er nest største byen i delstaten East Equatoria (Øwre, J., e-post 2). Staten grenser til Uganda i sør, Kenya i sørøst og Etiopia i nordøst (web 7, GoogleMap). Dette sykehuset er brukt som utgangspunkt for beskrivelsen av Satellittklinikken plassering, energisystem og andre relevante forhold.

Sykehuset i Kapoeta er såkalt semi – permanent. Dette betyr at det består av separate, fleksible moduler som settes sammen og danner en enhet. Det finnes moduler for alle funksjoner som et sykehus vil trenge og antallet kan settes sammen etter spesifikt behov. Modulene er oppbygd enten som containere, telt eller en kombinasjon. Container modulene transporteres flatpakket på trailere som klarer seks stykker av gangen. Transporten skjer på til dels ufremkommelige veier.

Ettersom det har vist seg at sykehuset har stort kjølebehov og tilgangen på sol er god, ønsker Normeca å få undersøkt mulighetene for å bruke solenergi i energiforsyningssystemet til sykehusene, som nå får energiforsyning fra diesellaggregat. Det er sammen med Normeca valgt å fokusere på Satellittklinikken i stedet for det store sykehuset, fordi Satellittklinikken har med sin kompakte størrelse et mye større bruksområde, samtidig som en mindre enhet vil gi mindre rom for feilkilder. Ved behov for større sykehus, kan flere Satellittklinikker kobles sammen til en enhet.

2.2 Fokus på bruk av termiske solfangere og absorpsjonskjølemaskin

Ønsket fra Normeca gikk på bruk av solenergi i energiforsyningssystemet til sykehusene. Det finnes flere måter å utnytte solenergi på. Solenergi kan utnyttes passivt ved at bygningskonstruksjonen legger til rette for utnyttelse av dagslyset og skjerming for oppvarming fra solinnstråling gjennom vinduene, eller solenergi kan utnyttes aktivt ved hjelp av utstyr spesialdesignet for å produsere energi fra solinnstråling. Det er i denne oppgave sett på de to vanligste solenergisystemene, termiske solfangere og solceller.

Innenfor linjen Energi og miljø, har jeg valgt studieretningen Varme- og energiprosesser på grunn av interesse for termodynamikk baserte fag. Et ønske om å skrive om fornybare energi i prosjektoppgaven i høst førte til at jeg da valgte å skrive om termiske solfangere i norske bygninger. På grunn av høye kostnader og begrenset solinnstråling ble konklusjonen at termiske solfangere i norske bygninger så langt ikke er lønnsomt, noe som gjorde videre studering av emnet begrenset. Hadde fortsatt lyst til å forsette å skrive om solenergi og tok derfor imot prosjektoppgaven fra Per Finden og IFE som handlet om solenergi til sykehus i Sør-Sudan og bruk av absorpsjonskjølere til kjøling. Absorpsjonskjølemaskinen var for meg en helt ny teknologi, men den fasinerte. Mulighetene for å bruke de termiske solfangerne til å drive absorpsjonskjølere var ekstra spennende. Dette gjorde at fokuset i oppgaven falt på bruk av termiske solfangere og absorpsjonskjøling.

For å vise Normeca flere muligheter for bruk av solenergi i sykehusene, og for ikke å utelukke noen mulige gode løsninger, er det også sett på bruk av solceller i oppgaven. Min bakgrunnskompetanse for å forstå solceller er mindre enn for termiske solfangere, noe som viser seg i detaljgraden av det teoretiske materialet om solceller.

3 Fremgangsmåte for oppgaven

Oppgaven ble tatt ut i begynnelsen av februar. Et møte ble avtalt med Normeca 14. februar. Dagene før møtet ble brukt til å utvikle punkter for oppgaven i samråd med veileder, notere ned hva som trengtes av nødvendig informasjon fra Normeca, samt til å begynne å lese litteratur om absorpsjonskjøling.

Planen for gjennomføring av oppgaven ble lagt etter følgende punkter:

1. Det skal lages en beskrivelse av sykehuset som nå er bygget med omtale av både bygningsmessige og energitekniske løsninger. Det skal også gjennomføres en litteraturstudie av autonome energianlegg internasjonalt og beskrive hvilke energitekniske løsninger som her er utviklet og utprøvd.
2. Det skal med utgangspunkt i teknisk underlag fra NORMECA, utarbeides estimat for tilgjengelig solenergi lokalt, kartlegge energibehov i form av elektriske og termiske lastprofiler for byggene og kartlegge vannebehov i form av profiler for drikke- og forbruksvann.
3. Med utgangspunkt i dagens byggt tekniske løsninger skal det utarbeides forslag til energisparende tiltak for feltsykehuset, samt vurdere bruk av absorpsjonskjøleaggregater.
4. Med utgangspunkt i tilgjengelig solenergi og last profiler fra punkt 2, og energisparende tiltak fra punkt 3, skal det utvikles og testes en fleksibel modell for et komplett energisystem med både solfangere, solpaneler og dieselaggregater som back up.
5. Ved bruk av modellverktøyet skal det gjennomføres studier av ulike alternative løsninger hvor energiforsyning i størst mulig grad er basert på fornybar energi.
6. Det skal innhentes priser på nødvendig utstyr og komponenter og utføres enkle økonomiberegninger for de valgte løsningene (kr/kWh).

Møtet med Normeca gav mye informasjon om sykehuset i Kapoeta og utfordringene med transport av både diesel og containere. Det ble bestemt at det var ønskelig å se på et mindre og mer mobilt sykehus, og at Normeca selv skulle lage en utarbeidelse av dette sykehuset. Utgangspunktet for plasseringen av sykehuset ble bestemt å være Kapoeta, Sør-Sudan.

Ettersom dette nye sykehuset skulle skisseres fra grunnen av måtte det påberopes noe venting før en beskrivelse av den bygningsmessige og den energitekniske løsningen var klart. Første del av punkt 1, kartleggingen av energibehovene i form av lastprofiler og vannbehov i punkt 2, samt punkt 3 ble dermed satt på vent i påvente av mer informasjon fra Normeca. Litteraturstudie av autonome energianlegg, estimering av solenergi lokalt og teoretiske beskrivelser av energisystemene som skulle benyttes ble utført i mellomtiden.

I slutten av mars var den byggt tekniske beskrivelsen av Satellittklinikken klar. Ettersom detaljert informasjon om energitekniske løsninger og utstyrmengder ikke var klart, ble det valgt å bruke den byggt tekniske oppbygningen av Satellittklinikken, plassering og tilgjengelig informasjon om energisystemet til sykehuset i Kapoeta, Norsk Standard og fornuftige antagelser for å gi en beskrivelse av energisystemet, og gjøre en beregning av energibehovet. Dette ble brukt til å utvikle lastprofilene. I påvente av Trnsys, modelleringsprogrammet som skulle brukes, ble de første energiberegningen gjort manuelt ved hjelp av Microsoft Excel.

I begynnelsen av april fikk jeg tak i Trnsys og det ble installert på min datamaskin. Største delen av april gikk med til å utforske, og lære å bruke Trnsys ved hjelp av brukermanualen. Programmet har en rimelig høy brukerterskel i kombinasjon med at det er kun en person tilgjengelig på instituttet som kan programmet, slik at det var naturlig at dette tok en del tid. Med god hjelp fra medstudent, Marte Gammelsæter som har erfaring med Trnsys fra prosjektoppgaven i høst, og som også har brukt programmet i sin masteroppgave, kom jeg opp på et brukbart Trnsys-kompetansenivå.

Resten av tiden gikk med til utvikling av modeller i Trnsys og simuleringer i modellene, samt vurderinger og rapportskrivning. Kom over en del utfordringer med utviklingen av modellene som benytter termiske varmelager, ved at modellen stoppet uten forklaring. Med hjelp fra Trnsys brukerstøtte ble modellene bygd om slik at de fungerte som ønsket.

4 Teoridel

Dette kapitlet skal i hovedsak gi en presentasjon av ulike energiforsyningssystemer som baserer seg på solenergi. Bruk av solenergi i bygninger kan gjøres både ved bruk av passive og aktive systemer. Passive systemer utnytter solenergien ved at bygningskonstruksjonen legges til rette for å ta imot solvarmen der den trengs. Aktive solenergisystemer er bruk av enheter som er designet for å utnytte solenergien ved produksjon av varme eller elektrisitet. De vanligste aktive solenergisystemene er solfangere og solceller. Solenergi kan brukes til å produsere kjøling ved at solfangere produserer varme som kan brukes til å drive en absorpsjonskjølemaskin. Solceller kan også bidra til produksjon av kjøling ved at de lager elektrisitet som driver en elektrisk drevet kjølemaskin.

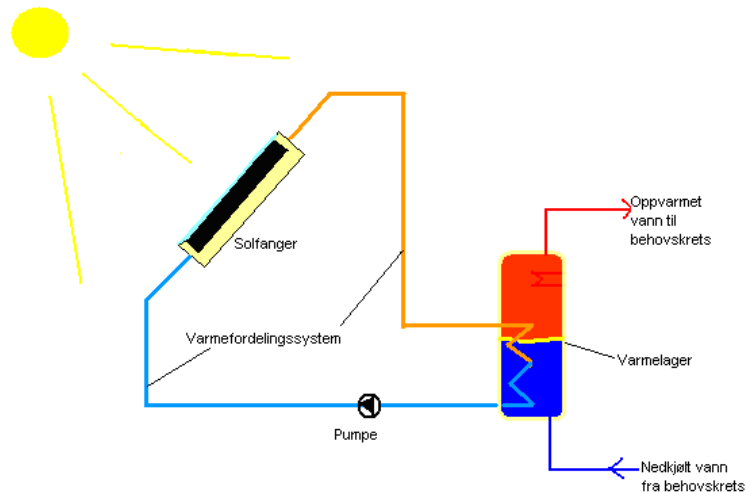
Ettersom oppgaven har fokus på å se hvordan en absorpsjonskjølemaskin drevet med varme produsert fra solfangere kan være en fornuftig del av energisystemet til feltsykehus i varme strøk med høyt kjølebehov og med mye tilgang på sol, er det først gitt en grundig presentasjon av virkemåten til solfangere og absorpsjonskjølemaskiner. Ved å tilknytte solceller til energisystemet kan solenergi brukes også til dekning av elektrisitetsbehov i bygningen, ettersom sykehus ofte har mye utstyr basert på elektronikk vil solceller også kunne utgjøre en fornuftig del av energisystemet. En kort introduksjon av solcellenes virkemåte er også tatt med.

Det sykehuset som solenergi skal vurderes for ligger slik til at det ikke har mulighet for tilknytning til lokalt strømnnett, slik at energiforsyningssystemet må produsere all den energien som trengs. Dette kalles autonome energianlegg. Det er tatt med et kapittel som beskriver kort hva som er gjort innen forskning og utvikling for solfanger -absorpsjonskjøleanlegg som kan brukes i autonome energisystemer på denne størrelsen.

Til slutt i teoridelen er det gitt en beskrivelse av de dataverktøyene som har blitt brukt i oppgaven, og metoden som brukes for å gjøre lønnsomhetsvurderinger de utviklede energisystemene.

4.1 Solfangere:

En termisk solfanger er en enhet som tar imot innstrålt solenergi og konverterer det til varme. Varmen avgis til et varmebærende medium som transporterer det videre til lagring eller forbruk. Prinsippet baserer seg på at en mørk flate absorberer opp mot 95 % av innfallende stråling (Forelesning, Rekstad 2007). Den absorberte strålingsenergien setter molekylene i bevegelse, og strålingsenergien konverteres til termisk stråling (varme). Solfangeren kjøles så ned ved at varmen avgis til det varmebærende mediet. En prinsippskisse av en solfangerkrets er gitt i Figur 4.1.



Figur 4.1 Prinsippskisse solfangerkrets.

Det finnes i hovedsak tre ulike solfangere. En presentasjon av hver av dem er gitt videre.

4.1.1 Plane væske solfangere

Den plane væske solfangeren består av en absorbatoren som er dekket med et transparent dekke (gjennomsiktig dekkplate) og isolert på undersiden. Solfangerens deler er satt sammen i en ramme slik at det er luft mellom absorbatoren og det transparente dekket. Undersiden av absorbatoren er isolert for å forhindre varmetap til omgivelsene. Figur 4.2 viser bilde av en plan væske solfanger.



Figur 4.2 Plan væske solfanger.

Absorbatoren kan utformes på flere måter. En vanlig type absorbatoren er en metallplate, malt sort og eller med et selektivt belegg, med påsveisede rør der varmemediet kan strømme. Det selektive belegget absorberer sollys på samme måte som en sort flate, men emitterer mye mindre stråling (Forelesning, Rekstad 2007). Ettersom varmetap ved stråling er mye høyere enn varmeovergang gjennom luft, reduserer det selektive belegget varmetappet gjennom det transparente dekket. En annen type absorbatoren kan være en metall- eller polymer plate med gjennomgående hull der varmemediet kan strømme. En absorbatoren i polymer har dårligere varmeledningsevne, dette oppveies ved at polymere er veldig tynt og ved at hullene i platen sitter veldig tett.

Når varme produseres øker temperaturen på absorbatoren. Det vil oppstå en temperaturforskjell mellom absorbatoren og omgivelsene som fører til varmetap ved stråling, konveksjon eller varmeledning gjennom det transparente dekket (Rekstad & Meir, 2007, s.45). Varmetapet vil avhenge av hvor mye av varmen varmemediet klarer å transportere bort, dette avhenger igjen av hvor mye varme som kan avgis til varmelageret.

Over absorbatoren har de fleste plane væske solfangere en gjennomsiktig dekkplate som skal hindre varmetap til omgivelsene og beskytte absorbatoren mot kulde og vind samtidig som den skal slippe gjennom mest mulig av sollyset. Ideen bak dekkplaten er at den skal slippe inn lyset, som er kortbølget stråling, og hindre varmen (termisk stråling), som er langbølget stråling å slippe ut igjen. Når solinnstrålingen treffer dekkplaten slipper største delen av strålingen gjennom, mens resten blir enten reflektert eller absorbert. Det er ønskelig at en høyest mulig andel av strålingen transmitteres gjennom dekkplaten. Hvor mye som transmitteres avhenger av den vinkelen strålingen har inn mot den gjennomsiktige dekkplaten og brytningsindeksen til materialet dekkplaten er laget i (Rekstad, forelesning 2007). Dekkplaten består vanligvis av glass eller dobbel gjennomsiktig polymer. Polymer er et organisk materiale som over tid vil eldes når det utsettes for UV- stråling, dette gjør polymere gult og senker transmittansen. For å hindre at polymere eldes dekkes det med akryl, også kalt UV- coating (Rekstad, forelesning 2007).

Varmemediet i solfangerkretsen er ofte vann eller vann- glykol blanding (Rekstad & Meir, 2007, s 44). Vann som varmemediet har den fordelen at har høy varmekapasitet, tåler høye temperaturer, og er billig å skifte ut. Vann – glykol brukes på steder der utetemperaturen går under 0 °C. I varmere strøk uten temperaturen under 0 °C, vil vann være det beste alternativet.

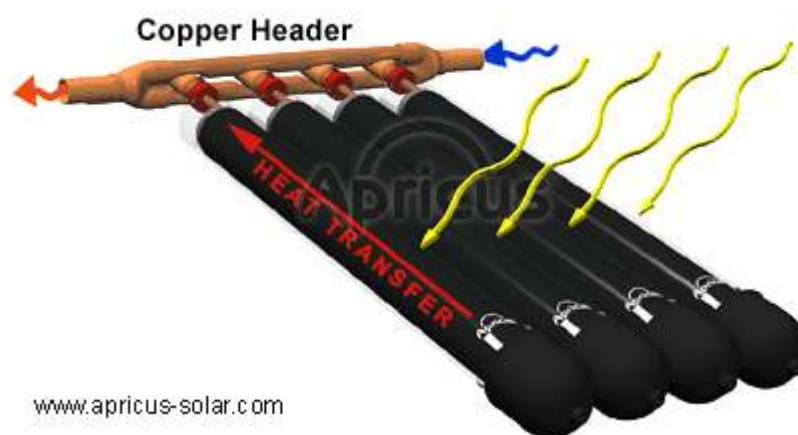
Den plane solfangeren produserer varme ved lave til moderate temperaturer, opp til maksimalt 100 °C (Rekstad & Meir, 2007, s 43). Solfangeren kan styres slik at vannet kommer ut med en bestemt temperatur ved at hastigheten på varmemediet reguleres. Temperaturbegrensningen for denne typen solfangere er bestemt av materialet til- og varmemediet i solfangeren. Det vanlig å bruke 95 °C som en anbefalt maksimaltemperatur for å unngå koking og ødeleggelse av solfangeren. Nyere typer plane væske solfangere kan tåle temperaturer opp til 200 °C (Rekstad, samtale 1). Solfangeren kan plasseres på bakken, i fasaden, integrert i taket, eller med valgt helningsvinkel i stativ på tak. Den krever lite vedlikehold. Ytelsen avhenger sterkt av utetemperatur, forbruksmengde, forbruksmønster og temperaturen som varmebæreren kommer inn med. Virkningsgraden er best ved produksjon av vann ved lave temperaturer. Nyere og forbedrede typer plane solfangere har vist seg å ha ytelse på nivå med vakuumsolfangerne.

En plan væske solfanger kan utnytte både direkte, diffus og bakkereflektert solinnstråling og vil derfor kunne produsere varme også på dager med skyer på himmelen.

Den plane væske solfangeren er kommersielt tilgjengelig og så langt den mest brukte. Fordi den er forholdsvis enkelt laget, og produseres i forholdsvis store kvanta er den ofte billigere enn andre solfangere.

4.1.2 Vakuumsolfangere

Vakuumsolfangeren er en nyere type solfanger som har vist seg å fungere godt også når det er lave utemperaturer. Grunnen til dette er at absorbatoren er satt inn i et glassrør med veldig lavt lufttrykk. Det lave lufttrykket gir god isolasjon og sørger for lav varmestråling til omgivelsene. En vakuumsolfanger består av flere glassrør koblet sammen. Figur 4.3 viser bilde av en vakuumsolfanger.



Figur 4.3 Vakuumsolfanger, figuren er hentet fra hjemmesiden til Apricus Solar CO., LTD..

For vakuumsolfangere er det to prinsipper for varmeoverføring; tørr varmeoverføring og våt varmeoverføring. Ved tørr varmeoverføring inneholder vakuumsolfangeren en væske som fordampes ved lave temperaturer, dampen stiger opp og kondenserer på en varmeveksler i toppen av solfangeren slik at varme blir overført til varmekretsen (Andresen, 2007, s. 13). Ved våt varmeoverføring står absorbatoren i direkte kontakt med varmemediet.

Vakuumsolfangerne kan plasseres skrått på bakken eller på tak. De krever lite vedlikehold, men mister en god del av sin virkning dersom det blir lekkasje og luft slipper inn. De separate rørene kan gi utfordrene montering på veldig store anlegg ettersom de største sammensatte panelene kun består av rundt 30 glassrør.

Vakuumsolfangere produserer normalt varme ved temperaturer mellom 80 og 120 °C. Avhengig av hvilket varmemedium som brukes, kan temperaturen på den varmeledende væsken i en vakuumsolfanger komme opp i 300 °C (Forelesning 1, Rekstad 2007). Propylenglykol/vann- baserte varmebærere tåler temperaturer på 170 °C og anbefales i vakuumsolfangere (Skjølberg, J., e-post 1). Silikonoljebaserte væsker tåler enda høyere temperaturer enn dette og finnes i mange varianter med spesialtilpassede egenskaper (Skjølberg, J., e-post 1).

Vakuumsolfangeren skal ha overlegen virkningsgrad i forhold til den plane væske solfangeren ved høye temperaturforskjeller og liten solinnstråling. Kan ha systemvirkningsgrader opp mot 70 % i følge en leverandør (Skjølberg, J., e-post 1). Ytelsen varierer sterkt med innstrålt energi, omgivelsestemperatur og temperatur i varmelageret. Den skal også ha forbedret virkningsgrad i forhold til den plane solfangeren når været er overskyet.

En vakuumsolfanger kan som en plan væske solfanger også utnytte både direkte, diffus og bakkereflektert solinnstråling.

Vakuumsolfangeren er en mer avansert type solfanger, så kostnadene er følgelig høyere enn for en plan væske solfanger. Vakuumsolfangere er på vei til å bli mer å mer vanlige, og prisene synker som følge av dette.

På grunn av sin evne til å produsere varme ved høye temperaturer er det valgt å bruke vakuumsolfanger i denne oppgaven. Den høye temperaturen gir bedre virkningsgrad på absorpsjonskjølemaskinen og gir derfor økt mulighet for utnyttelse av solenergien. Mer informasjon om vakuumsolfangeren som er brukt i oppgaven er gitt i vedlegg 6.

4.1.3 Konsentrerende solfangere

Konsentrerende solfangere har absorbatoren plassert i et sentrert punkt foran en reflekterende flate. Flaten er krummet slik at all innfallende stråling reflekteres og fokuseres mot absorbatoren. Det varmebærende mediet sirkulerer inni absorbatoren.

En konsentrerende solfanger utnytter kun direkte innfallende solstråler. Det er fordi det er kun de direkte solstrålene som vil ha en retning tilpasset krumningen på den reflekterende flaten og som dermed vil reflekteres i riktig retning mot absorbatoren. En konsentrerende solfanger vil ikke fungere dersom det er overskyet.

De konsentrerte solfangerne er enten enkelt fokuserende eller dobbelt fokuserende. Enkelt fokuserende solfangere er formet som et trau med absorbatoren liggende horisontalt langs lengderetningen på trauet. Den kan roteres langs en akse etter solas posisjon. Dobbelt fokuserende systemer er formet som en paraboloid med absorbatoren stående vertikalt inn mot midten. Den kan roteres langs to akser for å følge solas bevegelse til enhver tid.

Solfangerne er designet så de kan produsere varme ved meget høye temperaturer. Teoretisk sett kan temperaturen i en dobbelt fokuserende solfanger komme opp i overflate temperaturen til sola. Den praktiske begrensningen ligger i hvor høye temperaturer materialet til absorbatoren kan tåle.

Kostnadene for konsentrerte solfangere er betydelig høyere enn for de to andre typene.

Figur 4.4 viser bilder av henholdsvis en enkelt fokuserende og en dobbelt fokuserende solfanger. Bildene er hentet fra (web 11, 28.02.08) og (web 12, 28.02.08).



Figur 4.4 Enkelt og dobbelt fokuserende solfanger.

4.1.4 Likninger som beskriver effekt produsert i en solfanger

Den varmeenergien som kan leveres fra en solfanger avhenger av flere faktorer. Det er her gitt en enkel beskrivelse av de grunnformler som i hovedsak beskriver energiutbyttet fra en solfanger. Formlene gjelder ikke for konsentrerte solfangerer.

Varmeeffekt produsert i en solfanger er vist i Formel 1:

$$Q_{sf} = (I * A * t * a) - (U * (T_{sf} - T_{omg})) + h.o. [kW] - \text{Formel 1}$$

I – Solinnstråling per kvadratmeter solfanger [kW/m²]

A – Overflateareal solfanger [m²]

t – transmisjonstall for dekklaget [-] (hvor stor andel av solinnstrålingen inn på solfangerne som slipper gjennom dekkglasset).

a – absorpsjonstallet til solfangeren [-] (hvor stor andel av den termiske strålingen inn på solfangeren som blir absorbert i absorbatoren).

U – varmetapskoeffisient for solfangeren [kW/m² °C]

T_{sf} – gjennomsnittstemperatur i solfangeren [°C]

T_{omg} – omgivelsestemperatur [°C]

h.o. – beskriver høyere ordens varmetap som følge av at stråling og konveksjonstap fra solfangeren ikke er kan beskrives lineært.

(Rekstad & Meir, 2007, s. 55)

På grunn av samkjøring mellom produksjon og forbruk vil ikke all den produserte varmen fra solfangeren kunne utnyttes av lasten. For å samkjøre produksjon og forbruk brukes varmelager til å lagre den produsert varmen over tid. Varmeeffekten avgitt til varmelageret er den varmen som det varmebærende medie frakter bort når den kjøler ned solfangeren. Varmeeffekt avgitt fra solfanger er gitt i Formel 2:

$$Q_{avgitt, sf} = m * C_p * (T_{ut} - T_{inn}) [kW] - \text{Formel 2}$$

m – massestrømmen til det varmebærende medie [kg/s]

C_p - spesifikk varmekapasitet til varmebærende medie [kJ/kg °C]

T_{ut} – temperatur på medie når det forlater solfangerkretsen [°C]

T_{inn} – temperatur på mediet når det entrer solfangerkretsen [°C]

(Rekstad & Meir, 2007, s. 56)

Q_{avgitt, sf} = Q_{sf}, T_{inn} har derfor stor betydning for varmetapet fra solfangeren til omgivelsene og derfor også virkningsgraden. Med et varmelager er det mulig å holde T_{inn} lav slik at mest mulig varme kan produseres fra solfangeren.

Når utbytte fra et solfangersystem skal simuleres i et simuleringsprogram brukes en likning for virkningsgraden til solfangeren basert på målinger oppgitt fra produsentene. Denne likningen er beskrevet som Formel 3:

$$\eta = \eta_0 - k_1(T_w - T_{omg})/I + k_2((T_w - T_{omg})^2)/I [-] - \text{Formel 3}$$

T_w = (T_{inn} + T_{ut})/2, og Q_{sf} kan regnes som I * η.

η₀, k₁, k₂ er parametere som måles eksperimentelt og som skal kunne oppgis fra produsentene, se vedlegg 6.

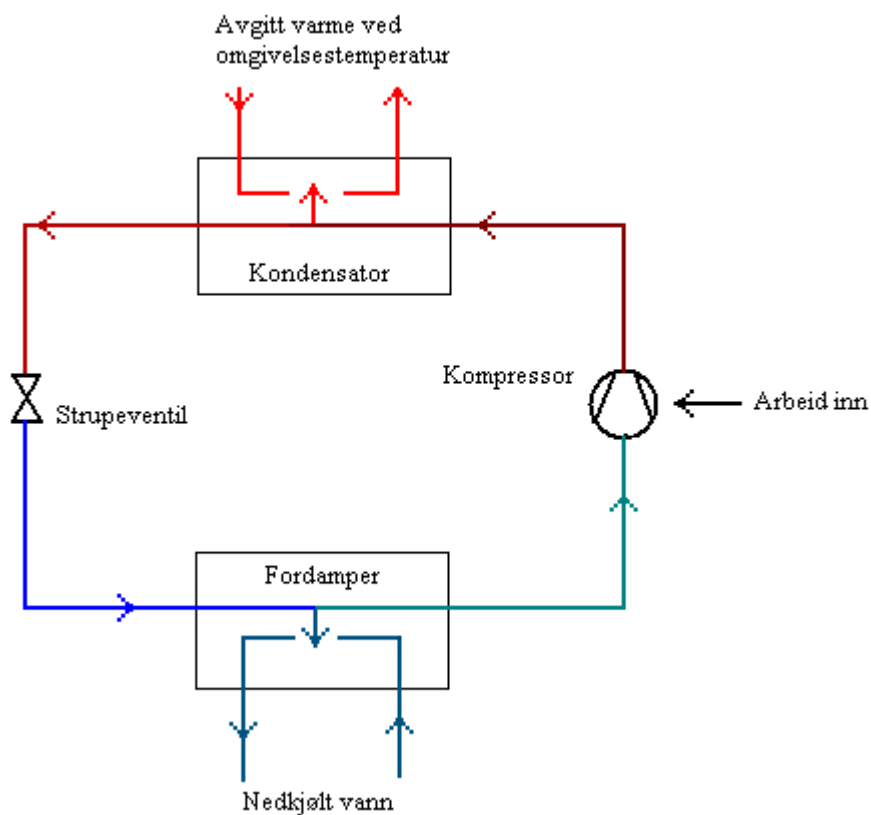
(Rekstad & Meir, 2007, s. 55)

4.2 Absorpsjonskjøling:

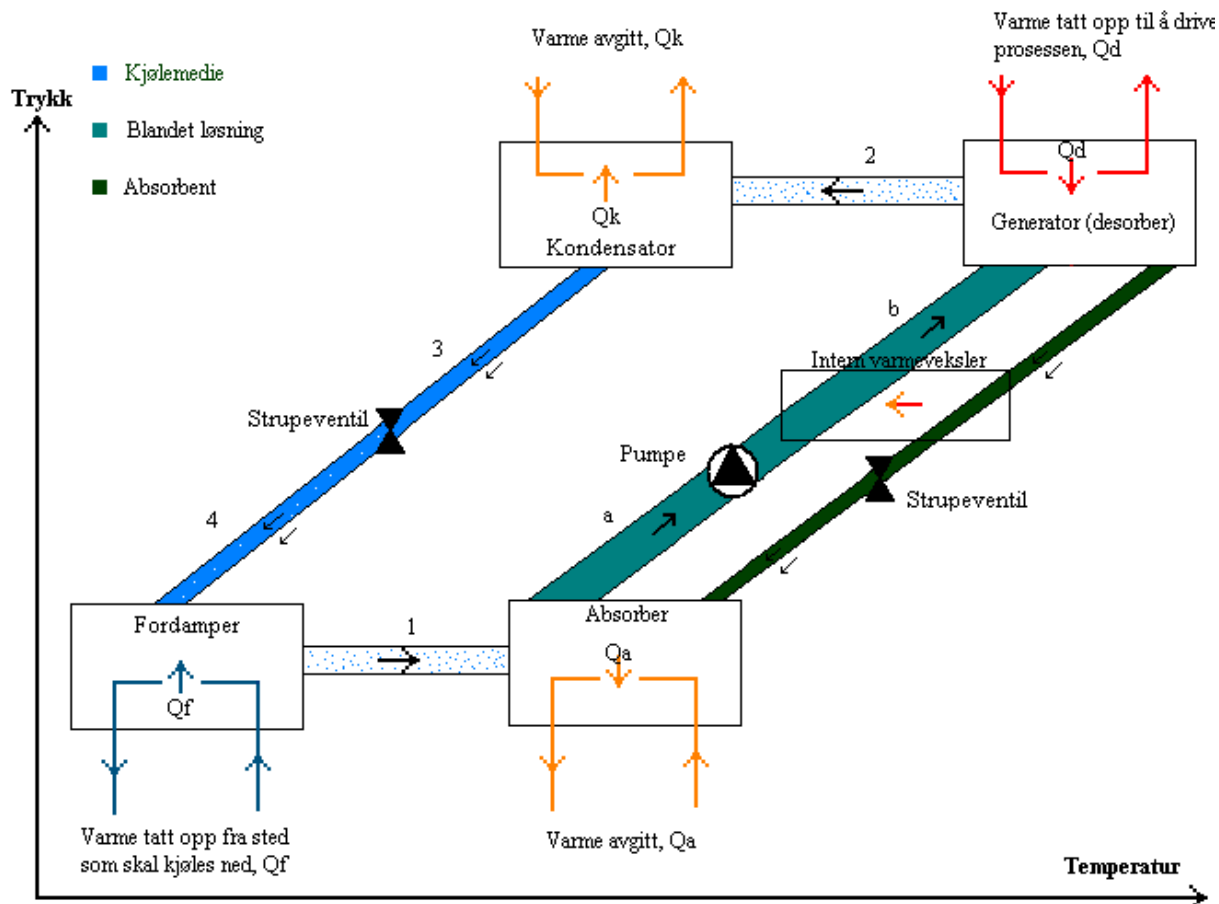
En absorpsjonskjølemaskin er en innretning som bruker varme til å produsere kjøling. Dette kapitlet skal gi en innføring i virkemåten til en absorpsjonskjølemaskin. Ettersom kjølebehovet utgjør det største energibehovet til sykehuset er teorien om absorpsjonskjølemaskinen en viktig del av oppgaven.

4.2.1 Hvordan en absorpsjonskjølemaskin virker:

Ved beskrivelse av en absorpsjonskjølemaskin kan det være greit å ta utgangspunkt i beskrivelsen av en kompresjonskjølemaskin. En kompresjonskjølemaskin består av en fordampere, en kompressor, en kondensator og en strupeventil. Kompressoren senker trykket i fordampere ved å suge ut kjølemediet, slik at temperaturen i kjølemediet (som er avhengig av trykket) blir lavere enn temperaturen på det vannet som skal kjøles ned. Varme transporteres så over fra det vannet som skal kjøles til kjølemediet som da fordampere. Kompressoren øker så trykket i kjølemediet slik at temperaturen blir høyere enn temperaturen til omgivelsene og varmen kan avgis til omgivelsene ved kondensering av kjølemediet. Mediet strupes så ned til fordampere trykket ved hjelp av strupeventilen og sirkelprosessen fortsetter. Figur 4.5 viser prinsippet til en kompresjonskjølemaskin.



Figur 4.5 Prinsippkisse av kompresjonskjølemaskin. Hentet fra (Forelesning 2, Stene 2006).



Figur 4.6 Skjematisk fremstilling av en absorpsjonskjølesyklus. Figur er tegnet med utgangspunkt i (Nordtvedt, samtale 3) og (Herold, W. K., Radermacher, R & Klein, S. A, 1996).

I en absorpsjonskjølesyklus erstattes kompressoren fra kompresjonskjølemaskinen med en generator (desorber), absorbator, en pumpe, en strupeventil, en intern varmeveksler og en absorbent, se Figur 4.6. (Nordtvedt, samtale 3)

I kretsen fra punkt 1 til 4 går et kjølemediet, det er dette medie som henter ut varme fra stedet som skal kjøles og avgir varmen ved et høyere temperaturnivå på samme måte som i damp- kompresorkjølesyklusen. I tillegg har kretsen et annet medie kalt absorbent som brukes i den kompressor erstattende kretsen. Kjølemediet har alltid høyere flyktighet enn absorbenten (lavere kokepunkt; fordamper lettere). Absorpsjonssyklusen er basert på at kokepunktet til en blanding av to væsker alltid er høyere enn det korresponderende kokepunktet til en ren væske.

Kjølemediet og absorbenten entrer generatoren (desorberen) som en blandet løsning. I generatoren tilføres varme ved høy temperatur (fra 80 °C og oppover) slik at trykket og temperaturen i løsningen øker og kjølemediet fordampes ut (punkt 2 på Figur 4.6). Ettersom kokepunktet til kjølemediet er høyere i en blanding med absorbenten skjer denne fordampningen ved en høyere temperatur enn kjølemediets kokepunkt når mediet er alene (rent). En løsning med høy konsentrasjon av absorbent blir igjen i generatoren og strupes i en egen krets ned til fordampningstrykket ved hjelp av strupeventilen.

Etter å ha blitt fordampet i generatoren entrer kjølemediet kondensatoren der det kondenserer ved konstant kondenseringstrykk og avgir varme til en ytre krets. Kondensasjonen skjer ved kondenseringstemperaturen til kjølemediet (gitt av trykket til kjølemediet). Ved rom kjøling vil denne varmen avgis til omgivelsene ved en temperatur litt høyere enn omgivelsestemperaturen.

Etter kondensatoren strupes væsken ned til fordampertrykket ved hjelp av en strupeventil (punkt 3 på Figur 4.6). Fordampningstemperaturen til kjølemediet er gitt av fordampertrykket, slik at fordampningstemperaturen senkes når trykket senkes i strupeventilen.

I fordamperen tar kjølemediet opp varme fra det stedet som skal kjøles (punkt 4 på Figur 4.6). I anlegg for kjøling av oppholdsrom dette typisk en kjølekrets i bygningens ventilasjonssystem. Fordampningstemperaturen er bestemt av trykket til kjølemediet og styres ut fra temperaturkravet til det som skal kjøles.

I absorbatoren absorberes det fordampede kjølemediet av absorbenten (punkt 1 på Figur 4.6). Dette er en kjemisk reaksjon som oppstår på grunn av høy affinitet (tiltrekningskraft) mellom absorbent og fordampet kjølemedie. Denne tiltrekningskraften trekker det fordampede kjølemediet mot absorbenten slik at kretsen drives fremover. Reaksjonen utvikler varme som sammen med varmen opptatt i fordampere avgis til en ytre krets med omtrent samme temperaturnivå som kretsen som tar opp varmen fra kondensatoren. Temperaturen på absorbatoren har større innflytelse på den totale virkningsgraden enn temperaturen i kondensatoren. Dersom kondensator og absorbatør kjøles av samme ytre krets, vil den ytre kretsen strømme gjennom absorbatoren før den strømmer gjennom kondensatoren.

Ut av absorbatoren pumpes en flytende løsning, med samme blandingsforhold som opprinnelig i generatoren, opp igjen til kondensatortrykket. Arbeidet som kreves for å pumpe den flytende løsningen er vesentlig lavere enn arbeidet som kreves for å komprimere gassen i en damp- kjølesyklus. Dette er fordi gjennomsnittlig spesifikt volum til den flytende løsningen er mye mindre enn for kjølemediedampen i damp- kjølekretsen (arbeid øker med økende spesifikt volum).

En intern varmeveksler er satt inn mellom pumpe/strupeventil og generator for å resirkulere varme fra løsningen med høy konsentrasjon av absorbent til løsningen med original blanding av kjølemediet og absorbent. På den måten trengs mindre varme inn i generatoren samtidig som mindre varme må avgis til den ytre kretsen fra absorbatoren.

Kilder for varmen tilført generatoren kan være spillvarme, forbrenning av naturgass og annet brensel, geovarme og solvarme.

Til oppsummering; I en absorpsjonskjølemaskin er kompressoren fra kompresjonskjølemaskinen erstattet med drivkraft fra en kjemisk reaksjon mellom to medier, og en væsepumpe.

4.2.2 Solvarme som varmekilde for absorpsjonskjølemaskiner:

Det skal i denne oppgaven ses på mulighetene for å utnytte solvarme til kjøling med absorpsjonsmaskinen. Med solvarme menes da varmt vann produsert ved hjelp av termiske solfangere. Det å bruke solenergi til kjøling er fornuftig med tanke på at kjølebehovet er størst når tilgangen på sol er størst. Dette avsnittet ser litt nærmere på hvordan de to vanligste typene av absorpsjonskjølemaskiner fungerer sammen med solfangere. Det er også gitt en kort beskrivelse av de to vanligste typene absorpsjonskjølemaskiner.

Det finnes flere typer absorpsjonskjølemaskiner. Alle tar utgangspunkt i prosessen beskrevet over, men med ulike modifikasjoner. De to vanligste typene er LiBr-H₂O (Litiumbromid - vann) og H₂O - NH₃ (Vann – ammoniakk) absorpsjonskjølemaskiner.

I en Litiumbromid – vann absorpsjonskjølemaskin er vann kjølemediet, og litiumbromid absorbenten. Fordelen med denne maskinen er at vannet fordampes helt rent uten at noe litiumbromid følger med.

I en Vann – ammoniakk absorpsjonskjølemaskin er ammoniakk kjølemediet og vann absorbenten. I fordampningen av ammoniakken vil noe vann følge med, noe som er et direkte tap for systemet fordi det blir mindre å vann absorbere i absorbatoren.

Z. F. Li og L. Sumathy (Li & Sumathy, 1999, s. 269) viser i sin artikkel til litteratur som sier at ved kontinuerlig sol absorpsjonskjølemaskiner har LiBr - H₂O vist seg å ha en høyere virkningsgrad (COP) enn H₂O - NH₃. ”LiBr - H₂O kjølemaskinen har begrenset drift på grunn av muligheter for krystallisering og stopp av anlegget, men har så store fordeler med tanke på kostnader og COP at den er å foretrekke i sol kjøle systemer.” Under gjengis en punktvis oversikt fra Li og Sumathy over hvorfor H₂O - NH₃ ikke foretrekkes fremfor LiBr - H₂O.

- COP til H₂O - NH₃ er lavere enn COP til LiBr - H₂O. Sol andelen ved drift er generelt 10 – 15 % lavere (utnytter en mindre andel av solinnstrålingen).
- H₂O - NH₃ krever en høyere inngangstemperatur. Typisk 90 – 180 °C for H₂O - NH₃, og 77 – 80 °C for LiBr - H₂O. Dette gir en lavere COP når plane væskesolfangere, som leverer lavere temperaturer, brukes.
- H₂O - NH₃ krever et høyere trykk og dermed mer pumpearbeid.
- H₂O - NH₃ krever et mer komplekst system med en likeretter for å skille ut vann fra ammoniakken ved utgangen av generatoren.
- Sterke restriksjoner ved bruk av ammoniakk på grunn av mediets giftighet.

D.S. Kim & C. A. Infante Ferreira ser i sin artikkel (Kim, D.S. & Infante Ferreira, C. A., 2007) på ulike løsninger for bruk av solenergi til kjøling. En av løsningene er solfanger og absorpsjonskjøling. De skriver at

dagens absorpsjonskjølere har COP fra 0,3 til 1,2 og at valg av absorpsjonskjøler bør gjøres ut fra hvilken solfanger som skal brukes. Ved bruk av solfanger som leverer temperaturer på 150 °C (vakuump- eller konsentrerte solfangere), skal en dobbel effekt LiBr - H₂O kjøler med COP på 1,2 være bra til luft kjøling. For billigere solfangere som gir temperaturer rundt 90 °C vil en singel effekt H₂O - NH₃ eller LiBr - H₂O med COP mellom 0,6 og 0,8 vurderes. Prisen på solfangerne avhenger sterkt med temperaturen som kan leveres. Og som tidligere nevnt avhenger virkningsgraden til solfangerne av utetemperaturen og solinnstrålingen lokalt (supra kapittel 4.1).

Typisk virkningsgrad for en enkel LiBr - H₂O absorpsjonskjøler ligger fra 0,625 til 0,75. (Kilde: (Herold, W. K., Radermacher, R & Klein, S. A, 1996, s.126).

4.2.3 Likninger som brukes til å regne ut effekt fra absorpsjonskjølemaskin

Kjøleeffekten fra en absorpsjonskjølemaskin avhenger av varmemengden som tilføres og temperaturen på den, samt temperaturen på varmesluket og kjølekretsen. For å beregne kjøleeffekten fra en absorpsjonskjølemaskin kan virkningsgraden brukes. Hvordan denne regnes ut varierer litt med oppbygningen av absorpsjonskjølemaskinen. Det er her presentert beregning av kjøleeffekten til en enkel LiBr - H₂O absorpsjonskjølemaskin, se Formel 4.

$$Q_{kjøl} = COP_{abs} = (T_2 - T_1) / T_2 * T_0 / (T_1 - T_2) * Q_{varme} - \text{Formel 4}$$

$Q_{kjøl} = Q_o = Q_f$ = Tilgjengelig kjøling fra absorpsjonskjøler, T_0 = tilgjengelig kjøleteperatur.

$Q_{varme} = Q_2 = Q_d$ = Varme forbrukt til å produsere kjøling, T_2 = tempertur på tilført varme.

$Q_{spillvarme} = Q_1 = Q_k + Q_a$ = spillvarme fra absorpsjonskjøler, T_1 = temperatur på spillvarme.

(Ziegler, F., 2005), (Herold, W. K., Radermacher, R & Klein, S. A, 1996, s.10).

4.3 Solceller

Solceller er hylleware som kan velges fritt med utgangspunkt i pris og virkningsgrad. Det er i denne oppgaven ikke lagt vekt på å finne en best tilpasset solcelle, men å anbefale den billigste og beste som vil passe inn det totale energiforsyningssystemet. Teoridelen om solceller vil derfor være mindre omfattende enn teoridelen om solfangere og absorpsjonskjølemaskiner. Det er lagt vekt på å gi en kort introduksjon i solcellens virkemåte med virkningsgrader og kostnader.

En solcelle er en enhet kan gjøre om sollyset direkte til elektrisk energi. 97 % av alle solceller som produseres i dag er laget av halvleder materialet silisium (Marstein, samtale 2). Virkemåten til en solcelle er derfor beskrevet ut fra virkemåten til en solcelle laget av silisium.

Når sollyset treffer en solcelle blir den energien i sollyset som har en riktig størrelse overført til elektroner i halvleder materialet slik at det får nok energi til å bevege seg over i en høyere energitilstand. Den energitilstanden elektronet beveger seg fra heter valensbåndet og den energitilstanden det beveger seg til heter ledningsbåndet. Hvor mye energi som må tilføres avhenger av gapet mellom båndene og kalles båndgapet. Energien fra sollyset på være høyere enn energispranget i båndgapet for at elektronet skal få økt sin energitilstand. I ledningsbåndet kan elektronene bevege seg fritt slik at det er mulig å produsere strøm. De frie elektronene kalles mobile ladningsbærere. For at de mobile ladningsbærerne skal gå i en ytre krets og skape arbeid må de drives av en spenningsforskjell (Spennning ganget med strøm gir arbeid). Denne spenningsforskjellen har opphav i et elektrisk felt som er bygget inn i halvleder materialet ved produksjon av solcellen. Den elektriske maksimale effekten produsert i en solcelle er gitt fra Formel 5.

$$P_{solcelle} = P_{sol} * \eta_{sc} = I_m * V_m \text{ Formel 5}$$

$P_{solcelle}$ – maksimal effekt fra solcellen

P_{sol} = effekten i sollyset

η_{sc} – solcellens virkningsgrad

I_m – strømstyrke fra solcellen når den leverer maksimal effekt

V_m – spenning fra solcellen når den leverer maksimal effekt

(Marstein, Foss & Reenaas, 2008).

Solceller laget av silisium er enten krystallinske solceller, som er den vanligste typen, eller tynnfilmceller, som er en billigere type, men med dårligere virkningsgrad. Det finnes flere typer av den krystallinske solcellen; monokrystallinske og multikrystallinske. Den monokrystallinske er dyrest å produsere, men gir best virkningsgrad og den multikrystallinske er den mest produserte men med en noe lavere virkningsgrad. Andre solcelletyper er CdTe (Kadmiumtellurid) og "GIGS" (kobber(indium, gallium)diselenid). Felles for alle nevnte solceller er at de har en maksimalt oppnåelig virkningsgrad på rundt 30 % (Marstein, Foss & Reenaas, 2008).

Kommersielt tilgjengelige solceller basert på silisium har i dag en virkningsgrad på mellom 10 og 22 %, og en forventet levetid på rundt 25 år (Marstein, Foss & Reenaas, 2008). Figur 4.7 viser en solcelle (web 8, Norut).



Figur 4.7 Solcelle

4.4 Autonome energianlegg med solenergi:

Et autonomt energianlegg er et komplett alenestående energianlegg for en bygning eller et område. Det at et autonomt energianlegg er alenestående, vil si at det er ikke knyttet opp mot et elektrisitetsnett og produserer derfor all energi som forbrukes.

Ettersom denne oppgaven skal se på hvordan et autonomt energianlegg drevet med et diesellaggregat kan erstattes med et annet autonomt energianlegg basert på solenergi, da hovedsakelig absorpsjonskjølere drevet av termiske solfangere, kan det være interessant å se hva som allerede finnes av denne typen anlegg. Det er gjort søk etter liknende anlegg brukt i sykehus i varmere strøk, men ikke funnet noen eksempler på anlegg i drift. Søket har vist gjort forskning på absorpsjonskjølere drevet med solfangere, så dette kapitlet gir derfor en liten oppsummering av forskning og utvikling på energianlegg med solenergi som driver solfangere som driver absorpsjonskjølere. All informasjon som er presentert er hentet fra Solar Heating and Cooling Programme (SHC) - Task 25 (Web 2, SHC Task 25). I kapittel 4.2.2 er det henvisning til noen artikler skrevet om absorpsjonskjølere drevet med solfangere. Først kommer en kort introduksjon av SHC.

The International Energy Agency (IEA), en underavdeling av Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) har et eget program kalt The Solar Heating and Cooling Programme (SHC). Dette programmet er et internasjonalt samarbeidsprogram som har som mål å øke utviklingen av ny teknologi, utvikle standarder, stimulere til nasjonale forsknings- og utviklingsprogram, utvikle nasjonal spesial kompetanse og spare tid og penger innenfor forskning på området kjøling og oppvarming med solenergi. SHC har foreløpig satt i gang to prosjekter som ser på kjøling ved hjelp av solenergi (Web 3, SHC). Det første er TASK 25 ("Solar Assisted Air Conditioning of Buildings") som ble påbegynt i juni 1999 og avsluttet i mai 2004 (Web 2, SHC Task 25), og det andre er Task 38 ("Solar Air-Conditioning and Refrigeration") som ble påbegynt i september 2006 og skal holde på til august 2009 (web 6, SHC Task 38).

Task 25 gir en presentasjon muligheter og utfordringer i forbindelse med bruk av solfangere ulike kjøleprosesser. Det er videre presentert et utdrag av det Task 25 sier om soldrevne absorpsjonskjøleprosesser. Soldrevne kjølesystemer som bruker absorpsjonskjølere er de mest vanlige i dag. Den lave virkningsgraden fra absorpsjonskjøleren (0,6 – 0,75) som er synkende med lav tempertur fra solfangerne, og høye kostnader for solfangere som produserer høyere temperaturer, er sammen med mangelen på kommersielt tilgjengelige absorpsjonskjølemaskiner laget for mindre anlegg (2-15 kW) hovedutfordringene for å få soldrevne absorpsjonskjølere inn på markedet. Rapporten konkluderer med at utfordringene er anerkjent av flere ulike involverte grupper, og at det har ført til at det er satt i gang mange forskningsprosjekter på mindre anlegg. Ingen av forskningsprosjektene er direkte rettet mot lokasjoner der det ikke er noe varmebehov, slik som det skal ses på i dette prosjektet. For en presentasjon av disse prosjektene, se vedlegg 2a til 2f i Task 25 (Web 4, SHC Task 25 vedlegg).

Vedlegg 2e viser et prosjekt der det er testet ut en pilot LiBr absorpsjonsvarmepumpe for solassistert gulvbasert oppvarming og kjøling av et mindre kontorbygg i Europa. Resultatene viser at det kan oppnås en virkningsgrad på 0,77 og en kjøleytelse på 10 kW dersom varmen som tilføres absorpsjonskjøleren har en temperatur inn på 95 °C og på 85 °C, det nedkjølte vannet har en temperatur inn på 20 °C og ut på 15 °C og varmesluket er temperatur inn på 27 °C og ut på 25 °C. Absorpsjonskjøleanlegget som er brukt videre i denne rapporten har samme størrelse som dette anlegget, men en lavere virkningsgrad på grunn av mindre gunstige temperaturforhold (infra kapittel 8).

Ettersom Task 25 var ferdig i 2004 og teknologien er under utvikling er det nå flere kommersielt tilgjengelige absorpsjonskjølesystemer for bruk sammen med solfangere. Når Task 38 er ferdig i august 2009, vil trolig flere av disse bli presentert. I denne oppgaven er det brukt en ny absorpsjonskjølemaskin produsert av et svensk selskap kalt ClimateWell som eksempel på kommersielt tilgjengelige absorpsjonskjølemaskiner. Denne leverer 10 kW kjøling, og er derfor godt egnet for bygninger med mindre behov. Mer om denne kjølemaskinen er gitt i vedlegg 6 og kapittel 8.1.2.

Et energianlegg som produserer kjøling ved hjelp av en soldrevet absorpsjonskjøler består av solfangere med varmelager, absorpsjonskjølemaskin, distribusjonssystem for kjølingen og tilleggskilde. For å få et komplett autonomt energianlegg som også dekker energibehov til belysning og annet elektrisk utstyr trengs også en elektrisitetsproduserende enhet som for eksempel et diesellaggregat. Solceller kan brukes som bidrag i elektrisitetsproduksjonen i tillegg til diesellaggregatet, og dermed øke den totale solenergiandelen. Oppvarming av varmtvann kan skje via varmeveksling med solfangerkretsen eller ved direkte elektrisk oppvarming.

Autonome energianlegg som baserer seg på solceller finnes det mange eksempler på. Ettersom kjøling med absorpsjonskjøler og termiske solfangere er i fokus i oppgaven er det valgt å ikke beskrive autonome

energianlegg basert på solceller her. For mer litteratur om emnet henvises til IEA Photovoltaic Power Systems Programme (Web 5, IEA Photovoltaic).

4.5 Dataprogrammer brukt i prosjektet

Det er tatt i bruk to dataverktøy i arbeidet med oppgaven. En kort presentasjon av dem er gitt her.

4.5.1 Trnsys

Trnsys er et fleksibelt simuleringsverktøy brukt til å gjøre dynamiske simuleringer av ulike systemer. Trnsys ble opprinnelig utviklet som et samarbeid mellom University of Wisconsin (Madison Solar Energy Lab) og University of Colorado (Solar Energy Applications Lab) for å simulere transient ytelse på termiske systemer. Programmet ble kommersielt tilgjengelig i 1975 og har siden da blitt utviklet til å bli et simuleringsprogram for en rekke ulike energisystemer. Trnsys kan blant annet brukes til solceller, solfangere, bygninger med ventilasjonssystem, mange typer oppvarming og kjølesystemer, hydrogen systemer og andre typer fornybare og ikke fornybare energiproduksjonssystemer.

Oppbygningen av ulike systemer skjer i det grafiske simuleringsstudioet. Et system bygges opp med basis i alle de nødvendige komponentene i energisystemet kalt typer. En type er for eksempel en solfanger, et dieselaggregat eller et styringssystem. Alle typene er beskrevet med en matematisk modell som gjenspeiler hva som skjer i komponenten. Hver type har et antall faste parametere, input, output samt et grafisk utseende som beskriver typen. Et likningssett i den matematiske modellen produserer output med bakgrunn i parametrene og inputene. Alle komponentene kobles sammen via input og output slik at de til sammen utgjør et komplett energisystem. Trnsys inneholder et standardbibliotek med 80 komponenter samt at det finnes over 300 ekstra komponenter tilgjengelig.

Trnsys inneholder typer som kan hente filer fra og skrive filer til ytre programmer. Dette er for eksempel og hente inn klimadata for ulike lokasjoner som er generert fra andre programmer, og skrive ut resultater fra simuleringer til Excel.

En fordel med Trnsys er at den har en åpen kildekode som gjør at sluttbrukere kan implementere nye typer eller redigere eksisterende slik at programmet gir stor fleksibilitet for brukerens behov.

Trnsys er brukt i oppgaven til å simulere dieselforbruket i det nåværende energisystemet og utviklingen og testing av mulige alternative energisystemer med sol. Det er brukt deler av standardbiblioteket, samt et par tilleggsapplikasjoner.

Informasjon om Trnsys er hentet fra brukermanualen til programmet og distributørens hjemmeside (web 15, Trnsys).

4.5.2 Microsoft Excel

Excel er et regneark som kan brukes til bearbeidelse av store tallmengder og utførelse av enkle og mer kompliserte regneoppgaver, samt visuell fremstilling av tallmateriale ved hjelp av grafer og kurver.

Excel er i denne oppgaven brukt til å utføre manuelle energiberegninger, til å da imot simuleringsresultatene fra Trnsys for vurdering og bearbeidelse, beregning av lønnsomhet, samt grafisk fremstilling av resultatene.

4.6 Metode for lønnsomhetsberegninger

For å sammenlikne alternative energiforsynings løsninger er ikke bare redusert forbruk av drivstoff som er viktig, men også total økonomisk lønnsomhet til løsningen. For å måle lønnsomhet er det valgt å bruke årskostnadsmetoden. Denne metoden går ut på å regne om alle forventede inntekter og utgifter til like store årlige beløp (annuiteter) (Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad & Novakovic, Sintef, 1996, s. 79). Annuiteten kan så deles på det årlige energiutbyttet fra energiforsyningssystemet slik at en energipris på den leverte energien bestemmes. Energiprisene kan brukes som en grov sammenlikning av lønnsomhet til ulike alternative systemer, og annuitetene kan sammenliknes direkte for å se på årlig sparing eller merkostnad ved en løsning sammenliknet med en annen. Tabell 4.1 viser inndata og formler brukt til å beregne energiprisen på den leverte energien.

Tabell 4.1 Inndata og formler for beregning av energipris for levert energi.

Inndata:	Verdi:	Enhet:	Dokumentasjon:
Energipris levert energi til satellittklinikken = KÅ/Totalt årlig energibehov		kr/kWh	
KÅ, Årskostnad = $(I * a) + V + D$		kr/år	(Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad & Novakovic, Sintef, 1996, s. 79)
I, Investeringskostnader		kr	Infra kapittel 4.6.1
N, Levetid anlegg	20	år	
r, Kalkulasjonsrente	0,045	% /100	(Bauer, R., samtale 7)
a, Annuitet = $r / (1 - ((1+r)^{-N}))$	0,077	% /100	(Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad & Novakovic, Sintef, 1996, s. 79)
V, Vedlikeholdskostnader		kr/år	
D, Driftkostnader = forbrukt mengde diesel * dieselpri		kr/år	
Dieselpri nå	6,43	kr/L	(Øwre, J., e-post 2)
Dieselpri fremtidig	10,00	kr/L	(Øwre, J., e-post 2)
* alle kostnader er eks. mva.			

Prisen på den dieselen som kjøpes av Normeca i dag ligger på ca. 6,43 kr/L. Det er etter ønske fra Normeca også gjort vurderinger av lønnsomhetene til systemene ut fra en dieselpri på 10,0 kr/L. Dette er gjort for å se på fordelene med et energiforsyningssystem basert på solenergi dersom dieselpriisen stiger.

Det er sett bort i fra utgifter i forbindelse med montering og vedlikehold av anleggene. Monteringsutgiftene vil komme i forbindelse med oppbygningen av Satellittklinikken og utgjøre en del av den totale byggekostnaden. Alle systemene vil kreve vedlikehold, da det er vanskelig å si noe eksakt om vedlikeholdskostnadene er det antatt at alle anleggene vil kreve omtrent like mye vedlikehold slik at det ved sammenlikning av lønnsomheten ikke vil ha noen betydning.

Levetiden på solceller er anslått til normalt å være mellom 25 og 30 år. Styringssystemer har lavere levetid og må regnes med å måtte byttes etter 10 til 15 år. Det er beregnet med en gjennomsnittlig antatt levetid for anleggene.

Alle priser, kostnader og lønnsomheter brukt og beregnet i oppgaven er oppgitt i kroner ekskludert merverdiavgift.

4.6.1 Investeringskostnader

Investeringskostnadene for de komponentene som trengs i systemene er oppgitt i Tabell 4.2. Hvilke komponenter som trengs og antallet er angitt i beskrivelsene av de ulike energiforsyningsløsningen. For mer utdypende informasjon om komponentene, se vedlegg 6.

Tabell 4.2 Investeringskostnader

Komponent:	Pris eks. mva.:	Enhet:	Dokumentasjon:
Dieselaggregat 6 kW	30 000	kr/stk	(Søberg, samtale 6)
Luftkondisjoneringsanlegg, totalpris for en satellittklinikk	63 456	kr	(Øwre, J., e-post 2)
Absorpsjonskjøler 10kW, inkludert varmelager på 44 kWh	99 000	kr/stk	(Forssmann, J., e-post 8)
Boiler (kjel) 33 - 40 kW, inkludert oljebrenner	19 300	kr/stk	(Edvardsen, J., e-post 10).
Solfanger, per absorbatorareal	3 832	kr/m ²	(web 18, Solkraft)
Solceller (virkningsgrad 10 %)	29 808	kr/kWp	(web 21, Solarbuzz)
DC/AC konverter, avhengig av solcellesystemets totalt kWp	17 461 - 50 621	kr/stk	(Eriksen, J., e-post 4)

Prisen på solcellene er standard pris og gjelder uansett antall. Prisen på luftkondisjoneringsanleggene er den prisen som betales i dag, og antas og være fast. For de resterende prisene kan det være muligheter for kvantumsrabatter ved kjøp av større kvanta.

5 Feltsykehus i Sør- Sudan

Energiforsyningsmodellene som skal utvikles og modelleres tilpasses et mindre mobilt sykehus kalt en Satellittklinikk. Det er i dette kapittelet gitt en beskrivelse av Satellittklinikken med opplysninger om bygningskonstruksjonen og brukerne. Det er også gitt en beskrivelse av dagens energiforsyningssystem basert på energiforsyningssystemet til Katiko Referral Hospital i Kapoeta, Sør- Sudan. For å få et inntrykk av mengden energi som er tilgjengelig fra sola i Kapoeta er det gjort en estimering av tilgjengelig solenergi og en beskrivelse av sol -forhold og klima. Kapittelet gir til slutt en kort beskrivelse av det antatte vannforsyningssystemet og mengdene vann som vil brukes i Satellittklinikken.

5.1 Satellittklinikken:

Energisystemet skal som allerede nevnt modelleres ut fra behov og forhold til en Satellittklinikk. En satellittklinikk er et mindre sykehus som skal være lett å transportere og lett å montere, og samtidig kunne tilby det nødvendige av fasiliteter. Den skal inneholde nok utstyr og rom til å kunne fungere som et eget helsetilbud på mindre steder, men vil ikke kunne tilby alle fasiliteter som et fullt utbygd sykehus.

Satellittklinikken oppbygning er utarbeidet av Normeca. Beregninger og antagelser er gjort med utgangspunkt i opplysninger fra Normeca og bruk av norske standarder der opplysninger ikke har vært tilgjengelig. Geografisk plassering av satellittklinikken er Kapoeta, Sør- Sudan, samme lokasjon som det sykehuset som er ferdigstilt (Katiko Referral Hospital). Denne plasseringen gjør at sykehuset overhode ikke har behov for varme til romoppvarming på noen tid av året, det eneste varmebehovet er oppvarming av varmtvann.

Satellittklinikken er satt sammen av 22 stk. 20' containere med gang i mellom. Hver container har målene L6055 x B2435 x H2591mm. Dette gir et totalt gulv areal på 406 m² og et volum på 1 052 m³. Figur 5.1 viser Satellittklinikken. Rommene som ikke er beskrevet nærmere i figuren er rom med vanlig belysning og temperaturrebehov (klimatiserte rom uten spesielle laster/tilskudd). I tillegg til de 22 containerne står det en fryser og en generator i egne enheter (Øwre, J., e-post 2).

Innetemperaturen skal ligge mellom 20 og 25 °C.

Den siden som vender mot sola skal være uten vinduer. Denne siden er antatt å være mot sør. Taket er dekket med solceller/solfangere som fungerer som skjerming mot solinnstråling gjennom taket til bygningen. Markiser på vinduene (ytre) hindrer solinnstråling (Øwre, J., e-post 2).

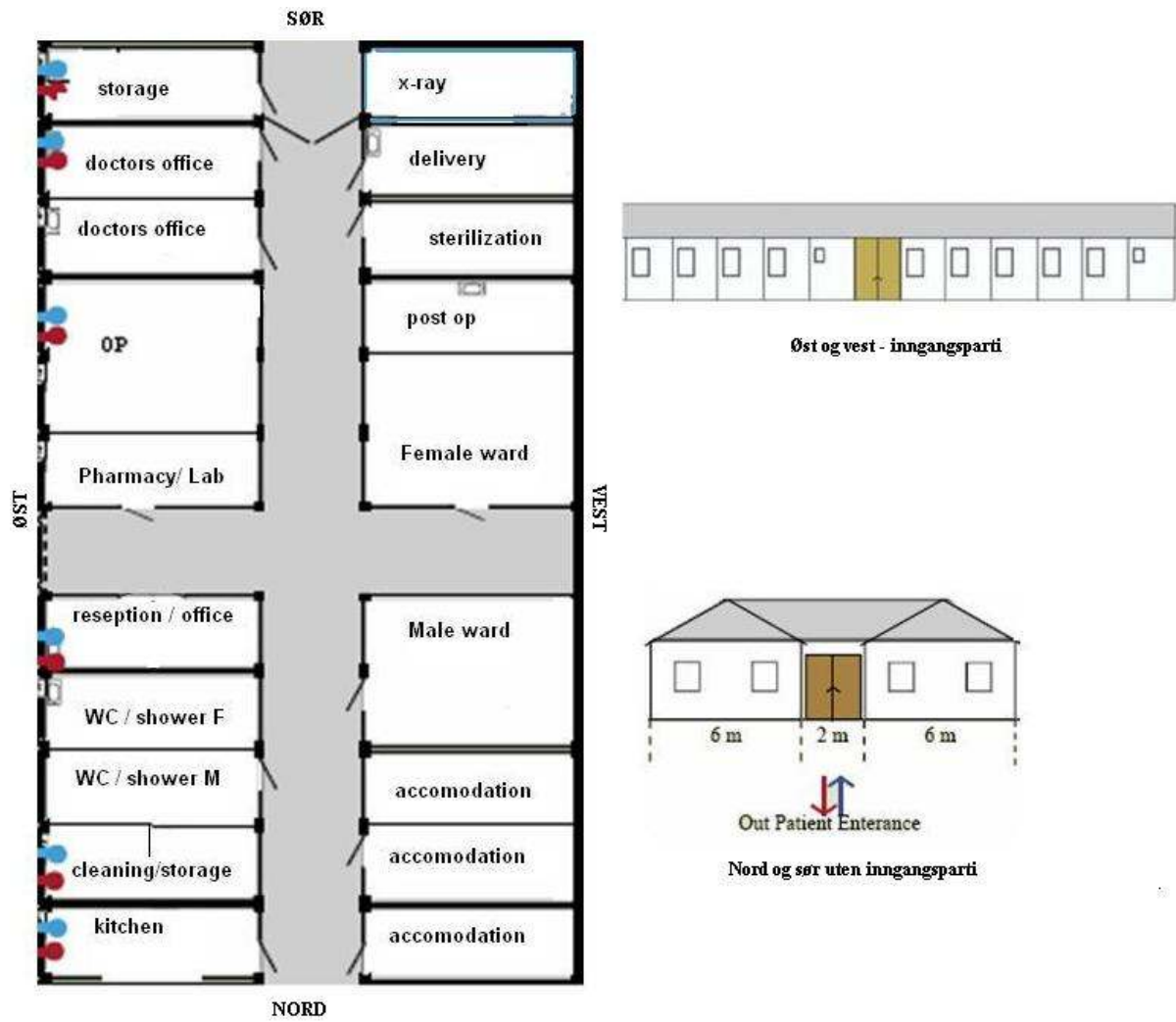
Satellittklinikken er antatt å ha 6 ansatte, 4 sengeliggende pasienter og 35 dagpasienter i kontinuerlig drift gjennom året. Det er antatt at sykehuset er i drift fra klokken 07.00 til 17.00, altså 10 timer per dag. Det antas at hvert av legekantorene tar 1 pasient av gangen i 10 timer per dag, dette betyr at vil være 2 ekstra personer på sykehuset i tillegg til ansatte og sengeliggende, forenkler dette til at det totalt er 12 personer på sykehuset til enhver tid (til bruk i beregning av varmetilskudd).

Det fra Normeca ikke gitt noen konkret beskrivelse av satellittklinikken utstyr og belysning. Det er derfor gått ut fra norsk standard for sykehus for å anta utstyrs- og belysningsmengde. Det er så gjort nedjustering etter antagelse om at utstyrsnivå og lysbruk vil være betydelig lavere i et feltsykehus i Sudan enn i et sykehus tilpasset norske forhold. (Beskrevet nærmere i forbindelse med energiberegninger).

Det bores etter grunnvann med rensesystem til forsyning av vann til sterilisering, drikke og daglige formål. Mer om vannsystemet er beskrevet i kapittel 5.4.

Grunnen til at det valgt å fokusere på en liten enhet er at den i praksis vil kunne brukes på flere steder og enklere kunne tilpasses spesielle forhold, samtidig mulighetene er tilstede for å ha den som utgangspunkt ved sammensetning av større enheter. En satellittklinikk vil være enklere å transportere og vil være mer tilgjengelig for de som trenger den. Et utgangspunkt i en slik modell vil forenkle simuleringer og forminske feilkilder og usikkerheter i konstruksjon og utstyr. Et ønske fra Normeca er at fleksibiliteten og mobiliteten til modulene beholdes, dette betyr at utstyr til energiforsyningen kan derfor med fordel være tilpasset små enheter, noe som gir lavere vekt og enklere transport.

Fleire satellittklinikker skal kunne settes sammen til ett større sykehus. Dette betyr at energisystemet som i oppgaven blir anbefalt for en satellittklinikk skal kunne skaleres opp til å gjelde også for store enheter med noe korrigering for spesialutstyr. Energisystemet basert på satellittklinikken skal også kunne brukes i andre land der tilgangen på solenergi og tilgang på fossilt drivstoff har likheter med forholdene i Kapoeta.



Figur 5.1 Skisse av satellittklinikken

5.2 Dagens energisystem:

Energisystemet til sykehusene er med dagens løsning basert på strømproduserende dieselaggregater. Dette kapittelet er tatt med for å beskrive hvordan sykehuset i Kapoeta drives med diesel som energibærer og hvorfor det er interessant å se på alternative løsninger. Ettersom Satellittklinikken baserer seg på forholdene til sykehuset i Kapoeta, vil dette være det originale energisystemet Satellittklinikken antas å ha før vurdering av et nytt energiforsyningsystem.

Sykehuset i Kapoeta bruker elektrisitet til lys, utstyr, vannpumping, oppvarming av varmtvann og kjøling av rom. Strømmen produseres med et dieselaggregat og det er ingen tilknytning til noe eksternt strømnett. Det er antatt at alt utstyr holder norsk standard med 220 Volt vekselstrøm. Oppvarming av varmtvann skjer elektrisk i en bereder bortsett fra oppvarming av varmevannet til dusj og håndvask som skjer ved direkte elektrisk oppvarming ved forbrukssted grunnet for å forhindre legionella oppblomstring. Det er separate vannvarmere ved hvert vannuttak (Finden, samtale 5). Rommene kjøles ned med strømkjølte luftkondisjoneringsanlegg (luft til luft kjølesystem) som er plassert inne på rommene. Hver Satellittklinik har totalt 11 luftkondisjoneringsanlegg (Øwre, J., e-post 2).

Dieselaggregatet avgir varme under drift. Noe av varmen er utslipp av varme gjennom aggregatets eksossystem, og noe er spillvarme som avgis fra kjølevannet til aggregatet, denne spillvarmen holder en konstant temperatur på rundt 85 °C (Finden, samtale 5). Det er antatt at denne spillvarmen utgjør ca. 30 % av brennverdien til den forbrukte mengden diesel (Finden, samtale 5). Nedre brennverdi til diesel er 43 000 kJ/kg og tettheten er 0,85 kg/L (web 16, BFIN).

Store deler av den dieselen som kjøpes til å drive sykehusene er produsert fra olje som er hentet ut i Sør-Sudan. Oljen blir fraktet med rør til Nord-Sudan (Port of Sudan) for raffinering, med skip ned til Mombasa i Kenya og videre gjennom Kenya med tankbil. Dieselen kjøpes på grensen til Kenya i Lokichokio (se Figur 5.2) og fraktes derfra 150 km med tankbil til Kapoeta hvor den brukes i aggregatene. Total reiserute for dieselen er på 1 600 km (Øwre, J., e-post 2). Kapoeta er det stedet av de 10 planlagte lokasjonene for sykehusene som ligger nærmest Mombasa, og som dermed har kortest vei for transport av diesel.

Energiforsyning med diesel som energibærer er en dårlig løsning av flere årsaker. I stedet for at Sør-Sudan kan selge oljen ut av landet og tjente på den, må de bruke den selv. Den lange transportveien betyr høye kostnader samtidig som den betyr uforutsigbarhet på grunn av dårlige veisystemer og uroligheter i flere av stedene lastebilene må passere gjennom. Uroligheten har blant annet ført til at diesel kan ha forsvunnet i transporten. Sør-Sudan er selv oljeprodusent og har derfor inntekter fra olje. Oljen behandles i Port of Sudan i Nord-Sudan og fraktes som nevnt dit via rørledninger. Fortjenesten splittes mellom Sør-Sudan og Nord-Sudan slik at det er til begges fordel at oljen kommer trygt frem.

Bruk av diesel utgjør i tillegg unødvendige miljøutslipp på et sted der forholdene for å hente ut energi fra solen er gode.

Prisen på diesel som er kjøpt til sykehuset i Kapoeta har ligget på KES 75 pr. liter, som tilsvarer 6,43 NOK pr. liter. I denne kostnaden er dieselkostnadene forbundet med frakt av diesel fra kjøpssted inkludert (Øwre, J., e-post 2).



Figur 5.2 Kart over transportvei for tankbil som henter diesel.

5.3 Estimering av tilgjengelig solenergi lokalt:

Formålet med oppgaven er å se på hvordan solenergi kan brukes til å dekke energibehovet til sykehuset. For å kunne estimere hvor mye energi som kan dekket med solenergi er det essensielt å vite hvor mye solenergi som er tilgjengelig i området og når solenergien kan benyttes. En estimering av tilgjengelig solenergi lokalt er gjort med bakgrunn i klimaforholdene og solinnstrålingen i Kapoeta. Temperaturforholdene viktig i forhold til når det vil være behov for solenergien i form av kjøling. Det er derfor også lagt til et avsnitt som viser temperaturforholdene i Kapoeta.

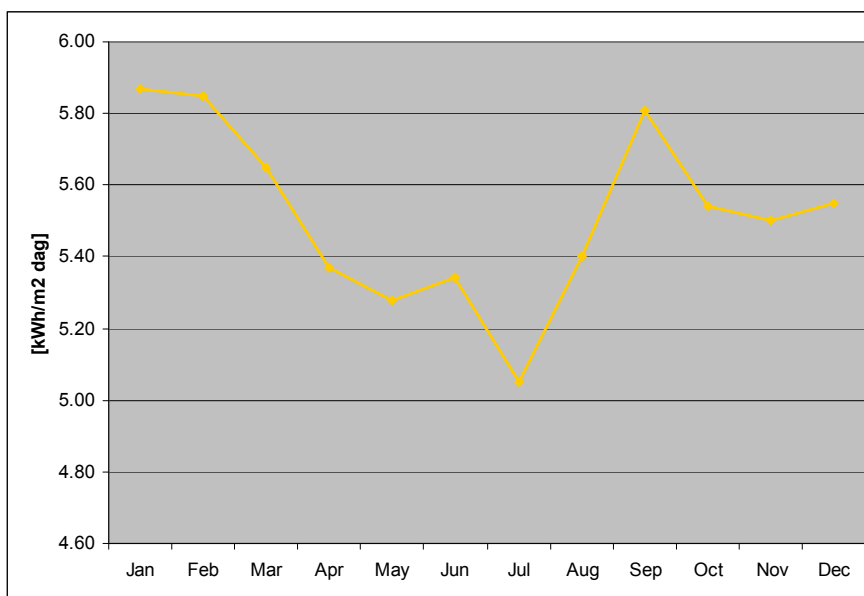
Beskrivelsen av klimaforholdene for Kapoeta er i hovedsak laget på bakgrunn av klimadata hentet fra NASA klimadata (web 13, NASA). Målingene er et gjennomsnitt hentet fra perioden 1983 til 1993. NASA klimadata finnes for de fleste steder i verden og lokasjon beskrives ut fra lengde- og breddegrad. Kapoeta ligger sørøst i Sør Sudan på 4,8 breddegrad (Nord) og 33,6 lengdegrad (øst) (Geographica, 2005, s. 369).

5.3.1 Solinnstråling:

Målte verdier for solinnstråling på en flate utgjør utgangspunktet for estimeringen av hvor mye solenergi flaten vil komme til å motta av solenergi. I NASA klimadata er det oppgitt hvor stor den gjennomsnittlige årlige solinnstrålingen på en kvadratmeter er per døgn i en gitt måned på et gitt sted. Sykehusenes tak vil være en naturlig plassering av solcellene og solfangerne. Sammen med solinnstrålingsdata vil antall kvadratmeter tak areal tilgjengelig for plassering av solfangerne og solcellene gi et estimat av hvor mye solenergi som er tilgjengelig for bruk i energisystemet. Hvor stor andel av energien fra sola som vil kunne utnyttes i energiforsyningssystemet til sykehuset, avhenger av virkningsgraden til solfangerne, absorpsjonskjølerne og solcellene, samt ulike tap i det totale systemet.

Ettersom vedlikehold, drift og montering skal være så enkel som mulig og containerne skal være en pakkeløsning, er det en fordel at solcellene og solfangerne er en del av takkonstruksjonen. Det er derfor ikke antatt at det vil være en mulighet til å utvide solfanger/solcelle arealet ved å plassere de på bakken. For å minske vedlikehold er det ønskelig med minst mulig bevegelige deler slik at en regulerbar justering av helningen på solfangerne/solcellene er ikke å foretrekke. Den kan derimot være muligheter for å plassere solfangerne på veggene. Dette er det ikke sett nærmere på.

Figur 5.3 viser hvordan den gjennomsnittlige månedlige solinnstrålingen på en horisontal flate er per dag. Dataene kan brukes til å estimere hvor mye solenergi som vil være tilgjengelig per måned ut fra et gitt tilgjengelig tak areal.



Figur 5.3 Månedlig gjennomsnittlig innstråling på en horisontal flate [kWh/m² dag].

Ut fra verdiene i figuren over og antall dager per måned estimeres årlig energi innstrålt på en horisontal flate til å være 2 013 kWh/m². Til sammenlikning er årlig solinnstråling på horisontal flate i Norge ca. 1000 kWh/m² (Rekstad & Meir, 2007, s. 41). Med et tak areal på totalt 406 m² (supra, 5.1) blir årlig innstrålt solenergi på

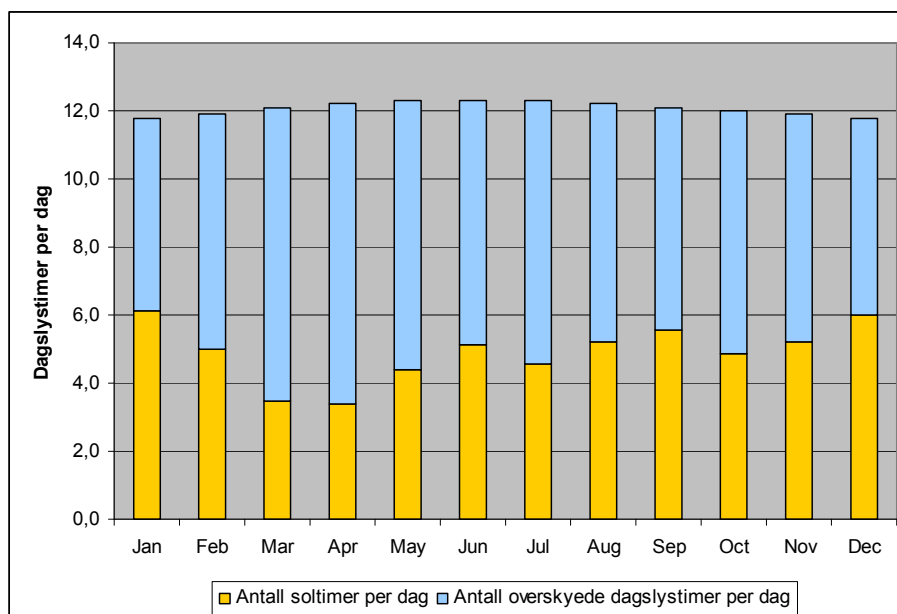
sykehusets tak på 817 MWh/år. Hvor mye av dette som kan utnyttes vil variere med areal på solceller og areal på solfangere.

Dersom hele taket dekkes med solceller med virkningsgrad på 10 % vil maksimalt 81,7 MWh/år kunne utnyttes satellittklinikken, i tillegg kommer tap som følge av at produksjon og forbruk ikke vil være i direkte samsvar. Dersom taket dekkes med solfangere med virkningsgrad på 50 % som fungerer som varmekilde for en absorpsjonskjøler med gjennomsnittlig virkningsgrad på 63 %, vil maksimalt 257 MWh kunne utnyttes i satellittklinikken. Også her vil virkelig utbytte bli lavere på grunn av tap forbundet med lagring og overføring av varmen, samt tidsforskjeller mellom produksjon og forbruk. Både solceller og solfangere er forholdsvis dyre, så det er viktig at arealet velges slik at hver kvadratmeter av solfangerne eller solcellene utnyttes på best mulig måte. Det er for eksempel ikke vits å installere et antall solfangere som gir en effekt som kun behøves de tre varmeste dagene i året.

5.3.2 Sol timer:

Ved bruk av sola som energikilde til en bygning er det interessant å vite når det er forventet å kunne ta i mot energien. Sola skal i hovedsak brukes til å produsere kjøling i en absorpsjonsmaskin. Ettersom det er sola som fører til at det trengs kjøling, er det et godt samspill mellom behov og etterspørsel etter når i løpet av året, og når i løpet av dagen behovet er størst. Ved bruk av solenergien til å produsere elektrisitet og varmtvann kan det også være interessant å vite når på døgnet sola avgir mest energi slik at bruk av utstyr kan planlegges etter tilførsel. Dette gjelder utstyr som ikke må kjøres kontinuerlig som for eksempel vaskemaskiner. Ved å kjøre disse når sola står på som sterkes kan både varmtvann og strøm brukes fortløpende slik at lagringsbehovet forminskes. Vet ikke når sola er dekket av skyer, bare hvor lenge per dag.

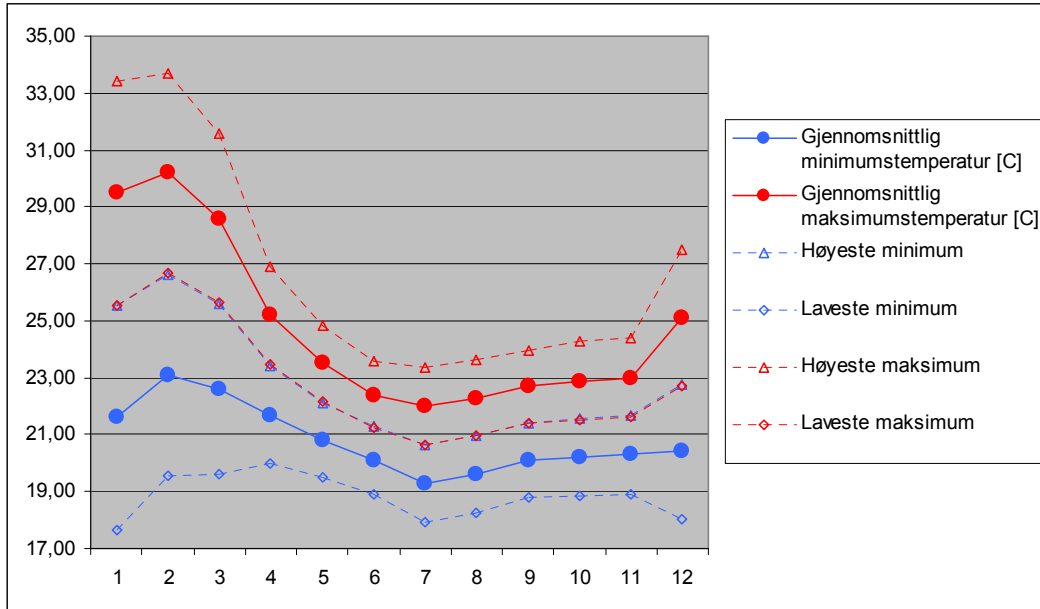
I regntiden reduseres antall sol timer per dag ved at været er mer overskyet. Figur 5.4 viser en oversikt over hvor mange timer av de timene sola er oppe som er overskyet og hvor mange av timene som sola er fremme.



Figur 5.4 Antall sol timer per dag i Kapoeta.

5.3.3 Temperaturer:

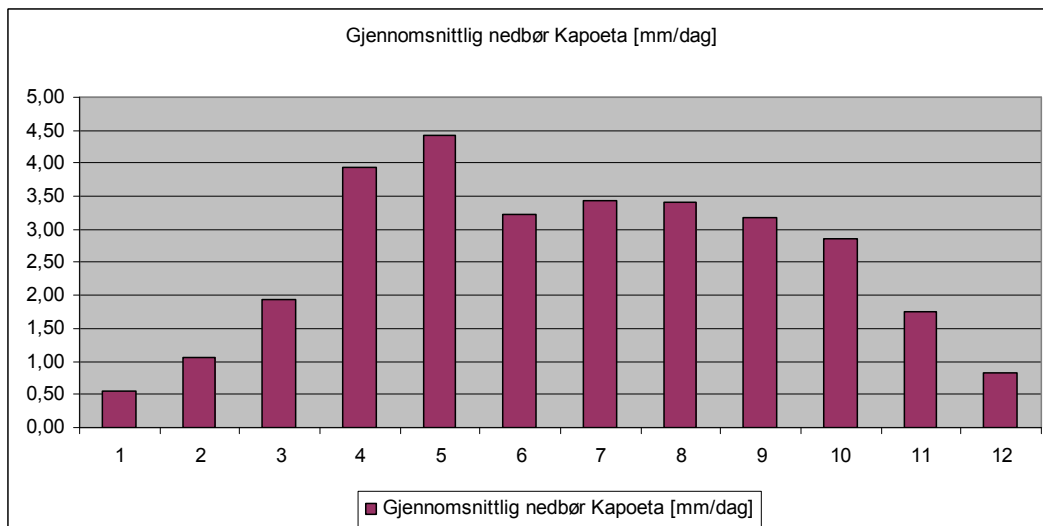
Temperaturforholdene er sammen med solinnstrålingen viktig for å kunne gjøre gode estimeringer av sykehusets kjølebehov. Figur 5.5 viser hvordan gjennomsnittlige daglig maksimum -og minimumstemperatur varierer for Kapoeta i løpet av året. Det er også vist hvordan gjennomsnittlig amplitude kan føre til variasjoner i gjennomsnittstemperaturene.



Figur 5.5 Variasjon i daglig lufttemperatur. Hentet fra (web 13, NASA).

5.3.4 Nedbør og regntid:

Sørøst i Sudan er det regntid fra mars/april til november/desember (web 3, Den offisielle norske ambassaden I Sudan sin nettside). I regntiden faller det rundt 100 millimeter regn per måned, og i tørketiden er det fra 50 millimeter og ned til 17 millimeter. Figur 5.6 viser antall millimeter nedbør per dag for Kapoeta (web 13, NASA).



Figur 5.6 Nedbørsmengder pr måned i Kapoeta.

5.4 Kartlegging av vannforbruk:

For å at sykehuset skal ha tilgang til vann, bores det etter grunnvann. Det er antatt at vannet hentes ut ca. 150 meter under bakkenivå. Vannet renses ved hjelp av et rensesystem slik at det kan brukes til sterilisering, drikke og daglige formål.

Det daglige vannbehovet til sykehuset er beregnet ut fra tabellverdier på forbruk av vann per person til ulike formål i et feltsykehus oppgitt fra Stein Midtlund i Scandinavian Water Technology (Midtlund, S., e-post 3) og antall personer som oppholder seg i Satellittklinikken beskrevet i kapittel 5.1. Det er i tillegg lagt til at sykehuset kan dele ut to tusen liter vann til lokalbefolkning og dagpasienter per dag. Totalt estimert daglig vannbehov er beregnet til 4000 liter per dag. Dette er fordelt på vannforbruk til ansatte og pasienter, toaletter og oppvask og klesvask. Inkluderer i vannforbruket til personer er vann til dusjing, håndvask, sterilisering av utstyr, drikkevann, matlaging og vasking av rom. Tallene som danner grunnlag for vannforbruket og beregning av vannforbruket er vist i Tabell 5.1. Antall personer er hentet fra kapittel 5.1.

Tabell 5.1 Beregning av vannforbruk

Forbrukssted	Antall forbrukere	Forbruk [L/(døgn* pers)]	Vannmengder [L/døgn]:	Dokumentasjon:
Ansatte	6	40	240	(Midtlund, S., e-post 3)
Sengepasienter	4	50	200	(Midtlund, S., e-post 3)
Dagpasienter	35	5	175	(Midtlund, S., e-post 3)
Toalett	45	20	900	(Midtlund, S., e-post 3)
Oppvask og klesvask	45	2	90	(Midtlund, S., e-post 3)
Vann til mennesker som er innom			2 000	Antagelse
Avrundet totalt			4 000	Beregnet

Vannet lagres på vanntanker. Det er anbefalt at vannlageret er stort nok til å dekke to dagers behov fordelt på to lagerenheter (Midtlund, S., e-post 3). Antar en lagerkapasitet på 10 000 liter fordelt på to tanker a' 5 000 liter.

Vannet blir før lageret, og etter renseprosessen tilsatt klor. Dette er for å drepe eventuelle bakterier som ikke er blitt borte og for å forhindre videre bakterievekst. Økt temperatur på vannet vil kreve en høyere dosering av klor (Midtlund, S., e-post 3). Det er viktig at lagertankene plasseres på et sted som ikke er utsatt for sollys for å forhindre økt lagringstemperatur på vannet, som kan gi gunstigere forhold for bakterievekst.

Opppumpningen av vannet fra brønnen krever energi. Dette energibehovet er beregnet som en del av det elektriske energibehovet til satellittklinikken (infra Tabell 6.1). Ettersom vannet lagres på store lagertanker er det ingen krav til når på døgnet vannet bør pumpes opp. Det er derfor antatt at vannpumpa kjøres på dagtid mellom klokken 08.00 og 18.00 slik at energibehovet til pumping av vann er mest mulig samkjørt med solinnstrålingen. Denne samkjøringen er ønskelig for å få best mulig utnyttelse av de alternative energisystemene som baseres på solenergien.

Last profilen til vannpumping er vist i kapittel 6.2.2.4. Effektbehovet er gitt ut fra beregnede verdier som baserer seg på et forbruk på 4 000 liter/dag pumpet opp i løpet av 10 timer om dagen fra 08.00 til 18.00, og som skal pumpes en høyde på 150 meter, se likning i vedlegg 3.

Andelen av vannet som forbrukes som varmtvann er beregnet ved å anta at 85 % av det beregnede vannbehovet til personer er varmt vann, samt hele vannbehovet til vaske- og oppvaskmaskiner er varmt vann som forbrukes ved en gjennomsnittlig temperatur på 50 °C. Dette gir et daglig forbruk av varmtvann på 613 liter, Tabell 5.2.

Tabell 5.2 Beregning av varmtvannsforbruk

85 % av daglig vannforbruk til ansatte og pasienter antatt varmtvann	522.75	L/døgn
Oppvask og klesvask	90	L/døgn
Daglig varmtvannsforbruk ved Tsnittforbruk	612.75	L/døgn

6 Energibehov til satellittklinikken:

For å kunne utvikle en modell for en energiforsyningsløsning til en bygning er det nødvendig å vite hvor stort energiforbruket til bygningen er og hvordan det varierer over tid. Dersom det ikke finnes tilgjengelig informasjon om dette, må det beregnes ved hjelp av energibehovsberegninger.

Dette kapittelet beskriver metoder for beregning av energibehovet til Satellittklinikken, resultater av beregningene i form av årlige energibehov og lastprofiler for effektbehov, og utviklingen av en lastmodell i Trnsys.

Kapittelet gir også en presentasjon av ulike energisparende tiltak og resultatene ved simulering av et tiltak.

6.1 Manuell estimering av satellittklinikkenes energibehov:

I følge Normeca er det gjort lite målinger på energiforbruket til sykehuset i Kapoeta. Det er også svært vanskelig å si noe om dieselforbruket ettersom sykehuset har vært drevet kun i kort tid med redusert drift og fordi det mistenkes at noe diesel kan ha forsvunnet i transportveien. Ettersom Satellittklinikken foreløpig bare er på tegnebrettet, er det heller ikke tilgjengelig informasjon om hvilke type utstyr, belysning og liknende som skal være i hvert rom.

Ettersom de data som foreligger om energiforbruket er så uklare og Satellittklinikken er veldig ulik Katiko Referral Hospital i Kapoeta er det tatt en beslutning om at energiforbruket skal estimeres ved beregning i stedet for tilgjengelige data. Ettersom estimeringen er gjort veldig forenklet og basert på flere antagelser vil det være usikkerheter forbundet med resultatet.

Resultatet av de manuelle energiberegningene beskriver det årlige totale energibehovet basert på månedlige gjennomsnittsverdier for temperaturer og solinnstråling og sier ingenting om døgnvariasjoner.

6.1.1 Forutsetninger og metoder

Beregningene er gjort manuelt ved hjelp av regneverktøyet Excel, likninger fra boken Energibruk i bygninger (Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad & Novakovic, 1996), og verdier og likninger fra Norsk Standard for beregning av Energi- og effektbehov i bygninger; NS 3031 (Norsk Standard 3031, 2007). Standarden gjelder for norske bygninger og inneholder data for forskjellige bygningstyper inkludert sykehus. Noen av verdiene og kravene er senket for å justeres etter sudanske forhold og forventninger. Alle likningene som er i beregningene er oppgitt i vedlegg 3 og alle inndataene er oppgitt i vedlegg 4. Metodene og forutsetningene som er brukt er beskrevet videre.

Energibehovet til Satellittklinikken er delt opp i to hoveddeler som er elektrisk og termisk energibehov der det elektriske energibehovet krever elektrisk energi (strøm), mens det termiske energibehovet kan dekkes både med elektrisk energi og termisk energi (varme).

Det elektriske energibehovet er summen av energibehovet til belysning, utstyr (medisinsk, kontor, kjøkken), drift av vifter og pumper i ventilasjons- og kjølesystemet, samt drift av pumper til vannpumpesystemer. For beregning av det elektriske energibehovet er det i hovedsak tatt utgangspunkt i standardverdier hentet fra Norsk Standard 3031. Standarden oppgir effekter per kvadratmeter bygning og antall timer per døgn for hvert behov.

Energibehov i forbindelse med drift av pumper i solfangerne og absorpsjonskjølemaskinen er ikke tatt hensyn ettersom det ikke kan bestemmes uten å vite størrelsen på disse systemene

Som beskrevet i kapittel 5.2 om energisystemet til sykehuset i Kapoeta er det brukt luftkondisjoneringsanlegg inne på rommene til kjøling av rommene. Dette krever ikke et felles kjølesystem for bygget og dermed ikke noe energibehov til pumper i kjølesystemet. Ettersom oppgaven skal se på mulighetene for bruk av solfangerne og absorpsjonskjølemaskiner vil det alternative energiforsyningssystemet ha behov for et felles kjølesystem med kjølekrets. Det er antatt at kjølingen med det nye energiforsyningssystemet vil skje gjennom ventilasjonssystemet og at en væskefylt kjølekrets drevet av en pumpe vil kjøle ventilasjonsluften.

Energibehovet til pumper i kjølekrets er derfor tatt med i energiberegningene. For beregning av energibehovet i kjølekretspumpene er det antatt at 85 % av kjølebehovet er på dagtid mellom klokken 08.00 og 20.00.

Det termiske energibehovet er summen av energibehovet til kjøling av bygningen og oppvarming av varmtvann.

Med Satellittklinikkenes kjølebehov menes den varmeenergien som må fjernes fra bygningen ved hjelp av kjølesystemet for å holde romtemperaturen under ønsket temperaturkrav, som her er 25 °C. Kjølebehovet er beregnet som summen av all varme som transporteres fra ute til inne gjennom bygningskroppen og ved ventilasjon, og all varme som produseres intern internt i bygget når innnetemperaturen er 25 ° og utetemperaturen

og solinnstrålingen varierer, se Formel 6 (positive verdier er varme tilført bygget som må fjernes med kjølesystemet).

$$Q_{kjølebehov} = Q_{trans.} + Q_{inf.} + Q_{vent.} + Q_{pers.} + Q_{bel.} + Q_{utst.} + Q_{solinns.} [kW] - \text{Formel 6}$$

Q_{trans.} – Er varme som trenger inn gjennom vegger og tak fordi temperaturen utenfor bygget er høyere enn temperaturen inne i bygget (transmisjon).

Q_{inf.} – Er varme som trenger inn i bygningen gjennom utettheter i bygningsmassen, dette skjer når uteluft med høyere temperatur enn inneluften siver inn gjennom for eksempel vinduer eller lufteventiler (infiltrasjon).

Q_{vent.} – Er varme som tilføres når rommene ventileres ved å ta inn frisk uteluft med høyere temperatur enn inneluften (ventilasjon).

Q_{pers.} – Er varmetilskudd fra personene som oppholder seg i satellittklinikken.

Q_{bel.}, Q_{utst.} – Er varmetilskudd fra belysning og utstyr.

Q_{solinns.} – Varmetilskudd ved at sola skinner på vinduene og sender varmestråling inn i rommene og øker temperaturen.

Beregningene av *Q_{trans.}*, *Q_{inf.}*, *Q_{vent.}* og *Q_{solinns.}* er gjort ut fra likninger hentet fra boka Energibruk i bygninger (Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad & Novakovic, 1996). Satellittklinikken er i beregningene forenklet til å være en firkantet boks med areal på 406 m², og 4 yttervegger med et gitt vindusareal på hver vegg beskrevet detaljert i vedlegg 4. Varmegjennomgangstall for container veggene er hentet fra en tilfeldig leverandør (web 14, Containex). Det er i utgangspunktet antatt at kortsidene til bygningen vender mot nord og sør, og at siden som vender mot sør er uten vinduer for å minke solinnstråling. Den forenklete modellen tar ikke hensyn til romfordeling og hvor utstyr er plassert. Gjennomsnittlig månedlig solinnstråling og utetemperatur for Kapoeta, Sør-Sudan her oppgitt i vedlegg 4 (Sandgren, J., e-post 6).

For å beregne varmetilskuddet bygget får fra utstyr og belysning brukes de samme verdiene som brukes til estimering av den elektriske lasten. I tillegg er det tatt med varmetilskudd fra personene som oppholder seg i bygget.

Hvor mye energi som vil forbrukes av kjølesystemet for å fjerne denne varmeenergien som tilsvarende kjølebehovet i Satellittklinikken avhenger av virkningsgraden til kjølesystemet ($\eta_{kjølesystem}$) som benyttes, se Formel 7.

$$E_{kjølesystem} = Q_{kjøl} / \eta_{kjølesystem} * - \text{Formel 7}$$

Energibehovet til oppvarming av varmtvann er beregnet ut fra det daglige antatte varmtvannsforbruket på 613 liter som over tolv timer utgjør 51,2 L/h (Vvp, varmt). Denne vannmengden forbrukes med en gjennomsnittlig forbrukstemperatur på 50 °C (Tvv, snittforbruk, supra kapittel 5.4). Det er antatt at vannet har 25 °C (Tvv, inn) ut fra vannlagertanken dersom den ikke kjøles for å holde lav temperatur for å forhindre legionella. Beregningen av energibehovet til oppvarming av varmtvann er gitt ved Formel 8.

$$Q_{vv} = V_{vp, varmt} * C_p \text{ vann} * (T_{vv, gj.snit.} - T_{vv, inn}) / 3600 [kWh/dag] - \text{Formel 8}$$

Som beskrevet i kapitlet om dagens energiforsyning (supra kapittel 5.2) skjer oppvarmingen av varmtvann ved sykehuset i Kapoeta ved direkte elektrisk oppvarming ved forbrukssted eller i en elektrisk varmtvannsbereder, og er derfor en del av det elektriske energibehovet. Direkte elektrisk oppvarming gjøres i dusjer og vasker for å forhindre oppblomstring av legionella bakterier. Gunstige betingelser for uønsket legionella oppblomstring er temperaturer mellom 20 og 50 °C (Veileder legionella smittefare, 2007, kapittel 7, s. 6). Ettersom oppvarming av varmtvann egentlig kun krever termisk energi og ikke elektrisk er det for å øke fleksibiliteten til energisystemet funnet en løsning på varmtvannsoppvarmingen som gjør at den kan gjøres termisk og fortsatt være sikret mot legionella oppblomstring. Denne løsningen går ut på at varmtvannet skal sirkulere kontinuerlig i distribusjonsnett mellom varmtvannsberederen og forbruksstedet og at bereder kontinuerlig får tilført den varmemengde som trengs for å holde temperaturen på det sirkulerende vannet over 60 °C. Denne løsningen er brukt for de alternative energiforsyningssystemene (supra kapittel 8). For å ha en sikkerhetsmargin settes beredertemperaturen til minimum 70 °C. (Veileder legionella smittefare, 2007, kapittel 7, s. 6). Ved forbruksstedet blandes det oppvarmede vannet med kaldt vann til forbrukstemperatur i et blandebatteri før bruk.

Beregningene av energibehovene er ved hjelp av metoder og forutsetninger beskrevet over samt likningene i vedlegg 3, inndataene i vedlegg 4 gjort i regneverktøyet Excel. Resultatene av beregningene er beskrevet i neste kapittel.

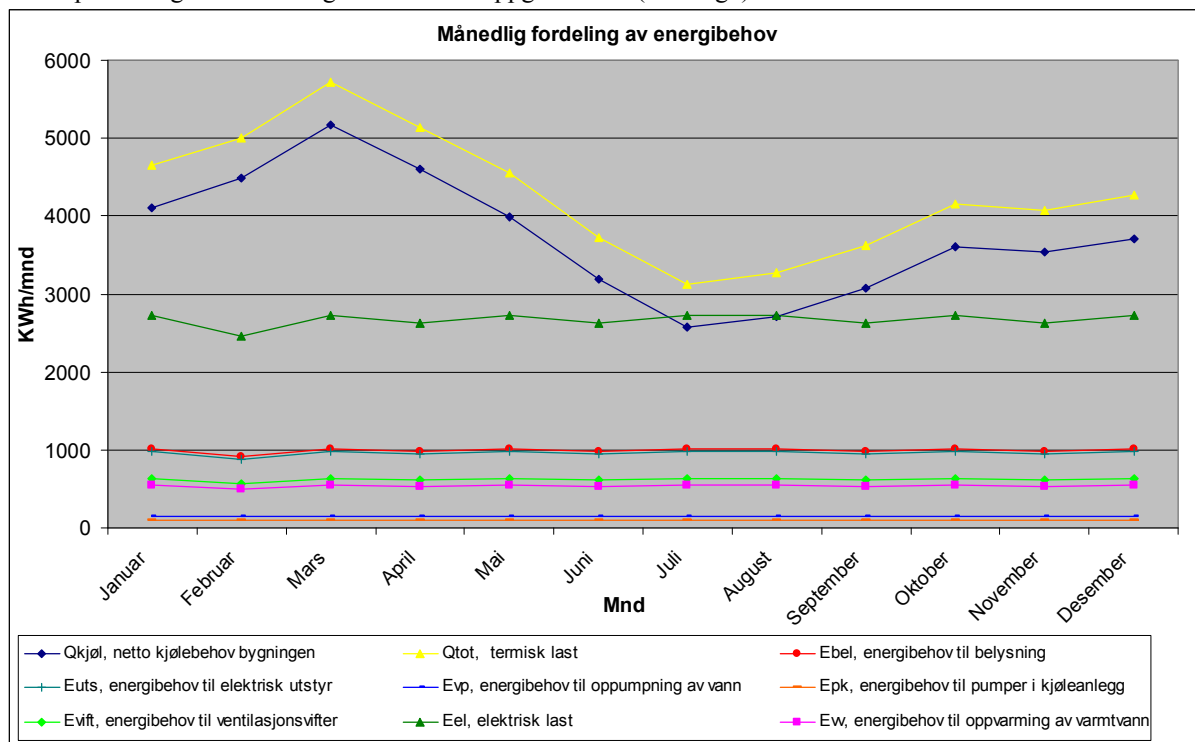
6.1.2 Resultater manuell estimering av energibehov

Tabell 6.1 viser resultatet av den manuelle estimeringen av Satellittklinikens energibehov i kWh/år.

Tabell 6.1 Resultat av manuell estimering av satellittklinikens last.

Resultat manuell estimering av last:	Verdi:	Enhet:
Belysning	11 860	kWh/år
Utstyr	11 563	kWh/år
Vifter	7 412	kWh/år
Pumper i kjøleanlegg	1 192	kWh/år
Vannpumpe	590	kWh/år
Oppvarming av varmtvann	6 516	kWh/år
Kjøling av bygning	44 770	kWh/år
Elektrisk energibehov	32 617	kWh/år
Termisk energibehov	51 286	kWh/år
Satellittklinikens totale energibehov	83 903	kWh/år

Figur 6.1 viser hvordan energibehovet fordeler seg over året med månedlige verdier for gjennomsnittlig utetemperatur og solinnstråling. Verdiene er oppgitt i kWh/(m²*døgn).



Figur 6.1 Estimert energibehov for hver måned i året fordelt på ulike behov.

6.1.3 Kommentarer

Kjølebehovet til bygget er det behovet som er høyest. Dette er rimelig med tanke på at Kapoeta er sted med høy solinnstråling og høye temperaturer (supra, Figur 5.3 og Figur 5.5).

Ettersom denne estimeringen kun viser energibehovet fordelt på årets måneder sier den lite om når på døgnet energien trengs og dermed lite om samsvaret mellom forbruket og produksjon fra eventuelle aktive solenergisystemer. Dette gjør at resultatet er lite egnet til å brukes kunne se hvordan energibehovet virkelig vil kunne dekkes med solenergi.

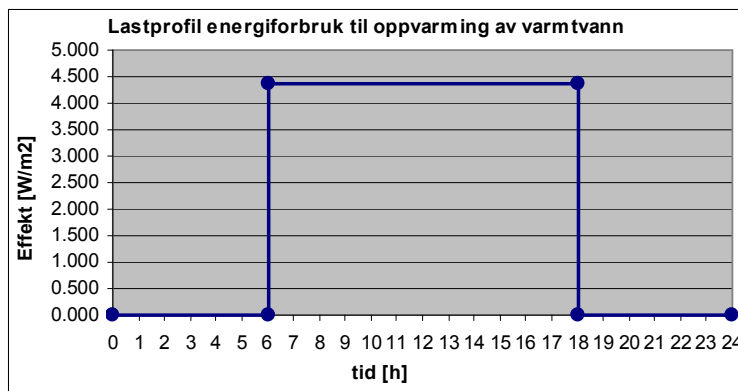
6.2 Last profiler:

For at det i modelleringen og simuleringene av energisystemet skal være mulig å se på når på døgnet energiforbruket av energi skjer, er det laget lastprofiler for forbruket ut fra de beregnede energibehovene. Lastprofilene skal brukes videre for å beskrive for en modell for lasten (energibehov til ulike formål) i Trnsys (infra kapittel 6.3).

Lastprofilene beskriver effekt av forbruket per gulvareal satellittklinikk. Fordelen med å beskrive last profilene på denne måten er de kan brukes til å beregne felt sykehus med andre areal enn det som er spesifisert for satellittklinikken. Arealet for Satellittklinikken som beregningene baserer seg på er 406 m².

Under hver av last profilene er det beskrevet hvordan de er bestemt. Alle lastene er beregnet ut fra de spesifikke energibehovene beregnet i kapittel 6.1 med driftstid og inndata hentet fra Norsk Standard 3031 bygningstype sykehus (NS 3031, 2007) og vist i vedlegg 4. Avvik fra standarden er beskrevet i teksten for hver last profil. Alle dager i året har like last profiler.

6.2.1 Lastprofil varmtvannsvannforbruk:



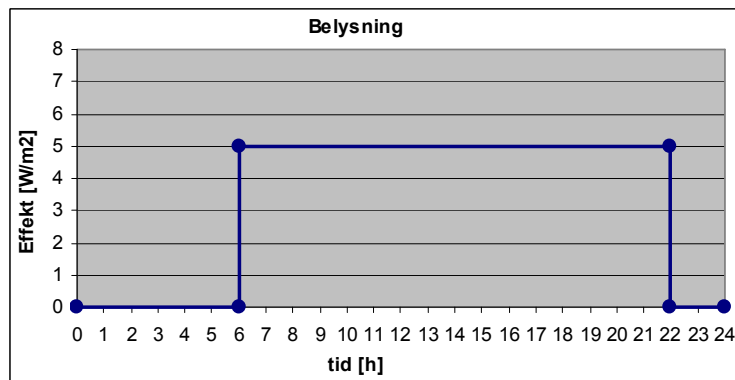
Figur 6.2 Lastprofil for oppvarming av varmtvann

Lastprofilen for oppvarming av varmtvann, Figur 6.2 er basert på at oppvarmingen av varmtvannet skjer mellom klokken 06.00 og 18.00. Det er antatt at oppvarmingen av varmtvannet når tilgangen på solenergi er høyest og at dette også gjenspeiler forbruket av varmtvann. Det skal brukes en varmtvannsbereider for å sikre god tilgang på varmtvann ved effekttopper.

6.2.2 Elektriske lastprofiler

6.2.2.1 Last profil belysning:

Standardverdier: $p_{bel} = 8 \text{ W/m}^2$, $t_{bel} = 16 \text{ h/dag}$

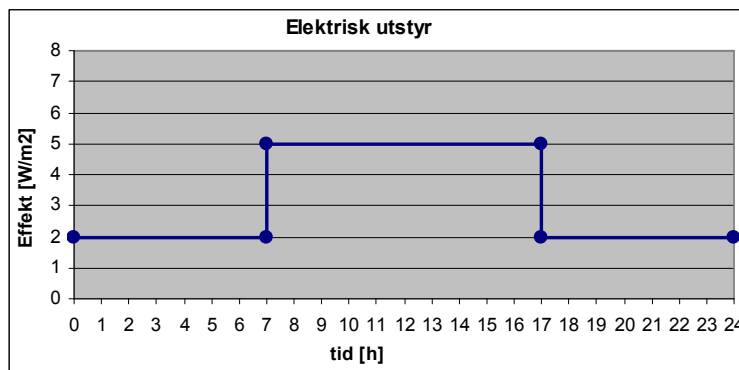


Figur 6.3 Lastprofil belysning.

Lastprofilen til belysning er vist i Figur 6.3. Det er antatt at driftstiden er lik den som er oppgitt i standarden. Sengeliggende pasienter og ansatte boende på sykehuset bruker lys på kveldene og sollysbidrag til rom som brukes om dagen kompenseres for at det er flere rom i bruk på dagen enn på kvelden. Det er antatt at effektbehovet er redusert i forhold til standarden på grunn av færre installerte lyspunkter enn det som er krav i norske sykehus.

6.2.2.2 Lastprofil utstyr:

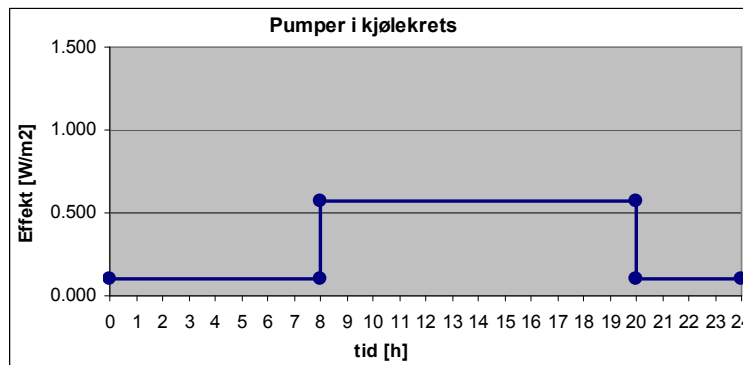
Standardverdier: puts = 8 W/m², tuts = 16 h/dag



Figur 6.4 Lastprofil utstyr.

Lastprofilen til utstyr er vist i Figur 6.4. Det er antatt at det er et noe lavere effektbehov til utstyr enn norske krav grunnet mindre utstyr. Effektbehov til utstyr etter åpningstider er til kontinuerlig drift av kjøleskap og fryserer samt til matlaging og tv til de ansatte.

6.2.2.3 Lastprofil pumper til kjølekrets i ventilasjonssystemet:

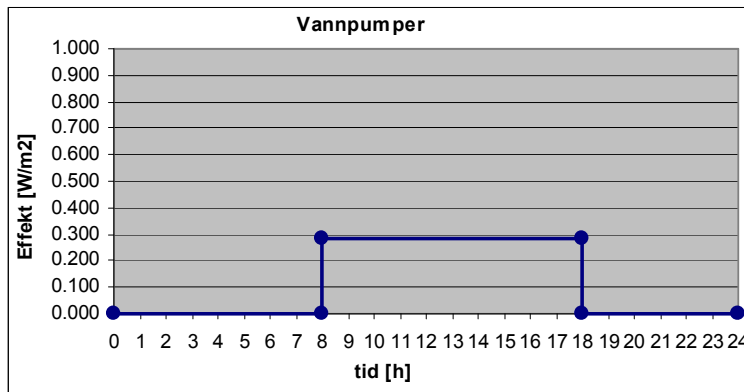


Figur 6.5 Lastprofil pumper til kjølekrets i ventilasjonssystemet.

Lastprofilen til pumper i kjølekrets er vist i Figur 6.5. Effektverdien på lasten som er vist som W/m², er beregnet fra byggets kjølebehov (beregnet under termisk energibehov), temperaturnivået i kjølekretsen og standardverdier for pumpeeffekt. Det er antatt at bygget har et kjølebehov hele døgnet, 85 % av behovet er mellom klokken 08.00 og klokken 20.00, dette gir brukstid full kjøling = 12 h/dag (infra kapittel 6.2.3.2).

6.2.2.4 Lastprofil vannpumper:

Beregnes ut fra daglig mengde vann som pumpes opp.

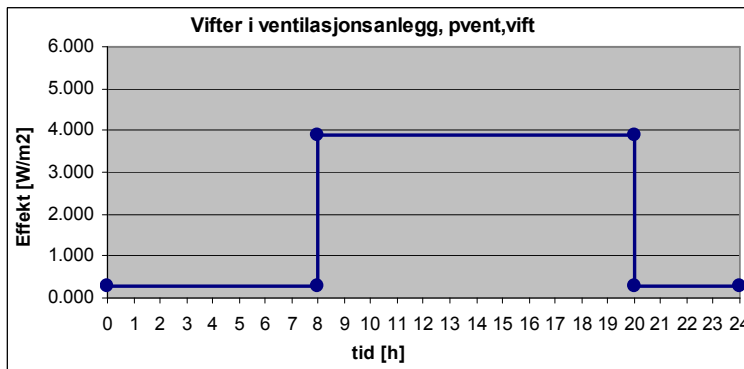


Figur 6.6 Lastprofil vannpumper

Lastprofilen til elektrisk energibehov i vannpumpene er gitt i Figur 6.6. Det er antatt at vannpumpene går mellom klokken 18.00 og 08.00. Mer om vannforbruket er gitt supra kapittel 5.4 (kartlegging av vannforbruk).

6.2.2.5 Vifter i ventilasjonsanlegget:

Standardverdier: Spesifikk ventilert luftmengde, $V_{vent, i} = 10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, $V_{vent, u} = 1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, Driftstid full ventilasjon, $t_{vent, i} = 16 \text{ h/dag}$.



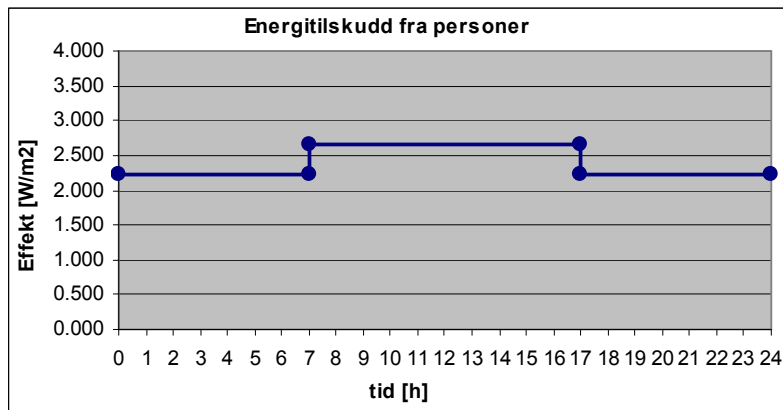
Figur 6.7 Lastprofil vifter i ventilasjonsanlegget.

Lastprofilen til vifter i ventilasjonsanlegget er gitt i Figur 6.7. Reduserer $V_{vent, i}$ til $7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. Spesifikk effekt er beregnet ut fra beregnet effektbehov til vifter delt på arealet til satellittklinikken. Spesifikk effektbehov til vifter i full drift er $2 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ og i nattdrift $1 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

6.2.3 Termiske lastprofiler:

6.2.3.1 Last profil personer:

Lastprofilen for energitilskudd fra personer i bygget er gitt i Figur 6.8. Varme avgitt fra personer i bygget er sammen med varme avgitt fra utstyr og solinnstråling gjennom vinduer med på å øke byggets kjølebehov.



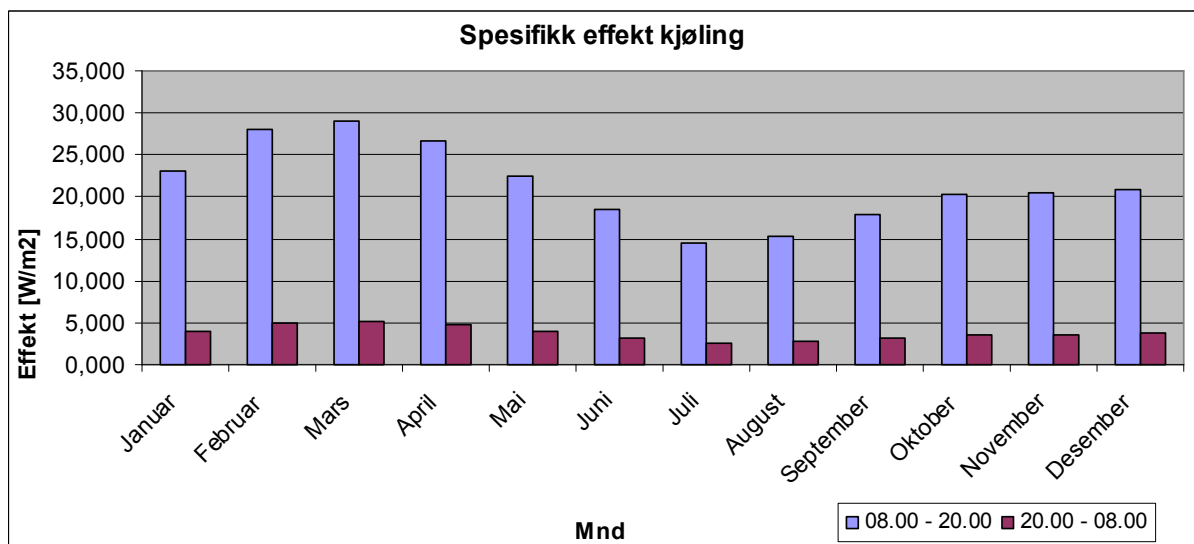
Figur 6.8 Lastprofil energitilskudd fra personer i bygget.

Satellittklinikken er antatt å ha 6 ansatte, 4 sengeliggende pasienter og 35 dagpasienter i kontinuerlig drift gjennom året. Det er antatt at sykehuset er i drift fra klokken 07.00 til 17.00, altså 10 timer per dag. Det antas at hvert av legekantorene tar 1 pasient av gangen i 10 timer per dag, dette betyr at vil være 2 ekstra personer på sykehuset i tillegg til ansatte og sengeliggende, forenkler dette til at det totalt er 12 personer på sykehuset til enhver tid.

6.2.3.2 Last profil kjøling:

For kjølebehovet vil lastprofilen være sterkt avhengig av hvordan solinnstråling og utetemperatur varierer. Ettersom solinnstråling og temperaturer normalt er høyest på dagtid er det er antatt at 85 % av kjølebehovet er mellom klokken 08.00 og 20.00. Dette er en ren antagelse som kun er gjort for å vise at kjølebehovet vil variere over døgnet. Denne antagelsen er kun brukt forbindelse med beregningen av energibehovet til pumper i kjølekretsen (supra kapittel 6.2.2.3).

Ettersom kjølebehovet er beregnet ved hjelp av månedlige gjennomsnittsverdier for utetemperaturer og solinnstråling er lastprofilen for kjølingen fordelt på måneder.



Figur 6.9 Årlig lastprofil kjøling.

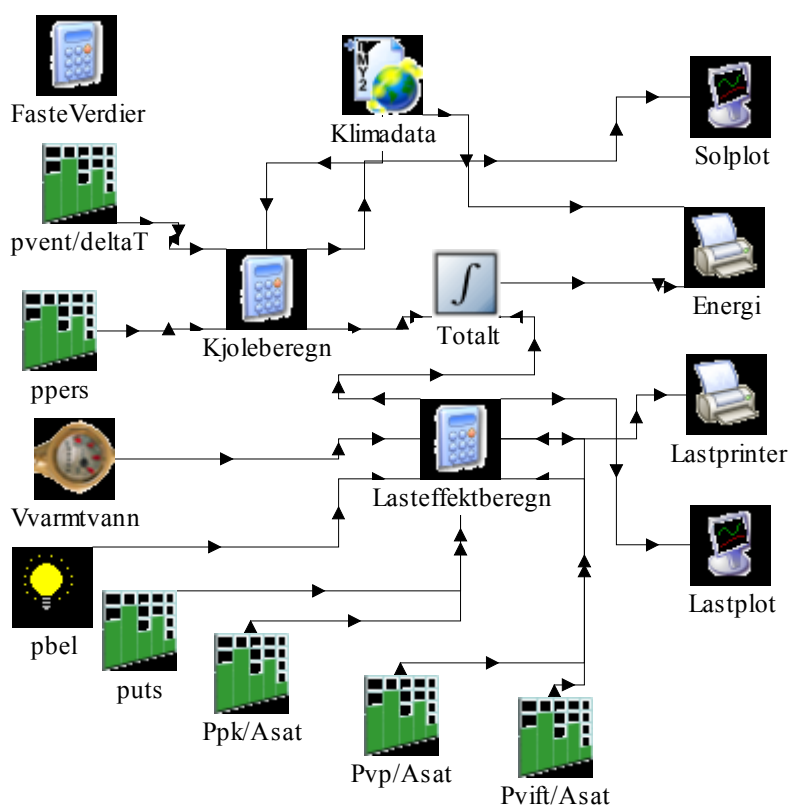
Ettersom kjølebehovet er det aller største behovet, og samtidig det behovet som kan oppnå best samspill med solenergi, er det viktig å utvikle mer korrekte times -verdier for kjølebehovet. Modelleringen av energibehovet gjort i neste kapittel gir en mer nøyaktig vurdering av byggets kjølebehov time for time over året ved hjelp av times- verdier for solinnstråling og utetemperaturer slik at utformingingen av energisystemet kan gjøres ut fra mer reelle data for lasten.

6.3 Modelling av energi- og effektbehovet i TRNSYS:

Estimeringene i kapittel 6.1 forteller kun hvor stort det totale energibehovet til satellittklinikken er i løpet av en måned, men ingenting om når energien trengs. For at en modell for energiforsyningssystemet skal vise hvor stor andel av behovet som faktisk kan dekkes, er det viktig at modellen som beskriver lasten (energi behovet) viser når forbruket skjer, slik at det kan sammenliknes med når produksjonen skjer.

Ved hjelp av likningene brukt i kapittel 6.1, lastprofilene fra kapittel 6.2, og time for time verdier av solinnstråling og utetemperatur er det laget en modell i TRNSYS som viser effektbehovet til forskjellige formål i Satellittklinikken til enhver tid. Denne modellen skal brukes til å simulere lasten mot produksjonen i energiforsyningsmodellene. Ettersom det i kapittel 6.1 er brukt gjennomsnittsverdier for solinnstråling og utetemperatur, vil det være avvik fra det totale årlige energibehovet beregnet i kapittel 6.1.

6.3.1 Lastmodellen



Figur 6.10 Lastmodellen

Figur 6.10 viser Lastmodellen. Oppbygningen av modellen er forklart videre. Vedlegg 5 gir en detaljert beskrivelse av de ulike komponentene i modellen, samt parametre og inndata for hver komponent.

Komponenten merket "FasteVerdier" er en kalkulator. Komponentens kalkulator kan lagre input og sende ut output, samt gjøre enkle matematiske beregninger basert på angitte likninger. Alle konstante verdier som brukes i modellen er lagt inn her og tas inn som parametre av andre komponenter.

"ppers" og "pbel" er ulike typer Forcing functions. Forcing functions brukes til å beskrive en verdi som varierer over døgnet for modellen. For å simulere energibehovet til belysning, elektrisk utstyr, vannoppvarming, pumper i kjølekreten, drift av ventilasjonsviftene og internt varmetilskudd fra personer er de spesifikke verdiene fra lastprofilene (W/m^2) fra kapittel 6.2 lagt direkte inn i ulike Forcing functions. Verdiene ganges opp med gulvarealet på satellittklinikken (ligger i "FasteVerdier"), og kan derfor enkelt endres ved å endre arealet.

"Vvarmtvann" er også en Forcing function, forskjellen er kun at den tar inn vannmengder over tid [kg/h] og ikke effekter. Kalkulatoren "Lasteffektberegninger" har likninger som beregner energibehovet til oppvarming av varmtvann ut fra "Vvarmtvann" og gitte temperaturkrav for varmtvannet, på samme måte som gjort i de manuelle beregningene (Formel 8).

Verdiene i last profilene til pumping av vann i kjølekrets avhenger i virkeligheten av det totale kjølebehovet. TRNSYS beregner alle verdier tid for tid, slik at det totale kjølebehovet for et år, kun vil være tilgjengelig når simuleringen er ferdig. For å kunne simulere energibehovet til pumping av vann i kjølekretsen, er det benyttet lastprofilene i kapittel 6.2.2.3, basert på kjølebehovet beregnet i kapittel 6.1.

Energibehovet til kjøling beregnes i kalkulatoren "Kjoleberegner" ut fra Formel 6. Verdier for solinnstrålingen og utetemperaturer kommer fra "Klimadata", en komponent som leser klimadata fra en angitt klimadatafil for en gitt lokasjon. "pvent/deltaT" angir varmetilskudd på grunn av tilført ventilasjonsluft med høyere temperatur enn 25 °C som watt per grader temperaturforskjell mellom ute og inne. Varmetilskudd gjennom vinduer beregnes ut fra vindusareal, solinnstrålingen og skjermingsfaktorer, varmetilskudd gjennom bygningskroppen beregnes med u-verdier og overflatearealer og infiltrasjonen beregnes ut fra luftutveklinger per time, inndataen er de samme som i kapittel 6.1 og oppgitt i vedlegg 4, likningene er oppgitt i vedlegg 3. Varmetilskuddet fra personer, belysning og utstyr er gitt ved "ppers", "pbel" og "puts". Beregningene av kjølebehovet er ikke direkte avhengig av gulvflatearealet på satellittklinikken og må derfor tilpasses dersom et større eller mindre bygg skal undersøkes.

"Lasteffektberegner" summerer lastene slik at de kan hentes ut som input til energiforsyningsmodellene. Det er mulig å hente ut alle lastene separat, eller ferdige summeringer av varmtvannslast, kjølelast, elektrisk last, termisk last, last til dieselaggregat ved kjøling med luftkondisjoneringsanlegg og total last.

Alle lastene gitt som output fra "Lasteffektberegner" er gitt med enheten kW. Integratoren "Totalt" integrerer opp effekten over time og gir energi per år dersom simuleringen kjøres for et helt år. Printerene "Lastprinter" viser effektbehovet hver time gjennom hele simuleringen for alle lastene, og printerene "Energi" viser totalt energibehov for hver av lastene i løpet av simuleringen (her, året). Verdiene fra printerene kan enkel åpnes i en Excel fil og bearbeides videre. (Krever omkjøring av kommategn til punktum for å fungere på norske maskiner ettersom TRNSYS er tilpasset amerikansk standard med punktum som desimalskilletegn).

"Lastplot" og "solplot" fremstiller effektbehovet til Satellittklinikken, og innstrålt energi og utetemperatur i et gitt simuleringstidsrom.

For å være sikker på at modellen gav riktige verdier ble den under oppbygningen testet med månedsverdier for temperatur og solinnstråling og sammenliknet med resultatene i kapittel 6.1 for å være sikker på at modellen gav fornuftige resultater.

6.3.2 Klimadata brukt i simuleringen

TRNSYS inneholder klimadata for mange lokasjoner verden over. Kapoeta i Sør- Sudan er ikke en av standard lokasjonene. Meteororm er et program som kan generere klimadata time for time for ulike lokasjoner verden over på bakgrunn av lengdegrad og breddegrad til lokasjonen. Meteororm skulle i utgangspunktet vært brukt til å generere klimadata for Kapoeta, men på grunn av forsinkelse med levering av lisens fra leverandør har dette ikke vært mulig. Som en erstatning er valgt å bruke klimadata for Kisangani som ligger i nabolandet Demokratiske Republik Kongo som er tilgjengelige i TRNSYS. Klimadataene hentes inn med "Klimadata" i Lastmodellen. Klimadataene er brukt i alle TRNSYS simuleringene som er gjort videre.

Ettersom Kapoeta kun er et av flere alternative plasseringer for satellittklinikker, har ikke endringen av lokasjon så stor praktisk betydning. Den største forskjellen er at det ikke blir riktig å sammenlikne resultatene i TRNSYS estimeringen av energibehov med den manuelle estimeringen av energibehov fra kapittel 6.1 direkte, samt at estimeringen av tilgjengelig solenergi (supra, 5.3) ikke blir direkte sammenlinkbar med den energien de alternative solenergisystemene produserer (supra kapittel 8).

Selv om lokasjonene er litt forskjellige er ikke klimadataene og avstanden mellom de to stedene så ulik. Kapoeta ligger på breddegrad 4,77 ° nord og lengdegrad 33,59 ° øst. Kisangani ligger på breddegrad 0,48 ° nord og lengdegrad 25.16 ° øst. Det er 105 mil mellom de to stedene (Geographica, 2005, s. 369). Tabell 6.2 viser forskjellene i temperatur og solinnstråling på de to stedene. Verdiene for Kapoeta er gitt av Jonas Sandgren som brukte månedsverdi generering med Meteororm til å produsere dataene (Sandgren, J., e-post 6). Verdiene for Kisangani er produsert ved hjelp av TRNSYS og klimadata filen for Kisangani.

Tabell 6.2 Klimadata for Kapoeta og Kisangani

	Kapoeta	Kisangani	
Gjennomsnittlig utetemperatur	25.5	25.4	[°C]
Total innstråling på horisontal flate	2011	1747	[kWh/år]
Total innstråling på sørvendt flate	851	726	[kWh/år]
Total innstråling på østvendt flate	1093	891	[kWh/år]
Total innstråling på nordvendt flate	709	640	[kWh/år]

Total innstråling på vestvendt flate	1097	901	[kWh/år]
--------------------------------------	------	-----	----------

Tabellen viser at det er både en høyere gjennomsnittlig utetemperatur og en høyere solinnstråling i Kapoeta enn i Kisangani. Ettersom dette er årlige verdier sier det ingenting om samspillet mellom temperaturer og solinnstråling.

6.3.3 Simuleringsmetode og mål:

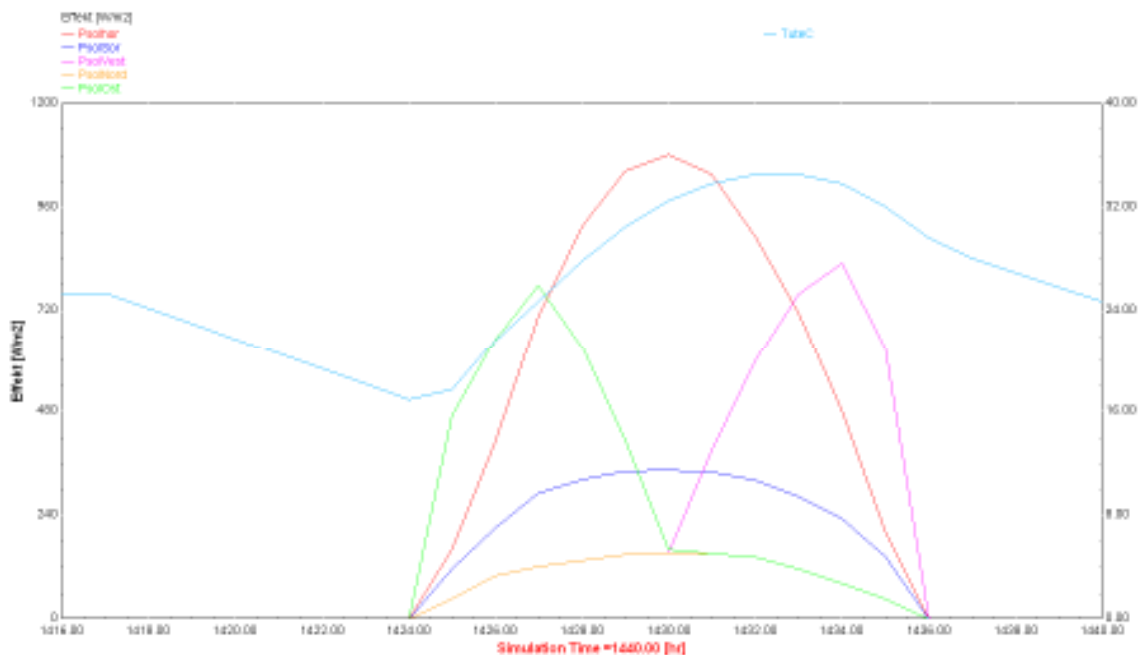
Formålet med å lage en lastmodell i Trnsys var å kunne få en direkte sammenlikning av forbruk og produksjon av energi.

For å gi et bilde av hvordan solinnstrålingen varierer over døgnet sammenliknet med lasten til Satellittklinikken er Lastmodellen først brukt til å lage to grafer som viser solinnstråling på horisontal flate og totalt effektbehov til satellittklinikken over et gitt døgn i Kisangani.

Deretter er det kjørt en simulering av Lastmodellen over et helt år for finne effekt- og energibehovet til Satellittklinikken beregnet med times- verdiene for solinnstråling og utetemperaturer. Lastmodellen brukes så videre i kapittel 6.4.2 der det er sett på et mulig energisparende tiltak for bygningen.

6.3.4 Resultat Lastmodellen

Figur 6.11 viser på venstre akse total solinnstråling på horisontal flate(rød) og vertikale flater mot sør(blå), vest(lilla), nord(gul) og øst(grønn) i Kisangani i løpet av et døgn, datoen er 1. februar, grafen starter ved midnatt, varierer over 24 timer og enheten er W/m^2 . Solinnstrålingen på horisontal flate vil tilsvare den effekten som sola leverer til enten solfangerne eller solcellene når de er montert på taket til Satellittklinikken. Solinnstrålingen på de vertikale flatene brukes til å bestemme varmetilskuddet fra solinnstråling gjennom vinduene til Satellittklinikken. Høyre akse viser utetemperaturen(turkis).



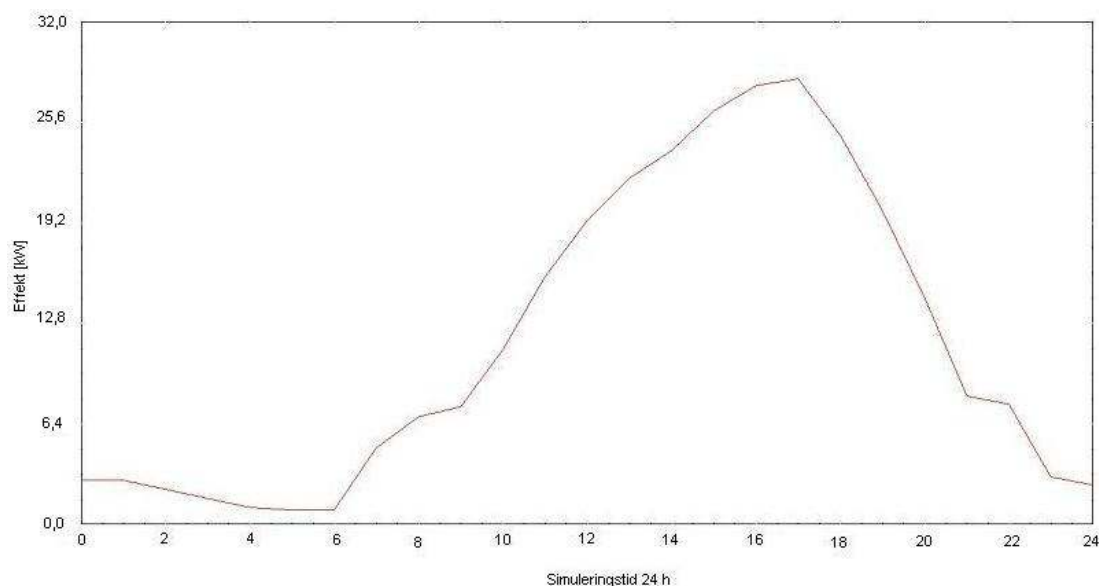
Figur 6.11 Solinnstråling på horisontal flate i løpet av 1. februar i Kisangani.

Figur 6.12 viser hvordan den totale lasten til Satellittklinikken varierer over et døgn, datoen er 1. februar, grafen starter ved midnatt, varierer over 24 timer og enheten er kW. Solinnstrålingen gir et bidrag til kjøleeffektbehovet gjennom vinduer. Dette er solinnstrålingen på horisontale flater.

Selv om kurvene ikke har samme enhet på aksene, formen på dem, som beskriver døgnvariasjonene, vurderes. Kurvene for solinnstråling på horisontal flate har veldig lik form som lasteffektkurven, noe som antyder at det er gode muligheter for samsvar mellom produksjon av energi fra sola og Satellittklinikken effektbehov.

Solinnstrålingen har en topp klokken 14.00, mens lasten har en topp mellom 16.00 og 18.00, dette betyr at det er en liten tidsforskyvning mellom de to kurvene. Høy solinnstråling gjennom vinduene på sørsiden midt på dagen

og på vestsiden utover kvelden gir sammen med økende utetemperatur utover dagen en forklaring på denne forskyvningen.



Figur 6.12 Effektbehov i Satellittklinikken over et døgn, 1. februar

Tabell 6.3 viser fordelingen av energi- og effektbehovet til Satellittklinikken beregnet med Lastmodellen. Maksimal og minimal effekt brukes til å bestemme krav til ytelse fra energiforsyningssystemet.

Tabell 6.3 Resultat Lastmodellen

Resultat Lastmodell	Energi [kWh/år]:	Maksimal effekt [kW]:	Minimal effekt [kW]:
Belysning, Pbel.	11 855	2,03	0
Utstyr, Putst.	11 559	2,03	0,81
Vifter, Pvift.	7 410	1,58	0,11
Pumper i kjøleanlegg, Ppk	1 193	0,23	0,04
Vannpumpe, Pvp	590	0,16	0
Oppvarming av varmtvann, PVV	6 516	1,48	0
Kjøling av bygning, Pkjøl.	50 278	24,27	0
Elektrisk energibehov, Pel.	32 607	6,03	0,97
Termisk energibehov, Pterm.	56 770	25,76	0
Satellittklinikkens totale energibehov, Ptot.	89 377	31,79	0,97

6.3.5 Kommentarer

Det elektriske energibehovet for satellittklinikken er identisk med det som estimert i de manuelle beregningene. Dette er forventet ettersom Lastmodellen er basert på lastprofilene fra de manuelle beregningene og fordi det elektriske energibehovet er uavhengig av temperaturer og solinnstråling, som er de verdiene som er endret. Dersom forenklingen med å bruke resultatet fra den manuelle estimeringen for energibehovet til pumper i kjøleanlegg ikke var blitt brukt, ville det vært en liten endring i energibehovet til pumper i kjøleanlegg avhengig av kjølebehovet. Denne endringen er antatt å være neglisjerbar ettersom energibehovet til pumper i kjølekretsen er lite i utgangspunktet.

Kjølebehovet til satellittklinikken har økt med 5 508 kWh sammenliknet med den manuelle estimeringen. Ettersom årlig total solinnstråling i Kisangani er lavere enn i Kapoeta, ville det være naturlig å forvente at

kjølebehovet ville vise seg å bli lavere når klimadataene ble endret til Kisangani. Grunnen til at dette ikke er tilfellet kan forklares med at Lastmodellen bruker verdier for solinnstråling og temperaturer som varierer hver time over året. I forhold til å bruke gjennomsnittstemperatur der man antar at temperaturen er lik både dag og natt i en hel måned, vil times- verdier ta hensyn til at temperaturene og solinnstrålingen på dagtid er mye høyere på dagtid, samtidig som varmeavgivelse fra utstyr og belysning som mest er i drift på dagtid også gir bidrag til økt kjølebehov. Denne samkjøringen av varmetilførsel til bygget vil ikke komme frem ved beregning på gjennomsnittsverdier og føre til et lavere totalt kjølebehov. Dette er nok den viktigste grunnen til at kjølebehovet viser seg høyere når man bruker mer detaljerte klimadata. Dette betyr at dersom klimadata for Kapoeta hadde vært tilgjengelig i TRNSYS, ville lastmodellen mest sannsynlig gitt en enda større økning i kjølebehovet enn det som er resultatet med klimadata fra Kisangani.

Denne modellen tar ikke hensyn til bygningens varmelagringskapasitet. Ettersom bygningen består av containere som er lett bygningsmasse med lav varmelagringskapasitet kan det antas at denne forenklingen ikke vil medføre en betydelig feilkilde.

6.4 Energisparende tiltak:

Før man ser på mulighetene for å forsyne en bygning med fornybar energi er det viktig å se på bygningens energibehov og mulige tiltak for å redusere dette energibehovet. Dette burde gjøres fordi installasjon av energiforsyningssystemer basert på fornybart ofte er kostbare, og med en kostbarhet som øker med økende energibehov, og fordi målet er redusert energibruk totalt. Vurdering av tiltak som kan redusere energibehovet kunne bære med på å spare investeringskostnader på tiltaket ved at mindre eller færre komponenter trengs. Noen tiltak vil være kostbare, andre tiltak trenger ikke bety økte kostnader i det hele tatt.

For Satellittklinikken er det i denne rapporten gjort mange forutsetninger som bakgrunn for estimeringen av energibehovet (lasten). Dette gjør at resultatene kan ha flere mulige feilkilder. Simuleringer for å teste ulike tiltak vil kunne vise forskjellene de kan gjøre, men likevel ikke gi noen mer nøyaktig estimering av energibehovet. Det er derfor valgt å ikke utføre mange simuleringer i TRNSYS på ulike energisparende tiltak, men heller gi forslag til ulike tiltak som kan gjøres i kommende satellittklinikker for å redusere energibehovet. For vise hvordan et enkelt tiltak kan påvirke energibehovet er et tiltak simulert ved hjelp av Lastmodellen. Dette tiltaket går ut på å tilpasse orientering av bygningen og plassering av vinduer etter hvilken flate som har mest solinnstråling for se på muligheten for å minke kjølebehovet i bygget.

6.4.1 Forslag til energisparende tiltak

Resultatet fra simuleringer av Lastmodellen (supra, Tabell 6.3) viser at det aller største energibehovet er til kjøling av bygningen. Tiltak som reduserer kjølebehovet vil derfor gi størst reduksjon i totalbehovet. Elektrisk energibehov til utstyr og belysning utgjør også en stor andel av behovet, en reduksjon her vil også være av stor betydning. Følgende punkter gir forslag til mulige tiltak for å redusere kjølebehov og elektrisk behov i bygninger som er plassert i varmere strøk.

Reduksjon av kjølebehov:

- Beplantning, gir solavskjerming
- Solskjerming av vinduer utvendig eller innvendig, persienner/markiser
- Vinduer med belegg som slipper gjennom mye lys, men lite varme, lav emitterende belegg.
- Fornuftig plassering av vinduer og rom med tanke på behov for dagslys, og begrensning av solinnstråling i rom som skal kjøles.
- Orientering/plassering av bygning i forhold til sol
- Godta høyere romtemperaturer før kjøling kreves
- Isolering av containere, hindre varme fra ute å slippe inn
- Tetting av utettheter, hindrer ukontrollert strømning av luft inn
- Andre vindustyper som isolerer bedre
- Velge elektrisk utstyr som avgir lite varme
- Bruke sparepærer som tilfører lys, men ikke varme
- Bruke lyse farger på containerne eller annet materiale/belegg på utsiden av containerne som reflekterer sollyset.
- Bruk av vifter kan gi en kjølede effekt på mennesker og bruker mindre strøm enn et luftkondisjonerings anlegg.
- Kjøling kun av rom med behov for kjøling og god isolasjon mellom kjølte og ikke kjølte rom.

Reduksjon av strømforbruk:

- Strømstyring automatisk, eller gode manuelle rutiner
- Sparepærer, bruke diodelys i stedet for pærer. Disse kan bruke strøm direkte (DC) fra solcelle anlegget uten å måtte transformere/konvertere det til AC med energitap (AC er vanlig 220 V med 50 Hz).
- Informere brukerne av rommet om at utstyr som ikke er i bruk skal være avslått (kanskje mindre relevant her i og med at det ikke er så mye utstyr).
- Bruke andre metoder enn luftkondisjonerings anlegg til kjøling.
- Bruke spillvarme fra diesellaggregat til oppvarming av varmtvann.
- Bruke strøm kun til utstyr og belysning, ikke til oppvarming og kjøling.
- Utforme containerne slik at mesteparten av belysningen er dagslys når sola er oppe. Det finnes vindustyper som isolerer godt ved at de slipper inn lys, men ikke varme. Flere typer, noen er gjennomsiktede, andre ikke. Kan være fordel på klinikken der pasienter undersøkes/opereres, at vinduene er ugjennomsiktede, men fortsatt slipper inn lys.
- Vedlikehold av utstyr; rens av kjøleanlegg, avising av kjølerom og lignende.

Etter tiltak er utført kan det gjøres følgende endringer eller effektiviseringer av energisystemet:

- Bruk av overskuddsvarme fra aggregat til oppvarming av varmtvann, se kapittel 7.3.
- Installere solfangere til oppvarming av varmt vann.
- Installere solceller til strømproduksjon.
- Batteri eller hydrogen til lagring for å samkjøre produksjon og forbruk.
- Solfangere til produksjon av varme for å drive absorpsjonskjølere.
- Varmelager for å lagre spillvarme fra dieselaggregat og varme fra solfangere slik at det blir bedre samspill mellom produksjon og forbruk.
- I områder/land der himmelen store deler av året er skyfri, kan eventuelle solfangere brukes som kjølere nattetid, kjøler da ned vann om natten ved at solfangerne avgir strålingsenergi mot klar himmel om natten, de kalde vannet lagres i egen tank og brukes til kjøling om dagen.
- Tilpasse forbruk etter produksjon slik at strøm brukes når strøm produseres så langt det er mulig. Betyr i praksis at det må innarbeides rutiner og opplæring av brukere for at dette skal skje.

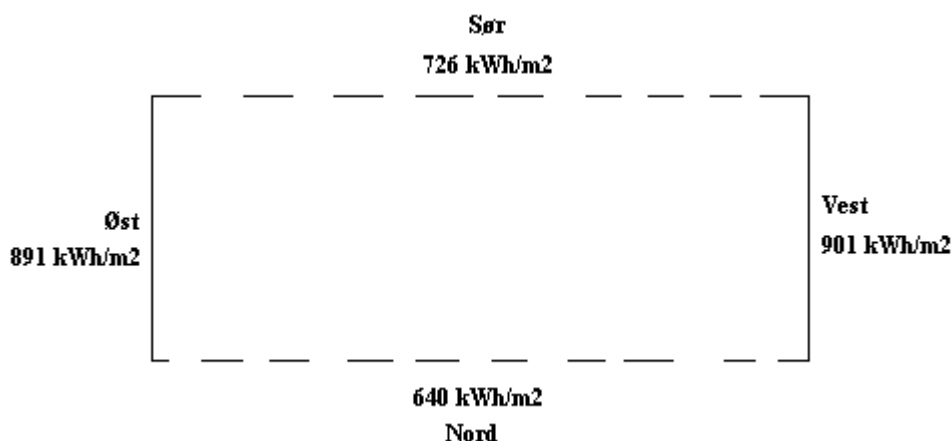
Flere av disse energisystemene er utforsket videre i kapittel 8.

(Web 10, Amerikansk Råd for en energi effektiv økonomi)
(Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad & Novakovic, 1996)

6.4.2 Eksempel på mulig tiltak

I beskrivelsen av satellittklinikken er det angitt at den siden som vender mot sola er en kortsid og at den ikke har noen vinduer. Det er i utgangspunktet antatt at denne siden vender mot sør, og satt vindus areal på sørsiden av bygningen lik null. Dette er brukt i både den manuelle estimeringen av energibehovet og i simuleringen av Lastmodellen. En simulering av årlig solinnstråling på vertikale flater nord, sør, øst og vest gjort i TRNSYS viste at solinnstrålingen for Kisangani vil være høyest mot flater som vender mot øst og mot vest (supra Tabell 6.2 og Figur 6.11). Figur 6.11 viser at solinnstrålingen på sørsiden er jevnt høy midt på dagen, ettersom Kisangani ligger så nærme ekvator, står sola høyt på himmelen slik at solinnstrålingen på sørsiden muligens treffer mer på taket enn på vinduene.

Tiltaket går ut på å se på mulighetene ved å redusere satellittklinikken kjølebehov ved å plassere Satellittklinikken slik at det er minst mulig vindusareal på de flatene med høyest solinnstråling. Tiltaket må eventuelt gjøres i planleggingsfasen til en satellittklinik, og krever en undersøkelse av solinnstrålingen på aktuell lokasjon. I dette tilfellet vil flatene som vender mot øst og mot vest ha høyest solinnstråling. Simuleringen av tiltaket er gjort ved å rotere satellittklinikken 90 ° i forhold til Figur 5.1 slik at kortsidene vender mot øst og vest. Det er samtidig satt vindusarealet lik null på begge kortsidene, se Figur 6.13, som også viser solinnstrålingen på hver av flatene med klimadata fra Kisangani målt ved hjelp av TRNSYS.



Figur 6.13 Energisparende tiltak, orientering av bygning og årlig solinnstråling på veggene.

For å simulere tiltaket er Lastmodellen (supra, kapittel 6.3) brukt. Det er gjort endringer i kalkulatoren "Kjøleberegner" for å vise modellen at bygget er vridd og at vindusarealet på øst og vest side er satt til null. Det er antatt syv vinduer med areal på 1,2 m² på både sør og nord sidene av bygningen. Endringene vil kun endre

innstrålt energi gjennom vinduene og derfor kun påvirke kjølebehovet til bygningen. Resultatet av simuleringen er vist i Tabell 6.4.

Tabell 6.4 Resultat energisparende tiltak

	Før tiltak:	Etter tiltak:	Differanse:
Energibehov kjøling [kWh/år]:	50 278	47 668	2 610
Energibehov totalt [kWh/år]:	89 377	86 791	2 610
Effektbehov kjøling maksimum [kW]	24,3	22,5	1,8
Effektbehov totalt maksimum [kW]	31,8	30,0	1,8
Effektbehov kjøling minimum [kW]	0,00	0,00	0,00
Effektbehov totalt minimum [kW]	0,97	0,97	0,00

Tiltaket minker både energi- og effektbehovet til satellittklinikken. Selv om differansen ikke er veldig stor her, vil den på andre lokasjoner kunne ha enda større betydning. Ettersom tiltaket er kostnadsfritt så lenge det skjer før byggeprosessen startes, bør sol forholdene testes og tiltaket gjennomføres for alle satellittklinikker.

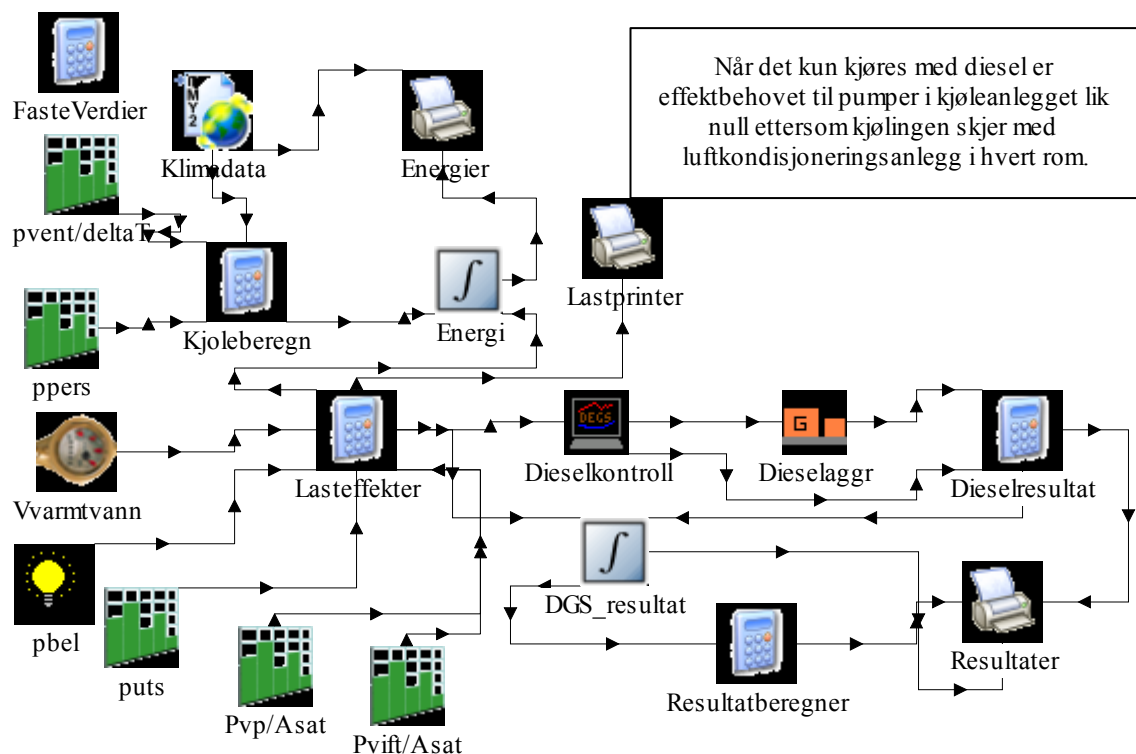
For videre vurderinger og simulering på energiforsyningssystemet er det antatt at tiltaket er gjennomført slik at energibehovet til kjøling er redusert i henhold til Tabell 6.4. Det betyr at alle de alternative energiforsyningsmodellene (1, 2 og 3) i kapittel 8, har et totalt energibehov i Satellittklinikken på 86 791 kWh/år og et maksimalt effektbehov til kjøling på 22,5 kW.

7 Dieselforbruket til satellittklinikken

For å kunne se på lønnsomheten ved å installere energiforsyningssystemer basert på solenergi i sykehusene i forhold til dagens energi, er det nødvendig å ha noen data å sammenlikne energiforbruket og energikostnadene med. For sykehuset i Kapoeta finnes det ingen klare tall på det virkelige dieselforbruket. Ettersom satellittklinikken er mye mindre enn Kapoeta sykehuset ville det også skapt usikkerheter. For å danne et sammenlikningsgrunnlag for energiforsyningssystemene er det i TRNSYS laget en modell kalt Dieselmodellen. Dieselmodellen er brukt til å beregne et antatt originalt energiforbruk i Satellittklinikken. Modellen er basert på beskrivelsen av Satellittklinikkens energisystem gitt i kapittel 5.2.

For å kunne sammenlikne lønnsomheten til Dieselmodellen med de alternative løsningene er det regnet ut en årskostnad for energisystemet og en energipris på den leverte energien basert på det totale dieselforbruket og investeringskostnadene for systemet. Investeringskostnadene for Dieselmodellen gjenspeiler kostnader til dieselaggregatet og luftkondisjoneringsanleggene.

7.1 Dieselmodellen



Figur 7.1 Dieselmodellen

Figur 7.1 viser Dieselmodellen. Oppbygningen av modellen er forklart videre. Vedlegg 5 gir en detaljert beskrivelse av de ulike komponentene i modellen, samt parametere og inndata for hver komponent.

Dieselmodellen er laget med utgangspunkt i Lastmodellen etter det energisparende tiltaket. Ettersom kjølebehovet i det originale energisystemet dekkes med luftkondisjoneringsanlegg, er "Ppk/Asat" som beskriver kjølebehov i pumper i ventilasjonsanlegg, fjernet fra modellen (supra Figur 6.10).

For at modellen skal kunne beregne det elektriske energibehovet ("Paircond") som kreves for at luftkondisjoneringsanleggene skal kunne dekke hele kjølelasten er det i kalkulatoren "Lasteffekter" lagt inn en variabel som beskriver det elektriske effektbehovet til luftkondisjoneringsanleggene ut fra kjølelasten og virkningsgraden til luftkondisjoneringsanleggene (supra Formel 7). Virkningsgraden til et luftkondisjoneringsanlegg er avhengig av utetemperatur. Det har ikke vært tilgjengelig informasjon om virkningsgraden til de luftkondisjoneringsanleggene som brukes i sykehuset i Kapoeta. For å få informasjon til lage en likning for å beskrive virkningsgraden til luftkondisjoneringsanleggene for modellen ble det rettet en forespørsel til en tilfeldig leverandør som oppgav av virkningsgraden til et anlegg normalt ligger mellom 2,5 og 1,8 ved utetemperaturer mellom +20 °C og +60 °C (Brodersen, L., e-post 7). Likningen er lagt inn som variabel i "Kjøleberegner" og er beskrevet i Formel 9.

$$COP_{aircond} = 2,85 - \frac{0,7}{40} * Tomg \text{ - Formel 9}$$

En kontrollenhet for dieselaggregatet kalt "Dieselkontroll" tar inn lasten som dieselaggregatet skal dekke og styrer hvor mange dieselaggregat av en definert størrelse som trengs til enhver tid for å dekke lasten. Lasten inn på "Dieselkontroll" består av det elektriske effektbehovet, effektbehovet til oppvarming av varmtvann og effektbehovet til luftkondisjoneringsanleggene. Størrelsen på dieselaggregatet må legges inn manuelt og avhenger av maksimal og minimal last, som er bestemt ved å kjøre en simulering i Lastmodellen med "Ppk/Asat" lik null.

Integratoren "DGS_resultat" integrerer opp årlig dieselforbruk, energi levert fra dieselaggregatet, totalt energibehov til satellittklinikken og varmeenergien avgitt fra dieselaggregatet. Resultatet sendes det til "Resultater" printeren som overfører det til en Excel fil.

I "resultatberegneren" beregnes den tilgjengelige nyttbare varmen som er produsert fra dieselaggregatet. Formel 10 viser likningen, dieselforbruket er output fra "Dieselaggr" og de resterende verdiene er oppgitt i kapittel 5.2.

$$\underline{Q_{nyttbart}} = \text{Dieselforbruk} * \text{nedre brennverdi diesel} * \text{tetthet diesel} * \text{termisk virkningsgrad for aggregatet} \text{ - Formel 10}$$

7.2 Simuleringsmetode og mål

Dieselmodellen er kjørt en gang med mål om å finne det som skal antas å være Satellittklinikken dieselforbruk med det originale energiforsyningssystemet.

7.3 Resultater ved simulering av Dieselmodellen

Energi- og effektbehovet, samt dieselforbruket til Dieselmodellen er vist i Tabell 7.1.

Tabell 7.1 Resultater simulering av energiforbruk med original energiforsyning.

Resultat Dieselmodellen	Energi [kWh/år]:	Maks. effekt [kW]:	Min. effekt [kW]:
Belysning, Pbel	11 855	2,03	0
Utstyr, Putst	11 559	2,03	0,81
Vifter, Pvift	7 410	1,58	0,11
Pumper i kjøleanlegg, Pkp	0	0	0
Vannpumpe, Pvp	590	0,16	0
Oppvarming av varmtvann, PVV	6 516	1,48	0
Kjøling av bygning, Pkjøl	47 668	22,46	0
Elektrisk energibehov i luftkondisjoneringsanlegg, Paircond	20 346	10,21	0
Elektrisk energibehov, Pel	31 414	5,8	0,92
Termisk energibehov, Pterm	54 183	23,95	0
Satellittklinikken totale energibehov	85 597	29,75	0,92
Elektrisk lastbehov fra Dieselaggregat, PDGS = Pel + Paircond + PVV = Elektrisk energi levert fra dieselaggregatet	58 276	16,01	0,92
Maksimalt antall brukte dieselaggregat	4	stk.	
Qnyttbart fra dieselaggregat = 30 % av energi fyrt inn på dieselaggregat.	53 526	kWh/år	
Totalt årlig dieselforbruk	17 746	L/år	

Totalt årlig energibehov er 1 193 kWh lavere med Dieselmodellen, dette tilsvarer energibehovet til pumper i kjølekrets. Det totale årlige dieselforbruket på 17 746 liter brukes til å se hvor stor reduksjon i forbruket de alternative energisystemene kan gi.

7.4 Energipris og årskostnad med Dieselmodellen

Lønnsomheten til de alternative energiforsyningssystemene skal vurderes ut fra en sammenlikning med det opprinnelige energiforsyningssystemet, altså Dieselmodellen. Sammenlikningen er gjort ved å vurdere energiprisen på energien levert fra det alternative energiforsyningssystemet med energiprisen på energien levert med Dieselmodellen. Energiprisen er beregnet ved hjelp av årskostnadsmetoden beskrevet i kapittel 4.6.

Tabell 7.2 viser utgangspunktet for lønnsomhetsberegningene og energiprisen på energien som er levert til Satelittklinikken med Dieselmodellen.

Tabell 7.2 Lønnsomhet Dieselmodell

Inndata:	Verdi:	Enhet:
I, Investeringskostnader		
Dieselaggregat 4 stk. a' 6 kW	kr 120 000	kr
Luftkondisjoneringsanlegg	63 456	kr
Total investeringskostnader	183 456	kr
D, Driftkostnader		
Diesel til aggregat, pris 6,43 kr/L	114 108	kr/år
Diesel til aggregat, pris 10,0 kr/L	177 462	kr/år
V, Vedlikeholdskostnader		
KÅ, Årskostnad		
KÅ, med dieselpri 6,43 kr/L	128 212	kr/år
KÅ, med dieselpri 10,00 kr/L	191 566	kr/år
Totalt årlig energibehov satelittklinikken	85597	kWh
Forbrukt mengde diesel i aggregat	17 746	L/år
Energipris levert energi kr/kWh		
Energipris, med dieselpri 6,43 kr/L	1.498	kr/kWh
Energipris, med dieselpri 10,00 kr/L	2.238	kr/kWh

7.5 Kommentarer

Resultatet viser at dieselaggregatet produserer en betydelig mengde spillvarme som ikke blir utnyttet i systemet. Dieselmodellen bruker dieselaggregatet til å produsere strøm som igjen brukes til å varme opp varmtvann. Mengden varme som er tilgjengelig som spillvarme fra dieselaggregatet er mer enn åtte ganger så stor som den varmemengden som trengs for å varme opp varmtvannet. Energiltaket fra kapittel 6.4.1 som beskriver at spillvarmen kan brukes til oppvarming av varmtvann kan derfor gjennomføres. Ettersom denne spillvarmen holder 85 °C vil den også gi høy nok temperatur til å sikre mot legionellaoppblomstring (70 °C - (Veileder Legionellasmittfare, 2007)). Kapittel 8.1.6 beskriver hvordan dette bør gjøres i praksis.

Flere løsninger for å utnytte denne varmen er vurdert i kapittel 8.

Resultatet fra simuleringen viser at bruk av luftkondisjoneringsanleggene reduserer kjølebehovet med en faktor på 2,3, noe som viser at det er antatt en høy effektivitet (COP) på luftkondisjoneringsanleggene. Denne effektiviteten er oppgitt fra en tilfeldig leverandør av luftkondisjoneringsanlegg og angitt i Formel 9. Dersom faktisk virkningsgrad på luftkondisjoneringsanleggene er lavere enn antatt ville dieselforbruket til Dieselmodellen stige, vil lønnsomheten til de alternative energiforsyningssystemene som skal sammenliknes med Dieselmodellen bli bedre enn antatt.

Ettersom dieselmodellen bruker separate luftkondisjoneringsanlegg er totale energibehovet mindre her enn i de alternative modellene (se totalt energibehov i Tabell 6.4 og Tabell 7.1), dette er fordi det er sett bort fra energibehovet til pumper i kjølekretsen. Dette betyr at energiprisen til alternativene beregnes ut fra et høyere totalt energibehov og blir derfor litt lavere enn om beregningen var blitt gjort med samme energibehov som Dieselmodellen. Ved å sammenlikne årskostnadene, KÅ, til Dieselmodellen og de alternative

energiforsyningsmodellene kan lønnsomheten sammenliknes direkte ved å se på reell sparing eller merkostnad per år.

Ettersom Dieselmодellen har et energibehov på 85 597 kWh/år (supra Tabell 7.2) som er lavere enn alternativenes energibehov på 86 791 kWh/år (supra i Tabell 6.4), på grunn av behov for pumper i kjølekretsen i ventilasjonsanlegget, blir ikke energiprisen på energien levert med Dieselmодellen direkte sammenliknbar med energiprisen på den leverte energien fra de alternative modellene. Ved å sammenlikne energiprisen og årskostnaden til Dieselmодellen med energibehovet til alternativene kommer det frem at ved en dieselpriis på 6,43 kr/L, må energiprisen til alternativet være maksimalt 1,477 kr/kWh, og med en dieselpriis på 10,0 kr/L, må energiprisen til alternativet være maksimalt 2,207 kr/kWh.

7.6 Praktisk utforming

Dieselmодellen er en modell av det originale energisystemet til Satellittklinikken, supra kapittel 5.2.

Dieselaggregatet produserer all den strømmen som trengs til enhver tid. Det antatt at det trengs fire dieselaggregat a' 6 kW, for å sikre maksimal lasten på 17.5 kW (supra, Tabell 7.1). Dieselaggregatene skrur automatisk på og av etter behov. Dersom det oppstår feil på et av aggregatene vil de tre andre sikre energiforsyningen. Den elektriske energien fordeles via et lokalt strømmett i Satellittklinikken og det er ingen tilknytning til eksternt strømmett. Det er ingen batterier for lagring av strøm.

Luftkondisjoneringsanlegg sørger for å holde maksimalt 25 °C i rommene. Hver Satellittklinikkk trenger 11 luftkondisjoneringsanlegg, 8 mindre for de vanlige rommene og 3 litt større for operasjonssal og sterilisering/lab (Øwre, J., e-post 2).

Det er antatt at sykehuset har et enkelt ventilasjonssystem som tilfører frisk luft utenfra og fjerner brukt, varm luft. Ventilasjonssystemet har filter som renser luften for større og mindre partikler før den slippes inn i rommene.

Alt oppvarming av varmtvann skjer ved hjelp av elektrisitet. Alt varmtvann som er brukt i håndvasker og dusjer varmes direkte ved forbrukssted (supra kapittel 5.2).

8 Alternative energiforsyningsløsninger

Det er i dette kapittelet sett på alternative energiforsyningsystemer for Satellittklinikken. Målet med oppgaven er å vurdere energiforsyningsystemer som er basert på solenergi ut fra vurderingene finne gode, fornuftige løsninger. Det systemet som i utgangspunktet skulle være i fokus er et system som produserer kjøling ved hjelp av varme. Kjølingen skal produseres i en absorpsjonskjølemaskin, og varmen som driver absorpsjonskjølemaskinen skal produseres i termiske solfangere som også brukes til oppvarming av varmtvann. For å kunne finne det aller beste energiforsyningsystemet for Satellittklinikken ble det valgt og også se på to andre mulig alternative energiforsyningsystemer basert på kjøleproduksjon i en absorpsjonskjølemaskin, den ene uten solenergi som kilde og den andre med solenergi i solfangere til å produsere varme og solenergi i solceller til å produsere elektrisitet. Alle alternative har et dieselaggregat som sikrer at energibehovet til enhver tid dekkes.

Det er altså sett på totalt tre alternative energiforsyningsløsninger, der Alternativ 2, videreutvikler Alternativ 1, og Alternativ 3 videreutvikler Alternativ 2. Alternativ 1 ser på hvordan spillvarme som produseres fra dieselaggregatet, i forbindelse med elektrisitetsproduksjon, kan brukes i en absorpsjonskjølemaskin. En dieselfyrt oljekjel benyttes som tilleggskilde. Alternativ 2 har i tillegg solfanger som tilfører varme til systemet og minker behovet for tilleggsilden. Alternativ 3 har i tillegg solceller som dekker deler av det elektriske energibehovet og minker dieselforbruket fra dieselaggregatet, samtidig som solfangere tilfører varme til absorpsjonskjølemaskinen og minker energibehovet fra oljekjelen. Varmtvannsbehovet er i de alternative løsningene dekket med termisk energi. Alternativene er modellert og simulert ved hjelp av Trnsys (supra kapittel 4.5.1).

De alternative løsningene er sammenliknet med Dieselmodellen både på dieselforbruk og lønnsomhet for å finne det energiforsyningsystemet for Satellittklinikken. Lønnsomheten er vurdert ved dagens dieselpris på 6,43 kr/L. Ettersom målet er å dekke store deler av energibehovet med solenergi, vil beste løsning være den løsningen som gir en betydelig reduksjon i dieselforbruket og samtidig har god lønnsomhet sammenliknet med Dieselmodellen. For å se på følsomheten for endringer i forutsetningen til den løsningen som kommer best ut, er det gjort følsomhetsanalyser på løsningen. Analysene ser på hva som vil skje med dieselforbruk og lønnsomhet sammenliknet med Dieselmodellen dersom den beste løsningen installeres og det etterpå viser seg å være avvik fra forutsetningene brukt i simuleringene og beregningene.

For å se hva en økning i dieselprisen vil ha å si for fordelene med å bruke solenergi i energisystemet, er det i tillegg også sett på lønnsomheten til de ulike løsningene dersom dieselprisen stiger til 10 kr/L. For å sammenlikne de tre alternativene er det plukket ut den løsningen av hvert alternativ som gir best lønnsomhet.

Ettersom hovedfokuset i utgangspunktet var kjøleproduksjon i en absorpsjonskjøler var ikke et energisystem med bare solceller et alternativ. En vurdering av et slikt system er likevel tatt med i slutten av kapittelet for å gi Normeca bredest mulig beslutningsgrunnlag for å kunne ta en avgjørelse om bruk av energiforsyning med solenergi.

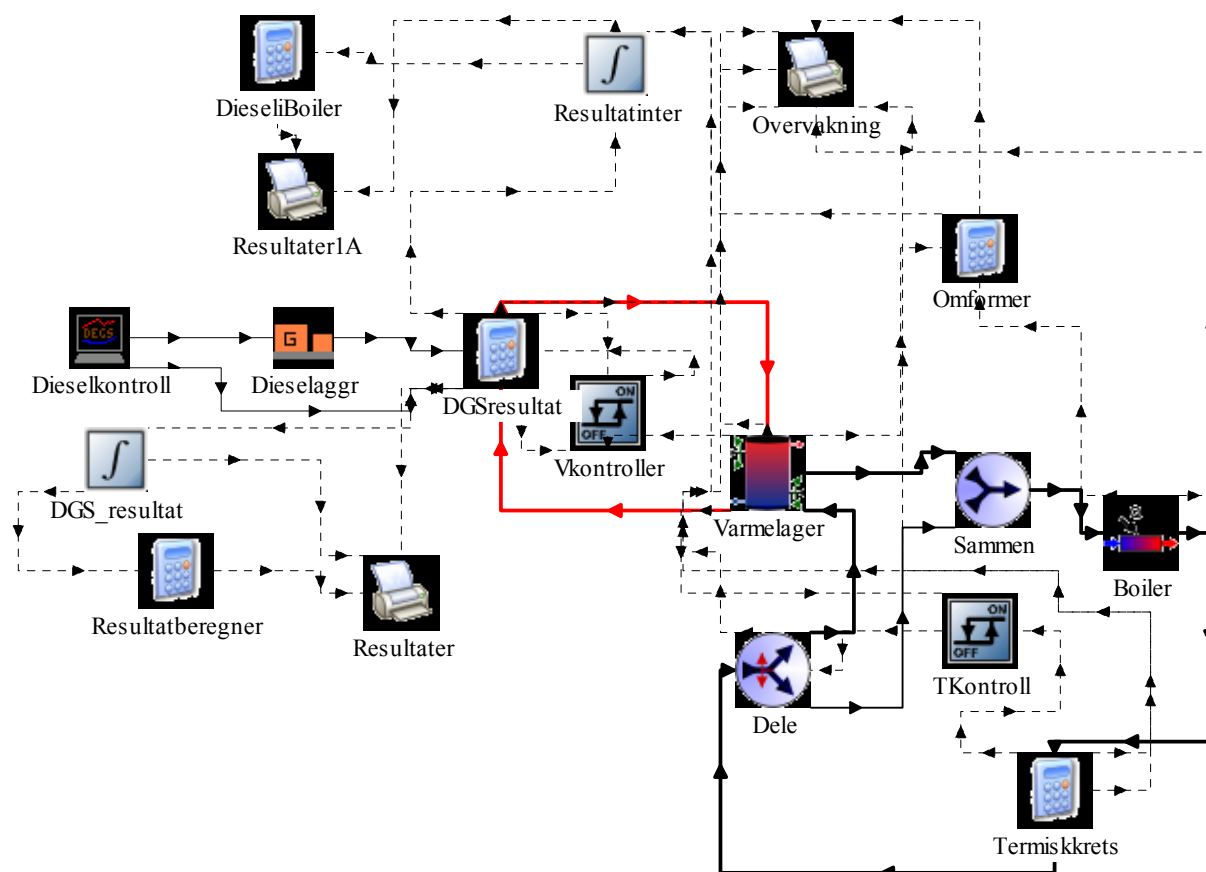
8.1 Alternativ 1 - Bruk av spillvarmen fra elektrisitetsproduksjon i dieselaggregatet som varme kilde for en absorpsjonskjølemaskin

Alternativ 1 ser på hvor mye dieselforbruket kan senkes ved å erstatte de separate luftkondisjoneringsanleggene med en absorpsjonskjølemaskin som bruker spillvarme fra dieselaggregatene til å produsere kjøling til satellittklinikken.

Løsningen er modellert med basis i dieselmodellen, men med den forskjellen at det er kun satellittklinikken elektriske energibehov (belysning, utstyr, pumper og viften) som kobles som last på dieselaggregatet. Denne lavere lasten fører til et lavere forbruk av diesel til aggregatet og dermed lavere avgitt mengde nyttbar spillvarme ved 85 °C. Det er satt inn et varmelager for å utjevne forskjeller mellom produksjon og forbruk av spillvarmen. For å være sikkert på at absorpsjonskjølemaskinen mottar nok varme til å dekke hele kjølebehovet er det i tillegg koblet til en dieselfyrt kjel(boiler) etter varmelageret. Energibehovet til oppvarming av varmtvann tas også ut av varmelageret.

Investeringskostnadene for Alternativ 1 gjenspeiler kostnader til dieselaggregatene, absorpsjonskjøleren med varmelager og kjelen (boiler). Sparte kostnader er kostnadene til luftkondisjoneringsanleggene og mulighetene for å kunne installere et færre dieselaggregat.

8.1.1 Diesel/absorpsjonskjølermodellen



Figur 8.1 Diesel/absorpsjonskjølermodellen

Figur 8.1 viser utvidelsen fra Lastmodellen til Diesel/absorpsjonskjølermodellen, for at figuren skal vises tydelig er det valgt å ikke ta med den delen av modellen som beskriver Lastmodellen i figuren (kan ses i Figur 6.10). Oppbygningen av modellen er forklart videre. Vedlegg 5 gir en detaljert beskrivelse av de ulike komponentene i modellen, samt parametere og inndata for hver komponent.

Modellen baserer seg på at 30 % (termisk virkningsgrad aggregatet) av energien som tas inn som diesel i dieselaggregatet blir avgitt som varme under drift (se kapittel 5.2) og at denne varmen kan brukes som varmekilde i absorpsjonskjølemaskinen. Det er tidligere oppgitt at varmen avgis ved en konstant temperatur på 85 °C.

Avgitt varme fra dieselaggregatet beregnes i ”DGSresultat”. Beregningene gjøres på bakgrunn av outputen ”V_liq” (se vedlegg 5) fra dieselaggregatet som gir forbrukt mengde diesel per time. Denne verdien ganges med brennverdien til diesel, som beskriver energiinnholdet i dieselen, og den termiske virkningsgraden til dieselaggregatet (se Formel 10).

Modellen er bygd opp som to separate kretser som har varmeoverføring via et termisk varmelager. Den varmeavgivende kretsen (markert med uthevet rødt) modellerer når og hvor mye varme som til enhver tid vil kunne avgis fra dieselaggregatet til varmelageret. For å illustrere den varmemengden som er tilgjengelig reguleres massestrømmen i kretsen til hele tiden å ha den hastigheten som må til for å avgi varmen fra dieselaggregatet og til kretsen. Massestrømmen (m) er beregnet ut fra formelen for varme overført til en væske beskrevet ved Formel 11.

$$m = Q_{\text{opptak}} / (C_p * (T_{\text{ut}} - T_{\text{inn}})) * 3600 \text{ [kg/h]} - \text{Formel 11}$$

Qopptak er Qdieselaggregat, C_p er spesifikk varmekapasitet til vann, T_u er 85 °C og T_{inn} er temperaturen på vannet som kommer fra varmelageret og skal varmes opp. I praksis vil varmen overføres med en varmeveksler som har et temperaturlap, men det er det sett bort i fra her slik at vannet som sendes til varmelageret holden 85 °C. ”Vkontroller” er en kontrollenhet som sender ut signalet av eller på (0 eller 1). Denne er brukt for å stoppe massestrømmen i den varmeavgivende kretsen når varmelageret er fullt, dvs. når temperaturen ut av varmelageret nærmer seg 85 °C. Dette gjøres ved at massestrømmen ganges med kontrollsignalet, slik at den blir null når kontrollsignalet er null, og beregnet verdi ellers. Kontrollenheten er i TRNSYS bygd opp slik at den sender ut kontrollsignalet i tidsperioden et tidsstед etter målingen av temperaturen, slik at varmeoverføringen simuleres til å stoppe en tidstrinn etter at for høy temperatur er målt, dette fører i simuleringene til at varme ikke blir tatt opp akkurat den timen etter. Fordi et virkelig varmelager vil ha en høy termisk treghet, vil dette i praksis ikke ha noen betydning (Ulleberg, samtale 4).

Den termiske kretsen (markert med uthevet svarte linjer i Figur 8.1) illustrerer energioptaket til absorpsjonskjølemaskinen samt energibehovet til oppvarming av varmtvann. Det var opprinnelig tenkt å lage to kretser her som begge hentet varme ut fra varmelageret på samme måte som det vil bli gjort i praksis (infra kapittel 8.1.6). Den ene kretsen skulle varmeveksle med en varmtvannsbereder og den andre kretsen skulle varmeveksle med desorbereren på absorpsjonskjølemaskinen (supra kapittel 4.2.1). For å modellere dette på en måte som sikret at total termisk energiproduksjon alltid er lik totalt termisk energibehov det valgt å modellere den termiske kretsen som en krets. Absorpsjonskjølemaskinen og varmtvannsberederen er modellert med kalkulatoren ”Termiskrets”. ”Termiskrets” tar inn beregnet kjølelast og varmtvannsoppvarmingslast som input og beregner kontinuerlig nødvendig massestrøm kontinuerlig ut fra Formel 11. Qopptak fra formelen er her summen av varmtvannsoppvarmingslasten og lastbehovet til absorpsjonskjøleren. Lastbehovet til absorpsjonskjøleren beregnes ut fra den termiske virkningsgraden til en bestemt type absorpsjonskjøler (se vedlegg 6). Virkningsgraden (COP_{abs}) er antatt å kunne holdes konstant på 68 %.

Virkningsgraden for absorpsjonskjølemaskinen krever at varmestrømmen inn på absorpsjonskjøleren har en temperatur som er minst 50 °C høyere enn temperaturen på det varmesluket som skal ta imot spillvarmen fra absorpsjonskjøleren (supra Figur 4.6). Det er antatt at varmesluket er et vannlager med temperatur litt høyere enn omgivelsestemperatur på 25 – 30 °C (se, vedlegg 4, Tomg). Ettersom dieselaggregatet avgir varme ved 85 °C, er temperaturen i den termiske kretsen satt til å være det samme slik at mest mulig av varmen fra dieselaggregatet blir utnyttet. Temperaturkravet for virkningsgraden er da overholdt.

Det er antatt at temperaturen senkes ca. 10 °C i absorpsjonskjøleren fra 85 °C. Ettersom det er modellert en felles massestrøm for absorpsjonskjøleren og varmtvann sikrer dette høy nok temperatur på varmtvannet. Det er tenkt av varmtvannsberederen i praksis kobles slik at det går en kontinuerlig væskestrøm mellom varmtvannsbereder og distribusjonskrets. Med tilgang på varme med 85 °C i berederen sikres varmtvannet mot oppblomstring av legionella. Det er antatt at distribusjonskretsen og varmtvannsberederen er så godt isolert at varmetapet er neglisjerbart.

TRNSYS har en innebygd type (komponent) som beskriver en absorpsjonskjøler. Denne typen baserer seg på å regne ut levert kjøleproduksjon på bakgrunn av massestrømmer og temperaturer inn på de fire hovedvarmevekslerne i en absorpsjonskjøler (supra kapittel 4.2.1). For å bruke denne typen på en fornuftig måte ville det vært behov for en detaljert beskrivelse av alle forhold for absorpsjonskjøleren. Ettersom det for denne oppgaven ville betydd mange usikre antagelser, er det derfor valgt å modellere absorpsjonskjøleren ved hjelp av virkningsgraden absorpsjonskjøleren som beskrevet under beskrivelsen av den termiske kretsen. Ettersom målet

med simuleringen er å finne ut hvor mye energi som trengs fra forsyningssystemet og ikke hvor mye varme som produseres til varmesluket vil denne forenklingen være en fornuftig måte å modellere absorpsjonskjøleren på. Dersom det hadde vært ønskelig å bruke varmen avgitt til varmesluket til oppvarming av en bygning med varmebehov ville denne forenklingen ikke kunne brukes.

For å sikre at nok varme levert til absorpsjonskjøleren og varmtvannet, er det satt inn en kjel (boiler) etter varmelageret. Kjelen er antatt å kunne bruke dieselen som drivstoff. Denne kjelen sørger for at temperaturen på vannet inn i den termiske kretsen alltid holder 85 °C slik at beskrevet virkningsgrad for absorpsjonskjølemaskinen vil være mulig å oppnå i virkeligheten. Den varmemengden som kreves levert fra kjelen er det ønskelig å holde så lav som mulig ettersom dette vil gi økt dieselforbruk. Dieselforbruket fra boileren regnes ut ved hjelp av virkningsgraden til boileren og brennverdien til diesel, dette gjøres i kalkulatoren ”DieseliBoiler”. Virkningsgraden til en dieselkjel ligger på 92 % (Edwardsen, J., e-post 10), (vedlegg 6).

Ettersom boileren er satt inn etter varmelageret, kan det dersom lasten i den termiske kretsen er lav nok, bli høyere temperatur på massestrømmen fra ”Termiskrets” blir høyere enn temperaturen i bunnen av varmelageret. Dette betyr at varme ikke vil bli tatt opp fra varmelageret, men heller avgis til varmelageret. For å unngå dette, er det laget en kortslutningskrets som kjører massestrømmen i den termiske kretsen utenom varmelageret og rett i boileren dersom temperaturen inn i varmelageret fra den termiske kretsen er høyere enn temperaturen ut av varmelageret til den termiske kretsen. Denne kortslutningskretsen reguleres ved to ventiler som åpner og lukker. Så lenge temperaturen inn er lavere enn temperaturen ut, vil varmelagerkretsen være åpen, ellers vil den stenges slik at all massestrømmen går gjennom kortslutningskretsen. Ventilene styres med en kontrollenhet som sender ut et kontrollsignal 0 eller 1 på bakgrunn av overvåkning av temperaturene inn og ut av varmelageret.

”Resultater 1A” printeren gir ut alle energibehov samt leverte energimengder fra dieselaggregat, varmelager og boiler. En mer detaljert beskrivelse av alle komponentene som er brukt, samt verdier beskrevet i komponentene og verdier og formler beskrevet i kalkulatoren er gitt i vedlegg 5.

8.1.2 Simuleringsmetode og mål

Hovedformålet med simuleringen er å finne ut om det er mulig å redusere dieselforbruket til satellittklinikken ved å bruke spillvarme til i en absorpsjonskjøler til å dekke kjølebehovet i stedet for å bruke elektrisitet produsert med dieselaggregatet i luftkondisjoneringsanlegg.

Det er valgt å bruke informasjon og data fra absorpsjonskjølemaskinen til ClimateWell, ClimateWell 10, fordi det har vært god tilgang på data for denne maskingen. Denne maskinen bruker Litium Klorid som ikke er en av de to typene beskrevet i rapportens teoridel. Absorpsjonskjøleprosessen vil likevel være den samme. Maksimal kjølekapasitet er 10 kW per absorpsjonskjøler. Dersom varmeslukets temperatur er lavere enn 25 °C og vanntemperaturen på kjølekretsen i ventilasjonsanlegget er høyere enn 15 °C er det mulig å oppnå kjølekapasiteter på opptil 12 kW (web 20, ClimateWell). Maksimal kjølelast for Satellittklinikken etter energisparende tiltak er 22,5 kW (supra Tabell 6.3). Det er antatt at 2 absorpsjonskjølere vil være nok til å dekke dette behovet, og at brukerne av satellittklinikken kan tåle noen få dager med temperaturer over 25 °C.

ClimateWell gir muligheten til å lagre varme i et saltlager slik at man kan unngå bruk av varmelager med vann. Saltlager har den fordelen at mer varme kan lagres i et mindre volum. Modellering av dette saltlageret i trnsys ble veldig komplisert og veldig spesifikt knyttet til akkurat ClimateWell. For å få til en generell simulering er det derfor brukt varmelager med vann. Saltlageret er den del ClimateWell 10 og er derfor inkludert i prisen for maskinen. For å tilpasse varmelageret i simuleringene til saltlagets størrelse er størrelsen på varmelageret bestemt ut fra maksimal kapasitet i saltlageret. Hvert saltlager kan lagre 44 kWh (web 20, ClimateWell), altså totalt 88 kWh med to absorpsjonskjølere. Ved å kjøre simuleringer med ulike størrelser på varmelagrene å se på maksimalt lagret varme i lagrene kan størrelsen på varmelageret bestemmes. Fordelen med et stort varmelager er at det kan lagre mer varme og dermed bidrar til å jevne ut manglende samspill mellom varme levert fra dieselaggregatet og varmebehov i den termiske kretsen. Simuleringene for å fastsette størrelsen på varmelageret er gjort ved hjelp av Alternativ 1 modellen.

Etter at varmelagerets størrelse er fastsatt kjøres simuleringen av Alternativ 1 for å finne årlig forbrukt mengde diesel. Ettersom ingen verdier skal varieres kjøres kun en simulering med bestemt størrelse på varmelageret.

8.1.3 Simuleringsresultater

Simuleringer med ulike varmelagervolum viste at maksimal størrelse på varmelageret er 1,58 m³. Dette gir en maksimal lagringskapasitet på 87,74 KWh som tilsvarer kapasiteten til saltlagrene til to absorpsjonskjølere.

Resultatene for simuleringen av Alternativ 1 er vist i Tabell 8.1.

Tabell 8.1 Resultat Alternativ 1

Resultat Alternativ 1:	Verdi:	Enhet:
Elektrisk energibehov, Pel = last på diesellaggregat	32 607	kWh/år
Oppvarming av varmtvann, PVV	6 516	kWh/år
Kjøling av bygning, Pkjøl	47 668	kWh/år
Termisk energibehov, Pterm	54 183	kWh/år
Energibehov til absorpsjonskjøler, Pabs = Pkjøl/COPabs	70 100	kWh/år
Energibehov i termisk krets= Pabs + PVV	76 616	kWh/år
Satellittklinikens totale energibehov ved alternative energiforsyningsløsninger	86 791	kWh/år
Maksimalt antall brukte diesellaggregat	2	stk.
E, produsert elektrisk energi produsert i diesel aggregatet	32 666	kWh/år
Qnyttbart fra diesellaggregat = 30 % av energi fyrt inn på diesellaggregat.	32 063	kWh/år
Qtatt opp i varmelager fra dieselkrets	31 853	kWh/år
Qlevert fra varmelager til termisk krets	30 425	kWh/år
Qlevert fra boiler	46 332	kWh/år
Årlig dieselforbruk aggregat	10 570	L/år
Årlig dieselforbruk boiler	4 981	L/år
Totalt årlig dieselforbruk Alternativ 1 (aggregat og boiler)	15 551	L/år
Total årlig dieselforbruk i Dieselmodellen (aggregat)	17 746	L/år

Totalt årlig dieselforbruk i diesellaggregatet er redusert med 7 176 liter/år, denne reduksjonen kommer av at lasten inn på diesellaggregatet er redusert fra å være totalt energibehov til å bare være det elektriske energibehovet. For å sikre at kjølebehovet dekkes, forbruker systemet 4 981 liter/år i boileren. Forskjellen mellom dieselforbruket til Dieselmodellen og dieselforbruket til Alternativ 1, på 2 195 liter/år, gjenspeiler reduksjonen i forbindelse med utnyttelsen av spillvarmen fra diesellaggregatet.

8.1.4 Lønnsomhetsbergingning med resultater

Energiprisen til den energien som er levert til satellittklinikken (totalt energibehov) skal brukes til å sammenlikne lønnsomheten til Alternativ 1 mot Dieselmodellen.

Metode og forutsetninger for lønnsomhetsbergingningen er nærmere beskrevet i kapittel 4.6. Resultatet er vist i Tabell 8.2.

Tabell 8.2 Lønnsomhet Alternativ 1

Inndata:	Verdi:	Enhet:
I, Investeringskostnader		
Diesellaggregat 2 stk. a' 6 kW	60 000	kr
Absorpsjonskjøler a 2 stk	198 000	kr
Boiler	19 300	kr
Total investeringskostnader	277 300	kr
D, Driftkostnader		
Diesel, pris 6,43 kr/L	99 994	kr/år
Diesel, pris 10,0 kr/L	155 511	kr/år
KÅ, Årskostnad		
KÅ, med dieselpri 6,43 kr/L	121 311	kr/år

KÅ, med dieselpris 10,0 kr/L	176 829	kr/år
Energipris levert energi kr/kWh		
Med dieselpris 6,43 kr/L	1,398	kr/kWh
Med dieselpris 10,0 kr/L	2,037	kr/kWh

I kommentarfeltet til Dieselmodellen (supra kapittel 7.5) er det beregnet at en energipris under 1,477 kr/kWh når dieselprisen er 6,43 kr/L og en energipris under 2,207 kr/L dersom dieselprisen er 10 kr/L vil gi lønnsomhet for alternativet sammenliknet med Dieselmodellen. Dette betyr at Alternativ 1 vil være en mer lønnsom investering enn Dieselmodellen både ved dagens dieselpris og hvis dieselprisen stiger til 10 kr/L.

En sammenlikning av årskostnadene (annuitetene) viser at en installasjon av Alternativ 1 fremfor Dieselmodellen vil gi en årlig sparing på 6 900 kroner dersom dieselprisen er 6,43 kr/L, og 14 737 kroner dersom dieselprisen øker til 10 kr/L.

8.1.5 Kommentarer

Opgitt fra leverandør er det elektriske virkningsgraden til ClimateWell 10 på 714 ved kjøling. Beregnet ut fra energibehovet til absorpsjonskjøleren (Tabell 8.1, Pabs), gir dette et årlig elektrisk energibehov i absorpsjonskjøleren på 98 kWh. Ettersom modellen ikke er laget med tilbakevirkende styresystem er dette behovet ikke tatt med som en del av den elektriske lasten (avansert reguleringsteknikk). Ettersom det elektriske energibehovet er såpass lite i forhold til det årlige elektriske energibehovet til satellittklinikken på 32 607 kWh, er det konkludert med at denne forenklingen ikke utgjør en betydelig usikkerhet.

Selv om den reduserte lasten inn på dieselaggregatene gir lavere dieselforbruk i aggregatet er det ikke en drastisk reduksjon i det totale årlige dieselforbruket til systemet. Dette kan forklares med at absorpsjonskjøleren har en mye lavere virkningsgrad enn luftkondisjoneringsanleggene og at den derfor trenger mye mer energi for å dekke det samme kjølebehovet. Selv om systemet mottar gratis spillvarme fra dieselaggregatet er varmebehovet til drift av absorpsjonskjøleren så høyt at energimengden som må hentes fra boileren nesten tilsvarer det som er spart inn på dieselaggregatet. Det er i neste alternativ sett på hvordan dieselforbruket i boileren kan senkes ved å bruke solfangere som varmekilde for absorpsjonskjøleren i tillegg til spillvarmen fra dieselaggregatet.

8.1.6 Praktisk utforming

Alternativ 1 bruker to dieselaggregater a' 6 kW til å dekke Satellittklinikken elektriske energibehov med maksimal effekt på 6,03 kW (supra Tabell 6.3). Med elektrisk energibehov menes energibehov til belysning, utstyr, vifter og pumper.

Kjølingen av rommene skjer ved hjelp av to absorpsjonskjølemaskiner a' 10 kW. Det er antatt at hver av absorpsjonskjølemaskinene har kapasitet til å dekke maksimalt 12 kW i kortere perioder slik at maksimalt kjølebehov på 22,5 kW (supra, Tabell 6.4) vil kunne dekkes. På ekstremt varme dager er det forutsatt at personene må tåle høyere innetemperatur enn 25 °C i kortere perioder, og at dette vil skje svært sjeldent. Kjølingen av rommene skjer via ventilasjonsanlegget som er tilknyttet til kjølekretsen fra absorpsjonskjøleren. Luften skal kjøles ned så mye at rommene ikke overstiger en maksimal temperatur på 25 °C. Det er antatt minst 6 °C temperaturdifferanse mot kjølekretsen (vedlegg 4, ΔT_{kp}).

Absorpsjonskjøleren drives med varme som tilføres som varmt vann på 85 °C (supra, kapittel 8.1.1). Det varme vannet hentes fra et varmelager som er tilført spillvarme fra dieselaggregatet og som ettervarmes ved hjelp av en dieselfyrt kjel for å sikre ønsket temperatur. Det er antatt at absorpsjonskjøleren senker temperaturen på det varme vannet med ca. 10 °C og gir 75 °C på vannet ut igjen i varmelagerkretsen. Spillvarmen fra dieselaggregatet er varme som avgis for å kjøle ned dieselaggregatet under drift, ved fullt varmelager avgis denne varmen til omgivelsene. Varmelageret kan gjerne plasseres et sted med mye sol for å øke sin overflatetemperatur og minke varmetapet til omgivelsene.

Spillvarme fra absorpsjonskjøleren avgis til omgivelsene ved en temperatur på ca. 25 til 30 °C. Dette kan gjøres via varmeveksling med luft eller mer effektivt via varmeveksling med vann til et varmesluk. Dette varmesluket kan for eksempel være et svømmebasseng.

Oppvarming av varmtvann skjer i en varmtvannsbereder som varmeveksler med samme varmekrets som absorpsjonskjøleren. Det varme forbruksvannet sirkulerer kontinuerlig i distribusjonskretsen mellom forbruksstedene og berederen slik at vannet hele tiden holder ønsket temperatur på 70 °C (supra, kapittel 6.1.1). Dette er gjort for å forhindre legionellaoppblomstring. En kontinuerlig varmeveksling mellom varmtvannsberederen og den termiske kretsen med varmelageret og boileren sikrer oppvarming av beredervannet

til ønsket temperatur. Om varmeveksleren mellom varmtvannsberederen er koblet inn etter absorpsjonskjøleren, eller parallelt med absorpsjonskjøleren avhenger av temperaturen ut på absorpsjonskjølen. Med en temperatur ut av absorpsjonskjøleren på 75 °C kan varmeveksleren mellom varmelagerkretsen og varmtvannsberederen kobles inn etter absorpsjonskjøleren og fortsatt sikre ønsket temperatur på forbruksvannet. Det er viktig at bereder og distribusjonssystem er godt isolert for å forhindre varmetap i systemet.

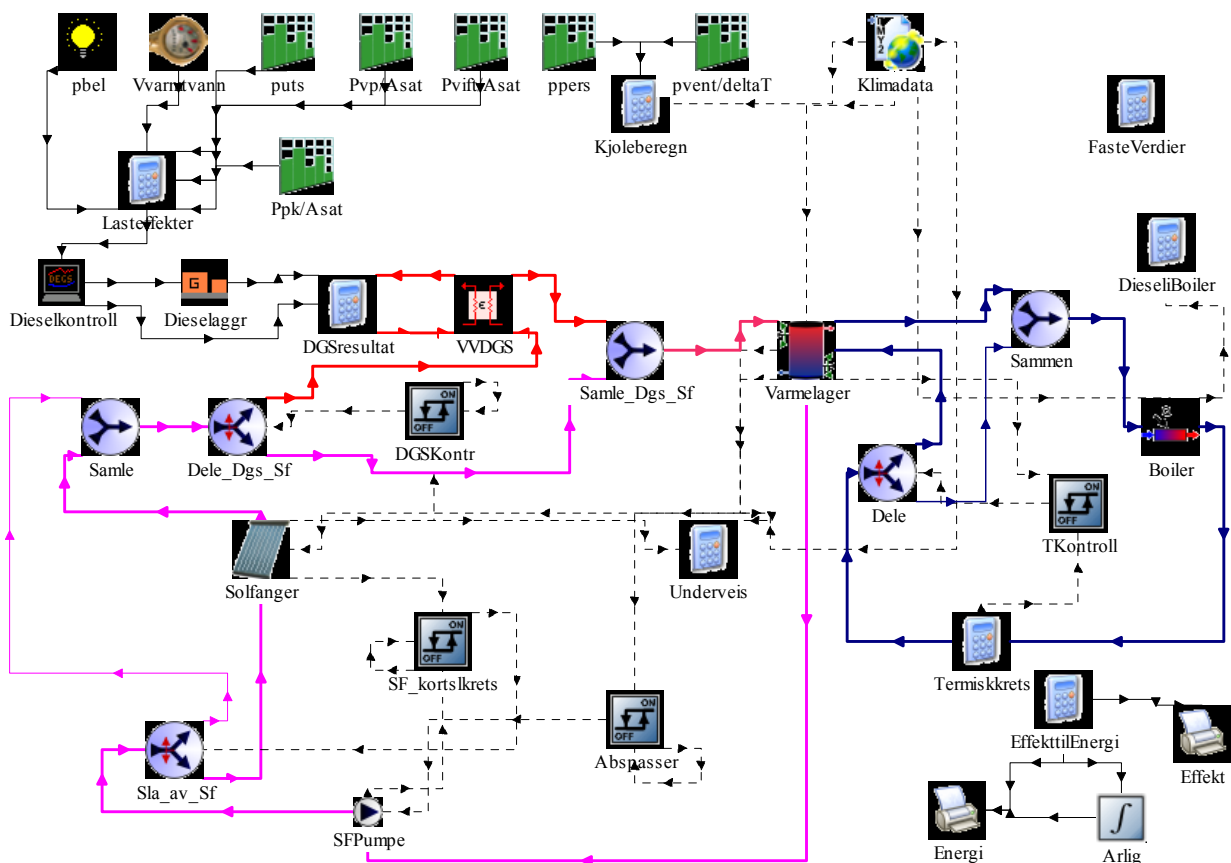
8.2 Alternativ 2 - Øke effektiviteten til absorpsjonskjøleren ved å øke temperaturen på spillevarmen med en vakuumsolfanger

Alternativ 2 ser på hvordan termiske solfangerer kan bidra til å senke dieselforbruket til boileren og det totale dieselforbruket til satellittklinikken når en absorpsjonskjøler brukes til å dekke kjølebehovet. Den økonomiske lønnsomheten er også vurdert.

Til forskjell fra alternativ 1 er, det i alternativ 2 satt inn termiske vakuumsolfangerer i den varmeavgivende kretsen. Systemet er oppbygd slik at det skal bli best mulig utbytte fra solfangerne. Massestrømmen i den varmeavgivende kretsen er derfor bestemt av massestrømmen i solfangerne og varmeavgivelse fra dieselaggregatet skjer via en varmeveksler. Det er laget kortslutninger som kjører massestrømmene utenom solfangerkretsen dersom solfangeren dersom solfangeren ikke produserer varme, eller dersom temperaturen i solfangeren er lik stagnasjonstemperaturen (all varme som produseres i solfanger avgis som varmetap til omgivelsene). Dersom temperaturen på væsken allerede er 85 °C eller mer kjøres den utenom dieselaggregat varmeveksleren. Væskestrømmen som går mellom dieselaggregatet og varmeveksleren avgir en varmemengde bestemt av mengden nyttbar varme dieselaggregatet til enhver tid, så lenge væskestrømmen i den varmeavgivende kretsen har behov for varme.

For å kunne sammenlikne lønnsomheten til alternativ 2 med de andre alternativene og dieselmodellen er det også her regnet ut en energipris for den leverte energien basert på det totale dieselforbruket og investeringskostnadene for systemet. Investeringskostnadene for Alternativ 2 gjenspeiler kostnader til dieselaggregatene, absorpsjonskjøleren, varmelageret, kjelen (boiler) og solfangerne. Sparte kostnader er kostnadene til luftkondisjoneringsanleggene og mulighetene for å kunne installere et mindre og billigere dieselaggregat.

8.2.1 Diesel/solfanger absorpsjonsmodellen



Figur 8.2 Solfanger-, absorpsjonskjøler- og dieselmodellen

I alternativ 2 er den varmeavgivende kretsen (merket med uthevet cyan) oppbygd for å gi størst mulig utbytte fra solfangerne. Dette er gjort fordi målet er å forsyne satellittklinikken med solenergi og for å kunne få enda bedre utnyttelse av solenergi nå solceller kobles inn i alternativ 3. Videre gis en mer detaljert beskrivelse av den

varmeavgivende kretsen. For mer detaljert om andre deler av systemet, se foregående kapitler (supra kapittel 6.3.1, 7.1 og 8.1.1). Vedlegg 5 gir en detaljert beskrivelse av de ulike komponentene i modellen, samt parametere og inndata for hver komponent.

Væskestrømmen fra varmelageret pumpes ut i den varmeavgivende kretsen (markert i uthevet cyan). Pumpen kontrolleres med et kontrollsignal fra kontrolleren "Abspasser". Kontrolleren måler temperaturen på væskestrømmen fra varmelageret og ut i den termiske kretsen (markert uthevet blått) og stopper pumpen, og dermed varmeopptak fra den varmeavgivende kretsen dersom temperaturen er høyere enn 120 °C som er den maksimale temperaturen absorpsjonskjøleren kan tåle (se vedlegg 6). Massestrømmen i den varmeavgivende kretsen er på totalt 650 kg/h.

Diverteren "Sla_av_sf" styrer væskestrømmen inn i solfangeren eller gjennom kortslutningskretsen på bakgrunn av et kontrollsignal fra kontrolleren "SF_kortslkrets". Kontrolleren måler temperaturen inn og ut av solfangeren og diverteren kjører væskestrømmen utenom solfangeren ved to tilfeller. Det første tilfellet er dersom temperaturen er lavere enn 85 °C, er væskestrømmen mottagelig for å ta opp tilgjengelig varme fra solfangeren og hele væskestrømmen går gjennom dieselaggregat varmeveksler kretsen. Dersom temperaturen er over 85 °C styres væskestrømmen utenom. T-stykket "Samle_Dgs_Sf" sørger for en væskestrøm inn på varmelageret.

T-stykket "Samle" sørger for en væskestrøm inn i diverteren "Dele_Dgs_Sf". Denne diverteren styrer væskestrømmen enten gjennom varmevekslerkretsen med dieselaggregatet (markert med uthevet rødt) eller gjennom kortslutningskretsen avhengig av et kontrollsignal fra kontrolleren "DGSKontr". Dersom temperaturen inn i diverteren er lavere enn 85 °C, er væskestrømmen mottagelig for å ta opp tilgjengelig varme fra dieselaggregatet og hele væskestrømmen går gjennom dieselaggregat varmeveksler kretsen. Dersom temperaturen er over 85 °C styres væskestrømmen utenom. T-stykket "Samle_Dgs_Sf" sørger for en væskestrøm inn på varmelageret.

Ulikt fra Alternativ 1 er det satt en varmeveksler, "VVDGS" mellom dieselaggregatet og den varmeavgivende kretsen. Dette er gjort for å kunne regulere den varmeavgivende kretsen ved hjelp av solfangerens massestrøm og i tillegg kunne gjenspeile riktig mengde varme tilgjengelig fra dieselaggregatet. Dette likner på slik det vil gjøres i praksis bortsett fra at der avgis varmen som ikke blir tatt opp til varmelageret til omgivelsene slik at dieselaggregatet alltid får nok nedkjøling. Varmeveksleren er antatt å ha en virkningsgrad på 100 % slik at all varmen tilgjengelig fra dieselaggregatet til enhver tid kan tas opp på kald side av varmeveksleren (kald side er væskestrømmen fra solfangere til varmelager). Den varmeavgivende siden på varmeveksleren har derfor mulighet til å overføre all den tilgjengelige nyttbare varmeeffekten fra til væskestrømmen som passerer på kald side av varmeveksleren. Nyttbar varme avgis med modellen på samme måte som i Dieselmodellen og Alternativ 1 ved å regulere massestrømmen ut fra temperatur ut av dieselaggregatet (85 °C), temperaturen inn (avhenger av hvor mye som tas opp av væskestrømmen på kald side) og nyttbar varme avgitt fra dieselaggregatet (varierer med den elektriske lasten dieselaggregatet skal dekke) (supra Formel 11).

Dersom verken solfanger eller dieselaggregatet har noe eller nok varme å avgi slik at temperaturen på væskestrømmen ut av varmelageret til absorpsjonskjøleren i den termiske kretsen, tilføres denne varmen fra boileren.

Energi printerer gir ut alle energibehov samt leverte energimengder fra dieselaggregat, solfangere, varmelager og boiler. Effektene er gitt av effektprinterer. Kalkulatoren "EffekttilEnergi" tar inn verdiene fra andre kalkulatorer nærmere komponentene.

8.2.2 Simuleringsmetode og mål

Hovedformålet med simuleringen er å finne ut hvor mye det er mulig å redusere dieselforbruket i boileren ved å produsere varme ved hjelp av solfangere og fortsatt ha et system som ikke har dårligere lønnsomhet enn Dieselmodellen (originalsystemet). Den beste løsningen for Alternativ 2 er derfor den løsningen med det antall solfangere som gir lavest dieselforbruk uten at årskostnaden blir høyere enn årskostnaden til Dieselmodellen.

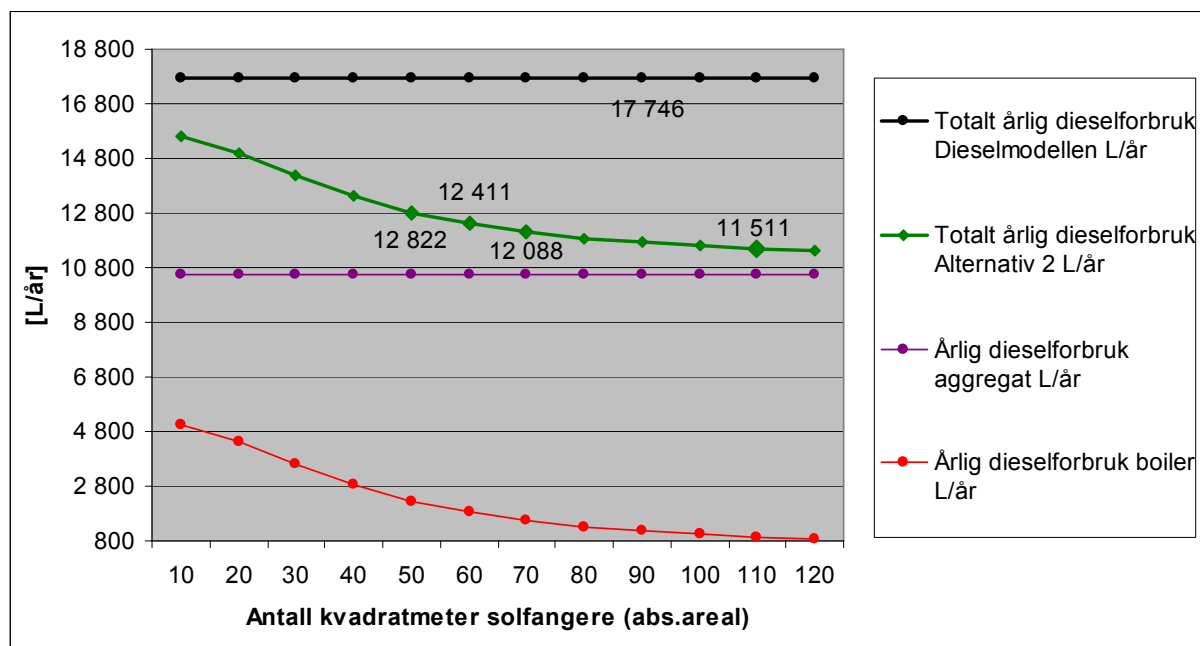
Simuleringene gjøres for å danne et grunnlag for å vurdere om en energiløsning der en absorpsjonskjøler drevet på varme fra solfangere, varme avgitt fra dieselaggregatet og varme fra en boiler vil være fornuftig sammenliknet med å bruke luftkondisjoneringsanlegg drevet med elektrisitet produsert av dieselaggregatet (Dieselmodellen).

Simuleringen gjøres ved å kjøre flere simuleringer av Alternativ 2 modellen der totalt solfangerareal varierer fra 10 til 120 m². Det er solfangerens totale absorbatoreal som varieres. Grunnen til at absorbatorealet brukes, er at ytelsesdataene for solfangeren er fra produsenten oppgitt på bakgrunn av absorbatoreal. Prisen på solfangeren er også angitt pr kvadratmeter absorbatoreal til 3 832 kr/m² (supra Tabell 4.2). Videre omtales solfangerens absorbatoreal kun som solfangerens areal.

Ettersom solfangerne ikke påvirker det elektriske energibehovet levert fra dieselaggregatet, er dieselforbruket og mengde nyttbar energi tilgjengelig fra dieselaggregatet det samme som i resultatet for Alternativ 1. Antall dieselaggregater i drift derfor fortsatt to. Kjølebehovet til bygningen er også fortsatt det samme, noe som betyr at det som i Alternativ 1 fortsatt vil være behov for to absorpsjonskjølere, og et simuleringsvarmelager på 1,58 m³. Investeringskostnaden for Alternativ 2 vil være lik investeringskostnadene til Alternativ 1 pluss investeringskostnadene for solfangerne (supra Tabell 8.2)..

8.2.3 Simuleringsresultater

Energibehov til systemet og energiproduksjon fra dieselaggregatet er likt med resultatet fra Alternativ 1 (supra Tabell 8.1). Forskjellen fra Alternativ 2 er at det nå er et varmebidrag fra solfangerne. Dette bidraget gjenspeiles som en reduksjon i dieselforbruket til boileren og dermed en reduksjon i det totale dieselforbruket. Figur 8.3 beskriver hvor mye dieselforbruket i boileren og totalt kan reduseres avhengig av installert solfangerareal sammenliknet med dieselmodellen.



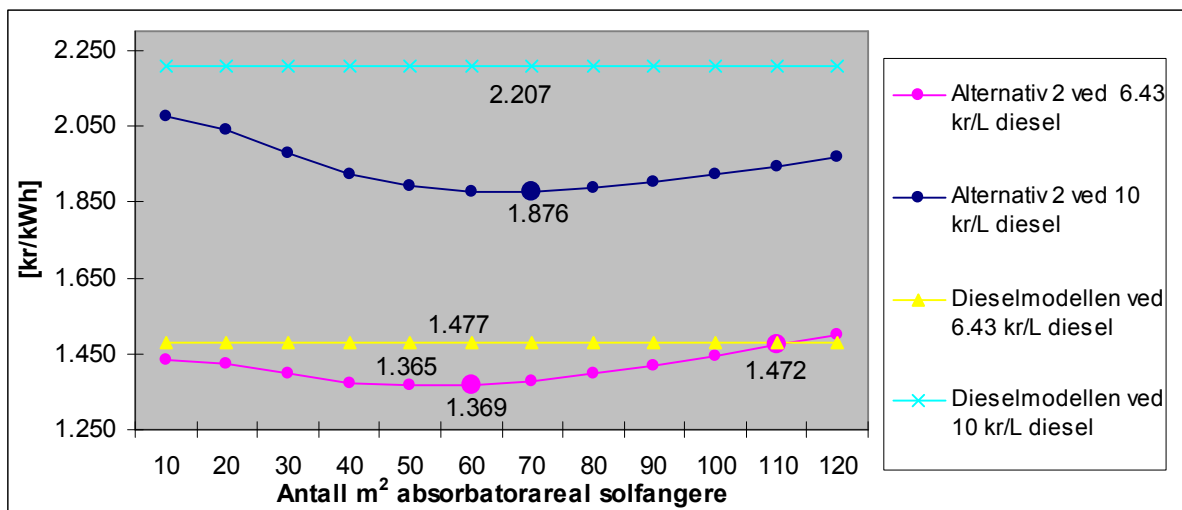
Figur 8.3 Resultat Alternativ 2

Resultatet viser at en installasjon av solfangere i kretsen vil bidra til å senke dieselforbruket. Reduksjonen avhenger av solfangerarealet som installeres. Flere solfangere, gir høyere investeringskostnader. For å avgjøre om en installasjon med solfangere vil være lønnsomt, og eventuelt hvor mange solfangere størst reduksjon i dieselforbruket samtidig som det er ikke har dårligere lønnsomhet enn Dieselmodellen, må det gjøres en vurdering av lønnsomheten ved hvert av arealene.

8.2.4 Lønnsomhetsberegninger med resultater

Energipris på levert energi og årskostnad for løsningen beregnes med metoder og forutsetninger beskrevet i kapittel 4.6. Det er sett på lønnsomheten ved dieselpris på både 6,43 og 10 kr/L.

Ettersom dieselmodellen har lavere totalt energibehov enn Alternativ 2 er ikke energiprisen direkte sammenliknbare. Lønnsomhet for Alternativ 2 vil oppnås sammenliknet med Dieselmodellen dersom energipris under 1,477 kr/kWh når dieselprisen er 6,43 kr/L og en energipris under 2,207 kr/L dersom dieselprisen er 10 kr/L (supra kapittel 7.5). Figur 8.4 viser energiprisen til ulike løsninger av Alternativ 2 sammenliknet med de maksimale verdiene for lønnsomhet sammenliknet med Dieselmodellen. For å bestemme årlig sparing eller merkostnad, sammenliknes årskostnadene.



Figur 8.4 Lønnsomhet Alternativ 2

Figuren viser at Alternativ 2 er lønnsomt for alle løsninger med solfangereareal mindre enn 110 m² dersom dieselpriisen er 6,43 kr/L.

Den løsningen som ut fra dagens energipris gir størst reduksjon i dieselforbruket og samtidig er lønnsomt sammenliknet med Dieselmодellen har totalt solfangereareal på 110 m². Denne løsningen gir en årlig reduksjon i dieselforbruket på 6 135 liter og en årlig sparing på 474 kr.

Den løsningen som har nest lavest energipris har et totalt solfangereareal på 60 m². Denne løsningen gir en årlig reduksjon i dieselforbruket på 5 335 liter og en årlig sparing på 9 415 kr.

Løsningen med et solfangereareal på 50 m² gir best lønnsomhet. Denne løsningen gir en årlig reduksjon i dieselforbruket på 4 924 liter og en årlig sparing på 9 718 kr. Denne løsningen gir en betydelig dårligere reduksjon i dieselforbruket uten at lønnsomheten stiger merkbart.

Ettersom målet er å finne en løsning som ved dagens energipris gir høy dekning med solenergi (lavt dieselforbruk) og samtidig er økonomisk gunstig, vil beste løsningen for Alternativ 2 med dieselpriis på 6,43 kr/L være løsningen med et totalt solfangereareal på 60 m². Den løsningen har et dieselforbruk på 12 411 L/år, en årskostnad på 118 796 kr, en investeringskostnad på 507 220 kr og en energipris på 1,369 kr/kWh.

Dersom prisen på diesel skulle stige, og komme opp i 10 kr/liter, vil alternativ 2 vært lønnsomt for alle løsningene som er testet. Tendenser i kurven viser at også større anlegg vil kunne være lønnsomme. En investering i Alternativ 2 dersom dieselpriisen stiger til 10,0 kr/liter vil derfor både kunne være lønnsom og dieselbesparende. Den mest lønnsomme løsningen vil 70 m² solfangere, et dieselforbruk på 12 988 L/år, en årskostnad på 162 819 kr og en investeringskostnad på 545 540 kr, en energipris på 1,876 kr/kWh og en årlig sparing på 28 746 kr.

8.2.5 Kommentarer

I Figur 8.3 er reduksjonen i dieselforbruket til boileren og totalt for Alternativ 2 størst når solfangerearealet er mellom 10 og 50 m². For løsningen med 50 m² har energipriisen et bunnpunkt. Dette kan tyde på at 50 m² er stort nok til å produsere en betydelig del av varmebehovet på den tiden av døgnet når solen skinner. Når solfangerearealet økes over 50 m² vil noe mer varme produseres, men det vil også bli produsert mer varme enn det som trengs på de mest solrike timene på døgnet, slik at de ekstra kvadratmeterne med solfangere ikke gir fullt utbytte noe som også viser seg ved dårligere lønnsomhet.

8.2.6 Praktisk utforming

Alternativ 2 er bygd opp stort sett på samme måte som Alternativ 1. Endringen består av at termiske solfangere er koblet inn i systemet og er med og produserer varme til absorpsjonskjøleren. Solfangerne er tilkoblet varmelageret og tilkoblingskretsen er bygd opp slik at varmen fra solfangerne prioriteres før spillvarmen fra diesellaggregatet. Det betyr at spillvarme fra diesellaggregatet kun tilføres varmelageret dersom solfangerne ikke øker temperaturen nok. Dette anbefales å brukes vakuumsolfangere som kan produsere varme ved høye temperaturen og gir høy virkningsgrad.

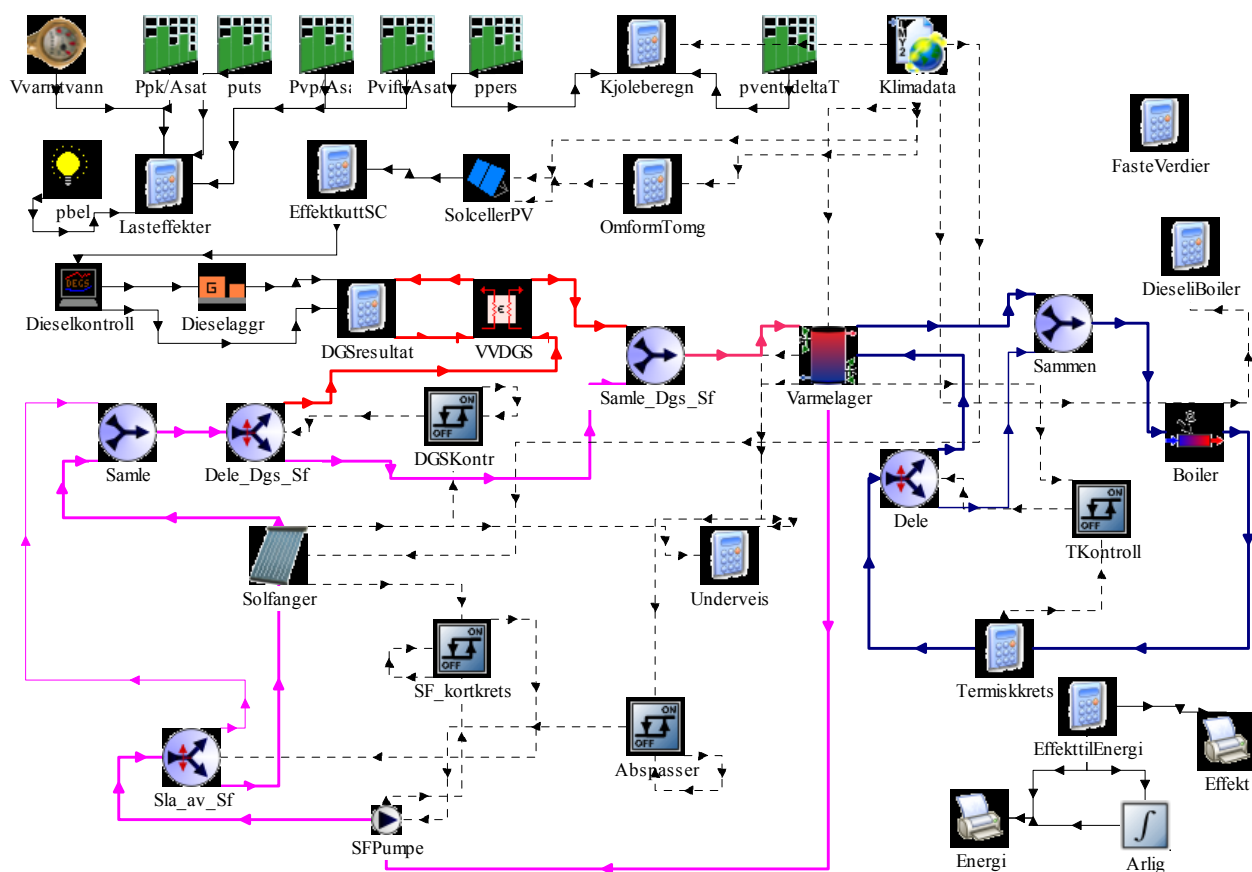
Solfangerne skal integreres i containernes tak slik at de blir en del av Satellittklinikens konstruksjon. Containernes tak er flatt, slik at solfangerne får en helningsvinkel lik null grader. Hvor mange solfangere som skal kobles i parallell og hvor mange som skal kobles i serie avhenger av ønsket totalt hastighet på massestrømmen gjennom dem og størrelsene på de valgte solfangerne og bør spesifiseres i samarbeid med eventuell leverandør. Solfangerne bør plasseres på taket av de containerne som er nærmest varmelageret slik at ledninger blir kortest mulig. Dette gir minst mulig varmetap og lavere kostnader. Containerne som har solfangere i takkonstruksjonen bør ikke plasseres på steder der de får skygge fra andre bygninger eller beplantning dersom dette er mulig.

8.3 Alternativ 3 – Minke dieselbehovet i aggregatet ved å dekke deler av det elektriske effektbehovet med solceller i tillegg til absorpsjonskjøler og solfangere.

Alternativ 3 ser på hvordan solceller kan brukes til å dekke deler av den elektriske lasten slik at behovet for elektrisk energi produsert fra dieselaggregatet og også dieselforbruket reduseres. Mindre last på dieselaggregatet vil igjen føre til mindre nyttbar varme (spillvarme) avgitt fra dieselaggregatet. Dette vil gi økt behov for varme levert fra solfangerne. Sammen med større solfangere kan solcellene gi en totalt større dekning av energibehovet til satellittklinikken med solenergi. Den økonomiske lønnsomheten er vurdert for å avgjøre hvor mange kvadratmeter med solfangere og solceller som vil være fornuftig.

For å kunne sammenlikne lønnsomheten til alternativ 3 med de andre alternativene og dieselmodellen er det også her gjort lønnsomhetsberegninger. Investeringskostnadene for Alternativ 3 gjenspeiler kostnader til dieselaggregatene, absorpsjonskjøleren, varmelageret, kjelen (boiler), solfangere og solcellene. Sparte kostnader er kostnadene til luftkondisjoneringsanleggene og mulighetene for å kunne installere et mindre og billigere dieselaggregat.

8.3.1 Solcelle-, solfanger-, absorpsjonskjøler- og dieselmodellen



Figur 8.5 Solcelle-, solfanger-, absorpsjonskjøler- og dieselmodellen

Modellen for Alternativ 3 er identisk med modellen for Alternativ 2 bortsett fra at det er satt inn en solcelle og en kalkulator mellom lastresultatet som beregnes, og dieselkontrolleren. Det er derfor kun avvirket fra Alternativ 2 som beskrives her.

Modellen søker å minke dieselforbruket i dieselaggregatet uten å øke dieselforbruket i boileren, slik at det totale dieselforbruket blir lavere enn det som kan oppnås med Alternativ 2. Det er tenkt at den produserte elektriske effekten fra solcellene brukes etter hvert som den produseres til å kutte ned lasten inn på dieselaggregatet, uten bruk av lagring i batterier. Dette er en normal måte å gjøre det på (Ulleberg, samtale 4), som også er fornuftig med tanke på at lasten er høyest på den tiden av døgnet når sola står mest (supra kapittel 6.2 Lastprofiler). Aggregatet er hovedkilde og styrer det lokale strømmettet inne i satellittklinikken. Det vil derfor i praksis også

styre spenningen tatt ut fra solcellene. Ettersom aggregatet leverer elektrisk energi til utstyr med norsk standard (supra 5.25.1) er solcellenes lastspenning satt til 220 volt. Solcellene produserer likestrøm som må konverteres til vekselstrøm før den leveres til satellittklinikkenes strømmett. Det er antatt at det i denne konverteringen tapes 10 % av den produserte effekten (Ulleberg, samtale 4).

Kalkulatoren tar inn hvor stor den elektriske lasten er og hvor mye effekt som produseres i solcellene til enhver tid. Den elektriske effekten produsert i solcellene trekkes fra på den elektriske lasten før det nye lastebehovet sendes til dieselaggregatets dieselkontroll. Dersom solcellen produserer mer effekt enn lasten, sendes et behov lik null til aggregatet. Dette kan gi problemer i simuleringen ettersom aggregat typen i Trnsys ikke kan være avslått, noen som fører til at en last lik null inn på aggregatet vi gi error i simuleringene. For å løse dette kjøres tester på en egen modell som bare har solcellene og lasten før antall solceller endres i simuleringen, slik kan maksimalt antall solceller bestemmes og error unngås. Dette har vært en nødvendighet for få til simuleringene, samtidig som det gir en fornuftig begrensning på antall solceller som er nødvendig.

Energi printeren gir ut alle energibehov samt leverte energimengder fra solceller, solfangere, dieselaggregat, varmelager og boiler. Effektene er gitt av effektprintereren. Kalkulatoren "EffekttilEnergi" tar inn verdiene fra andre kalkulatorer nærmere komponentene. En mer detaljert beskrivelse av alle komponentene som er brukt, samt verdier beskrevet i komponentene og verdier og formler beskrevet i kalkulatoren er gitt i vedlegg 5.

8.3.2 Simuleringsmetode og mål

Målet med simuleringene er å se hvor mye det totale dieselforbruket i satellittklinikken kan reduseres ved å installere solceller i tillegg til solfangere og absorpsjonskjøleren. Solcellene er satt til å kutte ned på den elektriske lasten som dieselaggregatet må dekke. En reduksjon i elektrisk last til dieselaggregatet reduserer dieselforbruket og produsert spillvarme fra dieselaggregatet. Med redusert spillvarme fra dieselaggregatet må bidraget fra solfangerne øke, for å slippe en økning i dieselforbruket fra boileren. Totalforbruket av diesel fra systemet kan igjen brukes til å beregne driftskostnader for installasjonen som brukes i lønnsomhetsberegningene.

Den beste løsningen for Alternativ 3 er derfor den løsningen med det antall solfangere og størrelse på solcellesystem som gir lavest dieselforbruk uten at årskostnaden blir høyere enn årskostnaden til Dieselmodellen. Energiprisen er brukt for å gi et grafisk bilde av hvilke løsninger som vil ha omtrent lik eller bedre lønnsomhet enn dieselmodellen. Årskostnaden er brukt til å gjøre en korrekt sammenlikning av sparing eller merkostnad.

Det er gjort totalt 117 simuleringer for alternativ 3. Arealet på solfangerne er variert fra 0 til 120 m². Ulike størrelser på solcellesystemer er i simuleringene variert ved å endre antall moduler koblet i parallell fra 1 til 9 der hvert solcellesystem består av 13 moduler koblet i serie. Hver modul har et areal på 0,89 m² og består av 36 solfangere koblet i serie. Oppbygningen av modulene er valgt som standard verdier i Trnsys. For å kunne vurdere maksimal effekt og virkningsgrad på solcellesystemene (brukt for å bestemme kostnader, se vedlegg 6) på solcellesystemene er det før kjøring i Alternativ 3 modellen, kjørt simuleringer i en forenklet modell av Alternativ 3 der det kun er sett på den elektriske lasten og solcellene. Resultatet av disse simuleringene gav virkningsgrad og maksimal effekt ut av solcellene med varierende antall moduler koblet i parallell.

Som beskrevet i kapittel 8.3.1 trekkes effektbidraget til solcellene direkte fra den elektriske lasten til satellittklinikken. Når bidraget fra solcellene blir veldig høyt, kan det føre til at effekten på enkelte tidspunkt blir null eller lavere. Dieselaggregatet i Trnsys-modellen krever at lasten er større enn null og at ikke forskjellen mellom normal last og minimumslast er for stor. Dette betyr i praksis at dieselaggregatet ikke vil kunne slås av automatisk. Det er derfor antatt at dersom lasten inn på dieselaggregatet er lavere enn 900 Watt som er minimumseffekten til aggregatet (se vedlegg 5), vil dieselaggregatet gå på tomgang og gi et dieselforbruk tilsvarende en last på 900 Watt.

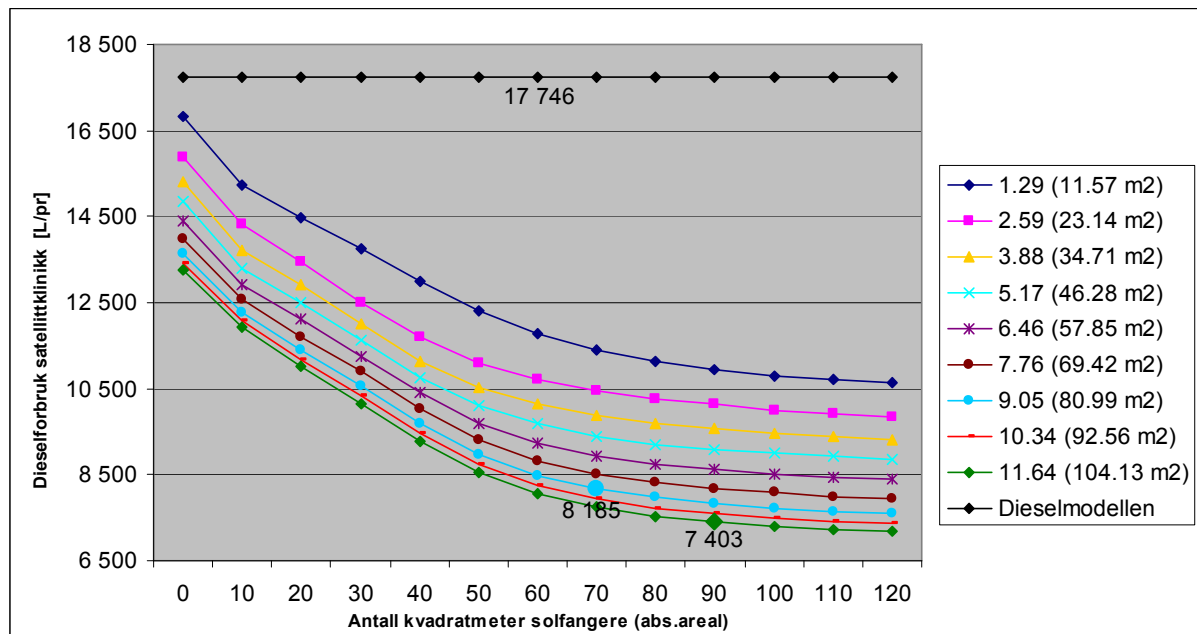
Ettersom energien produsert i solcellene ikke lagres i batterier, må det være installert det samme antallet dieselaggregater som i Alternativ 1 og 2 for å sikre energiforsyningen på dager med lite eller ingen solinnstråling. Antall dieselaggregater i drift derfor fortsatt to. Kjølebehovet til bygningen påvirkes ikke av å sette inn solfangere, noe som betyr at det som i Alternativ 1 fortsatt vil være behov for to absorpsjonskjølere, og et simuleringsvarmelager på 1,58 m³. Investeringskostnaden for Alternativ 3 vil være lik investeringskostnadene til Alternativ 1 pluss investeringskostnadene for solfangerne og solcellene (supra Tabell 8.2).

8.3.3 Simuleringsresultater

Kjøring av en forenklet modell av Alternativ 3, der det kun er sett på den elektriske lasten til satellittklinikken og solcellene med varierende antall moduler koblet i parallell, gav maksimal effekter ut av solcellesystemene fra 1, 29 til 11,64 kWp og virkningsgrad på cellene på 10 %. Simuleringen viste at solceller med maksimal effekter ut fra 1, 29 til 6,46 kWp ikke reduserte verken maksimal eller minimal effekten til lasten på henholdsvis 6,03 og 0,97 kW, se Tabell 6.3. Derimot ble minimal last senket til 0,58 med et solcellesystem med maksimal effekt på

7.76 kWp, og til 0,00 for solcellesystemer maksimal effekter større enn 7.76 kWp. En analyse av resultatene time for time viste at solcellesystemer med høye maksimal effekter reduserte lastbehovet på dagtid til null, lastbehovet nattetid ble uforandret.

Det totale dieselforbruket til satellittklinikken med varierende solfangere og solceller er gitt i Figur 8.6. De ulike kurvene i figuren viser ulike solcellesystemer med maksimal effekter fra 1, 29 til 11,64 kWp. Kurvene viser hvordan det totale dieselforbruket varierer med antall kvadratmeter solfangere. Kurvene er sammenliknet med kurven for dieselforbruket til Dieselmodellen.



Figur 8.6 Resultat Alternativ 3

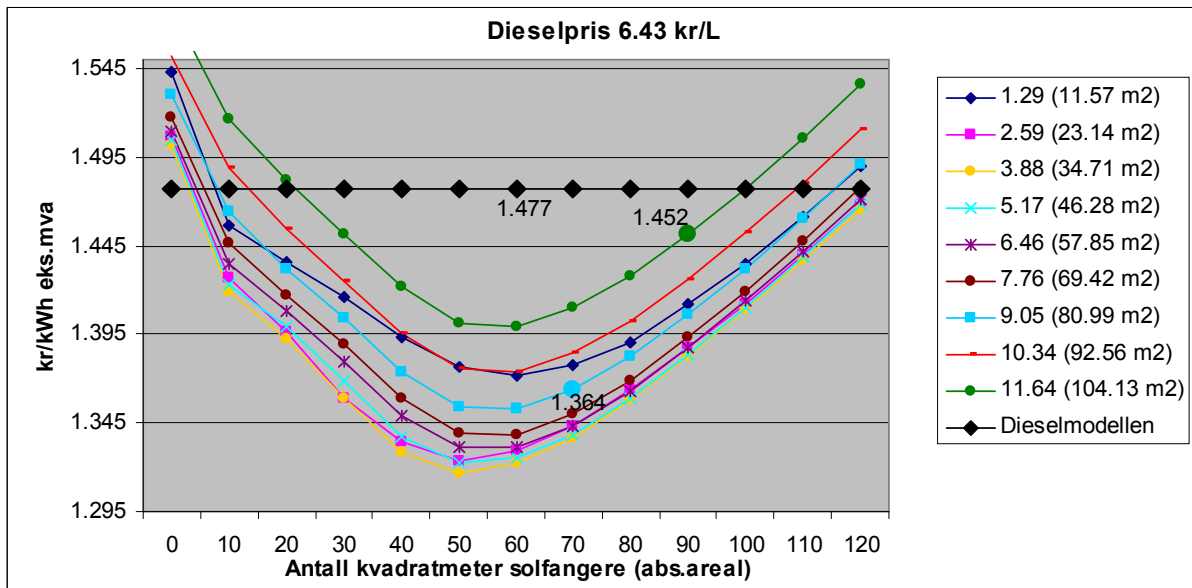
Resultatet viser at en kombinasjon av solceller til å senke dieselforbruket i generatoren og solfangere til å produsere varme til absorpsjonskjøleren, gir en betydelig reduksjon i dieselforbruket. Lønnsomheten er vurdert videre.

8.3.4 Lønnsomhetsberegninger og resultater

For å vurdere lønnsomheten til de ulike løsningene av Alternativ 3 er det gjort en lønnsomhetsberegning. Målet er å finne den løsningen som gir lavest dieselforbruk (mye solenergi) og som fortsatt er lønnsom sammenliknet med dieselmodellen. Energipris på levert energi og årskostnad for løsningen beregnes med metoder og forutsetninger beskrevet i kapittel 4.6. Det er sett på lønnsomheten ved dieselpris på både 6,43 og 10 kr/L.

Etttersom dieselmodellen har lavere totalt energibehov enn Alternativ 3 er ikke energiprisen direkte sammenliknbare. Lønnsomhet for Alternativ 3 vil oppnås sammenliknet med Dieselmodellen dersom energipris under 1,477 kr/kWh når dieselprisen er 6,43 kr/L og en energipris under 2,207 kr/L dersom dieselprisen er 10 kr/L (supra kapittel 7.5). For å bestemme årlig sparing eller merkostnad, sammenliknes årskostnadene.

Figur 8.7 viser energiprisen til ulike løsninger av Alternativ 2 med dieselpris på 6,43 kr/ L sammenliknet med de maksimale verdiene for lønnsomhet sammenliknet med Dieselmodellen.

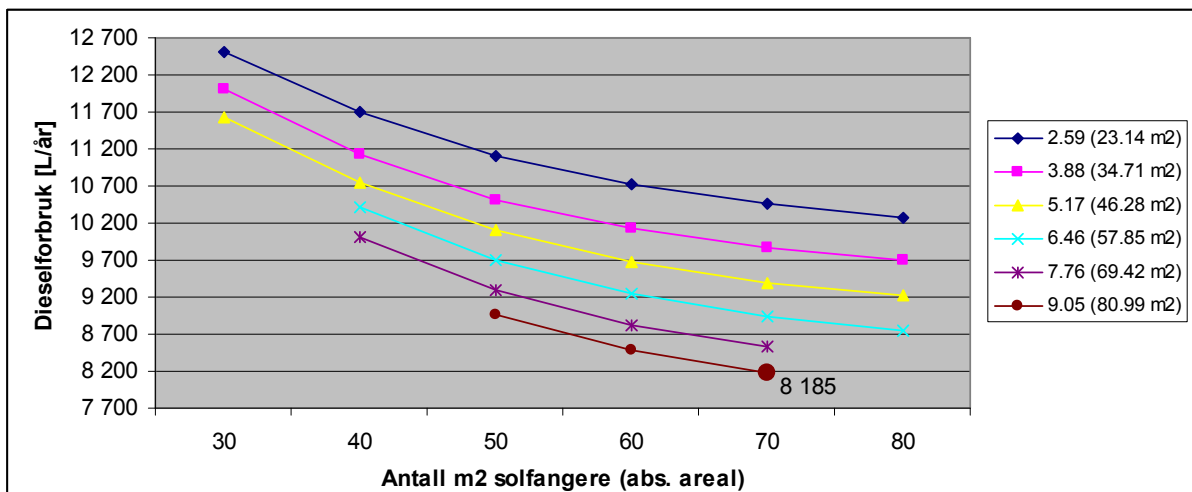


Figur 8.7 Lønnsomhet Alternativ 3 med dieselpris 6,43 kr/L.

Figur 8.7 viser at flere løsninger av Alternativ 3 med en dieselpris på 6,43 kr/L kan gi lønnsomhet.

Den løsningen som ut fra dagens energipris gir størst reduksjon i dieselforbruket og samtidig er lønnsomt sammenliknet med Dieselmodellen har totalt solfangereareal på 90 m² og en maksimal effekt fra solcellene på 11,64 kWp (104,13 m²). Det totale dieselforbruket til løsningen er 7 403 L/år, noe som tilsvarer en reduksjon på 10 343 L/år sammenliknet med Dieselmodellen. Løsningen gir en årlig sparing på 2 217 kr sammenliknet med Dieselmodellen.

For Alternativ 2 med dieselpris på 6,43 kr/L gir beste løsning en årlig sparing på 9 415 kr. For å kunne si noe om Alternativ 3 er bedre enn Alternativ 2, er det interessant å se på løsninger for Alternativ 3 som gir lik eller bedre sparing som denne løsningen samtidig som den gir størst mulig reduksjon i dieselforbruket. For å finne denne løsningen er det laget en graf over de løsningene av alternativ 3 med en årlig sparing større eller lik 9 415 kr. Figur 8.8 viser resultatet.



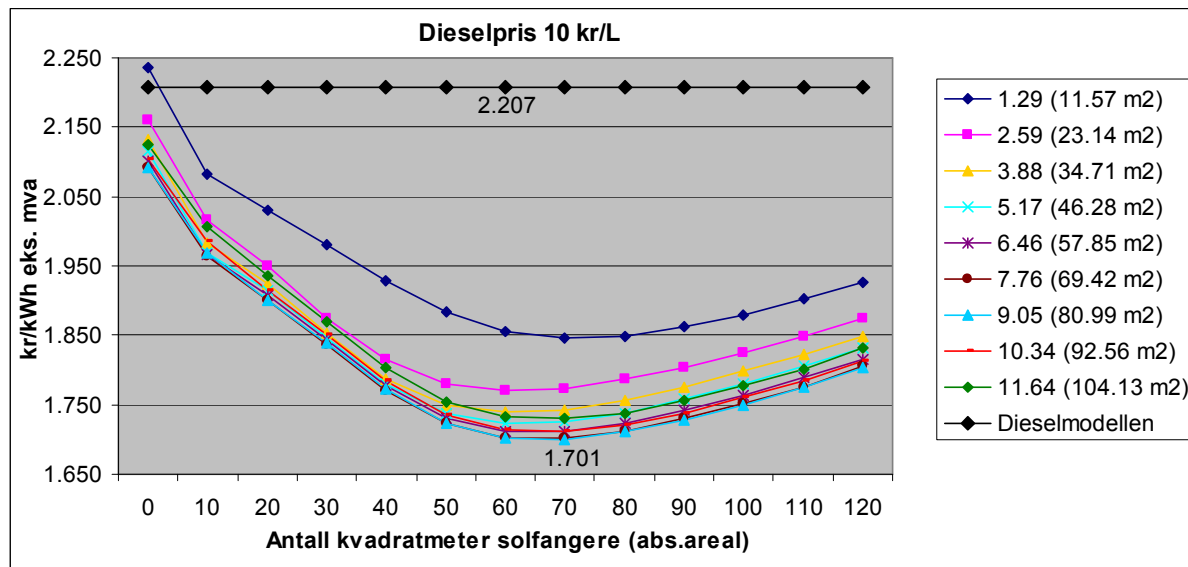
Figur 8.8 Løsninger av Alternativ 3 med dieselpris på 6,43 kr/L og lik eller høyere årlig sparing enn beste løsning av Alternativ 2.

Figuren viser at en løsning med et totalt solfangereareal på 70 m² og en maksimal effekt fra solcellene på 9,05 kWp (90 m²) gir lavest dieselforbruk. Denne løsningen gir et årlig dieselforbruk på 8 185 L/år, som tilsvarer en årlig reduksjon i dieselforbruker på 9 561 L/år. Løsningen gir en årlig sparing på 9 824 kr sammenliknet med Dieselmodellen.

Ettersom forskjellen mellom reduksjonen av dieselforbruk er liten i forhold til økningen i sparte kostnader for de to løsningene av Alternativ 3 er løsningen med et totalt solfangereareal på 70 m² og en maksimal effekt fra

solcellene på 9,05 kWp (90 m²) å foretrekke. Denne løsningen vil gi gunstig økonomi samtidig som det gir en betydelig reduksjon i dieselforbruket og blir derfor anbefalt beste løsning med Alternativ 3 så lenge dieselprisen er 6,43 kr/L. Løsningen har en årskostnad på 118 387 kr, en total investeringskostnad på 855 384 kr og energipris på 1,364 kr/kWh.

Figur 8.9 viser energiprisen til ulike løsninger av Alternativ 2 med dieselpris på 10 kr/ L sammenliknet med de maksimale verdiene for lønnsomhet sammenliknet med Dieselmodellen.



Figur 8.9 Lønnsomhet Alternativ 3 med dieselpris 10,0 kr/L.

Dersom prisen på diesel skulle stige, og komme opp i 10 kr/liter, vil alternativ 3 vært lønnsomt for stort sett alle løsningene som er testet. Tendenser i kurven viser at også større anlegg vil kunne være lønnsomme. En investering i Alternativ 3 dersom dieselprisen stiger til 10,0 kr/liter vil derfor kunne gi betydelige reduksjoner i dieselforbruket samtidig som det vil være kostnadseffektivt. Figuren viser at løsningen med 9,05 kWp solceller vil være mest lønnsomt uavhengig av antall kvadratmeter solfangere. Den mest lønnsomme løsningen har 70 solfanger og en maksimal effekt på solcellene på 9,05 kWp. Denne løsningen vi ha et dieselforbruk på 8 185 L/år, en årskostnad på 147 607 kr, en investeringskostnad på 855 384 kr og en energipris på 1,701 og en årlig sparing på 43 959 kr.

8.3.5 Kommentarer

Dersom det ved prosjektering av energiforsyningssystemet til Satellittklinikken antas som svært sannsynlig at dieselprisen vil stige, vil løsningen med totalt solfangereareal på 90 m² og en maksimal effekt fra solcellene på 11,64 kWp (104,13 m²) som gir den største reduksjonen i dieselforbruket kunne vise seg å være den beste løsningen for Alternativ 3 ettersom lønnsomheten da vil stige, dette kommer frem av den høye sparingen for løsningen med best lønnsomhet for en dieselpris på 10 kr/L.

Analysen av resultatene til den forenklede simuleringen av solcellene sammen med den elektriske lasten viste at solcellene reduserte det elektriske effektbehovet på dagtid til å bli lavere enn effektbehovet på nattetid dersom solcellesystemene ble store nok. Dette kan enkelt forklares med at solcellene gir sitt bidrag på dagtid når sola skinner. Lastprofilene til det elektriske energibehovet til Satellittklinikken er gitt i kapittel 6.2.2.

En økning av solfangerearealet sammen med økning i solceller gir god reduksjon av dieselforbruket. Reduksjonen i dieselforbruket påvirkes mest av størrelsen på solcellesystemet for solcellesystemer med maks effekter lavere enn 6.46 kWp. Dette kan forklares med at solcellesystemene med maksimal effekter større enn 7.76 kWp kutter ned deler av lasten til å bli under dieselaggregatets minimumslast på 900 W (supra kapittel 8.3.2). Dette betyr at alt bidrag fra solcellene som kutter lasten fra 900 til 0 Watt ikke vil bli utnyttet i systemet. I praksis vil all effekt som produseres over det som skal forbrukes ikke utnyttet. Jo større maksimal effekten fra solcellene er, jo flere timer av året vil dette skje. Dette betyr at en overdimensjonering av antall solceller vil gi dårligere utnyttelse av hver solcelle. Virkningen kan ses grafisk i Figur 8.6 ved at kurvene blir tettere og tettere ved økende maksimal effekt fra solcellesystemet.

Solceller kan ha en levetid på opp til 30 år (se vedlegg 6). Ettersom solcellene er en del av et totalsystem, er det likevel brukt 20 år som levetid i lønnsomhetsberegningene til Alternativ 3 slik som det er gjort for de andre alternativene.

8.3.6 Praktisk utforming

Alternativ 3 er bygd opp stort sett på samme måte som Alternativ 2. Endringen består av at solceller er koblet inn i systemet. Solcellene er koblet inn i systemet slik at effekten de produserer brukes direkte til å kutte ned på den elektriske lasten slik at lasten som dieselaggregatene må dekke blir lavere. Det er ikke satt inn noe batteri i kretsen som lagrer overskuddsstrøm fra solcellene, slik at all last som ikke dekkes av solcellene må fortsatt produseres i dieselaggregatene. Solcellenes effekt avhenger av antallet moduler som installeres og effekten til hver modul. Spenningsnivået ut av solcellene til satellittklinikkenes strømnnett styres i praksis av dieselaggregatet som fungerer som hovedstrømkilde (Ulleberg, samtale 4). Det er brukt solceller med virkningsgrad på 10 % i simuleringene. Solceller med virkningsgrader opp mot 22 % (Marstein, Foss & Reenaas, 2008) er kommersielt tilgjengelig, en økt virkningsgrad vil øke energibidraget fra hver solcelle og kreve et totalt mindre solcelleareal. Valgt av solceller bør gjøres ut fra kvalitet og kostnader.

Solcellene integreres på samme måte som solfangerne i containernes tak slik at de blir en del av Satellittklinikkenes konstruksjon. De monteres med en helning på null grader. Det er særdeles viktig at solcellene ikke plasseres et sted der de får skygge fra andre bygninger eller beplantning, da dette vil gi betydelig reduksjon i virkningsgrad fordi solcellene krever direkte solinnstråling.

8.4 Sammenlikning av alternativene med vurdering av miljøpåvirkning/CO₂-utslipp

Dette kapittelet er ment å oppsummere og sammenlikne de beste løsningene funnet for Dieselmodellen, Alternativ 1, Alternativ 2 og Alternativ 3. Kriteriet for beste løsning har vært å finne den løsningen for hvert alternativ som gir størst mulig reduksjon i dieselforbruk samtidig som den gir god lønnsomhet sammenliknet med Dieselmodellen.

Sammenlikningene skal brukes til å trekke en slutning om hvilket energiforsyningssystem som produserer kjøling ved hjelp av en absorpsjonskjøler som bør anbefales for Satellittklinikken ut fra dagens energipris på 6,43 kr/L. Denne slutningen skal baseres både på økonomiske og miljømessige gevinster. De miljømessige gevinstene baserer seg på årlig CO₂-utslipp fra systemene på bakgrunn av årlig dieselforbruk.

Resultatene av lønnsomhetsberegninger gjort med en dieselpriis på 10 kr/L har gitt indikasjoner på at de alternativene kan være svært lønnsomme. For å se hva som kan være mulig å spare med alternativene dersom dieselpriisen stiger er det i tillegg gjort en sammenlikning av de laveste energiprisene funnet når dieselpriisen er 10 kr/L og en vurdering av utslippene fra løsningene.

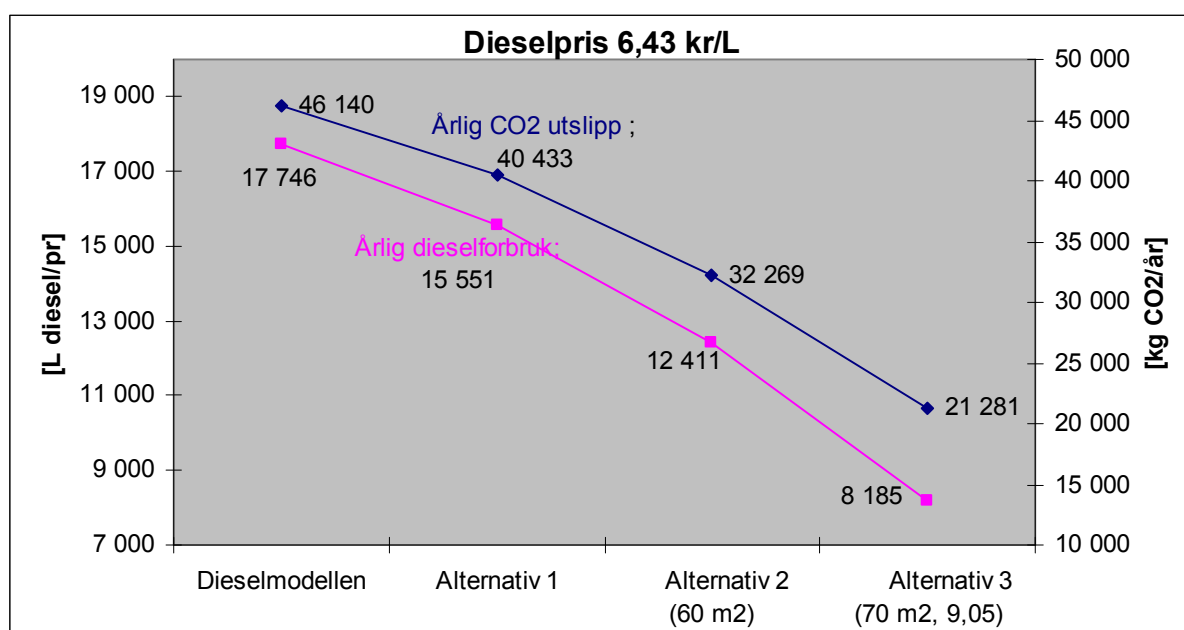
Det er laget to grafer for å fremstille resultatene. Den første presenterer dieselforbruket og CO₂-utslippet og den andre presenterer lønnsomheten ved hjelp av energipris, årskostnad og investeringskostnader.

Ettersom Dieselmodellen har et energibehov som er lavere enn Alternativenes energibehov, blir ikke energiprisen på energien levert med Dieselmodellen direkte sammenliknbar med energiprisen på den leverte energien fra de alternative modellene (supra kapittel 7.5). For å se på lønnsomhetene til alternativene er det i kapittel 8.1, 8.2 og 8.3 sammenliknet med en maksimal verdi for energiprisen som gir årskostnad for alternativet lavere enn årskostnad for dieselmodellen. Her er årskostnadene brukt for å sammenlikne alternativene direkte og energiprisen kun brukt som indikasjon på lønnsomheten, beregnet energipris for Dieselmodellen er derfor med her. Investeringskostnadene er tatt med for å vise hva som kreves av investeringer for å kunne gå for et av de alternative tiltakene.

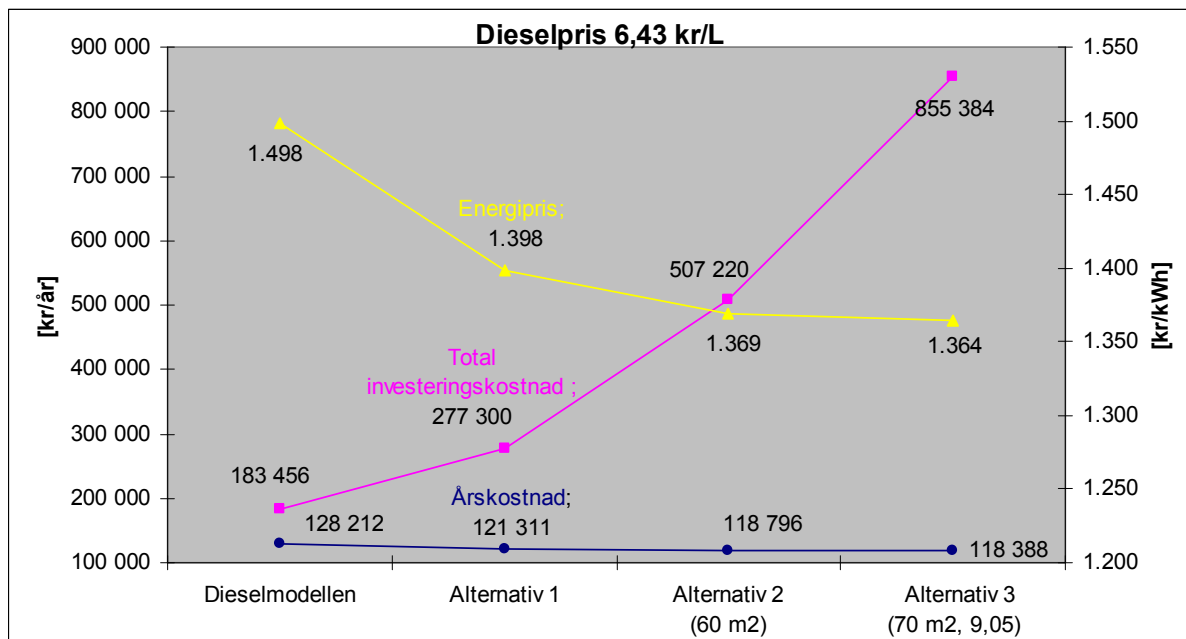
Det årlige CO₂-utslippet til hver løsning er beregnet ut fra CO₂-utslipp per liter forbrent diesel satt til 2,6 kg CO₂/L diesel (web 23, Klimaløftet), og dieselforbruket til løsningen.

8.4.1 Beste alternativ for Satellittklinikken energisystem med dieselpriis på 6,43 kr/L

Figur 8.10 viser dieselforbruk og CO₂-utslipp og Figur 8.11 viser årskostnad, energipris og investeringskostnad for Dieselmodellen og de tre alternative energiforsyningsløsningene når dieselpriisen er 6,43 kr/L.



Figur 8.10 Sammenlikning dieselforbruk og CO₂-utslipp med dieselpriis på 6,43 kr/L.



Figur 8.11 Sammenlikning lønnsomhet med dieselpris på 6,43 kr/L.

Figur 8.10 viser at det med Alternativ 3 kan være mulig å redusere dieselforbruket og CO₂-utslippet med 53,8 % i forhold til dieselmodellen. Alternativ 2 reduserer utslippet med 30,1 % og Alternativ reduserer utslippet med 12,4 %. For å oppnå høyest mulig dekning med solenergi og lavest mulig CO₂-utslipp er Alternativ 3 det klart beste alternativet.

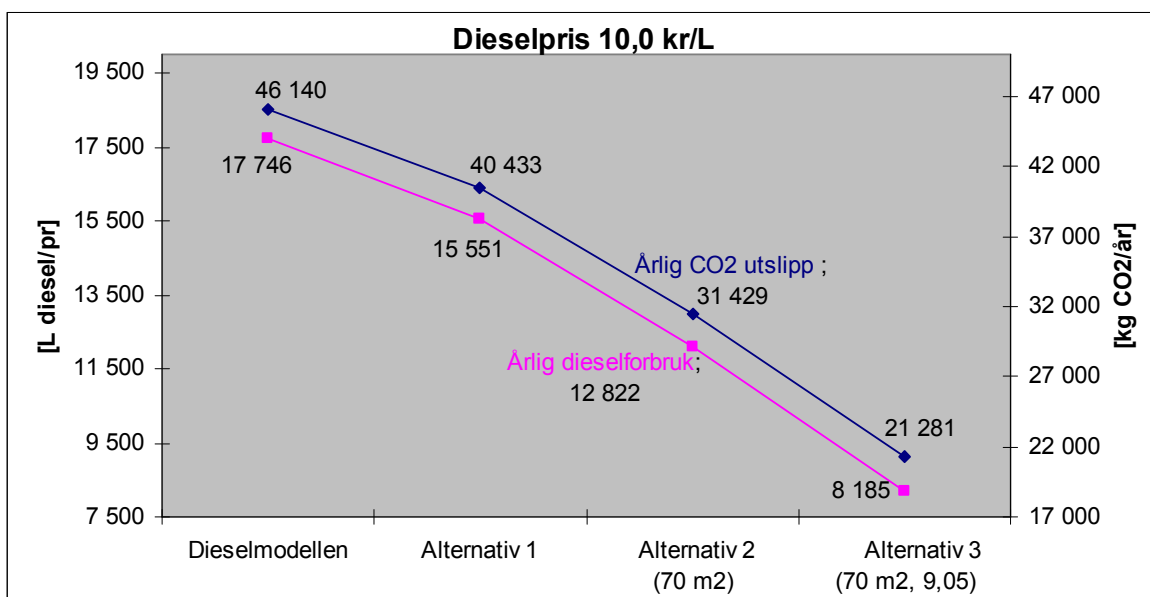
Figur 8.11 viser at alle alternativene gir lønnsomhet sammenliknet med Dieselmodellen. Alternativ 3 har en betydelig høyere investeringskostnad enn de andre, men vil investeringen vil tjene seg inn i løpet av anleggets levetid, og siden det har lavest dieselforbruk, vil det bli mindre påvirket av økning i dieselprisen etter installasjon.

Ettersom Alternativ 3 har både solfangere og solceller er lønnsomheten veldig avhengig av den faktiske solinnstrålingen til enhver tid. I simuleringene er det brukt et gjennomsnittlig klima for Kisangani, Kongo, slik at det må tas forbehold om at lønnsomhet og utbytte kan variere noe fra år til år, både i positiv og negativ retning.

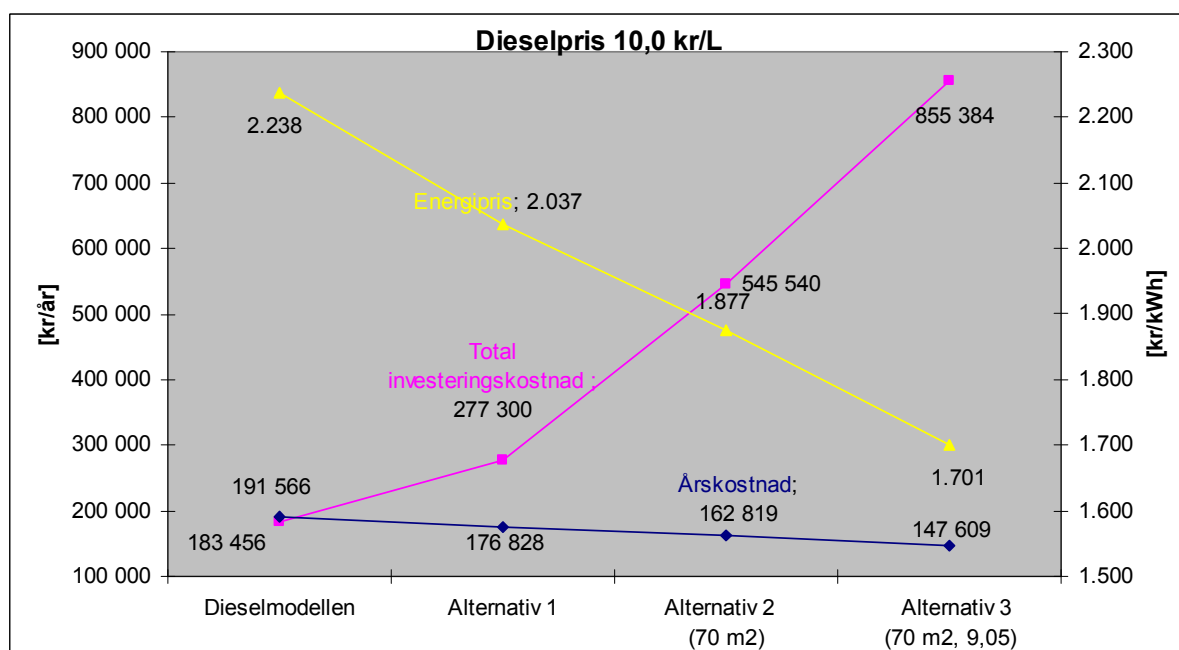
Ut fra sammenlikningen kan det ses at Alternativ 3 med 70 m² solfangere og 9,05 kWp solceller vil være den beste energiforsyningsløsningen for Satellittklinikken, både miljømessig og økonomisk med en dieselpris slik den er i dag på 6,43 kr/L. Denne løsningen vil derfor være beste energiforsyningsystem til Satellittklinikken ut fra gitte forutsetninger for simuleringene.

8.4.2 Løsning med best lønnsomhet dersom dieselprisen stiger til 10,0 kr/L

Figur 8.12 viser dieselforbruk og CO₂-utslipp og Figur 8.13 viser årskostnad, energipris og investeringskostnad for Dieselmodellen og de tre alternative energiforsyningsløsningene når dieselprisen er 6,43 kr/L.



Figur 8.12 Sammenlikning dieselforbruk og CO2-utslipp for mest lønnsomme løsning for hvert alternativ dersom dieselprisen stiger til 10,0 kr/L.



Figur 8.13 Sammenlikning lønnsomhet med dieselpris for mest lønnsomme løsning for hvert alternativ dersom dieselprisen stiger til 10,0 kr/L.

Figur 8.12 viser at det med Alternativ 3 kan være mulig å redusere dieselforbruket og CO₂-utslippet med nesten 53,9 % i forhold til dieselmodellen. Alternativ 2 reduserer utslippet med 31,9 % og Alternativ reduserer utslippet med bare 12,4 %. For å oppnå høyest mulig dekning med solenergi og lavest mulig CO₂-utslipp er Alternativ 3 det klart beste alternativet.

Figur 8.13 viser at Alternativ 3 gir den mest lønnsomme løsningen. Sammenliknet Dieselmodellen gir denne løsningen en årlig sparing på 43 957 kr. Denne løsningen gir også størst reduksjon i dieselforbruket. Dette antyder at Alternativ 3 vil være et godt alternativ også med en høyere dieselpris, noe som er forventet ettersom Alternativ 3 gir redusert dieselforbruk og dermed mindre avhengighet av dieselprisen.

Det er i Dieselmodellen vist at dieselaggregatet produserer en god del spillvarme under drift. For å gjøre systemet mer energieffektivt kan denne spillevarmen brukes til oppvarming av varmtvann i en varmtvannsbereder. Dette forutsetter at det er nok spillvarme til å dekke varmtvannsenergi behovet. Det er nok spillvarme dersom effektbehovet til oppvarming av varmtvann ikke overstiger effekten fra spillvarmen. Små forskjeller i effekten kan godtas dersom det totale energi behovet til vannoppvarming er lavere enn energien levert fra spillvarmen og varmen lagres i en varmtvannsbereder. For å undersøke om solcelle- dieselmodellen vil produsere nok spillvarme til å kunne dekke varmtvanns behovet, er det før simuleringene gjort en enkel simulering med 20 solcellemoduler i parallell (største antall i simuleringene, 231 m²), ettersom flest solceller vil gi lavest spillvarmeproduksjon på grunn av senket last.

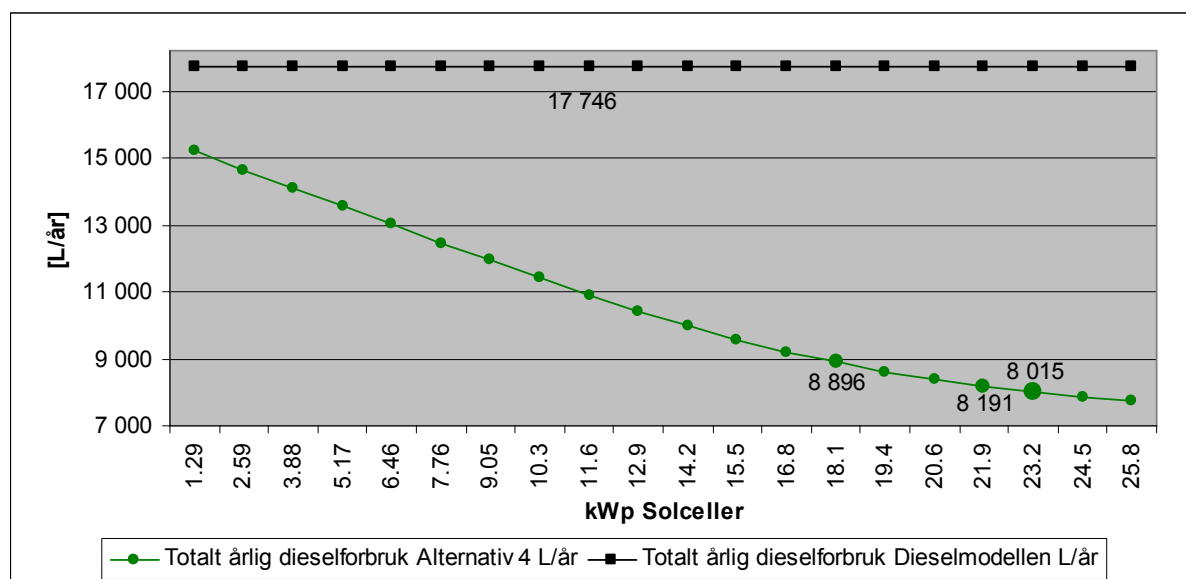
Dersom spillvarmeproduksjonen er høy nok til å dekke energi behovet til oppvarminga av varmtvann vil lasten som dieselaggregatet skal dekke være summen av den elektriske lasten og den elektriske lasten til å drive luftkondisjoneringsanleggene minus den effekten som solcellene til enhver tid dekker. Ved for lav spillvarmeproduksjon må dieselaggregatet også dekke last til varmtvannsoppvarming.

Ettersom energien produsert i solcellene ikke lagres i batterier, må det være installert det samme antallet dieselaggregater som i Dieselmodellen for å sikre energiforsyningen på dager med lite eller ingen solinnstråling. Antall dieselaggregater i drift derfor fire som vist i Tabell 7.1. Investeringskostnaden for Solcelle- dieselmodellen vil være de samme som for Dieselmodellen pluss investeringskostnadene for solcellene (supra Tabell 4.2 og Tabell 7.2).

8.5.3 Simuleringsresultater

En simulering med 231 m² solceller viser at viste at dieselaggregatet vil produsere nok varmeeffekt til å kunne dekke effektbehovet til varmtvannsoppvarming. Simuleringen av Solcelle- dieselmodellen kan derfor kjøres med last inn på dieselaggregatet lik summen av den elektriske lasten og den elektriske lasten til å drive luftkondisjoneringsanleggene minus den effekten som solcellene til enhver tid dekker.

Figur 8.15 viser hvordan dieselforbruket minker når størrelsen på solcellesystemet øker.



Figur 8.15 Resultat Solcelle- dieselmodellen.

Resultatet av simuleringene viser en tydelig reduksjon av dieselforbruket med økende antall solceller.

Med en maksimal effekt på solcellene på 23,2 kWp vil solcellene dekke 27 546 kWh/år. For å dekke det totale energi behovet på 85 597 kWh trenger dieselaggregatet kun dekke 24 045 kWh/år. Det som ikke dekkes av elektrisitetsproduksjon fra dieselaggregatet er 6 516 kWh til oppvarming av varmtvann som dekkes med spillvarme (som kan levere 24 413 kWh/år), og en reduksjon på 27 490 kWh av kjølebehovet fordi luftkondisjoneringsanlegget har en virkningsgrad opp mot 2,5.

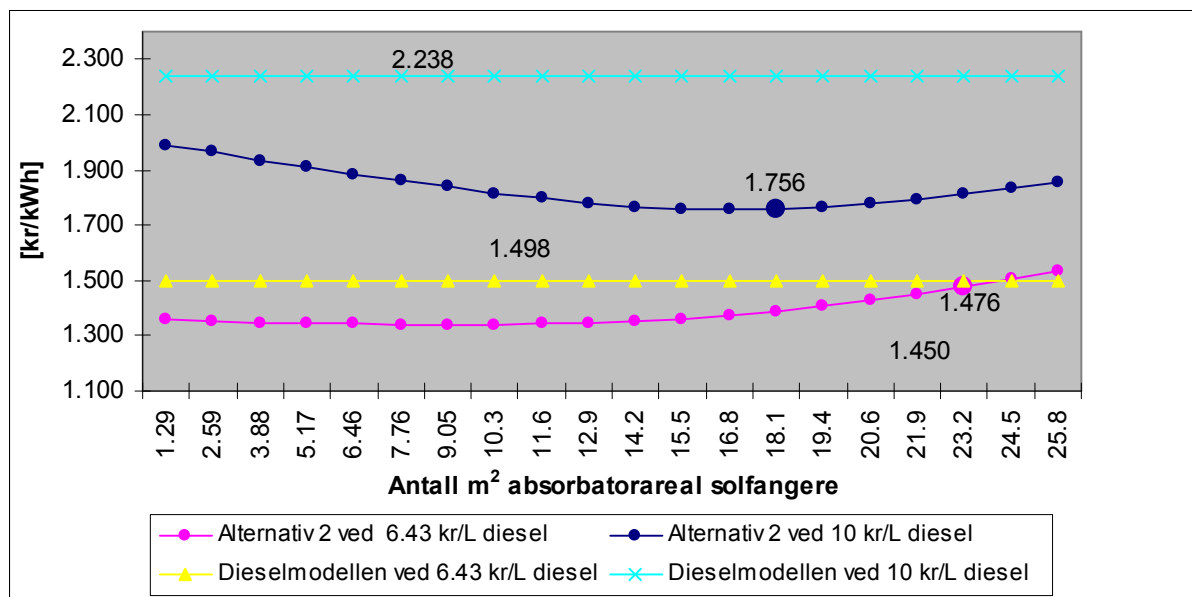
Lønnsomheten til for de ulike størrelsen av solcellesystemer er vurdert videre.

8.5.4 Lønnsomhetsberegninger og resultater

For å vurdere lønnsomheten til de ulike løsningene av Solcelle- dieselmodellen er det gjort en lønnsomhetsberegning. Målet er å finne den løsningen som gir lavest dieselforbruk (mye solenergi) og som fortsatt er lønnsom sammenliknet med dieselmodellen, og se hvordan lønnsomheten til denne løsningen er sammenliknet for den anbefalte løsningen av Alternativ 3 med dieselpriis 6,43 kr/L.

Årskostnad og energipris på levert energi beregnes med metode og forutsetninger beskrevet i kapittel 4.6. Det er sett på lønnsomheten ved dieselpriis på både 6,43 og 10 kr/L med hovedfokus på lønnsomheten ved dieselpriis på 6,43 kr/L.

Resultatet av lønnsomhetsberegningene er presentert med varierende antall solcellemoduler koblet i parallell (økende maksimal effekt). Etersom Solcelle- dieselmodellen og Dieselmodellen har samme totale energibehov, er energiprisen for de to direkte sammenliknbare. Figur 8.16 viser resultatet av lønnsomhetsberegningene med dieselpriis på 6,43 kr/L og 10 kr/L.



Figur 8.16 Lønnsomhet Solcelle- dieselmodellen.

Så lenge maksimal effekt på solcellene ligger under 23,2 kWp vil systemet gi lønnsomhet sammenliknet med Dieselmodellen når dieselpriisen er 6,43 kr/L. Denne løsningen gir et dieselforbruk på 8 015 L/år og en årlig sparing på 1 866 kr, og vil være den anbefalte løsningen dersom Solcelle- dieselmodellen skal installeres. Ved høyere installert maksimal effekt vil anlegget bli overdimensjonert slik at det ikke lenger vil være lønnsomt.

Dersom dieselpriisen stiger til 10 kr/L vil solceller det være veldig fornuftig å investere i solceller. Best lønnsomhet vil oppnås med en maksimal effekt på 18,06 kWp. Denne løsningen vil ha et dieselforbruk på 8 596 L/år og en årlig sparing på 41 257 kr. Grafen viser at dersom dieselpriisen øker til 10 kr/L, vil det også være lønnsomt å investere solceller med større maksimal effekt enn 25,8 kWp, noe som mest sannsynlig vil redusere dieselforbruket enda mer enn det som er vist i Figur 8.15.

Tabell 8.3 viser en sammenlikning av Dieselmodellen, anbefalt løsning for Alternativ 3 og anbefalt løsning for Solcelle- dieselmodellen med en dieselpriis på 6,43 kr/L.

Tabell 8.3 Sammenlikning av resultat av Solcelle- dieselmodellen med Dieselmodellen og Alternativ 3.

	Dieselmodellen	Alternativ 3 (70 m ² , 9,05 kWp)	Solcelle- dieselmodellen (23,22 kWp)
Total investeringskostnad, kr	183 456	855 384	973 116
Årskostnad, kr	128 212	118 387	126 346
Energipris, kr/kWh	(1.498)*	(1,364)*	(1.476)*
Årlig dieselforbruk, L	17 746	8 185	8 015
Årlig CO ₂ utslipp, kg	46 140	21 281	20 839

* Alternativ 3 har et høyere totalt energibehov enn de to andre modellene, slik at energiprisene ikke er direkte sammenliknbare.

Resultatet viser at det energisystemet som vil gi minst dieselforbruket og lavest CO₂-utslipp er Solcelle-dieselmodellen. Alternativ 3 har et dieselforbruk som er kun 170 høyere, samtidig som den årlige sparingen er 7 959 kroner høyere. Basert på kriteriet om at beste løsning vil være den løsningen som gir en betydelig reduksjon i dieselforbruket og samtidig har god lønnsomhet sammenliknet med Dieselmodellen vil derfor Alternativ 3 med totalt solfangerareal på 70 m² og maksimal effekt på solcellene på 9,05 kWp være den aller beste og dermed anbefalte energiforsyningsløsningen for Satellittklikken ut fra gitte forutsetninger og dagens energipris.

En oppsummering av simuleringresultater den anbefalt energiforsyningsløsningen er oppgitt i Tabell 8.4.

Tabell 8.4 Anbefalt energiforsyningsløsning når dieselprisen er 6,43 kr/L.

Modell	Alternativ 3	
Antall dieselaggregat a' 6 kW	2	stk.
Antall absorpsjonskjølere a' 10 kW	2	stk.
Antall m2 solfangere absorbator/brutto areal	70/127	m ²
Antall solceller	90/9,05	m ² /kWp
Eel,behov	32 607	kWh/år
El,dieselaggregat	20 027	kWh/år
El,solceller	12 580	kWh/år
Qtermkrets (Qabs+Qvv)	76 616	kWh/år
Q,dgs spillvarme	11 455	kWh/år
Q, boiler	12 676	kWh/år
Q,solfanger	52 484	kWh/år
Dieselforbruk,dgs	6 822	L/år
Dieselforbruk,boiler	1 363	L/år
Dieselforbruk,totalt	8 185	L/år
CO ₂ - utslipp	21,3	tonn/år
Reduksjon i CO ₂ - utslipp i forhold til Dieselmodellen	24,9	tonn/år
Investeringskostnad	855 384	kr
Årskostnad	118 387	kr/år
Energipris	1,364	kr/kWh

Summen av elektrisk energibehov og termisk varmebehov gir en totalt produsert energimengde på 109 223 kWh/år, av dette er 52 484 kWh solenergi. Dette tilsvarer en dekning med solenergi på 48,1 %.

8.5.5 Kommentarer:

Når maksimal effekt fra solcellene når 12,9 kWp begynner dieselforbrukskurven å bli mindre bratt, dette kan ha sammenheng med at en mindre del av den produserte effekten fra solcellene blir utnyttet i systemet på grunn av at minimal last i dieselaggregatet er 900 W (supra kapittel 8.3.2 og 8.3.5).

Dersom maksimal effekten fra solcelle reduseres til 21,9 kWp vil dieselforbruket bli 6 L/år høyere enn dieselforbruket til Alternativ 3 løsningen, samtidig som lønnsomheten fortsatt er dårligere enn lønnsomheten til Alternativ 3 løsningen.

Virkningsgraden på luftkondisjoneringsanleggene er avgjørende for resultatet ettersom de betyr redusert lastbehov til drift av kjølesystem. Resultatene forutsetter at virkningsgraden til eventuelle luftkondisjoneringsanlegg ikke er dårligere enn det som er brukt i beregningene (supra kapittel 7.1). Dersom denne virkningsgraden i praksis viser seg å være lavere vil lønnsomheten bli dårligere.

For at systemet skal kunne bruke spillvarme til å dekke energibehovet til oppvarming av varmtvann må det varme vannet strømme kontinuerlig i distribusjonskretsen mellom forbrugssted og bereder samtidig som berederen varmeveksler med spillvarmekretsen slik at en temperatur på 70 °C til enhver tid holdes i varmtvannskretsen. Dette er for å unngå legionellaoppblomstring. Ettersom dieselaggregatet avgir spillvarme ved 85 °C, kan systemet tåle at det til tider ikke produseres nok spillvarme, så lenge berederen og distribusjonskretsen er godt isolert.

8.6 Følsomhetsanalyse av anbefalt energiforsyningsløsning for Satellittklinikken

Både simuleringen og lønnsomhetsberegningene gjort for å finne et godt energisystem for Satellittklinikken er basert på flere forutsetninger som kan vise seg å være annerledes i virkeligheten, eller endre seg med tiden. Dette kapittelet er tatt med for å vurdere følsomheten til det anbefalte energisystemet.

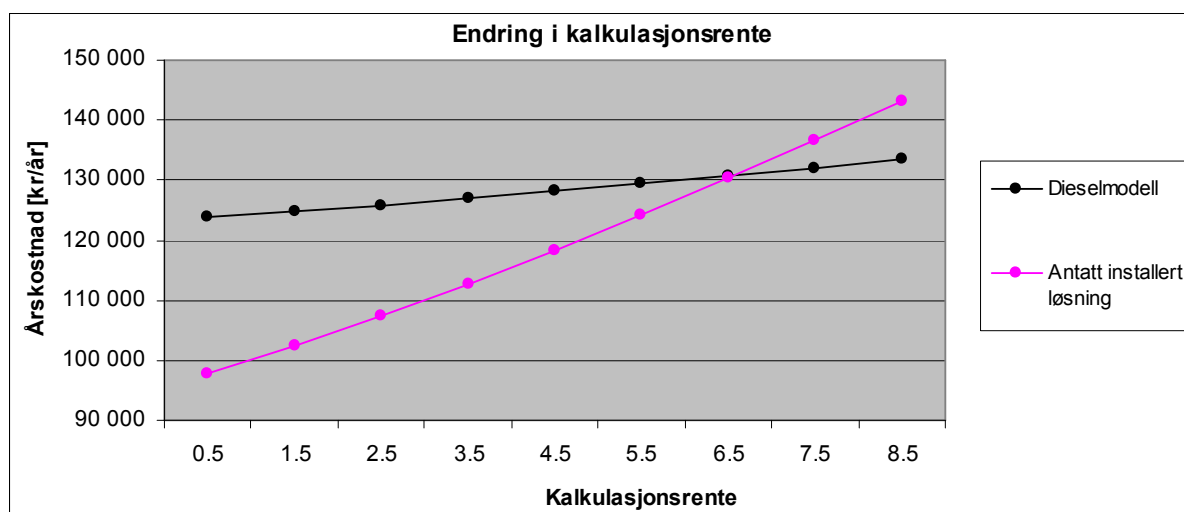
Det anbefalte systemet etter sammenlikningene i kapittel 8.4.1 ble Alternativ 3 med 60 m² solfangere og 6,46 kWp solceller dersom det installeres i dag under forutsetningene om dagens dieselpris på 6,43 kr/L. Dette anlegget skal ut fra simuleringene spare 6 536 liter diesel per år, og slippe ut 17 tonn mindre CO₂ enn den originale løsningen beskrevet med Dieselmodellen, samtidig viser lønnsomhetsberegningene at anlegget skal ha en årskostnad som ligger 2 kroner under årskostnadene til Dieselmodellen.

Følsomheten er vurdert ut fra endringer i forutsetningene til lønnsomhetsberegningene og forutsetningene for simuleringene. Det er sett på hvordan lønnsomheten vil endre seg dersom kalkulasjonsrente, levetid på anlegget eller dieselprisen blir høyere eller lavere enn antatt, og hvordan lønnsomheten vil påvirkes dersom energiforbruket til Satellittklinikken blir høyere eller lavere enn beregnet.

8.6.1 Følsomhet for endret kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrenten er brukt for å regne ut annuitetsfaktoren som igjen er brukt til å beregne årskostnaden (supra kapittel 4.6). Den brukes for å bestemme verdien av investeringen dersom kapitalen ble brukt til noe annet. Kalkulasjonsrenten inneholder korreksjon av nominell rente for generell inflasjon, relativ energiprisendring og skatteforhold (Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad & Novakovic, 1996). Hva den virkelige kalkulasjonsrenten er vil i noen tilfeller være avgjørende for lønnsomheten til anlegget.

Følsomheten til den anbefalte løsningen er vurdert ved å se på hvordan årskostnaden vil endre seg i forhold til årskostnaden til Dieselmodellen når kalkulasjonsrenten varieres mellom 0,5 og 8,5 %. Resultatet er vist i Figur 8.17.



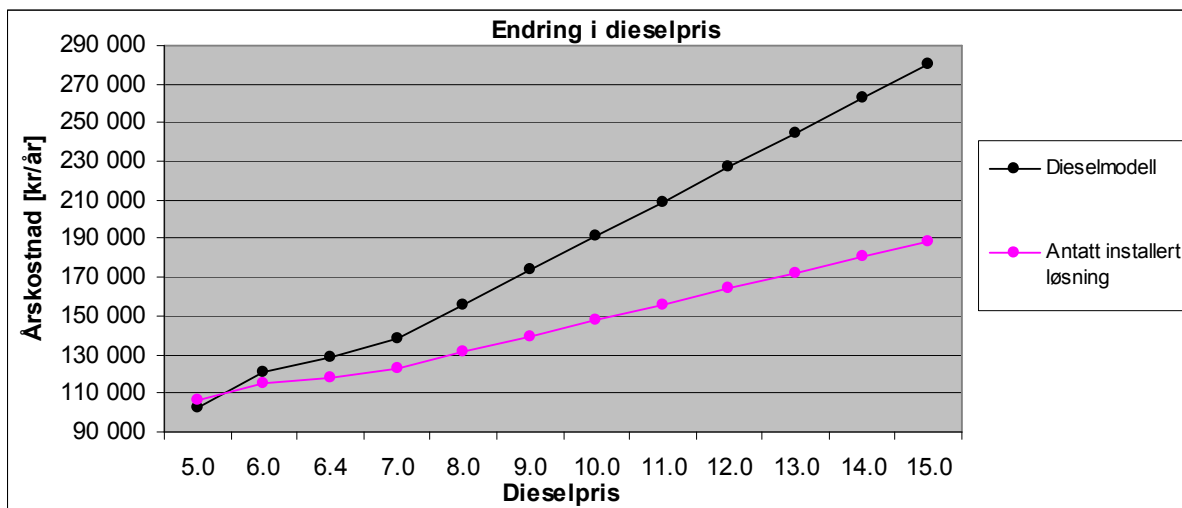
Figur 8.17 Følsomhet for endret kalkulasjonsrente

Resultatet viser at så lenge kalkulasjonsrenten ligger under 6,5 % vil den anbefalte løsningen være lønnsom sammenliknet med Dieselmodellen.

8.6.2 Følsomhet for endret dieselpris

Dieselprisen er brukt til å beregne driftskostnadene til anleggene ut fra dieselforbruket. Det er store muligheter for at dieselprisen vil stige i fremtiden. For å se hvordan en endring i dieselprisen i forhold til 6,43 kr/L vil påvirke lønnsomheten til energisystemet dersom den anbefalte løsningen av Alternativ 3 installeres.

Følsomheten er vurdert ved å sammenlikne endring i årskostnadene til Dieselmodellen og den anbefalte løsningen ved dieselpriser fra 5 til 15 kr/L eks. mva. Resultatet er vist i Figur 8.18.



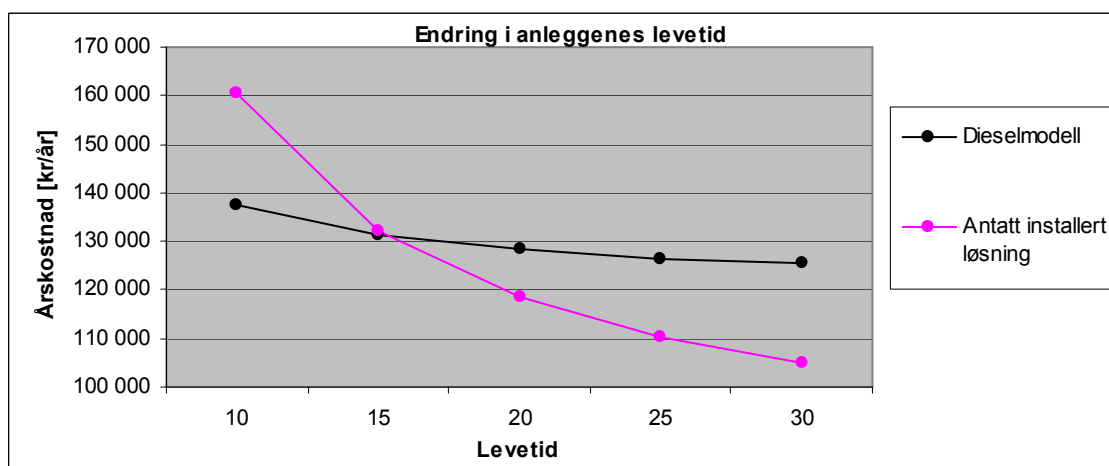
Figur 8.18 Følsomhet for endring i dieselpris.

Dersom dieselprisen blir høyere enn forventet vil det lønnsomheten til den anbefalte løsningen forbedres. Dette kan forklares med at forskjellen i den årlige driftskostnaden forbundet med drivstoffkostnader øker mer for Dieselmodellen når dieselprisen stiger, enn for den alternative løsningen, siden den bruker betydelig mindre drivstoff.

Som vist med simuleringene for Alternativ 3 med en dieselpris på 10 kr/L, gir en høyere dieselpris mulighetene for å installere et anlegg med flere solceller og solfangere uten å få et ulønnsomt alternativ. Dersom det blir klart at dieselprisen med stor sannsynlighet vil bli høyere enn den er nå, vil det være fornuftig å installere et større anlegg enn det anbefalte dersom hovedmålet er høy dekning med solenergi.

8.6.3 Følsomhet for endret levetid på anleggene

Det er i lønnsomhetsberegningene antatt at anleggene har en levetid på 20 år (supra kapittel 4.6). Dersom levetiden på den anbefalte løsningen er kortere eller lengre enn antatt, vil lønnsomheten påvirkes. Det er derfor gjort en følsomhetsanalyse på endring i antatt levetid for det anbefalte anlegget og sammenliknet det med lønnsomheten til dieselmodellen ved endret levetid. Resultatet er vist i Figur 8.19.

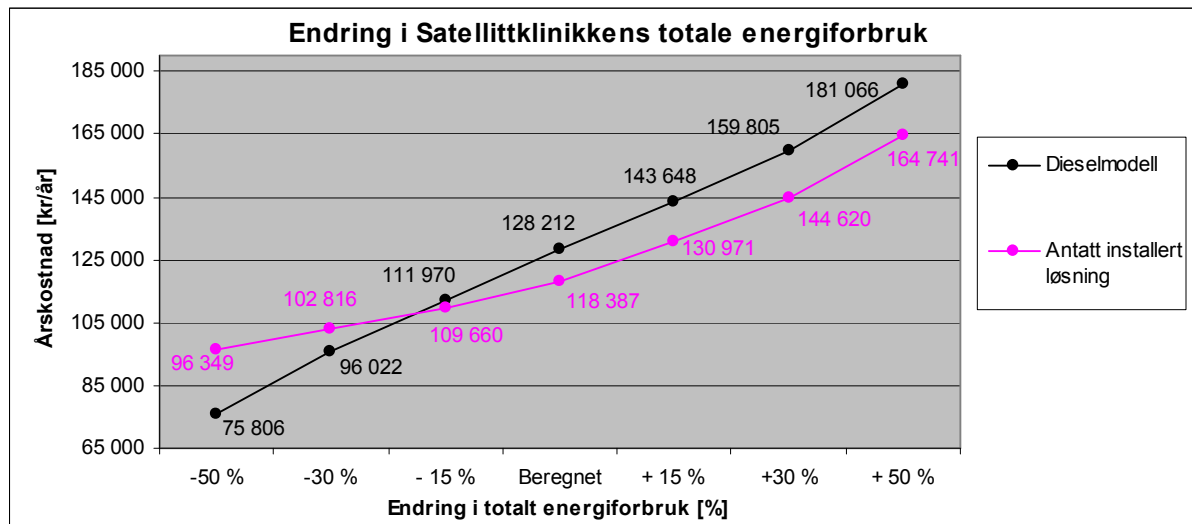


Figur 8.19 Følsomhet for endring i anleggets levetid

Dersom levetiden på anlegget er høyere enn antatt, vil lønnsomheten til både dieselmodellen og den anbefalte løsningen stige fordi investeringene vil utnyttes over flere år. Lønnsomheten til den anbefalte løsningen vil stige mer fordi anlegget vil ha flere år med inntjening på grunn av redusert dieselforbruk. Det er her ikke tatt hensyn til at virkningsgrader på anleggene vil kunne synke med årene, og at enkelte komponenter som styringssystemer ofte har kortere levetid og betyr ekstra kostnader ved utskiftninger.

8.6.4 Følsomhet for endring i Satellittklinikken totale energibehov

Estimeringen av Satellittklinikken energibehov er gjort med bakgrunn i tabellverdier og antagelser, og ikke konkrete målinger, og medfører derfor usikkerheter. Det er gjort en følsomhetsanalyse for å se hva det vil ha å si for lønnsomheten til det anbefalte alternativet sammenliknet med Dieselmodellen dersom det totale energiforbruket til Satellittklinikken viser seg å være høyere eller lavere enn beregnet. Det er sett på endringer på 15, 30 og 50 % i forhold til beregnet forbruk. Resultatet er vist i Figur 8.20.



Figur 8.20 Følsomhet for forskjell mellom beregnet og virkelig energiforbruk.

Figuren viser at dersom det virkelige energiforbruket til Satellittklinikken er 15, 30 eller 50 % høyere enn beregnet vil det være en fordel å ha installert Alternativ 3 løsningen med 70 m² solfangere og 9,05 kWp solceller, fremfor å ha installert Dieselmodellen. Dersom det virkelige behovet viser seg å være mindre enn 15 % lavere enn beregnet vil lønnsomheten ved å installere Alternativ 3 være dårligere enn lønnsomheten med Dieselmodellen og vil da ikke lønne seg.

Resultatet viser også hvor viktig det er for lønnsomheten og dimensjoneringen av et energisystem, at behovsberegningene er basert mest mulig på reelle data.

Dersom det energiforbruket viser seg å være 50 % høyere enn det beregnede energibehovet vil Dieselmodellen ha behov for et ekstra aggregat eller på noen tidspunkt ikke kunne dekke 100 % av behovet, Alternativ 3 modellen vil da ha noen dager hvor absorpsjonskjøleren ikke er stor nok, slik at temperaturen i rommene noen dager vil kunne komme over 25 °C.

9 Oppsummering

9.1 Forutsetninger for lønnsomhetsanalyser

Energisystemenes lønnsomhet er vurdert ved å sammenlikne årskostnadene for de alternative løsningene med årskostnadene til Dieselmodellen. For gjøre å grafisk sammenlikning av lønnsomheten er energiprisen til energiforsyningssystemene beregnet. Energiprisen er beregnet som årskostnaden delt på det årlige energibehovet. Dieselmodellen og solcelle- dieselmodellen har ikke energibehov til pumper i kjølekretsen fordi de kjøler med luftkondisjoneringsanlegg og har derfor et litt lavere energibehov enn Alternativ 1, 2 og 3. For å sammenlikne energiprisene til alternativene med Dieselmodellen er det fra årskostnaden og energibehovet til Dieselmodellen og energibehovet til de alternative modellene beregnet en maksimal energipris for alternativene som gjør at årskostnadene ikke overstiger årskostnadene for alternativene, slik at energiprisene kan sammenliknes direkte.

Årskostnadene er beregnet med årskostnadsmetoden som går ut på å regne sammen alle de forventede inntekten og utgiftene til energisystemet til like store årlige beløp. Investeringskostnadene innebærer de større kostnadene til innkjøp av dieselaggregater, luftkondisjoneringsanlegg, absorpsjonskjøler inkludert varmelager, dieselfyrt oljekjel, solfangere, solceller og DC/AC konverter til solcellene. Driftskostnadene er kostnader til diesel i dieselaggregatet og i oljekjelen som brukes som tilleggskilde for absorpsjonskjøleren. Det er forutsatt en kalkulasjonsrente på 4,5 % og en levetid på anleggene på 20 år.

De høye driftskostnadene for Dieselmodellen som har høyt dieselforbruk gir muligheter for besparelser for de alternative modellene som har redusert dieselforbruk. Driftskostnadene er beregnet ut fra dagens dieselpris oppgitt fra Normeca til 6,43 kr/L. På grunn av usikkerhet i dagens dieselpris og antydninger i markedet om at dieselprisen vil stige er det også sett på lønnsomheten til anleggene dersom dieselprisen hadde ligget på 10,0 kr/L

Alle priser, kostnader og lønnsomheter brukt og beregnet i oppgaven er oppgitt i kroner ekskludert merverdiavgift.

9.2 Energibehovet til Satellittklinikken

Det er først gjort en manuell estimering av Satellittklinikken energibehov ut fra månedsverdier for utetemperatur og solinnstråling for Kapoeta i Sør-Sudan. Ved hjelp av resultatene fra de manuelle beregningene er det laget lastprofiler for energiforbruket som videre er brukt til å lage en modell for lasten (energibehovet for ulike poster) i Trnsys, kalt Lastmodellen. Denne modellen baserer seg på time for time verdier av utetemperatur og solinnstråling over året og tar derfor hensyn til variasjoner over døgnet, slik at energibehovsberegningene ble mer nøyaktige. Trnsys innehold ikke klimadata for Kapoeta, slik at det ble valgt å bruke klimadata for Kisangani i Den demokratiske republikk Kongo, som var nærmeste alternativ. Ved å bruke Lastmodellen ble det også testet ut hvor mye det totale energibehovet kunne reduseres ved hjelp av et enkelt energisparende tiltak. Tiltaket gikk ut på å orientere Satellittklinikken slik at kortsidene vendte mot de retningene som hadde størst årlig solinnstråling og vinduer kun ble installert på langsiden.

En kort oppsummering av resultatene av energiberegningene er gitt i Tabell 9.1.

Tabell 9.1 Oppsummering av energibehov

kWh/år	Manuelt estimert månedsverdier Kapoeta	Time for time verdier, Lastmodellen Kisangani	Time for time Lastmodellen etter tiltak Kisangani
Elektrisk energibehov	32 617	32 607	32 607
Energibehov til oppvarming av varmtvann	6 516	6 516	6 516
Kjølebehov	44 770	50 278	47 668
Totalt energibehov i Satellittklinikken	83 903	89 377	86 791

For utviklingen av modeller og simuleringer av modellene er det tatt utgangspunkt i Lastmodellen etter det energisparende tiltaket.

Alle beregningene er basert på likninger fra Energibruk i bygninger boka (Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad & Novakovic, 1996) og verdier og likninger fra Norsk Standard 3031 (NS 3031, 2007).

9.3 Resultater av simuleringer og lønnsomhetsberegninger på energiforsyningsmodellene

Den første energiforsyningsmodellen er en modell som skal beskrive energiforsyningen til Satellittklinikken slik den er i utgangspunktet. Denne modellen tar utgangspunkt i energiforsyningssystemet til det sykehuset som allerede er bygd i Kapoeta og som er beskrevet i kapittelet om dagens energiforsyning. Denne modellen som kalles Dieselmodellen, bruker et elektrisitetsproduserende dieselaggregat til å dekke alt energibehov i bygningen og bruker strømdrevne luftkondisjoneringsanlegg til kjøling.

Ut fra Dieselmodellen er det utviklet tre ulike energiforsyningsmodeller som alle baserer seg på at en absorpsjonskjølemaskin skal brukes til å produsere kjøling til Satellittklinikken. I de tre alternative modellen brukes strøm fra dieselaggregatene kun til å dekke elektrisk energibehov. Alternativ 1 søker å utnytte spillvarmen fra dieselaggregatet til å drive absorpsjonskjølemaskinen. Alternativ 2 bruker termiske solfangere til å drive absorpsjonskjølemaskinen i tillegg til spillvarmen. Alternativ 3 er lik Alternativ 2, men bruker i tillegg solceller til å redusere det elektriske energibehovet som skal dekkes av dieselaggregatet slik at dieselforbruket i aggregatet kan reduseres. Alle alternativene har en dieselfyrt oljekjel som tilfører varme dersom solfangerne og spillvarmen ikke produserer nok varme til å gi ønsket temperatur inn på absorpsjonskjøleren.

Resultatet av Alternativ 3 simuleringene og lønnsomhetsberegningene viste at det å sette solceller inn i systemet bidra til en betydelig reduksjon i dieselforbruket. For å se om solceller alene inn i Dieselmodellen ville være en bedre løsning enn Alternativ 3 ble det laget en Solcelle- dieselmodell. Denne modellen er identisk med Dieselmodellen med ett unntak; solceller som bidrar til å kutte lasten som kreves dekket av dieselaggregatet. Simuleringer og lønnsomhetsberegninger ble gjort også på denne modellen og sammenliknet med Alternativ 3.

Dieselmodellen og Solcelle -dieselmodellen bruker luftkondisjoneringsanlegg til kjøling av Satellittklinikken. Alternativ 1, 2 og 3 bruker en absorpsjonskjølemaskin som distribuerer kjølingen med en kjølekrets i Satellittklinikken ventilasjonssystem ved hjelp av en pumpe som krever energi. Ved beregningen av energibehovene til løsningene er det tatt hensyn til energibehovet til pumper i kjølekretsen slik av alternativene har et litt høyere totalt energibehov enn Dieselmodellen og Solcelle- dieselmodellen. Energiprisen på den leverte energien fra anleggene beregnes ut fra anleggenes årskostnad og årlige leverte energimengde. Med ulike energimengder blir derfor ikke energiprisene direkte sammenliknbare. For å kunne fremstille energiprisene grafisk og sammenlikne energiprisene til alternativene direkte mot energiprisen til Dieselmodellen ble det beregnet maksimal verdier for energiprisen til alternativene som ville gi årskostnader lik årskostnaden til Dieselmodellen. Dette ble gjort ved hjelp av årskostnaden og energimengden levert med Dieselmodellen og energimengden levert med de alternative løsningene. Verdiene er vist i Tabell 9.2*.

De viktigste resultatene fra simuleringene og lønnsomhetsberegningene av det som er bestemt å være de beste løsningene for de alternative energiforsyningsmodellene, Dieselmodellen og Solcelle- dieselmodellen med dagens dieselpris på 6,43 kr/L er vist i Tabell 9.2.

Tabell 9.2 Oppsummering resultater av beste løsning av hvert mulig energiforsyningssystem med dagens dieselpris.

	Dieselmodellen	Alternativ 1	Alternativ 2 (60 m ²)	Alternativ 3 (70m ² , 9,05 kWp)	Solcelle- dieselmodellen (23,22 kWp)
Energibehov [kWh/år]	85 597	86 791	86 791	86 791	85 597
Energipris [kr/kWh]	1,498 (1,477)*	1,398	1,369	1,364	1,476 (1,456)*
Dieselforbruk [L/år]	17 746	15 551	12 411	8 185	8 015
CO ₂ - utslipp [tonn/år]	46.1	40.4	32.3	21.3	20.8
Årskostnad [kr/år]	128 212	121 311	118 796	118 387	126 346
Investeringskostnad [kr]	183 456	277 300	507 220	855 384	973 116

* Maksimal pris for sammenlikning av Dieselmodell og Solcelle- dieselmodellen med Alternativ 1,2 og 3

10 Konklusjon - Anbefalinger til Normeca

For å vurdere om det finnes autonome energisystemer i drift som bruker absorpsjonskjølemaskiner og solfangere til å produsere kjøling, ble det gjort et søk etter liknende systemer. Det ble ikke funnet noen eksempler på systemer, men vist at temaet er aktuelt og at det drives aktiv forskning og utvikling på bruk av solfangere og absorpsjonskjølere på anlegg av omtrentlig samme størrelse som det her er snakk om.

Normeca har et sykehus i drift i Kapoeta i Sør- Sudan. Det er sammen med Normeca valgt å bruke et mindre og mer mobilt sykehus kalt en Satellittklinikk som utgangspunkt for energisystemet som skal modelleres. Satellittklinikken er beskrevet av Normeca og baserer seg på forholdene til Kapoeta sykehuset.

En estimering av tilgjengelig solenergi ved hjelp av klimadatabasen til NASA viser at Kapoeta har en årlig solinnstråling på horisontal flate på 2 013 kWh/m². I Norge er tallet ca. 1 000 kWh/m² per år. Estimeringen antyder derfor at det er gode muligheter i dette området for å implementere energiforsyningssystemer basert på solenergi.

For å bestemme et fornuftig energiforsyningssystem er det nødvendig å ha informasjon om energibehovet. Ettersom det var lite tilgjengelig informasjon om energiforbruket og dieselforbruket i sykehuset i Kapoeta var det en fornuftig løsning å gjøre energiberegninger for å estimere energibehovet. Ved utforming av et fremtidig energisystem for Satellittklinikken er det nødvendig å gjøre slike beregninger med utgangspunkt i stedet Satellittklinikken skal plasseres. Konkrete målinger basert på eksisterende bygninger på stedet er å anbefale hvis mulig.

Et energisparetiltak som går ut på å orientere bygningen og plassere vinduene slik at kortsiden av Satellittklinikken er uten vinduer står vendt mot vest og øst, som har størst solinnstråling, viste at det var mulig å spare nesten 3 000 kWh årlig. Dersom tiltaket gjøres i planleggingsfasen av en Satellittklinikk er det både enkelt å kostnadsfritt og bør derfor gjøres. Det er viktig at total solinnstråling og vinkelen på innstrålingen vurderes ettersom solinnstrålingen som fører til økt kjølebehov kommer gjennom vinduer oftest plassert på vertikale vegger. Ettersom det finnes få konkrete opplysninger om energibehovet til forskjellige formål er det vanskelig å gi andre konkrete energisparende tiltak. En liste med flere mulige tiltak er lagt ved oppgaven, og bør brukes ved planlegging og utforming av en fremtidig Satellittklinikk.

Dieselmodellen beskriver det originale energisystemet for Satellittklinikken beskrevet i kapittelet om dagens energisystem. Simuleringer av denne løsningen viser at dieselaggregatene produserer en mengde spillvarme som tilsvarer over halvparten av energibehovet i Satellittklinikken. Ettersom Satellittklinikken ikke har noe oppvarmingsbehov for rom kan ikke denne varmen brukes til romoppvarming. Ettersom spillvarmen holder ca. 85 °C er den meget godt egnet til å brukes til oppvarming av varmtvann. Dette er et energitiltak som bør gjøres i nye bygninger og som også bør gjøres i eksisterende bygninger dersom distribusjonssystemet for varmtvann gir mulighet for kontinuerlig sirkulasjon av varmtvannet mellom forbrukssted og oppvarmingssted slik høy nok temperatur sikrer mot legionellaoppblomstring. Andre løsninger som utnytter mer av spillvarmen eller reduserer lasten på dieselaggregatet slik av mengden spillvarme reduseres bør vurderes.

Alternativ 1 er et energisystem som bruker spillvarmen fra dieselaggregatet til å drive en absorpsjonskjølemaskin. Dette alternativet vil gi en reduksjon i årlig dieselforbruk på 2 195 L/år i forhold til det originale energisystemet med kun dieselaggregater (Dieselmodellen). En analyse av lønnsomheten viser at anlegget vil gi en årlig sparing på 6 900 kroner med dagens dieselpriis på 6,43 kr/L og en årlig sparing på 14 737 kroner dersom dieselpriisen stiger til 10 kr/L. Alternativ 1 vil derfor gi et fornuftig energisystem sammenliknet med Dieselmodellen både miljømessig og kostnadmessig. Det er forutsatt at systemet installeres i en ny bygning uten et eksisterende energianlegg. Sammenlikningen med Dieselmodellen er gjort ut fra forutsetning om at ingen av alternativene er installert i bygget fra før slik at alle investeringskostnader til energianlegget er med i beregningene.

Alternativ 2 er et energisystem som er likt Alternativ 1, men som i tillegg har termiske solfangere som produserer varme til absorpsjonskjøleren. Den beste løsningen for Alternativ 2, ut fra kriteriet om høy reduksjon i dieselforbruket og god lønnsomhet sammenliknet med Dieselmodellen, vil ha 60 m² solfangere. Denne løsningen vil redusere dieselforbruket med 5 335 L/år og gi en årlig sparing på 9 415 kr og er basert på dagens dieselpriis på 6,43 kr/L. Alternativ 2 vil derfor gi et fornuftig energisystem sammenliknet med Dieselmodellen både miljømessig og kostnadmessig med dagens dieselpriis. Dersom dieselpriisen øker til 10 kr/L vil Alternativ 2 fortsatt være et lønnsomt alternativ for flere ulike størrelser av anlegg.

Alternativ 3 er et energisystem som er likt Alternativ 2, men som i tillegg har solceller som reduserer den elektriske lasten inn på dieselaggregatet og som dermed reduserer dieselforbruket i aggregatet. Den beste løsningen for Alternativ 3, ut fra kriteriet om høy reduksjon i dieselforbruket og god lønnsomhet sammenliknet med Dieselmodellen, vil ha 70 m² solfangere og et solcellesystem med maksimal effekt på 9,05 kWp. Denne

løsningen vil redusere dieselforbruket med 9 561 L/år og gi en årlig sparing på 9 824kr og er basert på dagens dieselpris på 6,43 kr/L. Dersom dieselprisen øker til 10 kr/L vil Alternativ 3 fortsatt være et lønnsomt alternativ for flere ulike størrelser av anlegg.

En sammenlikning av de tre alternativene viser at Alternativ 3 vil gi størst reduksjon i dieselforbruket og høyest lønnsomhet både med dagens dieselpris på 6,43 kr/L og ved en fremtidig dieselpris på 10 kr/L. Av de tre alternativene som utnytter spillvarme og mulig solenergi til å drive en absorpsjonskjølemaskin vil Alternativ 3 gi beste energiforsyningssystem.

Av de tre alternative energiforsyningsløsningene var Alternativ 3 det eneste som benytter solceller til å redusere lasten inn på dieselaggregatet. Ettersom dette alternativet utpekte seg som det beste gav det antydninger om at solceller, selv og de bare har en virkningsgrad på 10 %, kan være fornuftige å bruke i Satellittklinikken. Et fjerde alternativ kalt Solcelle- dieselmodellen ble utviklet. Denne modellen er identisk med Dieselmodellen med det unntaket at den har solceller som reduserer lasten inn på dieselaggregatene. Systemet bruker, som Dieselmodellen, luftkondisjoneringsanlegg til kjøling. Den beste løsningen for Solcelle- dieselmodellen, ut fra kriteriet om høy reduksjon i dieselforbruket og god lønnsomhet sammenliknet med Dieselmodellen, vil ha et solcellesystem med maksimal effekt på 23,22 kWp. Denne løsningen vil redusere dieselforbruket med 9 731 L/år og gi en årlig sparing på 1 866 kr og er basert på dagens dieselpris på 6,43 kr/L. Dersom dieselprisen øker til 10 kr/L vil Solcelle- dieselmodellen med fortsatt være et lønnsomt alternativ for flere ulike størrelser av anlegg.

En sammenlikning av beste løsning for Alternativ 3 og Solcelle- dieselmodellen med dieselpris på 6,43 kr/L viser at reduksjonen i dieselforbruket kun er litt lavere for Alternativ 3, men at Alternativ har mye høyere lønnsomhet. Alternativ 3 med 70 m² solfangere og et solcellesystem med maksimal effekt på 9,05 kWp vil derfor være det energisystemet som anbefales for Satellittklinikken. Dette forutsetter at hele energisystemet skal installeres i nytt bygg der det ikke finnes et eksisterende energiforsyningssystem. Alternativet gir en reduksjon i dieselforbruket på 53,8 % og en reduksjon i årlig CO₂-utslipp på 24,8 tonn. Av den energien som totalt må produseres i energisystemet for å dekke det totale energibehovet, er 48,1 % produsert med solenergi.

Dersom solenergi skal vurderes brukt i et feltsykehus som allerede har energiforsyning basert på dieselaggregat, vil Solcelle- dieselmodellen anbefales ettersom denne modellen utnytter eksisterende kjølesystem fra Dieselmodellen og derfor kun krever etterinstallering av solcellesystemet. Systemet bør utnytte spillvarmen fra dieselaggregatet til oppvarming av varmtvann.

Følsomhetsanalyser gjort på den anbefalte energiforsyningsløsningen med (Alternativ 3, 70 m² solfangere, et solcellesystem med maksimal effekt på 9,05 kWp og dieselpris på 6,43 kr/L) viser hvordan endringer i forutsetninger for lønnsomhetsberegningene og simuleringene kan gi avvik i resultatene.

Det er i lønnsomhetsberegningene brukt en kalkulasjonsrente på 4,5 %. Følsomhetsanalysene viser at det er viktig at kalkulasjonsrenten ikke beregnes for lav, fordi en høyere kalkulasjonsrente enn det som er brukt i lønnsomhetsberegningene vil gi dårligere lønnsomhet.

Normeca betaler i dag 6,43 kr/L for dieselen som brukes i dieselaggregatene. Antydninger i markedet har gitt uttrykk for at dieselprisen vil stige i fremtiden. Dersom dieselprisen stiger vil årlig sparing med den anbefalte løsningen øke sammenliknet med Dieselmodellen. Dette er fordi driftskostnadene, som avhenger av dieselprisen, er lavere for Alternativ 3 som bruker betydelig mindre diesel. Alternativ 3 vil derfor gi årlige kostnader som er mer forutsigbare og mindre påvirket av en stigning i dieselprisen. Dette forsterker at et energisystem basert på solenergi vil være fornuftig. Synker dieselprisen vil lønnsomheten synke fordi årlig innsparing ved reduksjon i driftskostnader vil minke med lavere dieselpris.

Lønnsomheten forutsetter en levetid på anlegget på 20 år. Dersom anlegget lever lenger enn antatt, stiger lønnsomheten, omvendt hvis levetiden blir lavere. Lønnsomheten forutsetter derfor at anlegget vedlikeholdes slik at levetiden opprettholdes.

Dersom energiforbruket til Satellittklinikken er større enn beregnet vil lønnsomheten stige sammenliknet med dagens energisystem. Dette viser at det vil være fornuftig å underdimensjonere anlegget for å sikre lønnsomhet. En underdimensjonering vil senke reduksjonen i dieselforbruket dersom energiforbruket er likt det beregnede forbruket, dette viser at det er viktig å ha god kunnskap om forbruket før dimensjonering av energisystemet. Den anbefalte løsningen med Alternativ 3 tåler et forbruk som 15 % mindre enn beregnet for det blir ulønnsomt. Det er snakk om totalt energiforbruk i Satellittklinikken og forutsetter likt forhold mellom kjølebehov, varmtvannsbehov og elektrisk energibehov. Variasjon i lønnsomhet ved endret forbruk viser hvor viktig det er å ha god informasjon om bygget energibehovet. En detaljert estimering på bakgrunn av konkrete opplysninger om bygningen, brukerne, utstyr og plassering av bygning bør gjøres dersom det ikke finnes data fra konkrete målinger.

Energisystemer basert på solenergi, vil være fornuftig både økonomisk og miljømessig for Satellittklinikken.

11 Videre arbeid

For at resultatene skal gi et energiforsyningsystem som vil fungere godt i praksis, er det helt nødvendig med en nøyaktig kartlegging av Satellittklinikkens reelle energibehov. Dersom det er mulig å sammenlikne utstyrsbruken med sykehuset i Kapoeta med utstyrsbruken i Satellittklinikken, bør det gjøres målinger av elektrisitetsforbruk til belysning, utstyr, pumper, vifter, varmtvannsoppvarming og til drift av luftkjøleanleggene på det eksisterende sykehuset i Kapoeta. Dersom det ikke er mulig å gjøre målinger på energiforbruket, kan det føres logg på dieselforbruket slik at forbrukt mengde diesel kan sammenliknes med simuleringer av dieselforbruket. Dersom Satellittklinikken blir så ulik Kapoeta sykehuset at det er urealistisk å sammenlikne de to, bør energibehovsberegninger på Satellittklinikken gjøres ut fra en kartlegging byggets faktiske lastprofiler og ut fra en detaljert oversikt over alt utstyr som skal brukes i bygningen.

På bakgrunn av mer konkret informasjon om forbruket kan det gjøres simuleringer på energiltak for å se på mulighetene for å senke energibehovet til et minimum.

Lønnsomheten til anleggene avhenger av investeringskostnadene, så en omfattende undersøkelse av priser på de ulike komponentene vil kunne vise seg å være en god investering.

12 Kilder

Litteratur

- Keith E. Herold, Reinhard Radermacher, Sanford A. Klein. *Absorption Chillers and Heat Pumps*. Boca Raton, New York, London, Tokyo: CRC Press, 1996, 1. utg. (Herold, W. K., Radermacher, R & Klein, S. A., 1996)
- Inger Andresen. *Solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus. En veileder for planlegging*. Trondheim: Sintef Byggforsk, 2007, 1. utg. (Andresen, 2007)
- Lars Andr en. *Solar Installations*. London: James and James, 2003, 1. utg. (Andr en, 2003)
- Duffie, J. A. & Beckman, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006, 3. utg. (Duffie & Beckman, 2006)
- Rekstad, J. B. & Meir, M. *Energy and Physics*. Universitetet i Oslo, institutt for fysikk, kompendium, 2007, 2. utg. (Rekstad & Meir, 2007)
- Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad & Novakovic. *Energibruk i bygninger*. Trondheim: Sintef, 1996, 2. utg. (Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad & Novakovic, 1996)
- Michael J. Moran & Howard N. Shapiro. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. United States of America: John Wiley & Sons, 2004, 5. utg. (Moran & Shapiro, 2004)
- Penny Martin. (red). *Geographica, Atlas og kunnskapsverk om Jordan, folk og land*. Spektrum, 2005, 3. utg. (Geographica, 2005, s. 369)

Artikler:

- Z. F. Li, K. Sumathy. *Technology development in the solar absorption air-conditioning systems*. Pokfulam Road, Hong Kong: Department of Mechanical Engineering, University of Hong Kong, 1999, 1. utg. (Li & Sumaty, 1999)
- Kim, D.S. Infante Ferreira, C. A. *Solar refrigeration - a state-of-the-art review*. International Journal of Refrigeration, 2007, 1. utg. (Kim, D.S. & Infante Ferreira, C. A., 2007)
- Felix Ziegler. *Absorption cycle basics revisited*. Berlin, Germany: Technische Universität Berlin, Institute of Engineering, 2005, 1. utg. (Ziegler, F., 2005)
- Erik Stensrud Marstein, Sean Erik Foss & Turid Worren Reenaas. *Tredje generasjon solceller*. Institutt for energiteknikk og Institutt for fysikk (NTNU), 2008, 1. utg. (Marstein, Foss & Reenaas, 2008)

Standarder/veiledere:

- Standard Norge. *Norsk Standard NS 3031 - Beregninger av bygningers energiytelse. Metoder og data*. 26.08.2007. (NS 3031, 2007)
- Folkehelseinstituttet. *Veileder for forebygging og kontroll av legionella smitte fra VVS -anlegg*. 06.12.2007. (Veileder Legionellasmittefare, 2007)

Forelesninger

- Forelesning 1. Rekstad, J. B. *Forelesning i Energifysikk*. Oslo: Universitetet i Oslo, Høst 2007. (Forelesning 1, Rekstad 2007)
- Forelesning 2. Stene, J. *Forelesning i Varmepumpeteknikk*. Trondheim: NTNU, V ren 2006. (Forelesning 2, Stene 2006)

Samtaler/m ter

- Samtale 1. Rekstad, J. B. *M te. 27.11.07*. Oslo: Universitetet i Oslo. (Rekstad, samtale 1).
- Samtale 2. Erik Stensrud Marstein. *M te. 04.03.08*. Kjeller: Institutt for energiteknikk (IFE). (Marstein, samtale 2)
- Samtale 3. Stein Rune Nordtvedt. *M te. 04.03.08*. Kjeller: Institutt for energiteknikk (IFE). (Nordtvedt, samtale 3)
- Samtale 4. Øystein Ulleberg. *M ter V ren 2008*. Kjeller: Institutt for energiteknikk (IFE). (Ulleberg, samtale 4)
- Samtale 5. Per Finden, hovedveileder. *V ren 2008*. Kjeller: Institutt for energiteknikk (IFE). (Finden, samtale 5)
- Samtale 6. Frank Søberg, YIT Norge. *Telefonsamtale 02.06.2008*. Oslo: YIT. (Søberg, samtale 6)
- Samtale 7. Rolf Bauer. Erichsen og Horgen. *M te. 13.11.2007*. Oslo: Erichsen og Horgen. (Bauer, R., samtale 7)

E-post:

- E-post 1. *John Skjølberg*, Skjølberg energiteknikk. Høst 2007. (Skjølberg, J., e-post 1)
- E-post 2. *Jørn Øwre*, Normeca. Vår 2008. (Øwre, J., e-post 2)
- E-post 3. *Stein Midtlund*, Scandinavian Water Technology AS. Vår 2008. (Midtlund, S., e-post 3)
- E-post 4. *Jon Eriksen*, IFE. Vår 2008. (Eriksen, J., e-post 12)
- E-post 5. *Kjell A. Dokka*, Programbyggerne. Høst 2007. (Dokka, K. A., e-post 5)
- E-post 6. *Jonas Sandgren*, Sweco AS. Vår 2008. (Sandgren, J., e-post 6)
- E-post 7. *Lars Brodersen*, Dantherm Air Handling A/S. Vår 2008. (Brodersen, L., e-post 7)
- E-post 8. *Jacob Forssman*, ClimateWell AB. Vår 2008. (Forssmann, J., e-post 8)
- E-post 9. *Olof Hallstrøm*, ClimateWell AB. Vår 2008. (Hallstrøm, O., e-post 9)
- E-post 10. *Jan Edvardsen*, Ivar Lærum AS. Vår 2008. (Edvardsen, J., e-post 10)
- E-post 11. *Mikael Ekenstam*, Enova svartjeneste. Høst 2007. (Ekenstam, M., e-post 11)

Internett:

- Web 1. *Normeca AS Company Presentation*. <http://www.normeca.no/normeca/index.htm>. Sist oppdatert 05.11.2007. Benyttet 13.02.2008. (web 1, Normeca Hjemmeside)
- Web 2. *Solar Heating and Cooling Programme, Task 25*. http://www.iea-shc.org/task25/publications/Task25-Subtask_C-2-final_report.pdf. Sist oppdatert 16.06.2008. Benyttet 16.06.2008. (web 2, SHC Task 25)
- Web 3. *Solar Heating and Cooling Programme, 2007 annual report*. http://www.iea-shc.org/publications/downloads/shc_annual_report_2007.pdf. Sist oppdatert 17.6.2008. Benyttet 17.6.2008. (web 3, SHC)
- Web 4. *Solar Heating and Cooling Programme, Task 25 vedlegg*. http://www.iea-shc-task25.org/english/hps6/pdf/Task25-Subtask_C-2-final_report-appendices.pdf. Sist oppdatert 17.6.2008. Benyttet 17.6.2008. (web 4, SHC Task 25 vedlegg)
- Web 5. *IEA Photovoltaic Power Systems Programme*. <http://www.iea-pvps.org/>. Sist oppdatert 23.6.2008. Benyttet 23.6.2008. (web 5, IEA Photovoltaic)
- Web 6. *Solar Heating and Cooling Programme, Task 38*. <http://www.iea-shc.org/task38/>. Sist oppdatert 17.6.2008. Benyttet 17.6.2008. (web 6, Task 38)
- Web 7. *Google map - Kart over Kapoeta og Juba*. <http://maps.google.no/maps?f=q&hl=no&geocode=&q=kapoeta+&sll=50.957617,6.96747&sspn=0.464518,1.505127&ie=UTF8&ll=11.867351,36.430664&spn=22.944373,48.164063&z=5>. Sist oppdatert 20.02.2008. Benyttet 20.02.2008. (web 7, GoogleMap)
- Web 8. *Norut - Northern Research Institute*. http://www.tek.norut.no/norut_narvik/forskning/fornybar_energi. Sist oppdatert 15.06.2008. Benyttet 15.06.2008. (web 8, Norut)
- Web 9. *Dokument fra Olje og energidepartementet om 23.1 Solenergi*. <http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/1998/NOU-1998-11/24/1.html?id=349198>. Sist oppdatert 09.06.2008. Benyttet 09.06.2008. (web 9, OED)
- Web 10. *Amerikansk Råd for en energi effektiv økonomi*. <http://www.aceee.org/consumerguide/cooling.htm#reduce>. Sist oppdatert 15.11.2007. Benyttet 22.02.2008. (web 10, Amerikansk Råd for en energi effektiv økonomi)
- Web 11. *North Carolina Sustainable Energy Association*. <http://www.ncsustainableenergy.org/resources/renewable>. (web 11, North Carolina Sustainable Energy Association)
- Web 12. *Solar navigator*. http://www.solarnavigator.net/images/solar_power_euro_parabolic_dish_sbp.jpg. Sist oppdatert 28.02.2008. Benyttet 28.02.2008. Sist oppdatert 29.10.2006. Benyttet 28.02.2008. (web 12, Solar Navigator)
- Web 13. *NASA Langley atmospheric science data center*. <http://eosweb.larc.nasa.gov/>. Sist oppdatert 28.02.2008. Benyttet 28.02.2008. (web 13, NASA)
- Web 14. *Datablad på containere hentet fra Containex*. http://www.containex.com/dokumente/379_NO.pdf. Sist oppdatert 27.03.2008. Benyttet 27.03.2008. (web 14, Containex)
- Web 15. *Trnsys hjemmeside*. <http://www.trnsys.com/>. Sist oppdatert 17.06.2008. Benyttet 17.06.2008. (web 15, Trnsys)

- Web 16. *BFIN, Bioenergy Feedstock Information Network*. http://bioenergy.ornl.gov/papers/misc/energy_conv.html. Sist oppdatert 30.05.2008. Benyttet 30.05.2008. (web 16, BFIN)
- Web 17 *Hjemmeside Apricus Solar*. <http://www.apricus.com/>. Sist oppdatert 30.05.2008. Benyttet 30.05.2008. (web 17, Apricus)
- Web 18. *Hjemmeside solkraft*. <http://solkraft.no/Solfangere2.htm>. Sist oppdatert 30.05.2008. Benyttet 30.05.2008. (web 18, Solkraft)
- Web 19. *Link til der testresultatene for Apricus solfangeren ligger*. http://www.apricus.com/html/solar_collector_certification.htm. Sist oppdatert 30.05.2008. Benyttet 30.05.2008. (web 19, Apricus test)
- Web 20. *Hjemmeside ClimateWell AB*. <http://www.climatewell.com/index.php?pageId=3>. Sist oppdatert 27.04.2008. Benyttet 27.04.2008. (web 20, ClimateWell)
- Web 21. *Solar Energy Research and Consultancy, Solarbuzz*. <http://www.solarbuzz.com/>. Sist oppdatert 30.05.2008. Benyttet 30.05.2008. (web 21, Solarbuzz)
- Web 22. *Dagens næringslivs valutasider*. <http://www.dn.no/finans/valuta/>. Sist oppdatert 30.05.2008. Benyttet 30.05.2008. (web 22, DN Valuta)
- Web 23. *Klimaløftet*. <http://www.klimaloftet.no/Klimaloftet/Klimakalkulator/Kalkulator-forklaringer/Beregninger-for-Bilen/?id=321>. Sist oppdatert 08.02.2007. Benyttet 03.06.2008. (web 23, Klimaløftet)

-
Annet:

- Camilla B. Torp.. *Prosjektoppgave. Termiske solfangere i bygninger*. Høsten 2007. (Prosjektoppgave, Vår 2007)
- Arvid Dalehaug, NTNU. *Øving i Energibruk i bygninger*. Høsten 2006. (Arvid Dalehaug, høst 2006)
- Byggforsk kunnskapssystem 552.121 Varmtvannsforsyning. Juni 2004. (Byggforsk, 2004)

Vedlegg 1 – Om Normeca

Normeca AS er et norsk eid selskap som ble etablert i 1983. De holder til i Lørenskog rett utenfor Oslo. Administrerende direktør i selskapet er Jan Karlsen.

Selskapet leverer medisinsk utstyr for anestesi, intensiv medisin, kritisk medisin, akutt medisin, operasjonssaler og mobile sykehus og felt sykehus, smittevernustyr samt utstyr til militært personell. I tillegg til dette har de utført servise ved anestesi -og intensiv avdelinger på norske sykehus, utført opplæring av medisinsk personell og arrangert seminarer innenfor sine operasjonsfelt flere steder i verden. Selskapet leverer utstyr til krisesituasjoner og baserer seg på å kunne tilby raske leveranser til steder med lav fremkommelighet.

Normeca AS har samarbeidspartnere i Norden, Asia, Afrika, Midt-Østen og USA.

Referanseprosjekter er blant annet leveranse av et identifikasjonssenter til Phuket i Thailand, et feltsykehus på Sumatra for røde kors Japan etter Tsunamien i desember 2004, et felt sykehus til Muzaffarabad for Cubanske myndigheter, samt for Hatian Bala for MSF Holland etter jordskjelvet i oktober 2005 og sykehus til Sør-Sudan i forbindelse med myndighetenes helsesatsning. Sistenevnte er brukt som utgangspunkt for masteroppgaven. En nærmere beskrivelse av dette prosjektet er vedlagt som vedlegg 2.

Informasjon er hentet fra Normeca sine hjemmesider (web 1, 2007).

Vedlegg 2 – Om Sudan prosjektet og Katiko Referral Hospital

Bakgrunn:

I september 2006 signerte Normeca en avtale med myndighetene i Sør- Sudan og helsedepartementet om byggingen av 10 semi - permanente statlige sykehus i Sør-Sudan inkludert totalt 50 mobile klinikker og 2 flyende sykehus for Nilen. Det første sykehuset er ferdig og en beskrivelse av dette vil bli gitt videre. Dette heter Katiko Referral Hospital og ligger i East Equatoria Sør- Sudan. Plassering og forhold for dette sykehuset vil bli brukt som utgangspunkt for beskrivelsen av Satellittklikken som studeres i oppgaven.

Det er under gitt en kort beskrivelse av Katiko Referral Hospital, samt noen bilder fra sykehuset og et kart over plasseringen.



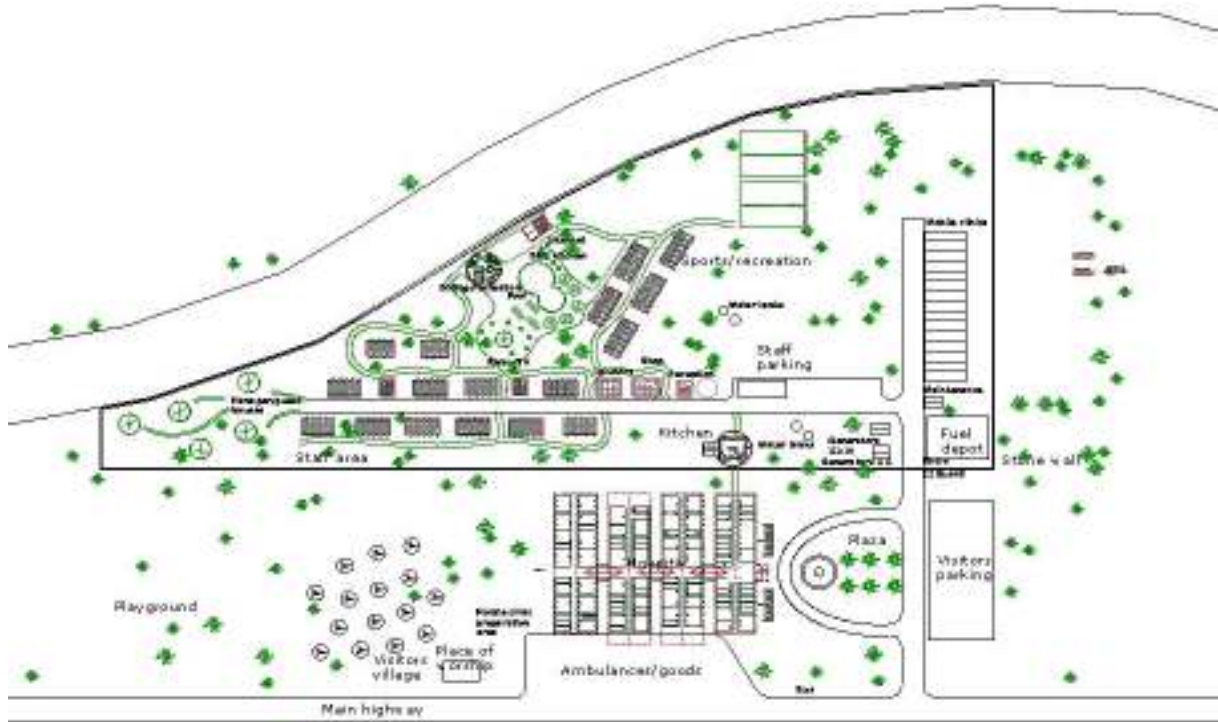
Bilde fra inngangspartien til Katiko Referral Hospital

Fakta om Katiko Referral Hospital:

- Sykehuset stod klart i november 2007.
- Ligger på et område som er 90 000 kvm, med et 1 500 meter langt gjerde rundt. Inkluderer en 3 km lang vei for transport av tunge maskiner.
- 1 800 meter vannrør og 1 100 meter avløpsvannrør er installert.
- Det er boret to vannhull, hver på 110 meter.
- Det er transportert 170 20 fots containere, og 20 40 fots containere 1 700 km fra Mombasa til Kapoeta ved hjelp av lastebiler.
- Det er foreløpig vært bruk for 400 000 liter med diesel.
- Sykehuset har kapasitet til å huse 150 pasienter og 160 ansatte.
- 3 generatorer, hver på 400 kVA.
- Sykehuset har:
 - Operasjonsrom og traumer
 - Gynekologisk avdeling
 - Barneavdeling
 - Øyeavdeling
 - Indre medisin og tropiske infeksjoner avdeling
 - Ute pasienter og mobile klinikker
 - Intensivavdeling
 - Undersøkelses rom
 - Tannlegekontor
 - Radiologisk avdeling med ultralyd
 - Laboratorium
 - Steriliseringsrom for rengjøring av utstyr
 - Vaskeri
 - Kjøkken

- Kantine, soverom og fritidsrom for ansatte

Bilder fra sykehuset:



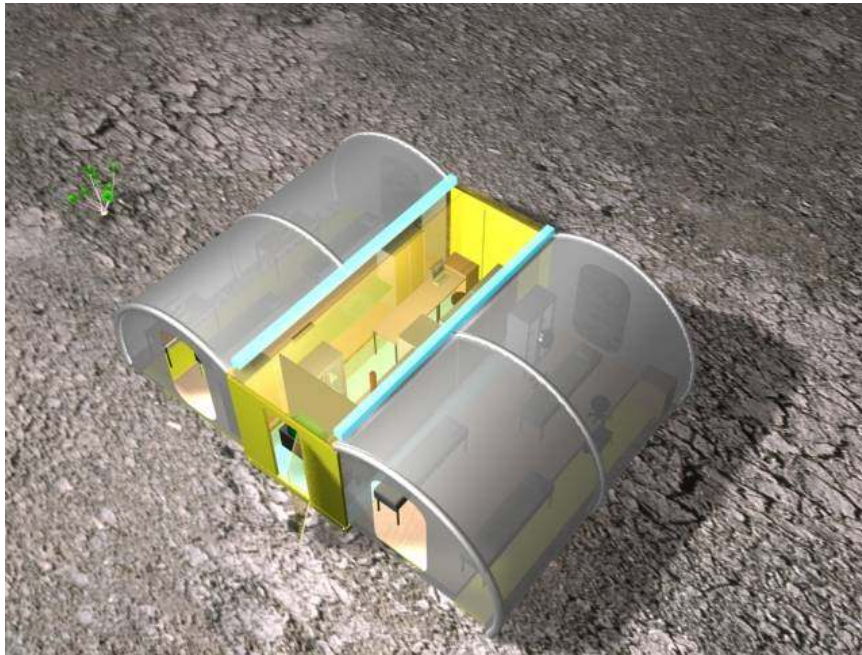
Området.



Container moduler som sykehuset er satt sammen av.



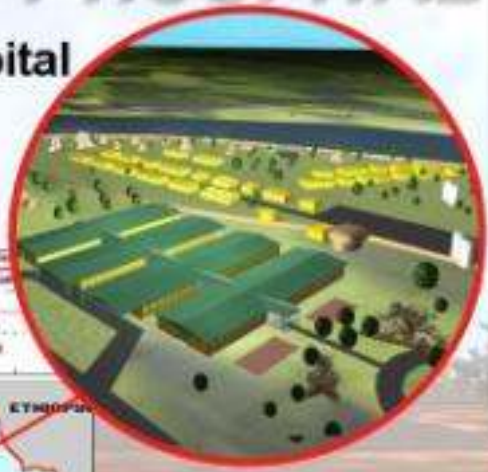
Operasjonssal.



En mobil klinikk.

KAPOETA COUNTY HOSPITAL

The new Kapoeta County Hospital



1.700 km. From Mombasa
125 km. From Locki



2

Figuren viser at kart over området som "Katiko Referral Hospital" ligger i.

Vedlegg 3 - Likninger brukt til manuell estimering av satellittklinikens energibehov:

Forklaringer

A - areal, Asat er gulvarealet til satellittklinikken

Vsat – volum av satellittklinikken

E - Energi, [kWh/år(mnd/døgn)]

P - effektbehov [kW]

p – spesifikt effektbehov [kW/m²]

Q kjøøl – kjølebehovet til bygningen

D - antall døgn per år = 365 [døgn]

DM - antall døgn per mnd [d/mnd](Brukes i månedsberegninger)

HM – [h/mnd]

i - innenfor driftstid

u - utenfor driftstid

ρ vann – tettheten til vann [kg/L]

Cp vann – varmekapasiteten til vann [kJ/(kg*K)]

Cp luft – varmekapasiteten til luft [Wh/(m³*K)]

g – tyngdens akselerasjon [m/s²]

Tomg – utelufttemperaturen

Tmax – maksimums temperatur inne i bygget

Elektrisk last

Belysning:

Energibehov til belysning, Ebel,

$Ebel = Asat * DM((pbel,i * tbel,i) + (pbel,u * tbel,u))$ [kWh/mnd](NS 3031, 2007, s. 25)

Effektbehov belysning, Pbel,

$Pbel = pbel * Asat$

pbel - effektbehovet til belysning [W/m²]

tbel - driftstid belysning [h/døgn]

Utstyr:

Energibehov til utstyr:

$Euts = Asat * D((puts,i * tuts,i) + (puts,u * tuts,u))$ [kWh/mnd] (NS 3031, 2007, s. 25)

Effektbehov utstyr:

$Puts = puts * Asat$

puts – effektbehovet til utstyr [W/m²]

tuts – driftstid utstyr [h/døgn]

Energibehov til pumper i kjøleanlegg:

$$E_{kp} = DM (P_{kp,i} * t_{kp,i}) + (P_{kp,u} * t_{kp,u}) \text{ [kWh/mnd]}$$

$$V_{kp} = Q_{kjøl} / (\Delta T_{kp} * CP_{vann} * \rho_{vann} * t_{kp} * DM) \text{ [l/s]}$$

Effektbehov til pumper i kjøleanlegg

$$P_{kp} = SPP * V_{kp} \text{ [kW]} \text{ (NS 3031, 2007, s. 24)}$$

V_{kp} - sirkulert vannmengde i pumper i kjøleanlegg [l/s],

t_{kp} – driftstid pumpe i kjøleanlegg (tilsvarer driftstiden til kjøleanlegget) [h/døgn]

ΔT_{kp} – temperaturdifferanse i tur/retur væskekrete i kjøleanlegg [K]

SPP – spesifikk pumpeeffekt [kW/(l/s)]

Energibehov til oppumpning av vann fra grunnen:

$$E_{vp} = DM * P_{vp} * t_{vp} \text{ [kWh/mnd]}$$

Effektbehov til oppumpning av vann:

$$P_{vp} = V_{vp} * \rho_{vann} * g * \Delta H_p / 1000 \text{ [kW]}$$

V_{vp} – vannmengde som pumpes opp per dag [l/s]

t_{vp} – driftstid vannpumpe [h/døgn]

ΔH_p – pumpehøyde for vannpumpe [m]

Energibehov til vifter i ventilasjonsanlegg

$$P_{vift} = A_{sat} * V_{vent} * SFP / 3600 \text{ (NS 3031, 2007, s. 25)}$$

$$E_{vift} = DM ((P_{vift,i} * t_{vent,i}) + (P_{vent,u} * t_{vent,u}))$$

SFP – spesifikk vifteeffekt [kW/(m³*s)]

Termisk last – bygningens kjølebehov:

Varmeovergang mellom bygningskroppen og omgivelsene:

Positiv er varme som lekker inn (tilskudd fra omgivelsene)- øker byggets kjølebehov, negativ er varme som lekker ut (varmeavgivelse til omgivelsene), kan trekkes fra på tilskudd.

Transmisjon – varmeovergang gjennom bygningskroppen:

$$Q_{trans} = \sum (U_n * A_n * (T_{omg} - T_{maks}) * HM) \text{ [kWh/mnd]} \text{ (Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad & Novakovic, 1996)}$$

U_n – U-verdien til bygningsdel, varmegjennomgangskoeffisienten

A_n – Arealet til hver bygningsdel

Infiltrasjon – varmelekkasje gjennom utettheter i bygningskroppen:

$$Q_{infi} = C_{pluft} * n_i * V_{sat} * (T_{omg} - T_{maks}) * HM \text{ [kWh/mnd]} \text{ (Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad & Novakovic, 1996)}$$

n_i – lekkasjetallet for infiltrasjon [1/h] (luftutskiftninger per time på grunn av infiltrasjon)

Ventilasjon – varmeavgivelse/tilførsel gjennom utskiftning av luft i bygningen, (tidsstyrt):

$$P_{vent} = C_p \text{ luft} * V_{vent} * A_{sat} * (T_{omg} - T_{maks}) / 1000 \text{ [kW]} \text{ (NS 3031, 2007, s. 16 \& 21)}$$

Ettersom bygget kun har et kjølebehov er det T_{omg} og T_{maks} byttet om i forhold til formelen.

$$Q_{vent} = DM ((P_{vent,i} * t_{vent,i}) + (P_{vent,u} * t_{vent,u})) \text{ [kWh/mnd]}$$

V_{vent} – spesifikk minimum luftmengde [$m^3/(h * m^2)$]

t_{vent} – driftstid ventilasjon i og utenfor driftstid

Varmetilskudd fra personer:

$$Q_{pers} = DM * A_{sat} * (p_{i} * t_{pers,u}) + (p_{u} * t_{pers,i}) \text{ [kWh/mnd]} \text{ (Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad \& Novakovic, 1996)}$$

$t_{pers,i}$ – driftstid sykehuset åpent

$t_{pers,u}$ – driftstid sykehuset stengt

Varmetilskudd fra belysning og elektrisk utstyr:

$$Q_{bel} = E_{bel} \text{ [kWh/mnd]} \text{ (Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad \& Novakovic, 1996)}$$

$$Q_{uts} = E_{utst} \text{ [kWh/mnd]} \text{ (Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad \& Novakovic, 1996)}$$

Varmetilskudd fra solinnstråling gjennom vinduene:

$$Q_{solinns} = (\sum I_{s,f} \text{ [kWh/m}^2 \text{ dag)} * S * a * A_{glass}) * DM \text{ [kWh/mnd]} \text{ (Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad \& Novakovic, 1996)}$$

$I_{s,f}$ – solinnstråling på vindusflate, kun funnet data for sørvendt flate, antagelse gjort for vest, øst og nordvendt flate.

S – solfaktor, hvor mye sol som slipper inn gjennom vindus glasset

a – solavskjermingsfaktor – skjerming av trær, bygninger, persiener etc.

A_{glass} – glassareal på vindu – antatt lik vindus arealet

Totalt kjølebehov:

Totalt kjølebehov er beregnet ved en maksimal innetemperatur på 25 °C, der kjølebehovet utgjør all varme som vil gi temperaturer over 25 °C.

$$P_{kjøl} = P_{trans} + P_{inf} + P_{vent} + P_{personer} + P_{bel} + P_{uts} + P_{solinns} \text{ [kW]}$$

$$Q_{kjøl} = Q_{trans} + Q_{inf} + Q_{vent} + Q_{personer} + Q_{bel} + Q_{uts} + Q_{solinns} \text{ [kWh/mnd]}$$

COP luftkondisjoneringsanlegg:

Det er oppgitt fra antatt leverandør av luftkondisjoneringsanlegg at det gitte anlegget har en COP mellom 2,5 og 1,8 ved utetemperaturer mellom +20 °C og +60 °C. (Brodersen, L., e-post 7 og vedlegg 7). Det er ut fra dette beregnet en COP kurve for luftkondisjoneringsanlegget som er brukt i ved beregning av dieselforbruk ved originalt energiforsyningsystem. COP avhenger av utetemperaturen og er i systemet koblet til time for time verdier av utetemperaturen.

$$COP = ((1,8 - 2,5) * T_{ute} / (60 - 20)) + 2,85 = 2,85 - (0,7/40 * T_{ute})$$

$P_{aircond} = P_{kjøl} * COP =$ elektrisk effektbehov for å levere kjøling med et luftkondisjoneringsanlegg.

Oppvarming av varmt vann, Q_{vv} :

$$Q_{vv} = V_{vp, varmt} * C_p \text{ vann} * (T_{vv, snittforbruk} - T_{vv, inn}) / 3600 \text{ [kWh/dag]} \text{ (Moran \& Shapiro, 2004)}$$

$V_{vp, varmt}$ – antall liter vann som forbrukes som varmt vann per dag [kg/dag]

$T_{vv, inn}$ – temperatur på vann fra vannlager [°C]

T_v, snittforbruk– gjennomsnittlig temperatur på forbruksvannet [°C]

Termisk last – oppvarming av varmt vann

$$= 1/3 * Q_{vv}$$

Elektrisk last – oppvarming av varmt vann

$$= 2/3 * Q_{vv}$$

Vedlegg 4 – Inndata brukt både i estimering av satellittklinikens energibehov og i TRNSYS simuleringen.

Konstanter	Betegnelse:	Verdi:	Enhet:	Dokumentasjon:
Spesifikk varmekapasitet vann	Cp vann	4.195	kJ/(kg*K)	(Moran & Shapiro, 2004)
Tetthet vann	ρ vann	0,99	kg/L	(NS 3031, 2007, Vedlegg I)
Spesifikk varmekapasitet luft	Cp luft	0,33	Wh/(m ³ K)	(NS 3031, 2007, s. 21)
Tyngdens akserelasjon	g	9,81	m/s ²	(Moran & Shapiro, 2004)
Dager per år	D/år	365	d/år	
Timer per år	h/år	8760	h/år	
Timer per dag	h/D	24	h/dag	
Sekunder per time	s/h	3600	s/h	

Krav i bygget	Betegnelse:	Verdi:	Enhet:	Dokumentasjon:
Temperaturkrav min	Tmin	20.00	° C	(Øwre, J., e-post 2)
Temperaturkrav maks, sett punkt for kjøling	Tmax	25.00	° C	(Øwre, J., e-post 2)

Last oppvarming av vann	Betegnelse:	Verdi:	Enhet:	Dokumentasjon:
Effektbruk varmtvann	pvv	5,10	W/m ²	(NS 3031, 2007, Tabell A.1, sykehus), blir urealistisk å sammenlikne med forbruket i norske sykehus, gjør derfor egne estimat
Forbrukt mengde varmt vann per dag	Vvv	612.75	kg/dag	Beregnet i kapittel 5.4
Forbrukstid varmtvann	tvv	12.00	h	Antagelse
Temperatur inn på vannet	Tvv,inn	25.00	°C	Antagelse
Gjennomsnitt forbrukstemperatur (vaskemaskiner, sterilisering og personvask)	Tvv,snittforbruk	50.00	°C	Basert på (Byggforsk, 1004)

Andre antagelser	Betegnelse:	Verdi:	Enhet:	Dokumentasjon:
Fordeling av kjølebehov i driftstid (dag)	fk,i	85.0 %	%	Antagelse
Fordeling av kjølebehov utenfor driftstid (kveld/natt)	fk,u	15.0 %	%	Antagelse
Sykehuset åpner	s,på	7.00		Antagelse
Sykehuset stenger	s,av	17.00		Antagelse

Bygningskroppen	Betegnelse:	Verdi:	Enhet:	Dokumentasjon:
Bredde satellittklinikk		14.11	m	(Øwre, J., e-post 2)
Dybde satellittklinikk		28.79	m	(Øwre, J., e-post 2)
Høyde satellittklinikk		2.59	m	(Øwre, J., e-post 2)
Volum satellittklinikk		1052.35	m ³	Beregnet
<i>Areal satellittklinikk</i>				
Areal tak/gulv	Asat	406.16	m ²	(Øwre, J., e-post 2)
Areal sørvendt vegg	Asv	36.56/74.58	m ²	(Øwre, J., e-post 2) Før tiltak/etter tiltak.
Areal vestvendt vegg	Avv	74.58/36.56	m ²	(Øwre, J., e-post 2) Før tiltak/etter tiltak.
Areal nordvendt vegg	Anv	36.56/74.58	m ²	(Øwre, J., e-post 2) Før tiltak/etter tiltak.

Areal østvendt vegg	Aøv	74,58/36,56	m ²	(Øwre, J., e-post 2) Før tiltak/etter tiltak.
<i>Vindusareal:</i>				
Andel vindu sørvendt vegg	av,s	0,00/11,26	%	Antatt fra Figur 5.1. Før tiltak/etter tiltak.
Andel vindu vestvendt vegg	av,v	11,26/0,00	%	Antatt fra Figur 5.1. Før tiltak/etter tiltak
Andel vindu nordvendt vegg	av,n	13,13/11,26	%	Antatt fra Figur 5.1. Før tiltak/etter tiltak
Andel vindu østvendt vegg	av,ø	11,26/0,00	%	Antatt fra Figur 5.1. Før tiltak/etter tiltak

Elektrisk last - Elektrisk energi- og effektbehov	Betegnelse:	Verdi:	Enhet:	Dokumentasjon:
<i>Belysning</i>				
Effektbruk belysning sykehus	pbel	8	W/m ²	(NS 3031, 2007, Tabell A.1, sykehus: 8 W/m ²)
Effektbruk belysning i driftstid	pbel,i	5	W/m ²	Redusert fra standard, se vedlegg lastprofiler
Effektbruk belysning utenfor driftstid	pbel,u	0	W/m ²	Se vedlegg lastprofiler
Tid belysning i driftstid	tbel,i	16	h/døgn	(NS 3031, 2007, Tabell A.1, sykehus: 8 W/m ²)
Tid belysning utenfor driftstid	tbel,u	8	h/døgn	Beregnet fra antatt lastprofil
<i>Utstyr</i>				
Effektforbruk utstyr sykehus	puts	8	W/m ²	(NS 3031, 2007, Tabell A.1, sykehus: 8 W/m ²)
Effektbruk utstyr sykehus i driftstid	puts,i	5	W/m ²	Redusert fra standard, se vedlegg lastprofiler
Effektbruk utstyr sykehus utenfor driftstid	puts,u	2	W/m ²	Se vedlegg lastprofiler
Tid utstyr i full drift	tuts,i	10	h/døgn	Beregnet fra antatt lastprofil
Tid utstyr utenfor full drift	tuts,u	10	h/døgn	Beregnet fra antatt lastprofil
<i>Pumping av vann i kjølesystem</i>				
Spesifikk pumpeeffekt	SPP	0,60	kW/(l/s)	(NS 3031, 2007, Tabell I.1, kjøøl)
Temperaturdifferanse i tur/retur væskekrete i kjøleanlegg	ΔT_{kp}	6	K	(NS 3031, 2007, Tabell I.3, kjøøl i vent.)
Driftstid pumpe i kjøleanlegg dagtid	tkp,i	12	h/døgn	Beregnet fra antatt lastprofil
Driftstid pumpe i kjøleanlegg kveld/natt	tkp,u	12	h/døgn	Beregnet fra antatt lastprofil
<i>Vannbehov og energibehov til vannpumping</i>				
Liter vann per dag per ansatt		40	L/(dag pers)	(Midtlund, S., e-post 3)
Liter vann per dag per sengepasient		50	L/(dag pers)	(Midtlund, S., e-post 3)
Liter vann behov per dagpasient		5	L/(dag pers)	(Midtlund, S., e-post 3)
Liter vann per pers per dag for normale toaletter		20	L/(dag pers)	(Midtlund, S., e-post 3)
Liter vann til oppvask og klesvask		2	L/(dag pers)	Antatt
Pumpehøyde for vannpumpe [m]	ΔH_p	150	m	Antatt
Driftstid vannpumper i drift	tvp,i	10	h/dag	Antatt fra klokken 08.00 til 18.00
<i>Vifter i ventilasjonssystem</i>				
SPF,i		2	kW/(m ³ /s)	(NS 3031, 2007, Tabell B.1, sykehus)
SFP,u		1	kW/(m ³ /s)	(NS 3031, 2007, Tabell B.1, sykehus)

Termisk last - termisk energi- og effektbehov				
<i>Transmisjon</i>				
U-verdi tak	Utak	0,37	W/m ² K	(web 14, Containex)
U-verdi gulv	Ugulv	0,54	W/m ² K	(web 14, Containex)
U-verdi vegg	Uvegg	0,59	W/m ² K	(web 14, Containex)
U-verdi vindu	Uvind	2,40	W/m ² K	(web 14, Containex)
U-verdi vindu ekstra isolert		1,10	W/m ² K	(web 14, Containex)
<i>Infiltrasjon</i>				
Infiltrasjon, lekkasjetall, n		0,20	1/h	(Dokka, K. A., e-post 5)
<i>Ventilasjon og vifter i ventilasjonssystem</i>				
Spesifikk ventilert luftmengde i driftstid	Vvent,i	7,00	m ³ /(m ² *h)	(NS 3031, 2007, Tabell A.1, sykehus 10 m ³ /(m ² *h), antatt noe lavere til 7)
Spesifikk ventilert luftmengde utenfor driftstid	Vvent,u	1,00	m ³ /(m ² *h)	(NS 3031, 2007, Tabell A.1, sykehus 1 m ³ /(m ² *h))
Driftstid full ventilasjon	tvent,i	12	h/døgn	(NS 3031, 2007, Tabell A.1, sykehus norsk 16h, antatt 12)
Driftstid delvis ventilasjon	tvent,u	12	h/døgn	Beregnet
Interntilskuddberegninger:				
<i>Solskjerming av vinduer</i>				
Solfaktor	S	0,70		(Arvid Dalehaug, høst 2006)
Solavskjerming	a	0,60		(Arvid Dalehaug, høst 2006)
<i>Personer i bygget - brukes og til beregninger av vannbehov</i>				
Antall ansatte per døgn	a,ap	6	personer	(Øwre, J., e-post 2)
Antall sengeliggende pasienter per døgn	a,sp	4	personer	(Øwre, J., e-post 2)
Antall dagpasienter per døgn	a,dp	35	personer	(Øwre, J., e-post 2)
Antall dagpasienter kontinuerlig	d,p	2	personer	Beregnet
Antall mennesker i bygningen til enhver tid t, p	a,p	12	personer	Beregnet
Totalt antall personer hver dag	a,tp	45	personer	Beregnet
Total varmeavgivelse per person	pp	90	W/pers	(Hanssen, Thue, Skarstein, Gjerstad & Novakovic, 1996)
Antall timer åpent sykehus	tpers,i	10	h/døgn	Beregnet ut fra åpningstider

Strålingsdata - Solinnstråling gjennom vinduer [kWh/m² dag]													
	Jan.	Febr.	Mars	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.	Årlig snitt
Flate som vender mot sør (ekvator)	3,90	3,18	1,90	1,33	1,35	1,40	1,35	1,35	1,57	2,71	3,73	4,23	2,33
Flate som vender mot vest	2,97	3,11	2,97	3,07	3,13	2,93	2,74	3,00	3,20	3,03	3,00	2,94	3,01
Flate som vender mot nord	1,26	1,43	1,42	1,93	3,13	3,37	2,90	2,32	1,50	1,35	1,33	1,32	1,94
Flate som vender mot øst	2,97	3,04	2,97	2,87	3,16	2,93	2,74	2,90	3,27	3,13	2,97	3,03	3,00

Dokumentasjon: (Sandgren, J., e-post 5), tilsendt klimadata beregnet med Meteonorm.

Gjennomsnittlig lufttemperatur ute, Tomg [°C]												
Jan.	Febr.	Mars	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.	Årlig snitt
26	27,20	27,6	27	25,6	24,6	23,6	23,8	24,5	25,2	25,3	25,4	25,5
Dokumentasjon: (Sandgren, J., e-post 5), tilsendt klimadata beregnet med Meteonorm.												

Vedlegg 5: Beskrivelse av komponenter og data brukt i TRNSYS simuleringene

Til kapittel 6.3 - Lastmodellen

Komponentbeskrivelser:

En generell beskrivelse av TRNSYS komponentene som er brukt i modellen.

Komponent navn	Typenummer i TRNSYS	Beskrivelse
Kalkulator	Equation	Brukes til å utføre matematiske operasjoner, f. eks beregning av virkningsgrad ut fra varierende verdi eller enhetsomforminger.
Dataleser med strålingsbehandler	Type 109	Leser times- verdier av klimadata for bestemt lokasjon og generer lufttemperatur og solinnstrålingsdata, samt vind og fuktighetsdata.
Tidsavhengig Forcing Function	Type 14h	Sender ut bestemte verdier avhengig av tid på døgnet. Verdiene oppgis uten spesifikk enhet. Gir lastprofilene som output.
Tidsavhengig Forcing Function for vannmengder	Type 14b	Sender ut bestemte verdier for vannmengder avhengig av tid på døgnet. Gir lastprofilene for oppvarming av varmtvann som output.
Tidsavhengig Forcing Function for belysning	Type 14d	Sender ut bestemte verdier for effektforbruk til belysning avhengig av tid på døgnet. Gir lastprofilen som output.
Kvantitets Integrator	Type 24	Integrerer opp verdier over en tidsperiode. Brukes til å beregne energibehov for et gitt tidsrom ut fra lasten innenfor tidsrommet (effektbehovet).
Printer	Type 25a	Printer output verdier fra simuleringene. Brukes til å sende simuleringresultater til Excel for vurdering og resultatoppsummering.

Databeskrivelser:

Dataleser med strålingsbehandler - "Klimadata"

Parameter:	Verdi:	Forklaring:
Data Reader Mode	2	Leser standard Meteorologisk datafiler.
Sky Model for diffuse radiation	4 (Perez metoden)	Beskriver hvilken beregningsmodell som brukes til å beregne diffus stråling. Perez anbefalt som mest nøyaktig.
Tracking Mode	1	Beskriver om flaten følger solas bevegelse, 1 betyr at flaten står stille.

Input:	Verdi:	Enhet:	Forklaring:
Bakkerefleksjon	0,2		Default
Helning flate 1	90	°	
Asimut vinkel flate 1	0	°	Retningen flaten vender mot
Helning flate 2	90	°	
Asimut vinkel flate 2	90	°	
Helning flate 3	90	°	
Asimut vinkel flate 3	180	°	
Helning flate 4	90	°	
Asimut vinkel flate 4	270	°	

Output:	Enhet:	Forklaring/bruksområde:
Omgivelses temperatur	°C	
Total stråling på flate 1	kJ/m^2	Brukes til å beregne solinnstråling gjennom vinduene
Total stråling på flate 2	kJ/m^2	
Total stråling på flate 3	kJ/m^2	
Total stråling på flate 4	kJ/m^2	

Tidsavhengig Forcing Function - "pvent/deltaT"

Navn:	Simuleringsverdi:	Enhet:	Forklaring:	Dokumentasjon:
Ventilasjon dagtid	937,86	W/K	Gir varmeeffekttap ved ventilering når den ganges med forskjell mellom ute -og innetemperatur	Inndata for ventilasjon Excel Vedlegg 5
Ventilasjon kveld/natt	133,98	W/K		

Tidsavhengig Forcing Function - "ppers"

Navn:	Simuleringsverdi:	Enhet:	Forklaring:	Dokumentasjon:
Persontilskudd dag	2,659	W/m ²	Gir varmetilskudd for personer pr m ² satellittklinikk	Lastprofil, kapittel 6.2, delt på Asat
Persontilskudd kveld/natt	2,216	W/m ²		

Tidsavhengig Forcing Function - "puts"

Navn:	Simuleringsverdi:	Enhet:	Forklaring:	Dokumentasjon:
Utstyr dag	5	W/m ²	Gir elektrisk effektbehov til utstyr og varmeeffekt avgitt fra utstyr pr m ² satellittklinikk	Lastprofil delt på Asat og Vedlegg 5
Utstyr kveld/natt	2	W/m ²		

Tidsavhengig Forcing Function - "Ppk/Asat"

Navn:	Simuleringsverdi:	Enhet:	Forklaring:	Dokumentasjon:
Dag	0,57	W/m ²	Gir elektrisk effektbehov til vannpumping i kjølekrets pr m ² satellittklinikk	Lastprofil, kapittel 6.2, delt på Asat
Natt/kveld	0,101	W/m ²		

Tidsavhengig Forcing Function - "Pvp/Asat"

Navn:	Simuleringsverdi:	Enhet:	Forklaring:	Dokumentasjon:
Dag	0,284	W/m ²	Gir elektrisk effektbehov til vannpumping pr m ² satellittklinikk	Lastprofil, kapittel 6.2, delt på Asat
Natt/kveld	0	W/m ²		

Tidsavhengig Forcing Function - "Pvift/Asat"

Navn:	Simuleringsverdi:	Enhet:	Forklaring:	Dokumentasjon:
Dag	3,889	W/m ²	Gir elektrisk effektbehov til vifter I ventilasjonsanlegg pr m ² satellittklinikk	Lastprofil, kapittel 6.2, delt på Asat
Natt/kveld	0,278	W/m ²		

Tidsavhengig Forcing Function - "pbel"

Navn:	Simuleringsverdi:	Enhet:	Forklaring:	Dokumentasjon:
Dag	5	W/m ²	Gir elektrisk effektbehov til belysning og varmeeffekt avgitt fra belysning pr m ² satellittklinikk	Lastprofil, kapittel 6.2, delt på Asat
Natt/kveld	0	W/m ²		

Tidsavhengig Forcing Function - "Varmtvann"

Navn:	Simuleringsverdi:	Enhet:	Forklaring:	Dokumentasjon:
Dag	51,06	kg/h	Beregner effektbehov varmtvannsoppvarming ut fra gitte temperaturer og spesifikk varmekapasitet for vann.	Inndata Excel for varmtvann, vedlegg 5.
Natt/kveld	0	kg/h		

Kalkulator - "FasteVerdier"

Navn:	Simuleringsdata:	Enhet:	Forklaring:	Dokumentasjon/datagrunnlag:
Asat	406	m ²	Gulvareal satellittklinikken	Vedlegg 5 input Excel
Cpvann	4,195	kJ/kg*K	Spesifikk varmekapasitet vann	(Moran & Shapiro,)
Tetthet vann	973,5	kg/m ³		
Tut varmtvann	50	°C	Gjennomsnittverdi på forbrukt varmtvann	Antatt, se kapittel 5.5 Kartlegging av vannforbruk
Tinnvann	25	°C	Antatt verdi på vann hentet fra grunnen	Vedlegg 4
Dieselpri	6,43	kr/L		(Øwre, J., e-post 2)
LHV_D_kWh/L	10,11	kWh/L	Nedre brennverdi diesel (36,4 MJ/L)	(web 16, BFIN)
TernVirknGradDiesel	30	%	Termisk virkningsgrad dieselaggregat Andel utnyttbar varme som produseres når diesel forbrenner	(Finden, samtale 5)
VirkningsgradBoiler	0,9			(Edwardsen, J., e-post 10)
VirknGradAb skjoler	0,68			(web 20, ClimateWell)
Asf	Variierende	m ²	Skal se på hvordan variasjon i totalt solfangerareal påvirker totalt dieselforbruk.	
AntFangereSer	1			
Vmassestrøm SF	650	kg/(h*m ²)	Brukt samme verdi som testbetingelser for solfangeren, se vedlegg 7. Antatt at massestrømmen gjelder per m ² solfanger koblet i parallell og at hvert solfangersystem alltid har 10 m ² solfangere koblet i parallell, noe som utgjør en fast massestrøm i alle simuleringene.	

NPVSER	36	stk.	Antall solceller i serie på en modul	Default
NMSER	13	stk.	Antall moduler i serie totalt	Testet med TRNSYS, trenger 13 stk. for å få spenningen over lastspenningen på 220 Volt.
NMPAR	Variierende	stk.	Antall moduler i parallell totalt	Varieser får å øke totalareal solceller og dermed øke effekten fra solcellene
Amod	0.89	m2		
Asc	$A_{mod} * N_{MSER} * N_{MPAR}$	m2	Totalt solfanger areal	Varieser med antall NMPAR
VirkngradKo nverteringSC	0.9		Beskriver effekttapet når den elektriske effekten overføres fra solcellene til dieselgeneratorkretsen og det lokale elektrisitetsnettet på satellittklinikken.	(Ulleberg, samtale 4)

Kalkulator - "Kjølebergninger"

Denne kalkulatoren brukes til å beregne kjølebehovet til satellittklinikken med utgangspunkt i samme formler som i kapittel 6.1.1 Forutsetninger og metoder, men med times- varierende verdier for solinnstråling og omgivelsestemperatur i stedet for månedlige gjennomsnittsverdier. Likningene brukt til beregningene er oppgitt i vedlegg 3 og gjentas ikke her. Alle verdier brukt for å utføre beregningene er hentet fra vedlegg 4.

Output:	Verdi:	Forklaring:
Innetemperatur	25 °C	Vedlegg 4.
Kjølebehov	Max (varmestrom inn i bygget, 0)	Tatt med i tilfelle utetemperaturen faller nok til å gi bygget et fiktivt varmebehov, dette blir ikke et reelt varmebehov ettersom brukerne og bygget fint kan tåle temperaturer under 25 grader.
COPaircond	2,85- (0,7/40*T _{omg})	Beregning av utetemperaturavhengig virkningsgrad til luftkondisjoneringsanleggene (Brodersen, L., e-post 7)

Kalkulator - "Lastbergninger"

Beregner effektbehov til alt utenom kjøling ut fra forcing funksjonene, summerer ulike kategorier og beregner elektrisk effektbehov til kjøling med luftkondisjoneringsanlegget.

Paircond	Kjølebehov COPaircond	Tatt med få kunne regne ut elektrisk effektbehov til kjøling når kjøling skjer med luftkondisjoneringsanlegg.
Pdgs	Pel + P kjøøl + PVV	Lasten inn på dieselaggregatet ved kjøring av dieselmodellen.

Til kapittel 7.1 - Dieselmodellen:

Komponentbeskrivelse:

En generell beskrivelse av TRNSYS komponentene som er brukt i modellen. De komponentene som allerede er beskrevet for lastmodellen er ikke gjentatt her.

Komponent:	Typenummer i TRNSYS:	Beskrivelse:
Dieselkontroller	102a*	Kontrollfunksjon for en eller flere dieselgeneratorer som opererer i et desentralisert minikraftnett. Kontrolleren bestemmer totalt antall generatorer som til enhver tid trengs for å dekke en beskrevet last. Alle dieselgeneratorene må ha samme effekt og det er en begrensning på fem stykker.
Dieselaggregat	120a*	Matematisk modell for en dieselgenerator basert på empirisk forhold for drivstofforbruk som funksjon av effekt ut.

* Ikke original TRNSYS type. Designet av Øystein Ulleberg ved IFE.

Databeskrivelser:

De databeskrivelsene som allerede er beskrevet for lastmodellen er ikke gjentatt her.

Dieselkontroller

Parameter:	Simuleringsdata:	Beskrivelse:	Dokumentasjon/datagrunnlag:
nmaks	1	Minste antall dieselaggregater	Default
nmin	5	Maksimalt antall dieselaggregater	Default
Prated	6 000 W	Nødvendig ytelse til hvert dieselaggregat.	Maks last delt på 5 dieselaggregat. Varier med lasten. Maks last inn på dieselaggregat ved Dieselmodellen er 17.5 kW. Se resultat dieselmodellen, tabell 7. Minste aggregat tilgjengelig med automat start er 6 kW (Søberg, samtale 6).
xlow	0,5	Laveste effektpunkt	Default
Xup	0,85	Høyeste effektpunkt før flere dieselaggregater startes.	Default (Gir maksimaleffekt fra hvert aggregat lik 5,05 kW).

Input:	Simuleringsdata:	Beskrivelse:	Dokumentasjon/datagrunnlag:
Pload	Pelektrisk + Pkjøling/COPaircond + PVV	Den elektriske lasten som dieselaggregatene skal dekke.	Beregnes under simuleringen ved tilkobling til lastmodellen.

Output:	Dokumentasjon/datagrunnlag:
Pdegs	Sett punkt for hvert av dieselaggregatene under drift.
Ndegs	Antall dieselaggregat i drift for å dekke beskrevet last.

Dieselgenerator

Parameter:	Simulerings-data:	Beskrivelse:	Dokumentasjon/datagrunnlag:
Fueltype	1	Drivstofftype	Dieselmodell
Pmax	6000 W	Maks last pr aggregat	Maks last delt på 5 dieselaggregat. Varier med lasten. Maks last inn på dieselaggregat ved Dieselmodellen er 16 kW. Se resultat dieselmodellen, tabell 7. Minste aggregat tilgjengelig med automat start er 6 kW (Søberg, samtale 6).
Pmin	900 W	Minimums last pr aggregat	Minimumslast er ca. 0,9 kW med lastmodellen. Når solcellene settes inn, må denne senkes, eller en minimal effekt inn i "Dieselkontroll" bestemmes for å unngå feilmelding.
Prated	4500 W	Normal ytelse pr aggregat	

Input:	Simulerings- data:	Beskrivelse:	Dokumentasjon/datagrunnlag:
Pset	Pdegs	Ytelse per aggregat for å dekke last	Kontroller
Nunits	Ndegs	Antall aggregater for å dekkes last	Kontroller

Output:	Enhet:	Beskrivelse:
Ptotal	W	Total levert elektrisk effekt til last.
V_liq	L/h	Drivstoff forbruk
ETA_fuel	kwh/L	Drivstoff effektivitet
ETA_el	[-]	Elektrisk effektivitet
Qwaste	W	Total varme avgitt fra generatorene under drift, omtrent halvparten av denne verdien kan utnyttes som varme ved 85 C.

Kalkulatorer:

"Resultatberegner"

Input:	Enhet:
Dieselpris	Kr/L
Total mengde diesel	L/år
LHV_D_kWhprL	kWh/L
TermVirknGradDiesel(Aggr.)	%

Output:	Formel:	Enhet:
Årlig dieselkostnad	Dieselpris * Total mengde diesel	kr/år
Forbrukt dieselenergi	Total mengde diesel * LHV_D_kWhprL	kWh/år
Utnyttbar spillvarme	Forbrukt dieselenergi * TermVirknGradDiesel(Aggr.)	kWh/år

”Dieselresultat”

Kalkulatoren brukes kun til omforming fra watt til kilowatt.

Integratoren ”DGS resultat”

Brukes til å integrere opp total forbrukt dieselmengde og årlige energibehov.

Printeren ”Resultater”

Brukes til å overføre alle resultatene til et Excel ark.

Til kapittel 8.1 – Alternativ 1:

Komponentbeskrivelser:

En generell beskrivelse av TRNSYS komponentene som er brukt i modellen. De komponentene som allerede er beskrevet for lastmodellen og dieselmodellen er ikke gjentatt her.

Komponent:	Typenummer i TRNSYS:	Beskrivelse:
Varmelager "Storage tank, variable inlets, uniform losses"	Type4c	Beskriver termisk ytelse til et væskefylt energilager med termisk stratifisering (lagdeling/sjikting). Stratifiseringen er definert ved $N \leq 100$, der N er antall miksede volumenheter med spesifikke temperaturer. Hvis $N = 1$ modelleres tanken som en fullt mikset tank uten stratifisering. Tanken har variable innganger slik at vannstrømmene kan føres inn ved best mulig tilpasset temperatursjikt. Har innganger for varm væske strøm fra en varmekilde og kald væskestrøm fra en varmelast.
Kontroller "On/Off Differensial kontroller"	Type2b	Genererer en kontrollfunksjon med verdi 0 eller 1 ved å vurdere avvik mellom to temperaturer som tas som input. Den nye verdien av kontrollfunksjonen avhenger av verdien på kontrollfunksjonen ved forrige tidssteg.
Sammen "Tee Piece"	Type 11h	Mikser sammen to massestrømmer til en.
Dele "Controlled flow diverter "	Type 11f	Splitter en væskestrøm til to på bakgrunn av et kontrollsignal, Y. $m1 = \text{minn} * (1-Y)$ og $m2 = \text{minn} * Y$. Brukes her til å kortslutte væskestrømmen i den termiske kretsen utenom varmelageret dersom temperaturen fra den termiske kretsen er høyere enn temperaturen ut av lagertanken.
Boiler	Type6	Tar inn en væskestrøm med gitt massestrøm og temperatur, og øker temperaturen til ønsket temperatur ved å tilføre varme. Det er her mulighet til å legge inn en virkningsgrad på dieselkjelen slik at det blir tatt hensyn til tap i kjelen. Brukes til å simulere en dieselkjørt kjel som skal være back -up for absorpsjonssystemet.

Databeskrivelser:

De databeskrivelsene som allerede er beskrevet for lastmodellen og dieselmodellen er ikke gjentatt her.

”Varmelager” - Storage tank

Parameter:	Simulerings-data:	Beskrivelse:	Dokumentasjon/dagtagrunnlag:
Variabel inlet	2	Massestrømmen kommer inn i det sjiktet i tanken der temperaturen er mest lik temperaturen på massestrømmen fra DGS.	Default
Tank Volum	m^3	Skal varieres i simuleringen	
Spesifikk varmekapasitet væske i lager	$4,18 \text{ kJ/kg} * \text{K}$	Vann	(Moran og Shaprio)

Tetthet væske i lager	988 kg/m ³	Vann	(Moran og Shaprio)
Tapfaktor tank	2,5 kJ/h * m ² * K		Default
Høyde på noder (6stk)	0,3 m	Høyde på de antatte sjiktene, høyden på tanken tilsvarer summen av høyden på nodene	Default
Boiling point 100 C		Dersom temperaturen i tanken overskrider boiling point, må damp avgis for å lette på trykket.	Default
Antall varmeelementer	2	Brukes ikke	Default
Antall noder i tank	6		Default

Input:	Simulerings- data:	Beskrivelse:	Enhet:
Hot-side temperatur	TDGS fra "DGSresultat"	Temperaturen inn fra den varmeavgivende kretsen	C
Hot-side flowrate	mDGS fra "DGSresultat"	Massestrømmen inn fra den varmeavgivende kretsen	kg/h
Cold-side temperatur	T2 ut "Dele"	Temperaturen på vannet som skal hente varme fra varmelageret	C
Cold-side flowrate	m2 ut "Dele"	Massestrømmen på vannet som skal hente varme fra varmelageret	kg/h
Environmen temp.	Fra "Klimadata"	Omgivelsestemperaturen der tanken står, antatt ute i på den siden det er mest sol for å få minst mulig varmetap.	C
Kontroll signal varmeelement 1	0	Bruker ikke varmeelementene, men en boiler etter tanken	
Kontroll signal varmeelement 2	0	Bruker ikke varmeelementene, men en boiler etter tanken	

Output:	Enhet:	Beskrivelse:
Temperature to heat source	C	Temperatur på massestrøm fra tanken og til "DGSresultat, brukes til å beregne mDGS
Flowrate to heat source	kg/h	Massestrøm til varmekilden DGS, er lik mDGS som beregnes fra Qnyttbart fra Diesellaggregatet.
Temperature to load	C	Temperatur på massestrømmen ut av varmelageret til den termiske kretsen.
Flowrate to load	kg/h	Massestrøm til termisk krets, bestemt, lik massestrøm fra termisk krets.
Thermal losses	kJ/h	Varmetap til omgivelsene gjennom tankens vegger.
Energy to load	kJ/h	Effekt som leveres til lasten, tilsvarer $Q = m_{tillast} * C_p * (Temp_{tillast} - Temp_{fra\ last})$
Internal energy change	kJ	Endring i energiinnholdet i varmelageret.
Aux energy rate	kJ/h	Effekt tilført fra elektriske varmeelementer i varmelageret, er lik null.

Energy from to heat source	kJ/h	Effekt levert fra varmekilden. Tilsvarende effekten som kan leveres fra diesellaggregatet minus den effekten som tapes når "Vkontroll" stopper varmeoverføringen fordi varmelageret er fullt.
Average tank temperature	C	Gjennomsnittstemperatur i varmelageret
Temp. in node 1+-1	C	Temperatur i noder
Temp. in node 1+-2	C	Temperatur i noder
Temp. in node 1+-3	C	Temperatur i noder
Temp. in node 1+-4		Temperatur i noder
Antall noder i tillegg til topp og bunn	4	Default

Boiler

Parameter:	Simuleringsverdi:	Forklaring:
Maksimum varmerate	100 kW	Høy for å sikre nok varme til at væskestrømmen alltid holder 85 C ut av boileren så lenge det er et varmebehov i den termiske kretsen. Maks effektbehov til en absorpsjonskjølemaskin med virkningsgrad på 68 % med kjølelastresultat beskrevet i Lastmodellen er 36 kW. 100 kW er satt bare for å være helt sikker, utgjør ingen forskjell i dieselforbruk.
Spesifikk varmekapasitet væske	4,195 kJ/kg * K	For vann (Moran & Shapiro, 2004)
Varmetapsfaktor fra boiler	0 kJ/h * K	Default
Effektivitet boiler	92 %	Hentet fra "FasteVerdier" (Edwardsen, J., e-post 10)

Input:	Verdi:	Beskrivelse:
Temperatur væske inn	C	Fra varmelager
Massestrøm væske inn	kg/h	Fra varmelager
Kontroll funksjon	1	Alltid på, så lenge det er en væskestrøm inn
Sett punkts temperatur	85 C	
Omgivelsestemperatur	C	Fra "Klimadata"

Output:	Enhet:
Temperatur væskestrøm ut	C
Massestrøm væskestrøm ut	kg/h
Effekt forbruk i boiler	kJ/h
Varmetap fra boiler	kJ/h
Varmeeffekt levert til væskestrøm	kJ/h

"Dele" – Diverter

Input:	Enhet:	Forklaring:
Temperatur inn	C	Fra boiler

Massestrøm inn	kg/h	Fra boiler
Kontrollsignal	Y	[0, 1]

Output:	Enhet:	Forklaring:
Temperatur utgang 1	C	Til kortslutningskrets
Massestrøm utgang 1	minn * (1-Y) [kg/h]	Til kortslutningskrets
Temperatur utgang 2	C	Til varmelager
Massestrøm utgang 2	Minn * Y [kg/h]	Til varmelager

”Sammen” – T-stykke

Input:	Enhet:	Forklaring:
Temperatur inngang 1	C	Fra kortslutningskrets
Massestrøm inngang 1	kg/h	Fra kortslutningskrets
Temperatur inngang 2	C	Fra Varmelager
Massestrøm inngang 2	kg/h	Fra Varmelager

Output:	Enhet:	Forklaring:
Temperatur ut	C	Til boiler
Massestrøm ut	kg/h	Til boiler

”Vkontroller” - kontroller

Parameter:	Verdi:	Forklaring:
No. of oscillations	5	Default
High limit cut-out	83 °C	Dersom en målt temperatur går over denne stoppes også kretsen. Er ikke i bruk i simuleringene.

Input:	Verdi:	
Øvre grensetemperatur, Th	TDGS (85C)	
Nedre grensetemperatur, Tl	Tutvarmelager	
Overvåkningstemperatur, Tm		Ikke i bruk. Kan måle en temperatur her, og dersom denne temperaturen overstiger High limit cut-out temperaturen fra parameter, sendes kontroll signalet 0 ut.
Input kontroll signal	lik output kontroll signal	Styringsmodell for kontrollerer
Øvre dødbånd	2	Dersom temperaturforskjellen blir mindre enn øvre dødbånd (Th - Tl) sendes kontrollsignalet 0 ut.
Nedre dødbånd	2	

Output:	Verdi:	Forklaring:
Kontrollsignal	[0, 1]	0 hvis temperaturen ut av varmelageret er mindre enn 2 grader lavere enn temperaturen på varmen fra dieselaggregatet. 1 så lenge det er mer enn 2 graders forskjell. Gir output et tidssteg etter temperaturen er endret.

”TKontroll” - kontroller

Parameter:	Verdi:	Forklaring:
No. of oscillations	5	Default

High limit cut-out	100 °C	Dersom en målt temperatur går over denne stoppes også kretsen. Er ikke i bruk i simuleringene.
--------------------	--------	------------------------------------------------------------------------------------------------

Input:	Verdi:	Forklaring:
Øvre grensetemperatur, Th	T °C	Temperatur ut av varmelager til termisk krets.
Nedre grensetemperatur, Tl	Tinnvarmelager	Temperatur inn nederst i tanken fra termisk krets.
Overvåkingstemperatur, Tm		Ikke i bruk. Kan måle en temperatur her, og dersom denne temperaturen overstiger High limit cut-out temperaturen fra parameter, sendes kontroll signalet 0 ut.
Input kontroll signal	lik output kontroll signal	Styringsmodell for kontrollerer
Øvre dødbånd	0,5	Dersom temperaturforskjellen blir mindre enn øvre dødbånd (Th - Tl) sendes kontrollsignal 0 ut.
Nedre dødbånd	0,5	

Output:	Verdi:	Forklaring:
Kontrollsignal	[0, 1]	0 hvis temperaturen ut av varmelageret er mindre enn 2 grader lavere enn temperaturen på varmen fra dieselaggregatet. 1 så lenge det er mer enn 2 graders forskjell. Gir output et tidssteg etter temperaturen er endret.

Printere og integratorer:

Printeren "Overvåking"

Tar inn alle temperaturer, massestrømmer og effekter for hver av komponentene i de to kretsene. Brukes til å vurdere modellen og drive feilsøking.

Integratoren "Resultatinter"

Integrerer opp effekter til energier og dieselforbruk per time til årlig dieselforbruk. Integratoren integrerer slik at verdien i siste time av året (h = 8760) gir årlig total.

Printeren "ResultaterIA"

Gir alle ønskede resultater, presentert i modellens resultat kapittel.

Kalkulatorer:

"DGSresultat"

Input:	Verdi:	Enhet:
Brenselflytende	Output fra Dieselaggregat	L/h
LHV_D_kWhprL	Nedre brennverdi Diesel. Hentet fra "FasteVerdier"	kWh/L
TermiVirknGradDieselAggr	Hentet fra "FasteVerdier"	%
Cp vann	Hentet fra "FasteVerdier"	kJ/kg * K
TinnDGS	Temperatur på massestrøm ut av varmelager på vei til dieselaggregatet	°C
Kontroll	Kontrollsignalet fra Vkontroll	[0, 1]

Output:	Formel/bruk:	Enhet:
Diesel forbruk	Sendes til printer	L/h
Qnyttbart	Brenselflytende * LHV_D_kWhprL * TermiVirknGradDieselAggr	kW
TutDGS	85	°C
Delta T *	max((TutDGS - TinnDGS), 2)	°C
mDGS **	min((Qnyttbart*3600)/(Cp vann* DeltaT)*Kontroll, 2000)	kg/h

* Passer på at den temperaturforskjellen som brukes til å beregne massestrømmen i varmekretsen aldri blir lavere enn 2 °C. Dette gjøres for å forhindre feilmeldinger som oppstår fordi kontrollsignalet først gir null-verdien simuleringstidstrinnet etter av for høy verdi er målt.

** Setter en maks verdi på 2000 kg/h for forhindre at massestrømmen blir unormalt høy når varmeavgivelsen fra dieselaggregatet er høy, og uttaket fra den termiske kretsen er lav. Dette må også til for å forhindre feilmelding av samme årsak som nevnt i *.

”Omformer”

Gjør om effektverdier fra kJ/h til kW før integrasjon og printer.

$$P \text{ [kW]} = P \text{ [kJ/h]} / 3600 \text{ [s/h]}$$

”Termiskrets”

Input:	Verdi:	Enhet:
Ttillasten	Temperaturen etter boiler, skal være 85 C så lenge QtermisklastkW er større enn null.	°C
PkjolkW	fra "Lasteffekt"	kW
PVVkW	fra "Lasteffekt"	kW
VirknGradAbskjoler	fra "FasteVerdier"	%

Output:	Formel/bruk:	Enhet:
Kjolebehov	Til integrasjon og printer	kW
PVV	Til integrasjon og printer	kW
Qabs	PkjolkW/VirknGradAbskjoler. Varme som må leveres til absorpsjonskjøleren for at den skal kunne produsere nok kjøling til å dekke kontinuerlig behov.	kW
Qtermisklast	Qabs + QVV	kW
Tfralasten	Ttillasten - 10. Antatt at absorpsjonskjøler senker temperaturen på det varme vannet med 10 grader.	C
mlasten	QtermisklastkW/((Ttillasten - Tfralasten)*4,18)*3600*	kg/h

* Det er antatt at overføringstap mellom varmeveksler med varmtvannsbereider og absorpsjonskjølemaskin er null, dvs. at all varmen overføres.

”DieseliBoiler”

Input:	Verdi:	Enhet:
EforbrukiboilerenkWh	Hentet fra outputen i boileren som beskriver hvor mye energi som trengs for å levere gitt mengde energi ved gitt virkningsgrad på kjelen/boileren. Integrert opp til kWh.	kWh/år
LHV_D_kWhprL	Nedre brennverdi diesel, hentet fra "FasteVerdier"	kWh/L

Output:	Formel:	Enhet:
Dieselforbruk_boilprAr	EforbrukiboilerenkWh/LHV_D_kWhprL	L/År

Til kapittel 8.2 – Alternativ 2:

Komponentbeskrivelse:

En generell beskrivelse av TRNSYS komponentene som er brukt i modellen. De komponentene som allerede er beskrevet for lastmodellen, dieselmodellen og alternativ 1 er ikke gjentatt her.

Komponent:	Typenummer i TRNSYS:	Beskrivelse:
Vakuumsolfanger – Evacuated Tube Solar Collector	Type 71	Termisk solfanger for omgjøring av solinnstråling til termisk energi, varme. Bruker samme formel for effektivitetsberegning for vakuumsolfangere som til plane væske solfangere, se Formel 3. Brukeren må legge inn standard konstanter som kan hentes fra resultatene til en standard test kjørt på en reell solfanger, oppgitt i vedlegg 6.
Varmeveksler – Heat Exchanger with constant effectiveness	Type 91	En varmeveksler med konstant effektivitet. Ved å sette effektiviteten lik en, overføres all varme fra varm til kald væskestrøm.
Pumpe	Type 3b	Pumpen brukes til å kunne starte og stoppe massestrømmen i kretsen når det er ønskelig ut fra temperaturforhold. Pumpen styres med et kontrollsignal mellom 0 og 1. Med de kontrollerne som er brukt i modelleringene her, type 2b, er kontrollsignalet enten 0 eller 1, altså av eller på. Default i pumpe ligger at 5 % av pumpeenergien overføres som varme til massestrømmen som passerer. Dette er også brukt her slik at temperaturen på massestrømmen øker litt gjennom pumpe og tilfører total kretsens varme. Massestrømmen ut av pumpe er gitt som en maksimalt angitt massestrøm (parameter) ganget med kontrollsignalet (0 eller 1).

Databeskrivelser:

De databeskrivelsene som allerede er beskrevet for lastmodellen, dieselmodellen og alternativ 1 er ikke gjentatt her.

Solfanger

Parameter:	Verdi:	Forklaring:
Antall solfangere i serie	AntFangereSer = 1	Hentet fra "FasteVerdier". Burde ha noe å si for temperaturen ut av solfangeren, men har gjort forsøk å ser ingen endringer ved å endre denne verdien.
Areal solfangere	Ast	Hentet fra "FasteVerdier". Er en av verdiene som skal varieres i modellene for å se på endring i totalt dieselforbruk.
Effektivitetsmodus	2	Betyr at de konstante verdiene som er oppgitt i standard testen er målt og oppgitt ut fra gjennomsnittlig temperatur i solfangeren.
Strømningsrate test betingelser	65 L/(h* m ²)	Oppgitt fra produsent og i testpapirer, se vedlegg 6
n ₀	0,717	Oppgitt fra produsent og i testpapirer, se vedlegg 6
a ₁	1,52 kJ/h*m ² *K)	Oppgitt fra produsent og i testpapirer, se vedlegg 6
a ₂	0,085 kJ/h*m ² *K)	Oppgitt fra produsent og i testpapirer, se vedlegg 6

Input:	Verdi:	Forklaring:
Tinn	° C	Temperatur på væskestrømmen fra pumpe og diverteren "Sla_av_Sf".
Minn	kg/h	Massestrømmen fra pumpe og diverteren "Sla_av_Sf".
Omgivelsestemperatur	° C	Lufttemperaturen ute der solfangeren er plassert. Hentes fra "Klimadata" for Kisangani, Kongo.

Total innfallende stråling på horisontal flate	$\text{kJ}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$	Hentes fra "Klimadata" for Kisangani, Kongo.
Diffus innfallende stråling på horisontal flate	$\text{kJ}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$	Hentes fra "Klimadata" for Kisangani, Kongo.
Innfallsvinkel på stråling	$^\circ$	Hentes fra "Klimadata" for Kisangani, Kongo.
Solens senit vinkel	$^\circ$	Hentes fra "Klimadata" for Kisangani, Kongo. Vinkelen mellom vertikalen og synslinjen fra sola.
Solens asimut vinkel	$^\circ$	Hentes fra "Klimadata" for Kisangani, Kongo. Vinkelen mellom lokal meridian og projeksjonen av synslinja til sola på horisontalt plan.
Solfangernes helning	0°	Solfangerne skal ligge på satellittklinikens tak som er flatt.

Output:	Verdi:	Forklaring:
Tut, sf	$^\circ\text{C}$	
mut, sf	kg/h	
Nyttbar energi levert fra solfangeren	kJ/h	Dette er energien som blir levert fra solfangerne til væskestrømmen gjennom dem. Gitt ved formel 3, som $Q = C_p \cdot m \cdot (T_{ut, sf} - T_{inn, sf})$.

Ekstern fil: Solfangeren tar inn en ekstern fil. Denne er hentet fra TRNSYS sitt eget bibliotek og benyttet direkte. Filen er hentet fra: C:\Trnsys16\Examples\Data Files\Type71-EvacuatedTubeSolarCollector-IAMData.dat.

Varmevexsler – "VVDGS"

Parameter:	Verdi:	Forklaring:
Effektivitet	1	Antar at varmeveksleren overfører all varme fra varm til kald væske uten varmetap til omgivelsene.
Spesifikk varmekapasitet varm væske	4,195 $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	Vann ved ca. 80°C . (Moran & Shapiro, 2004)
Spesifikk varmekapasitet kald væske	4,195 $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	Vann ved ca. 80°C . (Moran & Shapiro, 2004)

Input:	Verdi:	Forklaring:
Tinn, varm side	$^\circ\text{C}$	Tut,DGS = konstant 85°C
minn, varm side	kg/h	$m_{DGS} = Q_{nyttbart} / (c_{p\text{vann}} \cdot (T_{ut, DGS} - T_{inn, DGS}))$
Tinn, kald side	$^\circ\text{C}$	T1, ut av diverter "Dele_Dgs_Sf"
minn, kald side	kg/h	m1, ut av diverter "Dele_Dgs_Sf"

Output:	Verdi:	Forklaring:
Tut, varm side	$^\circ\text{C}$	Tinn, DGS
mut, varm side	kg/h	minn, DGS
Tut, kald side	$^\circ\text{C}$	Tinn i t-stykket "Samle_Dgs_Sf"
mu, kald side	kg/h	minn i t-stykket "Samle_Dgs_Sf"
Varmeoverføringsrate	kJ/h	Varme overført fra varm til kald side, altså fra diesellaggregatets nyttbare varme til den varmeavgivende kretsen (merket uthevet cyan).

”SFPumpe” - Pumpe

Parameter:	Verdi:	Forklaring:
Maksimal massestrøm	Vmassestrom kg/h	Hentet fra "FasteVerdier".
Spesifikk varmekapasitet væske	4,195 kJ/(kg*K)	Gjelder vann ved ca. 80 C. (Moran & Shapiro, 2004)
Maksimal effekt pumpe	1kW	Default, testet og er høy nok til at pumpa kan levere ønsket massestrøm.

Input:	Enhet:	Forklaring:
Tinn	C	Ut av varmelager til varmeavgivende krets (solfanger krets)
minn	kg/h	Ut av varmelager til varmeavgivende krets (solfanger krets)
Kontrollsignal		Fra "Abspasser"

Output:	Enhet:	Forklaring:
Tut	C	"Til Sla_av_Sf"
mut	kg/h	"Til Sla_av_Sf"
Pel, pumpe	kJ/h	Brukes ikke i modelleringen. Er antatt så liten av den er ubetydelig og valgt og se bort i fra fordi den vil skape problemer i modelleringen dersom den skal legges til lasten fordi trnsys ikke regner dynamisk men statisk time for time, se teori om trnsys.

Kontrollere:

”Abspasser”:

Måler temperaturen på væskestrømmen ut i den termiske kretsen fra varmelageret (markert uthevet blått) og sender 0 (stoppsignal) til pumpa dersom temperaturer til varmelageret er større enn den maksimale temperaturen absorpsjonskjølemaskinen tåler (120 °C, se, vedlegg 6).

”SF_Kortslukrets”:

Kontrollerer om væskestrømmen ut fra varmelageret til den varmeavgivende kretsen (markert uthevet cyan) skal sendes gjennom solfangeren, eller kjøres rundt (kortsluttes). Væskestrømmen skal gjennom kortslutningskretsen dersom Tut solfanger er større enn solfangerens stagnasjonstemperatur (216 °C, se vedlegg 6), eller hvis Tut solfanger er mindre enn Tinn solfanger (dvs. at solfangeren ikke produserer noe varme). Dødbånd er 2 °C.

”DGSKontr”:

Kontrollerer om væskestrømmen skal gjennom dieselaggregat varmeveksleren ”VVDGS” eller kjøres utenom (kortsluttes). Væskestrømmen skal kjøres gjennom dieselaggregat varmeveksleren dersom Tut av ”Samle” er mindre enn 85 °C.

Diverter – ”Sla_av_SF”

Input:	Enhet:	Forklaring:
Tinn	°C	Tupumpe
minn	kg/h	mut pumpe
Kontrollsignal		Fra "SFKortslkrets"

Output:	Enhet:	Forklaring:
---------	--------	-------------

Tut,1	°C	Tinn i "Samle", (kortslutningskrets om solfanger)
mut,1	kg/h	minn i "Samle", $m2 = \text{minn} * (1-Y)$
Tut,2	°C	Tinn,SF
mut,2	kg/h	minn,SF, $m1 = \text{minn} * (Y)$

T-stykket – "Samle"

Input:	Enhet:	Forklaring:
Tut,1	°C	Fra "Sla_av_Sf"
mut,1	kg/h	Fra "Sla_av_Sf"
Tut,2	°C	Fra solfanger, Tut,sf
mut,2	kg/h	Fra solfanger, mut, sf

Output:	Enhet:	Forklaring:
Tinn	°C	Inn i "Dele_Dgs_Sf"
minn	kg/h	Inn i "Dele_Dgs_Sf"

Diverter – "Dele_Dgs_Sf"

Input:	Enhet:	Forklaring:
Tinn	°C	Tut fra samle
minn	kg/h	mut fra samle
Kontrollsignal		Fra "DGS kontr"

Output:	Enhet:	Forklaring:
Tut,1	°C	Tinn, cold varmeveksler med dieselkrets
mut,1	kg/h	minn, cold varmeveksler med dieselkrets
Tut,2	°C	Tinn inn i "Samle_Dgs_Sf", gjennom kortslutningskrets rundt dieselaggregatet.
mut,2	kg/h	minn i "Samle_Dgs_Sf", $m1 = \text{minn} * (Y)$

T-stykket – "Samle_Dgs_Sf"

Input:	Enhet:	Forklaring:
Tut,1	°C	Fra Tut, cold side varmeveksler med dieselkrets
mut,1	kg/h	Fra mut cold side varmeveksler med dieselkrets
Tut,2	°C	Fra "Dele_Dgs_Sf"
mut,2	kg/h	"Dele_Dgs_Sf"

Output:	Enhet:	Forklaring:
Tinn	°C	Tinn hot-side varmelager
minn	kg/h	Minn hot-side varmelager

Kalkulatorer:

”DGSresultat”

Denne kalkulatoren har fått endret noen koblinger ved innsetting av varmeveksleren.

Input:	Verdi:	Enhet:
Brenselflytende	Output fra Diesellaggregat	L/h
LHV_D_kWhprL	Nedre brennverdi Diesel. Hentet fra "FasteVerdier"	kWh/L
TermiVirknGradDieselAggr	Hentet fra "FasteVerdier"	%
Cpvann	Hentet fra "FasteVerdier"	kJ/kg * K
TinnDGS	Temperatur på massestrøm ut fra varm side på varmeveksler.	°C
Q varmevekslet	Varme overført fra varm til kald side, avhenger av tilgjengelig varmemengde på varm side og nødvendig varmemengde på kald side og styres av temperaturer og massestrømmer inn på kald og varm side.	kJ/h

Output:	Formel/bruk:	Enhet:
Dieselforbruk	Sendes til printer	L/h
Qnyttbart	$Brenselflytende * LHV_D_kWhprL * TermiVirknGradDieselAggr$	kW
TutDGS	85	°C
Delta T	$\max((TutDGS - TinnDGS), 2)$	°C
mDGS	$\min((Qnyttbart*3600)/(Cpvann*DeltaT), 2000)$	kg/h
Q levert lager fra DGS	Varmemengden som er avgitt til lageret fra diesellaggregatet. Sendes til ”EffekttilEnergi” kalkulatoren.	kW

”Underveis”

Kalkulator som brukes til å ta imot effektresultatene fra varmelageret og solfangerne og konvertere dem fra kJ/h til kW, for så å sende dem som output, slik at de kan hentes inn som input i ”EffekttilEnergi” kalkulatoren.

”EffekttilEnergi”

Kalkulator tar inn input med resultater av effekter fra solfanger, varmelager, varmeveksler, boiler, dieselgenerator og last gjennom kalkulatoren ”Underveis”, ”Kjoleberegner”, ”Lasteffekter”, ”DieseliBoiler”, ”DGSresultat” og ”Termiskrets”. Verdiene brukes i integratoren for å konverteres til energi (kWh) og til Effektprinter.

Printere og integrator:

”Energi” - printer

Printer alle interessante energier, dvs. behov, forbruk og produksjon av energi i de ulike komponentene. Printer også årlig forbruk av diesel i dieselgenerator og boiler samt årlig dieselkostnad. Resultatene kan overføres direkte til et Excel ark for vurdering og bruk.

”Effekt” - printer

Printer effekt hver time av året for behov, forbruk og produksjon av energi [kW].

”Årlig” – integrator

De fleste resultater fra trnsys komponentene oppgis som effekter og må integreres opp over året for å få totale energier, dette gjøres her.

Til kapittel 8.3 – Alternativ 3:

Komponentbeskrivelse:

En generell beskrivelse av TRNSYS komponentene som er brukt i modellen. De komponentene som allerede er beskrevet for lastmodellen er ikke gjentatt her.

Komponent:	Typenummer i TRNSYS:	Beskrivelse:
Solcelle – Photovoltaic Array (PV)	Type 94	Modellerer en typisk single- eller polykrystalinsk solcelle. Gir ut elektrisk effekt levert fra solcellene avhengig av solinnstråling og antall solcellemoduler i serie og parallell. En modul består av 36 solceller i serie og har et areal på 0,89 m ² , default i typen.

Databeskrivelser:

De databeskrivelsene som allerede er beskrevet for lastmodellen, dieselmodellen og alternativ 1 og 2 er ikke gjentatt her.

Solceller

Parameter:	Verdi:	Forklaring:
Modulens kortslutningsstrøm ved referanse betingelser, I _{sc}	6,5 A	Default
Modulens åpen krets spenning ved referanse betingelser, V _{oc}	21,6 V	Default
Referanse temperatur	298K	Default, tilsvarer 25 °C
Referanse isolasjon	1000 W/m ²	Default
Modulspenning i max effektpunkt og ref. bet.	17 V	Default
Modulstrøm i max effektpunkt og ref. bet.	5,9 A	Default
Temperatur koeffisient til I _{sc}	0,02	Default
Temperatur koeffisient til V _{oc}	-0,079	Default
Antall celler i serie i hver modul	NPVSER = 36	Default, hentes fra "FasteVerdier" kalkulatoren
Antall moduler i serie totalt	NMSER	Hentes fra "FasteVerdier" kalkulatoren
Antall moduler i parallell totalt	NMPAR	Hentes fra "FasteVerdier" kalkulatoren. Varieres i simuleringene for å øke eller minke effekten levert fra solfangerne og totalt solfangerareal.
Halvlederens båndgap	1,12	Default

Input:	Verdi:	Forklaring:
Omgivelsestemperatur	Kelvin	Fra "OmformTomg" og "Klimadata"
Lastens spenning	220 V	Standard spenning for utstyr levert av norske produsenter.
Total innfallende stråling på horisontal flate	kJ/(h*m ²)	Fra "Klimadata"
Direkte innfallende stråling på horisontal flate	kJ/(h*m ²)	Fra "Klimadata"

Diffus innfallende stråling på horisontal flate	$\text{kJ}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$	Fra "Klimadata"
Innfallsvinkel stråling på horisontal flate	$^\circ$	Fra "Klimadata"
Helning på horisontal flate	0°	Solcellene skal ligge på satellittklinikens tak som er flatt.

Output:	Enhet:	Forklaring:
Solcellenes totale spenning, I	W	Brukes til å sjekke at ønsket lastspenningen er nådd
Solcellenes totale strøm, V	W	
Solcellenes totale avgitt effekt, PSC	W	Brukes til å kutte ned lasten før dieselaggregatet, slik at dieselforbruket kan reduseres.
Solcellens effekt i maksimalt effektpunkt	Wp	Det er denne effekten som avgjør totalprisen på solfangerne. Se vedlegg 7.

Kalkulatorer:

”OmformerTomg”

Solcellene tar inn omgivelsestemperaturen som input oppgitt i Kelvin og ikke i $^\circ$ Celsius. Denne kalkulatoren omformer fra $^\circ$ Celsius til Kelvin med formelen $\text{Kelvin} = ^\circ\text{C} + 273,15$.

”EffektkuttSC”

Brukes til å

Input:	Verdi:	Forklaring:
VirkngradKonvertSC	0,9	Hentes fra "FasteVerdier" kalkulatoren. (Ulleberg, samtale 4)
PprodSC	W	Output fra solcellen. Effekt produsert av solcellen.
Asc	m^2	Fra "FasteVerdier" kalkulatoren. Totalt solfanger areal.
PelW	W	Fra "Lasteffekter" kalkulatoren. Elektrisk lastbehov i satellittklinikken.
PmaksWp	Wp	Maksimal totaleffekt fra solcellene, bestemmer prisen på solcellepanelene.

Output:	Enhet:	Forklaring:
PlevertSCW	W	Effektbidraget fra solcellene i W
PlevertSCkW	kW	Effektbidraget fra solcellene i kW
PelLastetterSCW	$\max((\text{PelW} - \text{PlevertSC_W}), 900)$ W	Elektrisk last (energibehov pr time) etter at solcellens bidrag er trukket fra. Kjøres inn på "Dieselkontroll". Diesel typen kan ikke skrues av og kan ta imot en minimumslast på 900 W, synker lasten under dette, går aggregatet på tomgang med samme forbruk som ved last på 900 Watt.
PmaxWp	Wp	Sendes til effektprienter via ”EffekttilEnergi”

I tillegg er arealet til solcellen, Asc hentet fra ”FasteVerdier” og sendt til Excel ark med printeren ”Effekt”.

Dieselaggregat:

Nyttbar varmeavgivelse fra dieselaggregatet, termisk virkningsgrad dieselaggregat er antatt å være 30 % (Finden, samtale 5).

Det er i dieselmodellen i TRNSYS tiltatt å sette inn maksimalt 5 dieselaggregater. Ved kjøring av Dieselmodellen er maksimalt lastbehov fra diesel aggregatet på 3,3 kW. I følge Frank Søberg i YIT Norge er det minste aggregatet som kan skaffes med automat start på 6 kW. Prisen for et slikt aggregat ligger på ca. NOK 30 000 eks. mva (Søberg, samtale 6). Inputen for aggregatet i TRNSYS er angitt i vedlegg 6. Simuleringen viser hvor mange av de 5 aggregatene som har vært i bruk under simuleringen. Ut ifra dette beregnes total kostnad for aggregatene.

Totalkostnad dieselaggregat: NOK 30 000,- eks. mva/ aggregat.

Luftkondisjoneringsanlegg:

Type: luft til luft kjøleanlegg.

Merke/produsent der ytelsesdata er hentet: Ukjent

Det er oppgitt fra kilde at mulig COPaircond for et luftkondisjoneringsanlegg ligger mellom 2,5 og 1,8 ved utetemperaturer mellom +20 °C og +60 °C, gir: $COP = ((1,8-2,5)*Tute / (60-20) + 2,85 = 2,85 - (0,7/40*Tute)$

(Brodersen, L., e-post 7)

Antatt antall luftkondisjoneringsanlegg ved kjøring av dieselmodellen: Type 1: 8 stk., Type 2: 3 stk. (Øwre, J., e-post 2)

Pris per luftkondisjoneringsanlegg: Type 1: NOK 5 439 eks. mva., Type 2 NOK 6 648 eks. mva. (Øwre, J., e-post 2)

Totalkostnad luftkondisjoneringsanlegg: NOK 63 456,- eks. mva.

Absorpsjonskjøler:

Det er valgt å bruke informasjon og data fra absorpsjonskjølemaskinen til ClimateWell, ClimateWell 10, fordi det har vært god tilgang på data for denne maskinen. Denne maskinen bruker Litium Klorid som ikke er en av de to typene beskrevet i rapportens teoridel. Absorpsjonskjøleprosessen vil likevel være den samme. ClimateWell gir muligheten til å lagre varme i et saltlager slik at man kan unngå bruk av varmelager med vann. Saltlager har den fordel at mer varme kan lagres i et mindre volum.

Virkningsgraden til absorpsjonskjøleren krever at varmekilden har en temperatur som er 50 °C høyere enn temperaturen i varmesluket.

Type: Litium Klorid

Merke/produsent der ytelsesdata er hentet: ClimateWell, ClimateWell 10

Termisk virkningsgrad, COPabs = 0,68

Maksimal kjøleeffekt per absorpsjonskjøler: 10 kW

Lagerkapasitet varme i salt: 44 kWh.

Elektrisk virkningsgrad, COPel,abs = 714

Maks temperatur inn på varmeavgivende væskestrøm: 120 °C (over kortere perioder), 95 °C (over lengre perioder).

Pris per absorpsjonskjøler: 12 500 euro + skatt, tilsvarer 99 000 NOK eks. mva. /absorpsjonskjøler

Kilde: (web 20, ClimateWell), (Forssmann, J., e-post 8), (Hallstrøm, O., e-post 9), (web 22, DN Valuta)

Boiler (kjel):

Pris og virkningsgrad for en tilfeldig boiler er hentet fra Ivar Lærum AS (Edwardsen, J., e-post 10).

Boileren er basert på å bruke fyringsolje som drivstoff, lett fyringsolje og diesel er stort sett det samme, slik at drivstoff er antatt å kunne brukes som drivstoff i boileren. (Finden, samtale 5)

Fyringsteknisk virkningsgrad oppgitt fra leverandør til 92 %.

En oljekjel med kapasitet 33 – 40 kW er priset til NOK 14 000,- eks. mva.

Oljebrenner for kjelen er priset til NOK 5 300,- eks. mva.

Total investeringskostnad for boileren blir på NOK 19 300,- eks. mva.

Solfanger:

Type: Vakuum solfanger

Merke/produzent der ytelsesdata er hentet: Apricus Solar CO., LTD.

Ytelsesdata*: $\eta_0 = 0,717$

$a_1 = 1,52$

$a_2 = 0,0085$

* Ytelsesdata oppgitt for absorbatorareal.

Absorbator areal ved 30 rør: 2,4 m²

Brutto areal ved 30 rør: 4,35 m²

Optimal hastighet: 0,1 L/min/rør. Hastighet i kretsen avhenger av hvordan solfangerne (antall i serie og i parallell).

Massestrøm ved testbetingelser: 65 L/ (m²*h)

Opgitt stagnasjonstemperatur gjort etter Europeisk standard 12975-2: 216 °C

Leverandør der kostnader er hentet: Skjølberg Energiteknikk

Pris pr solfanger med 30 rør NOK 11 495,- inkl. mva., NOK 9 196,- eks. mva.

Kilde: (web 17, Apricus), (web 18, Solkraft), (web 19, Apricus test)

Total investeringskostnad for solfangere blir NOK 3832,-/m² (absorbator areal) eks. mva.

Solceller:

Prisen på solceller angis hver måned hos Solar Energy Research and Consultancy, Solarbuzz (web 21, Solarbuzz).

For mai 2008 er utsalgsprisen angitt til 4,71,- Euro/watt peak.

Dette tilsvarer NOK 37,26,- /watt peak inkl. mva., NOK 29,808,- /watt peak eks. mva. (web 22, DN Valuta)

Watt peak betyr maksimal effekt fra solcellene og er et resultat i simuleringene avhengig av antall solceller. Solcellene brukt i simuleringene har en virkningsgrad på 10 %.

Solceller har i følge et dokument fra Olje- og energidirektoratet (Web 9, OED) en levetid på opp til 30 år.

Total investeringskostnad for solfangere blir NOK 29 808,-/kWp eks. mva.

DC/AC konverter:

Antar at konverteringstap i vekselretter er 10 %, altså en virkningsgrad på 0,9 (Ulleberg, samtale 4).

Prisen på en DC/AC konverter avhenger av spenningsnivå og maksimal spenning. Det er ved beregning av pris tatt hensyn til simulert maksimal effekt (kWp) og 220 volt oppbygning for solcellene. Det er ikke gått grundigere inn på hvordan dette gjøres i praksis.

Priser inkludert mva. er oppgitt av følgende tabell. Prisene er oppgitt fra Jon Eriksen ved Institutt for Energiteknikk (Eriksen, J., e-post 4)

220 Volt DC to 220 Volt 50Hz AC			
Metric	W_cont	kW_peak	Pris/NOK inkl. mva
CS-0500-220X	500	0,75	19 750
CS-0750-220X	750	1.125	21 650
CS-1000-220X	1 000	1.5	22 050
CS-2000-220X	2 000	3	25 450
CS-3000-220X	3 000	4,5	29 850
CS-5000-220X	5 000	7,5	42 250
CS-10000-220X	10 000	15	80 250

En interpolering er gjort for å finne antatt pris ved maksimal effektene (kWp) brukt i simuleringene, prisene er så oppgitt i følgende tabell eks. mva. med en merverdiavgift på 25 %.

Antall SC i parallell	kW_peak	Pris eks. mva.
1	1.29	17 461
2	2.59	19 617
3	3.88	22 425
4	5.17	26 095
5	6.46	30 361
6	7.76	34 854
7	9.05	40 083
8	10.34	45 311
9	11.65	50 621
10	12.9	55 688
11	14.19	60 917
12	15.48	66 146
13	16.77	71 374
14	18.06	76 603
15	19.35	81 832
16	20.64	87 061
17	21.93	92 290
18	23.22	97 518
19	24.51	102 747
20	25.8	107 976

Annet:

Det er ikke tatt hensyn til kostnader forbundet med å koble absorpsjonskjøleren inn på ventilasjonssystemet. Dette ville kreve detaljert informasjon om ventilasjonssystemet og detaljert prosjektering. Ettersom satellittklinikken likevel må ha et ventilasjonssystem er det antatt at en varmeveksler mellom ventilasjonssystemet og absorpsjonskjøleren ikke vil utgjøre en betydelig kostnad.