



NTNU

Norges teknisk-
naturvitenskapelige
universitet

NTNU
Trondheim, Vår 2019

Økonomisk analyse av solfangere for tappevann i kontorbygg

Kristina Bjørnådal

Eli Hegseth Seglem

Martine Grundvåg Thorberg

Veileder: Bjørn Austbø

Bacheloroppgave maskin med fordypning i VVS-teknikk

NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET



FAKULTET FOR INGENIØRVITENSKAP
Institutt for maskinteknikk og produksjon
7491 Trondheim

Besøksadresse:
R.Birkelands vei, 2B, Trondheim

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel (norsk og engelsk)

Økonomisk analyse av solfangere for tappevann i kontorbygg

Economic analysis of solar collectors for tap water heating in office buildings

Prosjektnr

MTP-V-2019-03

Forfattere

Kristina Bjørnådal

Martine Grundvåg Thorberg

Eli Hegseth Seglem

Oppdragsgiver eksternt

GK Rør Trondheim

Dato levert

20.05.2019

Antall vedlegg

9

Totalt antall sider

92

Veileder internt

Bjørn Austbø

Rapporten er ÅPEN

Kort sammendrag

I samarbeid med GK Rør Trondheim og NTNU er det gjennomført en økonomisk analyse av investering i solfangere for tappevann i kontorbygg. Solfangere i kombinasjon med varmepumpe, elektrisitet og fjernvarme er vurdert opp mot hverandre, og tradisjonelle løsninger, for å sammenligne kostnader og best mulig teknisk løsning. Det er utført lønnsomhetsvurdering på GK-Bygget i Trondheim for å se om solenergi er en mulig løsning for tappevannsoppvarming på det allerede eksisterende bygget.

Stikkord fra prosjektet:

Solfangere, varmepumpe, fjernvarme, elektrisitet, GK Rør Trondheim, Investeringskostnader, Årskostnader, tappevannsbehov, tappevannsoppvarming

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet i forbindelse med faget TMAS3001, og omfatter 20 studiepoeng. Dette er den avsluttende oppgaven for studiet Maskiningeniør med retningen VVS-teknikk.

En stor takk til vår hovedveileder Bjørn Austbø, førsteamanuensis ved institutt for energi- og prosessteknikk. Vi har satt pris på god oppfølging og tilgjengelighet, samt gode samtaler gjennom hele semesteret. I tillegg vil vi rette en takk til de ansatte på GK avdeling Trondheim for et godt samarbeid og tilrettelegging av oppgaven vår. En spesiell takk til vår eksterne veileder Kristian Trøan ved GK Rør for god oppfølging og veiledning. En takk rettes også til John Rekstad i AventaSolar, som har tatt seg tid til samtaler om erfaringer rundt solvarmeanlegg. Dette har vært til stor hjelp for utføringen av oppgaven vår.

Vi vil også gjerne takke venner og familie for gode innspill, korrektur og hjelp til oppgaven.

Norges Teknisk-naturvitenskapelige Universitet

Trondheim, våren 2018



Eli Hegseth Seglem



Martine Grundvåg Thorberg



Kristina Bjørnådal

Oppgavebeskrivelse

Hovedfokuset i denne oppgaven er å vurdere lønnsomheten av solfangere for oppvarming av tappevann i bygg med lavt varmtvannsforbruk. Det vil bli utført økonomisk analyse for å se på solfangere i kombinasjon med varmepumpe, elektrisitet og fjernvarme, sammenlignet med tradisjonelle løsninger, som fjernvarme og varmepumpe kombinert med elektrisitet.

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med GK Rør Trondheim og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), og omfatter følgende punkter:

- Forklaring av systemutforming for oppvarming av tappevann med solfangeranlegg.
- Utføre økonomisk analyse av foreslåtte oppvarmingssystemer, hvor investering og årskostnader er i fokus.
- Estimere total kostnader på solfangere kombinert med varmepumpe, elektrisitet og fjernvarme sammenlignet med de tradisjonelle løsningene varmepumpe og fjernvarme.
- Vurdering av investering i solfangere for tappevann på *GK-bygget Trondheim (GKBT)*, ved å benytte lønnsomhetsanalyse som innebærer nåverdimetoden og tilbakebetalingsmetoden

Målet med oppgaven er å reflektere rundt og gi svar på om solfangere kan lønne seg i bygg med lavt tappevannsforbruk, med utgangspunkt i kontorbygg.

Besvarelsen på oppgaven inneholder oppgavebeskrivelse, et sammendrag på norsk og engelsk, innholdsfortegnelse, konklusjon, referanseliste, etc. Teksten skal være oversiktlig og velskrevet. Det legges stor vekt på resultatene som skal være grundig bearbeidet, tabeller og grafer skal være oversiktlig og diskutert.

Sammendrag

Norge er et land i økonomisk vekst, der det planlegges og utvikles store byggeprosjekter hver dag. En vesentlig del av investeringskostnadene for disse prosjektene går til å dekke tekniske anlegg. Ettersom moderne bygninger har blitt tettere, bedre isolert og har tekniske anlegg som varmer opp bygget mer energieffektivt enn før, blir de årlige kostnadene for å varme opp tappevann mer fremtredende enn det har vært tidligere.

Solfangere er en fornybar energikilde som absorberer strålingsenergi fra solen og omdanner den til vannbåren varme, som kan brukes til rom- og tappevannsoppvarming. Teknologien tas stadig mer i bruk for å dekke oppvarmingsbehovet i nye bygninger med høyt tappevannsforbruk, som for eksempel skoler, hoteller og bygg som inkluderer store bassenganlegg. Kontorbygg er ofte store i areal, men har derimot et lavt forbruk av varmtvann. GK har derfor stilt spørsmålet om det vil være økonomisk lønnsomt å investere i solfangere for oppvarming av tappevann i denne typen bygg.

I samarbeid med GK Rør i Trondheim og Norges Teknisk-naturvitenskapelige Universitet (NTNU) er det derfor gjort en økonomisk analyse av solfangere for tappevann i kontorbygg, sammenlignet med tradisjonelle løsninger.

Kostnadene for solfangere i kombinasjon med varmepumpe, el-kolbe og fjernvarme for oppvarming av tappevann er sammenlignet med de tradisjonelle løsningene, fjernvarme og varmepumpe kombinert med el-kolbe. Basert på kvalitative datainnsamlinger, er kostnad for solfangere på 3000 kr per kvm benyttet og et energibehov for oppvarming av tappevann for kontorbygg på 10 kWh per kvm. Det er antatt at investeringskostnaden for solfangere vil stige lineært med størrelsen på bygget og en dekningsgrad på 50% for solfangere. Bygg fra 400 til 10000 m^2 er undersøkt og nåverdiberegningene er basert på kalkulasjonsrente på 6% over en 30 års periode. Resultatet viser at årskostnader alltid er lavere med solfangere, dermed vil det uansett lønne seg å investere i solfangere hvis investeringskostnaden også er lavere enn for tradisjonelle løsninger. Solfangere lønner seg derfor på små kontorbygg. Hvis investeringskostnadene for solfangerløsningene er høyere enn for tradisjonelle løsninger, som er tilfellet på kontorbygg større enn 4800 m^2 , må det utføres en nåverdiberegning for å se hva som vil lønne seg. Det ble utført nåverdiberegning på et bygg på 5388 m^2 . Det viste at en investering i solfangere kombinert med varmepumpe og el-kolbe vil lønne seg for et kontorbygg av denne størrelsen,

dersom det er et nybygg.

Det er også utført nåverdiberegninger på GK's allerede eksisterende kontorbygg i Trondheim, for å se om det kunne vært lønnsomt å investere i solfangere for tappevann. Dette viser seg å ikke være lønnsomt, da det er behov for separering av dagens kombinerte rom- og tappevannsoppvarming. En investering i solfangere for tappevann i prosjekteringsfasen ville derimot vært lønnsomt.

Abstract

Norway is a country of economic growth and new large buildings are being planned and developed every day. A major part of the investment costs for these projects is related to the technical facilities. Modern buildings have become better insulated and have technical facilities that are more energy efficient. Therefore, the annual cost of heating water becomes more prominent than before.

Solar collectors are a renewable energy source that is increasingly being used to cover the waterborne heating needs of new buildings with high hot water demand, examples being schools, hotels and buildings that with large pool facilities. Office buildings are often large in area but have a low consumption of hot water. GK has therefore asked the question whether it will be economically profitable to invest in solar collectors for heating hot water in this type of buildings.

In collaboration with GK Rør in Trondheim and the Norwegian University of Science and Technology (NTNU), an economic analysis of investment in solar collectors for hot water heating in office buildings has been performed.

The costs for solar collectors in combination with heating pump, electricity and district heating for heating tap water are compared with the traditional solutions, district heating and heat pump combined with electric heating element. Based on qualitative data collections, cost of solar collectors of 3000 NOK per square meter and energy requirement for heating water for office buildings of 10 kWh per sqm are used. It is assumed that the investment cost for solar collectors will increase linearly with the size of the building with a 50% coverage for solar collectors. Buildings from 400 to 10000 m^2 have been evaluated and present value calculations are based on a 6% discount rate over a 30 year period. For small office buildings, the investment cost for solar collectors will normally be lower than for traditional solutions. And since the annual costs for solar collector systems are very low, this will be the most profitable solutions for such smaller buildings. For larger buildings ($>4800 m^2$) the investment costs for all solar collector solutions are higher than for traditional solutions, and a present value calculation must be performed. A net present calculation has been performed of a new built GK size building (5388 m^2) It shows that solar collectors combined with heating pump and electric element is more profitable than traditional solutions.

Present value calculations were also carried out on GK's already existing office building in Trondheim, to see if it could be profitable to invest in solar collectors for tap water. This does not turn out to be profitable. However, an investment in solar collector for tap water in the design phase, is profitable.

Innhold

Forord	iii
Oppgavebeskrivelse	v
Sammendrag	viii
Abstract	x
Figurliste	xiii
Tabelliste	xiv
Forkortelser og definisjoner	xv
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	2
1.3 Fremgangsmåte	2
1.4 Omfang og begrensinger	3
2 Teori	4
2.1 Solenergi	4
2.2 Solfangere	5
2.2.1 Plane- og vakuumsolfangere	6
2.2.2 Trykksatt og trykkløse solfangere	6
2.3 Tappevannsbehov	7
2.4 Varmeakkumulering	9
2.4.1 Akkumulering av solvarme	9
2.5 Lønnsomhetsvurdering av solvarmeanlegg	10
2.5.1 Nåverdimetoden	10
2.5.2 Tilbakebetalingsmetoden	11
2.6 Prosjektering og dimensjonering av solvarmeanlegg	12
2.7 Presentasjon av GK-bygget Trondheim	14
2.7.1 Tekniske spesifikasjoner	15
3 Oppvarmingssystemer	18
3.1 Litteratursøk	18
3.2 Solfangere kombinert med varmepumpe	19
3.2.1 Tekniske løsninger	20
3.3 Solfangere kombinert med elektrisitet	21
3.4 Solfangere kombinert med fjernvarme	23
3.4.1 Fjernvarme	23
3.4.2 Kombinert oppvarmingssystem	24
4 Systemutforming for oppvarming av tappevann med solfangeranlegg	25
4.1 Kvantitativ datainnhenting	25
4.2 Kvalitativ datainnhenting	26

4.3	Valg av solfanger	26
4.4	Flytskjema for tappevannsoppvarming med solfangere	28
5	Økonomisk analyse av foreslåtte oppvarmingssystemer	32
5.1	Energibehov i bygg med lavt tappevannsbehov	32
5.2	Investeringskostnader	33
5.2.1	Solfanger	33
5.2.2	Varmepumpe	34
5.2.3	Elektrisitet	35
5.2.4	Fjernvarme	35
5.3	Årskostnader	36
5.4	Totalkostnader	38
6	Vurdering av solfangeranlegg for GK-Bygget Trondheim	41
6.1	Befaring	41
6.2	Tappevannsbehov	42
6.3	Prosjektering av solvarmeanlegg	43
6.3.1	Fremgangsmåte ved dimensjonering av solvarmeanlegg ved bruk av Zijdemans metode:	43
6.3.2	Areal beregnet fra erfaringstall:	45
6.4	Lønnsomhet	45
7	Diskusjon	50
7.1	Valg av oppvarmingssystem	50
7.2	Vurdering av data	53
7.3	Komplett system for tappevann og romoppvarming	54
7.4	GK-bygget Trondheim	55
8	Konklusjon	58
9	Videre arbeid	59
	Referanser	60
	Vedlegg	62
A1	Vitenskapelig artikkel	63
A2	Systemskjema GKBT	65
A3	Pris på beredere	66
A4	Fjernvarmetariff for næringskunder i Trondheim	67
A5	Nord Pool Energifriser	68
A6	Produktdatablad for Oras Speredusj	69
A7	Beregning av pumpeeffekt for varmpumper	70
A8	Nåverdiberegninger GKBT	72
A9	Nåverdiberegninger totalkostnader	73

Figurliste

2.1	Solinnstråling i Norge, januar og juli ^[1]	4
2.2	Enkel skisse av solvarmeanlegg ^[2]	5
2.3	Prinsipiell oppbygging av plane og vakuumsolfangere ^[3]	6
2.4	Akkumulatortank med koblinger for solfanger og tilleggsvarmer ^[4]	9
2.5	Fremgangsmåte ved dimensjonering av solvarmeanlegg ^[1]	12
2.6	Nordfasaden, fra Teknoconsult sitt energikonsept av GKBT	14
2.7	Kjølemaskin, system 370.001	16
2.8	Fjernvarme primærside, system 320.001	16
2.9	Forbruksvann, system 310.001	17
3.1	Eksempel på et kombianlegg med solfanger og varmepumpe ^[1]	21
3.2	Eksempler på solfanger kombinert med el-kolbe ^[1]	22
3.3	Fjernvarme til et bygg ^[5]	23
4.1	Flytskjema solfangere kombinert med varmepumpe	29
4.2	Flytskjema solfangere kombinert med el-kolbe	30
4.3	Flytskjema solfangere kombinert med fjernvarme	30
5.1	Representativt formålsdelt energibruk i kontorbygg	32
5.2	Investeringskostnader for solfangeranlegg	34
5.3	Investeringskostnader	36
5.4	Årskostnader	37
5.5	Investeringskostnader for GKBT for de ulike kombinasjonene	38
5.6	Årskostnader for GKBT for de ulike kombinasjonene	39
5.7	Totalkostnader for oppvarming av tappevann over 30 år	40
6.1	Solforhold på GKBT ^[6]	41
6.2	Asimutvinkel og helningsvinkel ^[1]	44
6.3	Sensitivitetsanalyse av kalkulasjonsrente	48
6.4	Sammenligning av tilbakebetalingstid	49

Tabelliste

2.1	Normalvannmengder for varmt tappevann	8
2.2	Fakta om GKBT	14
4.1	Metoder brukt for innhenting av informasjon	25
4.2	Trykkløse system	27
4.3	Trykksatte system	27
4.4	Pristabell for solfangere	28
5.1	Inndata for beregning av investeringskostnader på solfangeranlegg	33
5.2	Pumpeeffekt	35
5.3	Ivesteringskostnad for varmepumper	35
5.4	Strøm- og fjernvarmepris	37
6.1	Tappesteder GKBT	42
6.2	Stipulert forbruksmønster GKBT	43
6.3	Inndata for beregning av solfangerareal	45
6.4	Nåverdi og tilbakebetalingstid for solvarme kombinert med varmepumpe	46
6.5	Endring i kalkulasjonsrente	46
6.6	Nåverdi og tilbakebetalingstid for solfangere kombinert med el-kolbe	47
6.7	Endring i kalkulasjonsrente	47
6.8	Nåverdi og tilbakebetalingstid for solvarme kombinert med fjernvarme	48
6.9	Endring i kalkulasjonsrente	48

Forkortelser og definisjoner

<i>BRA</i>	Bruksareal
<i>COP</i>	Varmepumpens effektfaktor, beskriver hvor mye varme varmepumpen leverer i forhold til strømmen den bruker
<i>Dekningsgrad</i>	Angir hvor stor andel av det totale årlige energibehovet (tappevann, romoppvarming, eller begge deler) som dekkes av solenergi
<i>FV</i>	Fjernvarme
<i>GKBT</i>	GK-bygget Trondheim
<i>Kombianlegg</i>	Kombinert oppvarmingssystem for tappevann og romoppvarming
<i>Oppvarmingssystemer</i>	Solfanger i kombinasjon med en av de tre energikildene som er brukt i oppgaven
<i>SD – anlegg</i>	Sentral driftskontroll
<i>Solfangeranlegg</i>	Samlebegrep for solfangere, rørføringer og akkumuleringstank
<i>VP</i>	Varmepumpe

1 Innledning

I dagens samfunn er det en økende etterspørsel av energiforsyning, særlig i områder med økonomisk vekst. Fornybare energikilder blir stadig viktigere for å dekke dette behovet, da det viser seg at energi fra fossile brensler har konsekvenser som forhindrer et bærekraftig miljø og livsbetingelsene på jorda^[7]. Særlig er solenergi en fornybar energikilde som benyttes for å løse dette problemet. Solenergi er tilgjengelig stort sett over alt, og finnes i store mengder.

Den årlige solinnstrålingen i Norge ligger på alt fra ca 700 kWh/m² lengst nord i landet, til ca 1000 kWh/m² i sør på horisontal flate i løpet av et år^[8]. Solfangere er et bra alternativ for å utnytte solinnstrålingen til å dekke oppvarmingsbehov. Dette er en teknisk løsning som i motsetning til solceller, som omdanner strålingsenergien til elektrisitet, omdanner solfangerne strålingsenergien til varme.

1.1 Bakgrunn

Oppvarmingsbehovet vi forbinder med et godt inneklime i Norge i dag, er ikke lenger like stort som det en gang var. Dagens nybygg er så godt isolert at det ofte er et større behov for kjøling av romluften store deler av året. Oppvarmingsystemene i dagens nybygg benyttes derfor hovedsakelig til oppvarming av tappevann og til romoppvarming i de kaldeste månedene. Siden behovet for romoppvarming er lavere, blir også det tydeligere hvor mye energi som benyttes for å varme opp tappevann. Derfor rettes fokuset mer mot tappevannforbruk når det i dag er snakk om energi- og kostnadsbesparelse.

I forbindelse med oppstart av bachelorprosjektet kom gruppa i kontakt med *GK Rør Trondheim* i slutten av november 2018. De jobber for nettopp et bedre inneklime og energibesparende løsninger, og var derfor ønskelig å samarbeide med. Det ble sett på ulike forslag til studentoppgaver GK hadde, men interessen falt for oppgaven de hadde utarbeidet om solfanger for tappevann. Som Skandinavias ledende tekniske entreprenør og servicepartner leverer GK smarte løsninger innen ventilasjon, kulde, byggautomasjon, elektro, rør og sikkerhet^[9].

1.2 Problemstilling

Det er i dag lite forskning på solfangere for tappevannsanlegg med lavt varmtvannsforbruk, og det er derfor heller tradisjonelle løsninger som oftest blir tatt i bruk. *SINTEF Byggforsk* har konstantert at solfangeranlegg egner seg best til bygg med høyt tappevannsforbruk^[10]. Denne teorien er det ønskelig å se nærmere på. Med grunnlag i dette blir oppgavens problemstilling om det er lønnsomt å bruke solfangere til oppvarming av tappevann i bygg med lavt varmtvannsforbruk. Det tas utgangspunkt i kontorbygg.

Investerings- og årskostnader for solfangere i kombinasjon med varmepumpe, elektrisitet og fjernvarme vil beregnes og vurderes opp mot hverandre og tradisjonelle løsninger. I oppgaven er *GK-Bygget Trondheim* (GKBT) brukt som referansebygg. Løsningen de bruker i dag vil vurderes opp mot et tenkt solfangeranlegg som skal kunne forsyne bygget med varmtvann.

1.3 Fremgangsmåte

Innledningsvis i oppgaven finner en et teorikapittel bestående av litteratur som representerer allerede eksisterende teorier og løsninger, samt en enkel fremstilling av sentrale tekniske begreper som er viktige for å forstå oppgaven. Videre kan en lese teori om oppvarmingssystemene; kombinasjon av solfangere med varmepumpe, elektrisitet og fjernvarme. Systemene er tre av de kombinasjonene som er mest vanlige å bruke i Norge i dag, og danner dermed grunnlag for vurderinger og beregninger videre i oppgaven. Deretter er det gjort en vurdering av forskjellige solfangersystemer og systemutforminger basert på kvalitative og kvantitative datainnsamlinger.

Den økonomiske analysen deles inn i to deler. Det vil først bli presentert en generell analyse av investerings- og årskostnader knyttet til oppvarmingssystemer utfra størrelsen på kontorbygg. Studiet tar for seg kontorbygg mellom 400-10000 m^2 . Der det vil bli vist frem en oversiktsmodell av fem ulike systemutforminger for oppvarming av tappevann, hvorav tre av dem er oppvarmingssystem med solfangere. Denne oversiktsmodellen er basert på nåverdiberegninger på et mellomstort kontorbygg på 5388 m^2 . Den neste delen vil det bli tatt en vurdering av referansebygget, GKBT, om det er lønnsomt å investere i solfangere for oppvarming av tappevann. Det er da lagt frem en nåverdiberegning og modeller som viser kalkulasjonsrenten sammenlignet med nåverdien og tilbakebetalingstiden for de ulike oppvarmingssystemene.

1.4 Omfang og begrensinger

Denne oppgaven er av teoretisk natur, og det vil derfor ikke finnes målte data for alle beregningene som er foretatt. Dataene som brukes i oppgaven er hentet fra allerede eksisterende målinger, andre rapporter og artikler. Der det er nødvendig å benytte antatte størrelser, er det forsøkt å få de så virkelighetsnære som mulig.

Dette er ikke en oppgave som analyserer strømpris og fjernvarmepris. Disse vil variere ved effektbehov og energibruk. Her vil det alltid ligge en usikkerhet, som det blir tatt hensyn til i lønnsomhetsberegninger som baseres på fremtidig drift.

Det må også spesifiseres at det kun er sett på energibehov for oppvarming av tappevann alene, på kontorbygg i Trondheim.

2 Teori

2.1 Solenergi

Solenergi har potensiale til å bli den viktigste fornybare energikilden i framtiden. Det finnes ulike måter å utnytte solenergi på, og disse kalles passiv og aktiv solvarme^[1]. Passiv solvarme innebærer at sola skinner inn gjennom vinduer og dermed varmer opp bygget. Aktiv solvarme vil si at det brukes en solfanger for å omgjøre solenergi til varme^[1].

Ved vurdering av potensialet til utnyttelse av solenergi, er solinnstråling den viktigste faktoren. I Norge vil innstrålingen variere ut ifra hvor i landet du befinner deg. *Norges vassdrags- og energidirektorat* (NVE) opplyser at verdiene på solinnstråling i Norge varierer fra ca. 700 kWh/m² i nord til ca. 1000 kWh/m² i sør. Figur 2.1 viser global innstråling per døgn i Norge for januar og juli, mot en horisontal flate^[1].



Figur 2.1: Solinnstråling i Norge, januar og juli^[1]

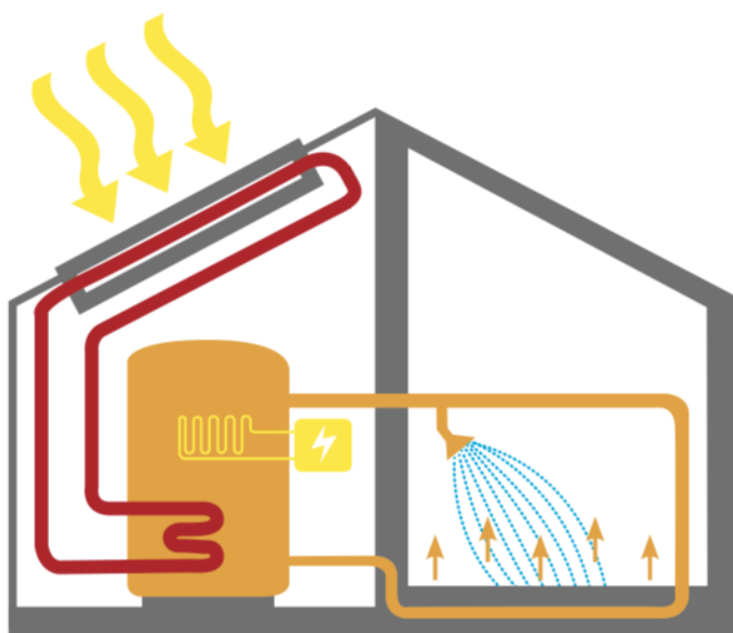
Det er breddegraden som hovedsakelig avgjør solinnstrålingens intensitet. I tillegg er det andre faktorer som spiller inn som blant annet; klima, årstid, døgnvariasjoner og lokale værforhold. Hvis bygget ligger i et tett bebodd strøk vil dette også ha noe å si for solinnstrålingen, med tanke på at bygninger kan skjerme for solen^[1].

2.2 Solfangere

Solfangere omdanner strålingsenergi fra solen til varme. Denne varmen kan brukes til oppvarming av hus og tappevann ved at solfangere plasseres på vegg eller tak til bygget og utnytter energien i solstrålene til å varme opp vannet i et vannbårent system^[12]. Mens solceller produserer elektrisitet, varmer solfangere opp vannet direkte. Prinsippet bak solfangere er at absorbatoren, en mørk flate, utfører arbeidet med å omforme solinnstrålingen til varme^[10].

Et *solfangeranlegg* består av solfangere, varmelager (akkumulatortank), rørføringer, styringssystemer, pumper og ventiler. En solfanger leverer typisk 300-500 kWh varme per m^2 solfangerareal ifølge *Håndbok Solvarme* fra *Norsk Solenergi Forening*^[8].

Solfangeren bør orienteres mot sør for å få best utbytte av solinnstrålingen. Grunnet den lave solhøyden i Norge er det gunstig å vinkle solfangeren relativt bratt i forhold til horisontalplanet. Optimal vinkel må beregnes for hvert enkelt prosjekt på grunnlag av hvilket varmebehov som skal dekkes^[10]. Et sørvendt anlegg med rundt 44° vinkel er ideelt dersom en skal produsere mest mulig energi gjennom året i Trondheim^[1].

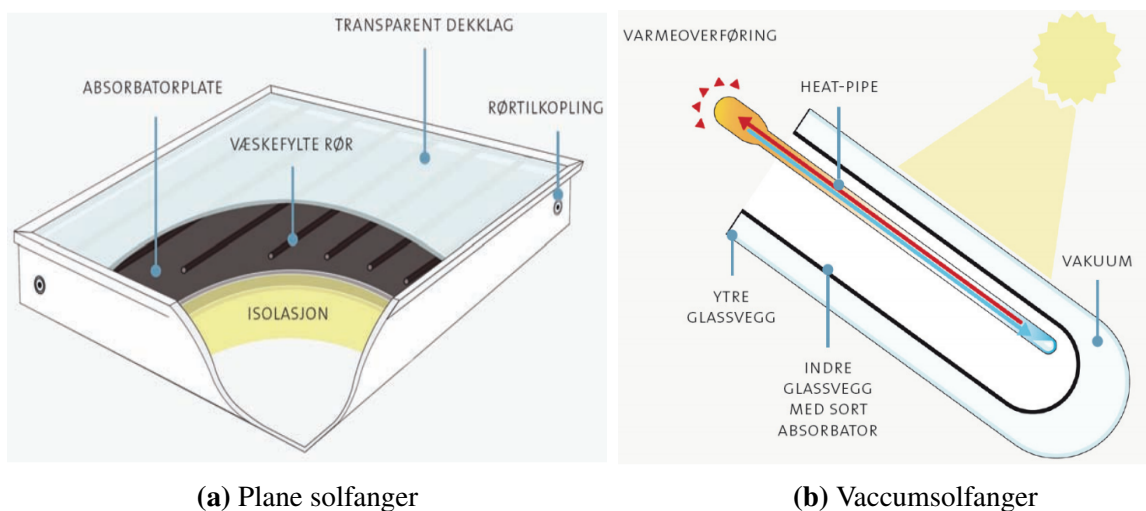


Figur 2.2: Enkel skisse av solvarmeanlegg^[2]

2.2.1 Plane- og vakuumsolfangere

Det finnes hovedsakelig to typer solfangere, plane solfangere og vakuumsolfangere. Begge typene varmer opp vann som kan brukes til oppvarming av tappevann eller oppvarming av bygg. Plane solfangere består av en plan absorbatord plate der varmemediet sirkulerer gjennom kanaler i absorbatoren eller rør under absorbatoren, slik som vist i figur 2.3a. Absorbatoren er som regel laget av plast, aluminium eller kobber. Absorbatorer som er laget av plast benyttes kun i trykkløse systemer (kapittel 2.2.2). Solfangerne benyttes som regel på små til mellomstore anlegg der solfangerne kobles sammen for å tilpasse byggets varmebehov. Plane solfangerne har lavest temperatur, er billigst og har lavest effektivitet. De har en levetid på opp mot 40år^[13].

I vakuumsolfangere er absorbatoren plassert i sylindriske vakuumbør i glass, slik som vist i figur 2.3b. Det er plassert en samlestokk eller varmeveksler på toppen av panelet som transporterer varmen til akkumulatortanken. Solfangere har god isolasjonsevne og dermed et lavt varmetap. Vakuumsolfangere kan kun benyttes i trykksatte varmesystem (kapittel 2.2.2). De kan være hensiktsmessige hvis en har begrenset areal tilgjengelig, men er noe dyrere enn plane solfangere.



Figur 2.3: Prinsipiell oppbygging av plane og vakuumsolfangere^[3]

2.2.2 Trykksatt og trykkløse solfangere

Det finnes trykksatte og trykkløse solfangersystemer. I trykksatte system brukes et varmemedium som er en blanding av vann og glykol. På grunn av bruk av glykol fryser ikke anlegget og det

kan være væske i det hele året Det er konstant trykk i denne typen solfangeranlegg. Trykksatte anlegg kan både være plane solfangere og vakuumsolfangere. Disse anleggene har en normal driftstemperatur mellom 40°C og 90°C for plane solfangere mens vakuumsolfangere har normal driftstemperatur mellom 80°C og 120°C^[8]. Det er viktig at alle komponenter i et trykksatt anlegg tåler trykket og temperaturen anlegget har.

I trykkløse anlegg, også kalt selvdrenerende (Drain-back), er varmemediet rent vann. Akkumulatortanken i systemet holder atmosfærisk trykk. Hvis det er fare for at vannet skal fryse eller koke dreneres vannet i solfangeren ut og videre inn i en dreneringstank, eller varmelagringstank med atmosfærisk trykk. Rørføringene skal være slik at det dreneres ved hjelp av tyngdekraften. Siden komponentene eksponeres for luft må de være rustfrie. Solfangerne er alltid helt tømt når de ikke er i drift. Trykkløse system fungerer kun på plane solfangere.

Solfangeranlegg har automatiske styringssystem og krever derfor lite tilsyn. I trykkløse systemer er det behov for å kontrollere dreneringsbehovet før vintersesongen og se på vannstanden i varmesentralen. For alle solfangersystem er det nødvendig å måle energiproduksjon fra solfangeranlegget og hele oppvarmingssystemet. En kan da følge med på om systemet fungerer som det skal.

2.3 Tappevannsbehov

For å se på kostnadsbesparelse forbundet med oppvarming av tappevann trenger en å vite noe om tappevannsforbruket i bygget en ser på. Det er ikke alltid en har tilgang til eksakte tall for tappevannsforbruk, spesielt ikke i en dimensjoneringsfase. Løsningen er da å se på erfaringstall og et stipulert forbruksmønster for et bygg av typen en ønsker å dimensjonere.

Ved beregning av tappevannsbehovet i bygninger som boligbygg, hoteller, forretningsbygg, sykehus og lignende, benyttes gjerne en forenklet metode for beregning av maks samtidig vannmengde^[14]. Verdien en da får ut er en faktor som benyttes for å dimensjonere vannrørene som fører vannet inn i bygningen, og videre ut til de forskjellige tappestedene. Likningen for maks samtidig vannmengde bygger på normalvannmengdene for de ulike tappestedene. I tabell 2.1 er tappestedene som har tilført varmtvann på GKBT representert. Disse er hentet fra *Kommuneforlagets Standard Abonnementvilkår for vann og avløp*^[14].

Tabell 2.1: Normalvannmengder for varmt tappevann

Tappested	Normalvannmengde for varmtvann [l/s]
Utslagsvask	0,2
Kjøkkenbatteri	0,2
Servantbatteri	0,1
Dusjbatteri	0,2

Verdiene for normalvannmengdene kan videre brukes for å estimere et daglig forbruksmønster for et bygg gjennom et døgn.

Når et daglig forbruksmønster er estimert, kan en videre bruke dette for å se hvor stor effekt som trengs for å holde vannet varmt nok til enhver tid. Effektbehovet, N , ved direkte oppvarming av tappevann finner en ved hjelp av følgende formel^[1]:

$$N = q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

- N - Effektbehov i kW
- q - Volumstrøm i m^3/s
- ρ - Massetetthet for vann i kg/m^3
- c_p - Spesifikk varmekapasitet for vann i $kJ/kg^\circ C$
- ΔT - Endring i vanntemperatur i $^\circ C$

Effektbehovet kan deretter brukes for å beregne energibehovet for å varme opp vannet for en gitt tidsperiode, for eksempel et døgn eller et år.

For å regne om fra effekt til energi benyttes følgende formel^[1]:

$$E = N \cdot t \quad (2.2)$$

- E - Energibehov i kWh
- N - Effektbehov i kW
- t - Tappetid varmtvann i timer

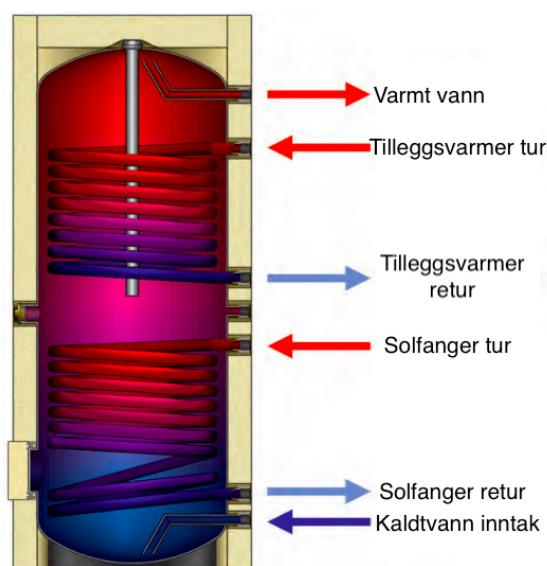
2.4 Varmeakkumulering

I de fleste tilfeller er det aktuelt å lagre varme. Dette er på grunn av store variasjoner i varmetilførsel fra en alternativ energikilde. Akkumulering i vannbårne oppvarmings- og kjølesystemer brukes også til å jevne ut varme- og kjølebehovstopper. Dette gir en jevnere drift for energikilder med intermittert drift (av/på-regulering), for eksempel varmepumper^[1].

2.4.1 Akkumulering av solvarme

Til tider vil varmebehovet og effektbehovet til varmtvannstapping være større enn den effekten solfangeren leverer. Ved slike tilfeller vil det være nødvendig å akkumulere varmen fra sola, det vil si at varmen fra sola lagres^[1].

Akkumulatortanken, eller varmelageret, spiller derfor en viktig rolle i et solfangersystem. I et solfangeranlegg trengs det normalt en større akkumulatortank enn ved vanlige varmtvannstanker. Dette er fordi andre energikilder som for eksempel varmepumpe eller fjernvarme kobles på den samme tanken, samt at tanken skal lagre varmen fra solfangerne. Da forsikrer en seg at det alltid er nok varmtvann til å dekke behovet, i tilfeller der solfangeren ikke klarer å varme opp vannet til ønsket temperatur^[8].



Figur 2.4: Akkumulatortank med koblinger for solfanger og tilleggsvarmer^[4]

I figur 2.4 vises det hvordan en akkumulatortank med koblinger for solfanger og tilleggsvarmer

fungerer. Kaldtvann påfylles nederst i tanken som deretter blir varmet opp av solvarmespiralen. Retur til solfanger ligger i nedre del av tanken fordi det er mer effektivt for solfangeren å ha lav retur temperatur. Tur-innløpet til solfanger ligger i midtsjiktet av tanken. I øvre sone av akkumulatortanken ligger koblingene til tilleggsvarmen, som for eksempel varmepumpe. Avhengig av hvilke temperaturnivåer solfangeren klarer å utnytte, vil den bli brukt som forvarmer til tilleggsvarmeren på overskyede dager eller dekke hele varmtvannsbehovet på solfylte dager.

2.5 Lønnsomhetsvurdering av solvarmeanlegg

Når en skal se på økonomisk lønnsomhet i forhold til anlegg for oppvarming av tappevann, er investeringen ofte en avgjørende faktor. Ved å gjennomføre en investeringsanalyse vil en få en indikator på om den er god eller dårlig. Dette er en viktig øvelse å gjøre ved investering i anlegg for oppvarming av tappevann da de ofte er forbundet av ressurser over lengre tid, og kan ha flere ulike usikkerhetsfaktorer som økning i energipris, skatteforhold og generell inflasjon.

En typisk investeringsanalyse baseres på lønnsomhetskriterier som tilbakebetalingstid, investeringsavkastning, nåverdi, diskontert investeringsavkastning og internrente^[15]. Tilbakebetalingstid og investeringsavkastning er forenklede metoder, som ikke tar hensyn til at kapital har ulik verdi til ulike tidspunkt. I investeringsanalysen av de forskjellige alternativene for tappevannsanlegg tas det derfor utgangspunkt i nåverdimetoden. Tilbakebetalingstiden vil også beregnes ved hjelp av tilbakebetalingsmetoden.

2.5.1 Nåverdimetoden

Nåverdi er dagens verdi av et fremtidig beløp, og nåverdimetoden er en lønnsomhetsanalyse som benyttes til vurdering av investeringer. Dersom nåverdien er positiv indikerer det at investeringen er lønnsom, en negativ nåverdi vil bety at investeringen ikke er lønnsom.

Ved bruk av følgende formel^[15] finner en ut om nåverdien er negativ eller positiv:

$$C_0 = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^i} - I_0 \quad (2.3)$$

- C_0 - Nåverdi
- C_i - Kontantstrøm i år i
- r - Kalkulasjonsrente
- n - Levetid
- I_0 = Investeringskostnad

Kontantstrøm defineres som alle innbetalinger og utbetalinger knyttet til investeringen, over tid. Det er vanlig å gjøre en tilnærming og betrakte kontantstrømmen som differansen mellom nytte og kostnad. Eksempelvis kan netto kontantstrøm regnes som investering pluss nytte minus driftskostnad, per år. For beregning av nåverdi i denne oppgaven vil netto kontantstrøm regnes som hvor mye GKBT vil redusere sine årlige kostnader ved å installere solvarmeanlegg for oppvarming av tappevann.

Kalkulasjonsrenten er avkastningen en forventer ved slutten av levetiden til investeringen. Denne fastsettes ofte på grunnlag av markedsrenten.

2.5.2 Tilbakebetalingsmetoden

Tilbakebetalingsmetoden benyttes i oppgaven, for å se hvor lang tid det tar å tjene inn investeringskostnaden. Denne beregnes ved å benytte følgende formel:

$$\text{Tilbakebetalingstid} = \frac{\text{Investeringskostnad}}{\text{Forventet årlig kontantstrøm}} \quad (2.4)$$

2.6 Prosjektering og dimensjonering av solvarmeanlegg

Ved prosjektering av et solfangeranlegg bygges det opp en systemløsning, og de ulike komponentene dimensjoneres i forhold til hverandre. Det finnes ulike systemløsninger utfra hvilket behov som skal dekkes og størrelsen på anlegget. Blant annet finnes det *kombianlegg* og *tappevannsanlegg*. Et kombianlegg kombinerer romoppvarming og tappevannsoppvarming^[1]. I denne oppgaven vil det kun fokuseres på tappevannsanlegg.

Riktig dimensjonering av et solfangeranlegg er viktig for å oppnå best mulig økonomisk lønnsomhet. Det er en økende tendens til bruk av simuleringsprogrammer for dimensjonering av solfangeranlegg, og de mest avanserte gir svært nøyaktige resultater. Disse simuleringsprogrammene krever detaljert informasjon om varmebehov, systemløsning, produkter som skal brukes og landskapet rundt bygget som påvirker solinnstrålingen gjennom året.



Figur 2.5: Fremgangsmåte ved dimensjonering av solvarmeanlegg^[1]

Figur 2.5 viser de fire trinnene i en forenklet dimensjonering av et solvarmeanlegg, som fremkommer i boken *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer* av David Zijdemans. Første steg er å identifisere varmebehovet for den systemløsningen bygget trenger. Dette gjøres ved å se om bygget trenger romoppvarming og tappevann eller kun tappevannsoppvarming. Hvilke andre energikilder solfangeranlegget skal kombineres med må også bestemmes. Deretter må energibehovet estimeres. Dette kan utføres ved beregninger eller måledata fra bygget. Når energibehovet er kartlagt kan soldekningsgraden bestemmes. Dette gir en indikasjon på hvor mye av energibehovet som skal dekkes av solvarmeanlegget. Solfangeranleggets dekningsgrad vil i gjennomsnitt dekke 50 % av energibehovet for kun tappevannsoppvarming^[16].

Neste steg er å finne nødvendig solfangerareal. Da må solfangerens energiutbytte beregnes, som sier hvor mye energi som leveres i form av solvarme. For å kunne beregne dette må solfangernes orientering være kjent. Det vil si at asimutvinkel (sør, øst, sørvest osv.) og helningsvinkelen må være bestemt. Type solfanger og data for denne må også være kjent. Energiutbytte kan da

uttrykkes ved denne formelen:

$$Q_{Utb} = I_{Opt} \cdot \overline{\eta_{Sf}} \cdot f_A \cdot f_H \quad (2.5)$$

- Q_{Utb} - Energiutbytte [kW/m^2]
- I_{Opt} - Årlig innstrålt solenergi ved optimal vinkel [kW/m^2]
- $\overline{\eta_{Sf}}$ - Midlere virkningsgrad for solfanger
- f_A - Korreksjonsfaktor for asimutvinkelen
- f_H - Korreksjonsfaktor for helningsvinkel

Når energiutbyttet er beregnet kan netto solfangerareal beregnes:

$$A_{sol f} = \frac{Q_{Behov} \cdot \eta_{Dekn}}{Q_{Utb}} \quad (2.6)$$

- $A_{Sol f}$ - Solfangerareal [m^2]
- Q_{Behov} - Energibehov (Tappevannsoppvarming) [kW/m^2]
- η_{Dekn} - Ønsket dekningsgrad

For at brukerens behov skal kunne dekkes må akkumulatortanken være tilstrekkelig. Den må også være stor nok til å kunne akkumulere ønsket energimengde. Dersom tanken er for liten vil ikke solfangeranlegget utnyttes optimalt, og det vil dermed bli overproduksjon av solenergi som akkumulatortanken ikke har kapasitet til å lagre. Hvis tanken er for stor, vil det bli lang oppvarmings- og nedkjølingstid. Når solvarmeanlegget skal brukes til å varme opp kun tappevann bør tankens volum være 1,2 – 1,5 ganger det daglige behovet for varmt tappevann. Erfaringstall viser at akkumuleringstankens størrelse bør være ca. 50-75 liter per kvadratmeter^[1]. For nøyaktige beregninger av hvordan volum av tanken påvirker temperaturforløp og utnyttelse av solfanger, må det brukes simuleringsverktøy. Rør og komponentdimensjonering vil utføres på samme måte som et vanlig varme- og kjøleanlegg^[1].

2.7 Presentasjon av GK-bygget Trondheim

GK-bygget Trondheim (GKBT), som blir brukt som referansebygg, ligger på Sluppen litt utenfor Trondheim sentrum. Bygget ble ferdigstilt i april 2017 og overlevert i mai 2017. Det går over fem plan med en nedgravd parkeringskjeller i to nivåer. Teknisk rom er plassert på taket, i tillegg er det to små, tekniske rom i kjelleren. I kjelleren er det et også oppvarmet trapperom og delvis oppvarmet parkeringsareal (+5 °C). I plan en er det fellesområde og verksted/lett industri. Plan to, tre, fire og fem er i dag brukt som kontorarealer. Det er flate tak på bygget.



Figur 2.6: Nordfasaden, fra Teknoconsult sitt energikonsept av GKBT

Tabell 2.2: Fakta om GKBT

Beskrivelse	Verdi
Byggeår	2017
Totalt BRA	5388 m ²
Antall etasjer	5
Byggestandard	TEK10
Energimerke	A

2.7.1 Tekniske spesifikasjoner

Det tekniske anlegget til GKBT inkluderer blant annet ventilasjon, kjølemaskin, fjernvarme, snøsmelteanlegg og anlegg for varmt vann.

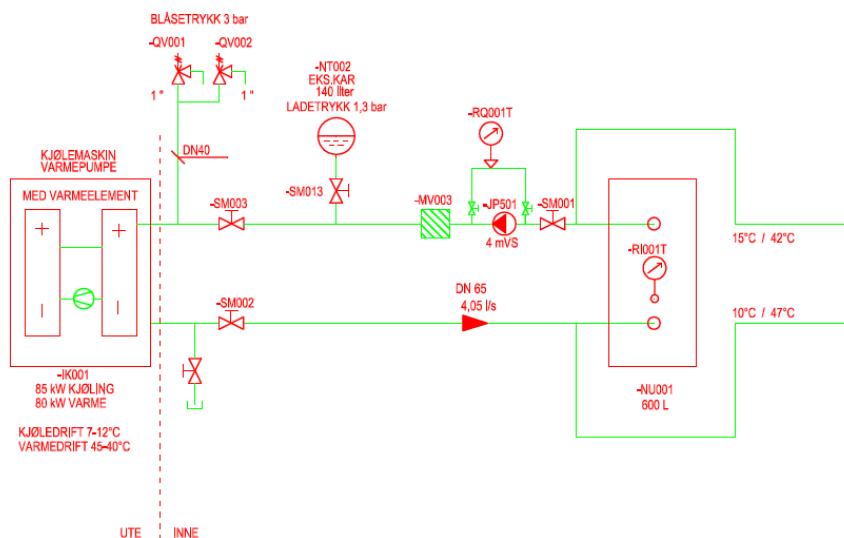
Energisentral

Byggets energisentral skal levere varme til de fire ventilasjonsaggregatene, åtte aerotempere og anlegg for tappevann. I tillegg skal anlegget kunne kjøle ventilasjonen i perioder da dette trengs. Bygget varmes/kjøles hovedsakelig opp av en kjølemaskin og fjernvarme. Store deler av året kjøres kjølemaskinen på kjøling og fjernvarmeanlegget dekker derfor 100 % av tappevannet når det er nødvendig. I de tekniske rommene er det montert energimålere på kursen fra kjølemaskinen (OE001), fjernvarmen (OE002) og for el-kolben i tappevannstanken (OE003).

Oppvarmingssystem

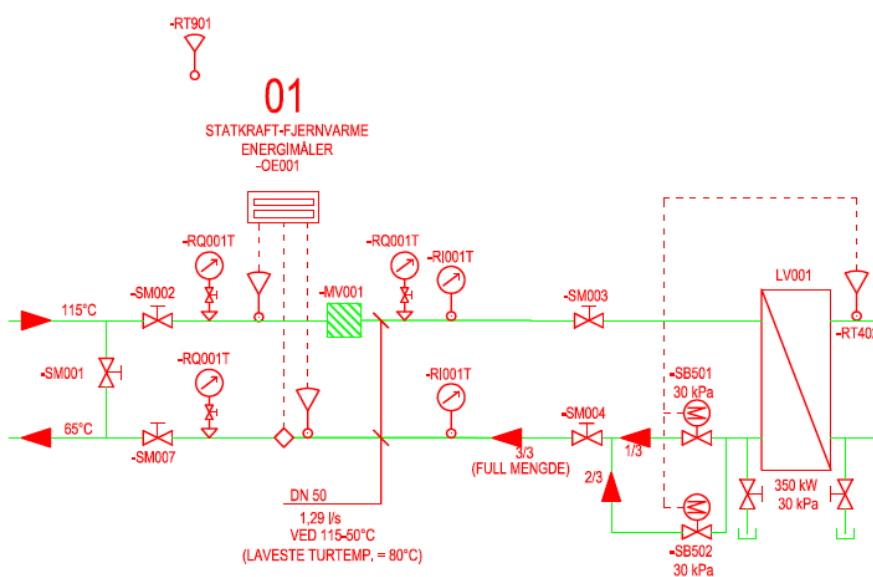
GKBT benytter en kjølemaskin fra *RC Group* som er montert på taket utenfor teknisk rom i sjette etasje. Denne er av typen luft-til-vann. Kjølemaskinen fungerer som en væskekjøler for kjølvannsproduksjon om sommeren, og for varmtvannsproduksjon på vinterstid.

Hovedstokken for varmeanlegget går fra luft-til-vann kjølemaskin (IK001, 85 kW kjøling, 80 kW varme), se figur 2.7. Se komplett systemskjema for GKBT i vedlegg A2. På denne hovedstokken står tvillingpumpen. Videre deles det opp i ulike kurser. Det er fire luftbehandlingsanlegg. Tre som har to vannbårne kombibatteri for kjøling og varme etter hvilken drift anlegget går på, og et anlegg som har kun ett kombibatteri. Det er til sammen åtte aerotempere og luftporter, som varmer opp hovedinngangen, lager, parkeringskjeller og teknisk rom på tak. Disse har en totalt samlet effekt på 57,5 kW.



Figur 2.7: Kjølemaskin, system 370.001

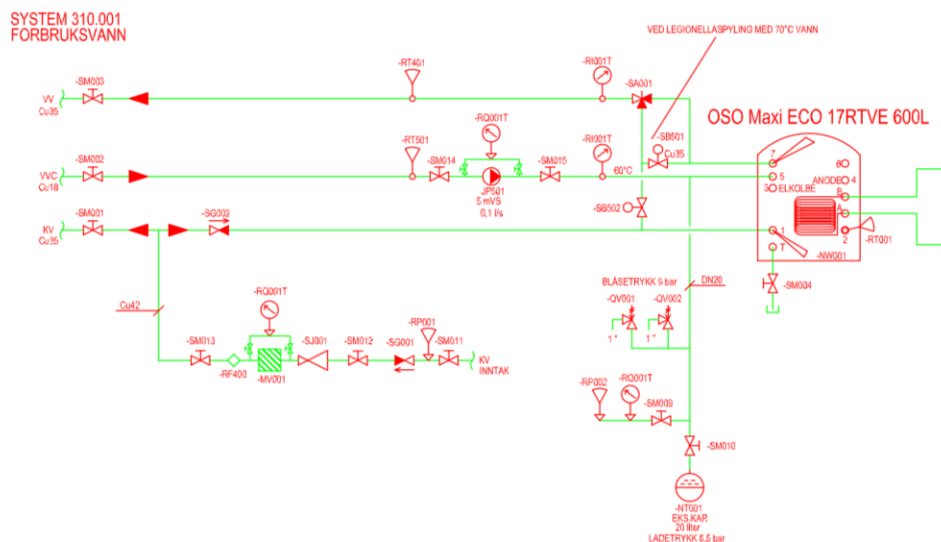
I tillegg til kjølemaskinen, er bygget forsynt med fjernvarme, som er koblet opp mot en varmeveksler (LV001, 350 kW). Fjernvarmen kommer fra Statskraft sin fjernvarmesentral på Heimdal. Figur 2.8 viser at det er installert to ventiler (SB501 og SB502) på retursiden til fjernvarmen, der den ene er på 1/3 av vannmengden og den andre er 2/3 av vannmengden, for å få en mer nøyaktig regulering av fjernvarmen. Disse får pådragssignal fra en styringsboks mellom temperaturgiver (RT402) og ventilene. Ventilene har settpunkt for temperaturen ut fra veksleren.



Figur 2.8: Fjernvarme primærside, system 320.001

Varmtvannsanlegg

Mellom kursen fra fjernvarmen til tappevannet er det satt inn en akkumulatortank (NW001, 600 L). I akkumulatortanken går vannet som er varmet opp av kjølemaskinen eller fjernvarmen i en coil inne i tanken, som videre varmer opp tappevannet fra den kommunale ledningen. I tanken er det også installert en el-kolbe for å holde sirkulasjonen varm og gjøre bygget uavhengig av fjernvarme ved lavt behov for varme, se figur 2.9



Figur 2.9: Forbruksvann, system 310.001

3 Oppvarmingssystemer

Solvarme vil kun klare å dekke en viss andel av det totale varmtvannsbehovet i et bygg. Ytelsen avhenger av utetemperatur og temperaturen på varmemediet i selve solfangeren. For varmtvannsanlegg har den gjennomsnittlig en dekningsgrad på 50%^[17], og på grunn av dette vil solfangere alltid installeres i kombinasjon med en annen varmekilde^[8]. Den andre varmekilden supplementerer med varme på de kaldeste dagene og om vinteren, og vil fungere som en sikkerhet dersom solfangeranlegget av en eller annen grunn ikke skulle klare å levere varme.

Ved vurdering av lønnsomheten av solfangeranlegg for oppvarming av tappevann, blir det derfor naturlig å se på de forskjellige *oppvarmingssystemene*. I denne oppgaven er det satt fokus på solfangere kombinert med henholdsvis varmepumpe, elektrisitet og fjernvarme. Teknologien knyttet til disse oppvarmingssystemene vil i tur og orden presenteres i dette kapittelet.

3.1 Litteratursøk

Litteratursøk er gjennomført for å få kunnskap om eksisterende data rundt solfangeranlegg for tappevannsoppvarming. Litteratur i form av artikler, tidligere oppgaver og norske standarder er vurdert for å finne gode tappevannsløsninger med solfangere, for å videre kunne se på mulighetene for å installere solfangere i bygg med lavt tappevannsforbruk.

Det finnes en god del informasjon å hente om solfangeranlegg for bygg som sykehus, hoteller og boliger med høyt tappevannsforbruk. For kontorbygg som har et lavt tappevannsforbruk, er det derimot mindre data tilgjengelig.

I oppgaven er det tatt i bruk Zjidemans *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer* samt *Håndbok for solvarme*. Aktører som har hjulpet med utarbeiding av Håndboka er blant annet styremedlemmer i Norsk solenergiforening, VVS-forening, AventaSolar og Norsk Fjernvarme. Denne litteraturen gir informasjon om oppbygging av solfangeranlegg og hvordan de prosjekteres, samt at solfangere i kombinasjon med varmepumpe, el-kolbe og fjernvarme er de vanligste løsningene for oppvarming av tappevann.

SINTEF Byggforsk og Norsk Standard er andre kilder som har vært nyttige for oppgaven i forhold til krav og veiledning på solfangeranlegg.

3.2 Solfangere kombinert med varmepumpe

Solfangere og varmepumpe er en kombinasjon som til sammen kan dekke en stor andel av varmebehovet til et bygg. Kombinasjonen kan gjøres på flere måter, og det brukes ulike typer varmepumper. Noen eksempler er luft-til-vann-varmepumpe eller væske-til-vann-varmepumpe. Eventuelt kan bergvarme-, jordvarme- og sjøvannsvarmepumpe brukes^[18]. I denne oppgaven er hovedfokuset på luft-til-vann-varmepumpe, da denne leverer varme til vannbårne systemer og dermed er aktuell i kombinasjon med solfangere.

En luft-til-vann-varmepumpe henter gratis varme fra uteluft og leverer varmtvann som kan benyttes til rom- og tappevannsoppvarming^[18]. En slik varmepumpe vil dekke energibehovet store deler av året, men på de kaldeste dagene om vinteren må en annen varmekilde til for å ta det siste temperaturløftet. I disse tilfellene er det mest vanlig med en el-kolbe i akkumulatortanken.

Et solfangersystem kan levere varme ved ulike temperaturer. Dette er en viktig faktor i forhold til hvordan solfangeren best kan fungere i kombinasjon med varmepumpe. Hvilke temperaturnivåer en klarer å utnytte fra solfangerne, avhenger av hvordan solvarmen lagres i akkumulatortanken, eller om solvarmen benyttes som forvarming av vann som går videre inn i varmepumpen. Hvilken temperatur varmeanlegget i bygningen skal ha er også en viktig faktor.

Investeringskostnaden for en varmepumpe avhenger av størrelsen på pumpa. Størrelsen på pumpa bestemmes ut fra den elektriske effekten \dot{W} pumpa trenger for å levere tilstrekkelig med varme \dot{Q} , for å løfte vannet til ønsket temperatur. Formler for å kunne gjøre disse utregningene er vist under.

Maks samtidig vannmengde^[14]:

$$q = q_1 + 0,015(Q - q_1) + 0,17\sqrt{Q - q_1} \quad (3.1)$$

- q - maks. vannmengde, l/s
- Q - summen av normalvannmengder, l/s
- q_1 - normalvannmengde til største tappested, l/s

Varmestrøm:

$$\dot{Q}_H = q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (3.2)$$

- \dot{Q}_H - Varmestrøm, kW
- q - maks. vannmengde, l/s
- ρ - massetetthet, kg/m^3
- ΔT - Temperaturdifferanse, °C

Elektrisk effekt :

$$\dot{W} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{HP}} \quad (3.3)$$

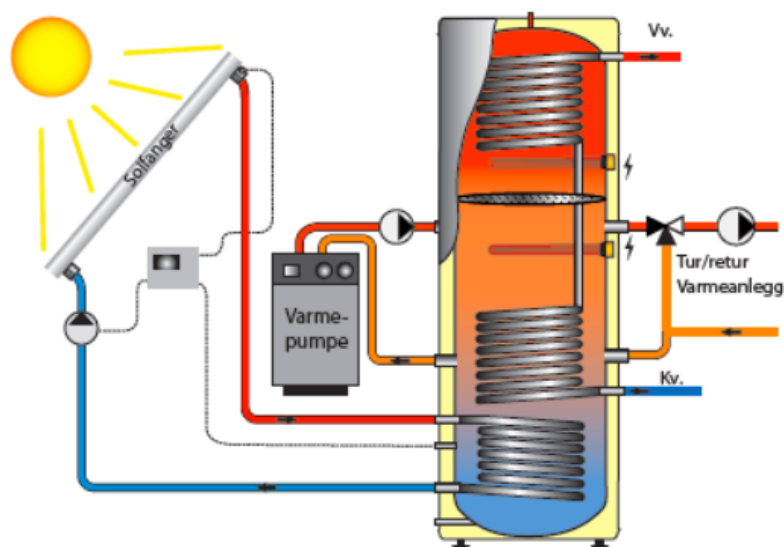
- \dot{W} - Elektrisk effekt, kW
- \dot{Q}_H - Varmestrøm, kW
- COP_{HP} - Varmepumpens effektfaktor

3.2.1 Tekniske løsninger

Når et solfangeranlegg kombineres med en varmepumpe, skal alltid varmen fra solen prioriteres når den kan brukes direkte. Når det er nok sol, er det nesten gratis å produsere solvarme. Det eneste som trenger strøm er en liten sirkulasjonspumpe, som klarer seg med en veldig lav effekt^[8].

Dersom solvarmen er 40 °C eller varmere kan den brukes direkte. Dette gjør at varmepumpen avlastes. Når solen gir nok varmtvann til bygningen vil varmepumpen skrus av, men forutsetningen er at anlegget er designet riktig. Dette kan øke levetiden på varmepumpen, som ofte har en levetid på 12-15 år^[18]. Om sommeren er COP (varmepumpens effektfaktor) lav, noe som kan føre til at varmepumpen fort blir for stor i forhold til behovet på sommerstid.

Ved litt lavere temperaturer, som 10-40 °C, egner ikke solvarme seg til romoppvarming og varmt tappevann. Da blir solvarmen brukt til å forvarme kaldt vann i akkumulatortanken, og derfor egner solvarmen seg godt til å supplere varmepumpen^[8].



Figur 3.1: Eksempel på et kombianlegg med solfanger og varmepumpe^[1]

Når temperaturen fra solfangeren er lavere enn $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ kan den normalt brukes som energikilde til selve varmepumpen. I dette tilfellet vil varmepumpens effektfaktor bli høyere. Et slikt system krever god kontroll i anlegget, spesielt inn til varmepumpen^[8].

3.3 Solfangere kombinert med elektrisitet

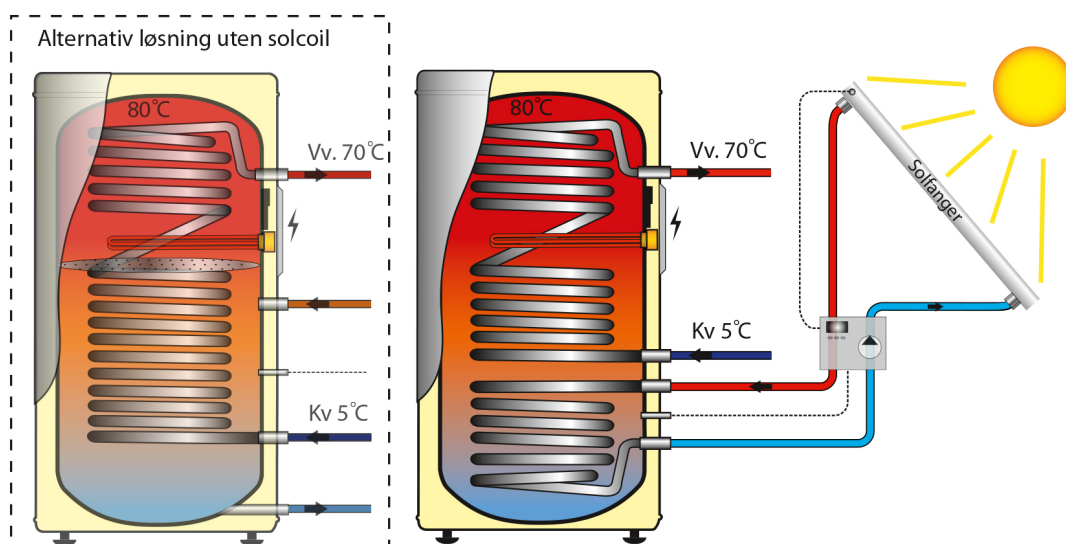
Å bruke solfangere til å konvertere strålingsenergien fra sola direkte til varme, fremfor å gå veien om strøm er fordelaktig. Allikevel kan det lønne seg å kombinere varme levert fra solfangere med varme fra elektrisitet.

For systemer som kun forsyner et bygg med tappevann benyttes det ofte en el-kolbe i akkumuleringstanken, eventuelt i en egen varmtvannsbereder i tillegg. I et slikt anlegg er det også lurt å prioritere solvarmen som oppvarmingskilde for å unytte solenergien så langt det lar seg gjøre. I perioder med nok sol vil det dermed ikke være behov for å bruke elektrisitet. For å få til dette er det også her viktig at solvarmen leveres på riktig sted i akkumulatortanken og at tankene står i riktig rekkefølge i varmesystemet, dersom det er flere av dem. Solfangere i kombinasjon med elektrisitet er den enkleste og mest brukte løsningen^[8].

Ofte benyttes selve varmtvannsberederen som akkumulatortank, hvor kaldt vann føres inn i en spiral i bunn av tanken og det varme forbruksvannet tas ut i toppen, som du ser til venstre i figur 3.2. På denne måten deles tanken inn i to temperatursoner som separeres. Oppvarming

skjer ved at det varme vannet fra solfangeren leveres direkte inn i tanken. Vannet leveres relativt lavt, men over det kalde vannet og varmer opp spiralen med forbruksvann slik at den virker som en vekslers. El-kolben monteres i øverste del av tanken for å varme opp vannet ytterligere dersom det ikke er høy nok temperatur på vannet som kommer fra solfangeren.

En kan også levere solvarmen inn i tanken i en egen spiral, som da plasseres under spiralen for forbruksvannet. Dette vises til høyre i figur 3.2. Da trenger ikke tanken å deles i to separerte temperatursoner, men det er viktig at akkumulatortanken dimensjoneres godt, slik at sjiktingen blir slik at det varme vannet i toppen ikke blandes med det kalde vannet i bunnen. Det varme vannet fra solfangeren varmer da opp vannet i tanken som videre varmer opp tappevannet til ønsket temperatur. I denne varianten plasseres el-kolben i det øverste sjiktet av tanken.



Figur 3.2: Eksempler på solfanger kombinert med el-kolbe^[1]

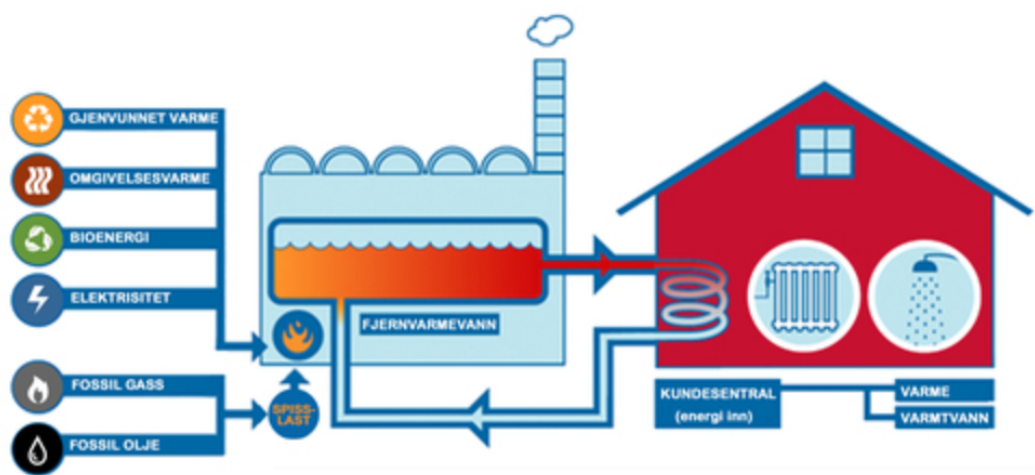
Ofte benyttes flere tanker i et solfangeranlegg. Tappetvannet varmes opp mens det sirkulerer i en spiral, i en tank som kun tilsettes oppvarmet vann fra solfangeren. Denne tanken får da ingen varme fra elektrisitet. Videre sendes det forvarmede tappevannet inn i en tappevannsbereder med el-kolbe som øker temperaturen til ønsket nivå. Denne berederen bør styres med en forsinkelse, slik at den avventer og ser om det kommer solvarme ved gitte tidspunkter før den fyller opp igjen^[1]. Denne løsningen er tatt i bruk i oppgaven.

En annen teknisk løsning er å kombinere solvarmen med en elektrisk kjel. Dette er mer vanlig dersom varmen fra solfangeren skal brukes til i et kombianlegg med tappevanns- og romoppvarming. Løsningen med kjel er mer vanlig i større anlegg, som for eksempel sykehjem, skoler, boligblokker eller idrettshaller^[8].

3.4 Solfangere kombinert med fjernvarme

3.4.1 Fjernvarme

Fjernvarme er varmt vann som varmes opp i en fjernvarmesentral, og blir forsynt til et eller flere bygg. Kunder som benytter seg av fjernvarme kan bruke varmen til vannbåren gulvarme, radiatorer eller oppvarming av tappevann. Fjernvarmerør blir lagt i grøfter slik at kunden enkelt kan koble seg til fjernvarmenettet, og har et gjennomsnittlig varmetap på kun fem til ti prosent. Det kan benyttes mange forskjellige energikilder til produksjon av fjernvarme; avfall, biobrensel, varmepumper, deponigass, naturgass, propan/butangass, elektrisitet og fyringsolje. Fjernvarmesentralen kan benytte flere energikilder samtidig for å oppnå stabil og fleksibel forsyning av varme til kundene^[19].



Figur 3.3: Fjernvarme til et bygg^[5]

Det tas utgangspunkt i energi- og kostnadsbesparing ved oppvarming av tappevann og fokuset rettes derfor mot priser tilknyttet fjernvarme. Fjernvarmeprisen er underlagt energilover og er lavere enn strømprisen i området. Strømprisen som blir omtalt inkluderer markedspris, nettleie og offentlige avgifter. Fjernvarmen i Trondheim leveres av Statkraft og har ingen fastpris. Siden det ikke er noen fastpris betaler en kun for det en bruker^[20].

3.4.2 Kombinert oppvarmingssystem

For byggherre er solfangere på et bygg med fjernvarme teknisk enklere å installere enn mange andre kombinasjoner. Fjernvarme er enkelt å regulere og kan brukes uavhengig av hvor mye solfangeren leverer. Fjernvarme kan dekke 100 % av behovet hvis solfangerne ikke leverer nok varme. Hvis fjernvarme skal brukes, må det diskuteres best teknisk løsning med fjernvarmeleverandør. Dette er fordi det blir benyttet mindre fjernvarme når det er kombinert med solfangere, enn om det kun er benyttet fjernvarme til oppvarming. Solfangerne vil forvarme vannet i systemet slik at fjernvarmen ikke vil varme forbruksvannet like mye, og vil dermed få en mindre differansetemperatur enn ved kun bruk av fjernvarme^[8]. Det stilles også krav til returtemperaturen på fjernvarmen. Statkraft har et maksimumskrav på 60°C^[21].

Ved solfangere i kombinasjon med fjernvarme installeres det en fjernvarmeveksler før akkumulatortanken. Vannet i solfangerkretsen er avskilt fra tappevannet slik at legionellaoppblomstring i tappevannet ikke oppstår. Ved systemoppkobling er det viktig at kaldt tappevann veksler gjennom solvarmelageret. Dette er for å sikre optimalt uttak fra solfangerne. Varmeveksler for fjernvarme skal sikre høy nok temperatur på tappevannet uten hjelp fra solfanger. Fra veksleren er fjernvarme koblet direkte inn i tanken. Denne løsningen er brukt videre i oppgaven.

4 Systemutforming for oppvarming av tappevann med solfangeranlegg

Det finnes flere måter å utforme solfangeranlegg for oppvarming av tappevann. I dette kapitlet presenteres metodene som er brukt for å finne en ideell systemutforming, som vil bli brukt i beregninger videre i oppgaven. Det er også utarbeidet forslag til flytskjemaer for de forskjellige systemene, som fremkommer i slutten av kapitlet.

4.1 Kvantitativ datainnhenting

For å kartlegge hva som finnes av målinger er det benyttet ulike program for kvantitativ datainnhenting. Hvilke verktøy som er benyttet for kvantitativ datainnhenting og hva de gir av informasjon, er representert i tabell 4.1.

Tabell 4.1: Metoder brukt for innhenting av informasjon

Verktøy	Innhentet informasjon	Funn
Systemskjema	<ul style="list-style-type: none"> • Oppvarmingssystem • Komplette fremstilling av anlegget 	Systemskjema er bruk for å utarbeide alternative flytskjema for oppbygning av tappevannsoppvarming med solfangere.
Plantegning	<ul style="list-style-type: none"> • Antall tappesteder på GKBT 	Tappesteder med behov for varmtvann på GKBT inkluderer; 6 dusjer, 9 kjøkkenvasker, 35 servanter og 11 utslagsvasker. Benyttet for beregning av tappevannsbehov på bygget.
Energikonsept	<ul style="list-style-type: none"> • Beskrivelse av bygget • Energistrategi • SIMIEN beregning 	Det er en rapport fra Teknokonsult AS som beskriver den anbefalte energistrategien for bygget, GKTB. I Energikonseptet er tappevannsbehovet dekket av 100% fjernvarme.
GKeSight	<ul style="list-style-type: none"> • Energimålinger • Vannbåren produsert energi • Energi brukt i form av strøm 	GKeSight viser energimønsteret på GKBT. Her er tappevannsforbruket på GKBT ikke registrert. Derimot kan den totale termiske energien på bygget leses av. I 2018 var det 327 007kWh.

Det er sett på målinger fra det tekniske anlegget til GKBT, for å kartlegge energibehov, tappevannsforbruk og oppbygning av tappevannsanlegget. Scandic Lerkendal er også benyttet som eksempelbygg ettersom det har et stort solfangeranlegg til tappevannsoppvarming.

4.2 Kvalitativ datainnhenting

E-post og telefonsamtaler med ansatte hos relevante bedrifter er tatt i bruk som kvalitative metoder for å hente inn data. Å innhente data på denne måten er utfordrende, da slik informasjon ofte er forbundet med taushetsplikter og krav til fullmakt for å få tilgang på prisanslag. Det er mer tidkrevende enn først antatt å kontakte bedrifter, men det er allikevel viktig for å få informasjon som er bygget på erfaringer og kunnskap innenfor fagfeltet. Det er en viktig faktor for å få et virkelighetsnært inntrykk av hvordan et solfangeranlegg fungerer.

AventaSolar var kontaktet i startfasen av arbeidet med oppgaven og har vært en bidragsyter gjennom hele prosjektets varighet. De tilbyr solfangeranlegg til små og store bygg med behov for varme til for eksempel tappevann, romoppvarming, basseng eller til ulike industrielle prosesser. Fra AventaSolar er det hentet informasjon om oppbyggingen av selve solfangeren og erfaring rundt hvilke kombinasjoner som er mest vanlig å levere her til lands. De arbeider med et prisanslag på 3000 kr/m² solfanger og at de produserer mellom 350-500 kWh/m² solfanger (J. Rekstad, personlig kommunikasjon, 08.04.19).

CTC leverer produkter innen varmtvann og varme. De er blant annet leverandør av solfangere. De ble kontaktet angående pris på solfangere men også informasjon om gode tekniske løsninger ved bruk av solenergi. Enova og Statkraft ble også kontaktet. Disse bedriftene sitter på relevant informasjon med tanke på kostnadene gruppen trengte innblikk i.

Relevant informasjon om priser og løsninger ble også hentet fra nettsider til leverandører av solfanger- og tappevannsanlegg.

4.3 Valg av solfanger

For å velge type solfanger for beregningene i oppgaven, blir de ulike typene satt opp mot hverandre. Dette gjør det lettere å se på fordeler og ulemper. Det vil ikke være et fasitsvar på hvilken solfanger som passer størrelsen på bygget best da ulike faktorer spiller inn, og disse

er individuelle for hvert enkelt bygg. Dette kan være alt fra energibehov, plassmangel eller kostnader.

Det er hovedsakelig vurdert to forskjellige solfangere og to forskjellige solfangersystem. Plane solfangere og vakuumsolfangere som bruker trykksatte eller trykkløse systemer. Plane, trykkløse solfangere er mindre vanlig enn trykksatte solfangere, men antall bedrifter som tilbyr slike løsninger øker. De forskjellige leverandørene av solfangeranlegg spesialisere seg ofte på ett type system. Eksempelvis leverer CTC bare vakuumsolfangere fordi de er mest effektive, mens AventaSolar fokuserer på plane solfangere. Hvilken type system man går for som kunde, avhenger av tilgjengelig plass og valg av leverandør.

Tabell 4.2: Trykkløse system

Trykkløse	
Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> • Gunstig for miljøet, fordi det tar i bruk ublandet vann • Lang levetid • Færre komponenter i systemet • Systemet er selvdrenerende 	<ul style="list-style-type: none"> • Fungerer ikke så bra på dager med dårlig solforhold • Lavere effektivitet

Tabell 4.3: Trykksatte system

Trykksatte	
Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> • Høyere effektivitet • Produserer mer varme under dårlige solforhold • Varmemediet tåler lavere og høyere temperaturer 	<ul style="list-style-type: none"> • Solfangerne har kortere holdbarhet • Tar i bruk en varmemedie, glykol, som ikke er økonomisk lønnsomt ift vann • Fungerer kun på vakuumsolfangere, som er dyrere enn plane solfangere

Pris på solfangeranlegg varierer avhengig av leverandør. Mange leverandører spesialisere seg på solfangeranlegg til bolig. Det er derfor vanskelig å si hva kostnaden vil være for et kontorbygg. I tabell 4.4 ser du kr/m² for solfangeranlegg. Aventa AS leverer hovedsaklig til næringsbygg, mens CTC og Solfanger.no leverer mest til bolig. Prisanslag på vakuumsolfangere, for et panel

på $2.3m^2$, fra CTC koster 9506 kr/panel solfanger (CTC, personlig kommunikasjon, 06.05.19). AventaSolar ble kontaktet for å undersøke priser på plane solfangere. Det ble gitt et prisanslag på $3000 \text{ kr}/m^2$ solfanger.

Tabell 4.4: Pristabell for solfangere

Leverandør	Pris [kr/m^2]	Type solfanger	Inkludert i prisen
Aventa AS	3000	Plane solfangere	Solfanger, rør og tank
CTC	4133	Vakuumsolfangere	Solfanger
Solfanger.no	7491,5 ^[22]	Vakuumsolfangere	Solfanger
Solfanger.no	4656,4 ^[23]	Plane solfangere	Solfanger

I henhold til analyse av fordeler og ulemper, er det valgt å bruke plane, trykkløse solfangere for beregningene i denne oppgaven. Dette er fordi det er miljøvennlig og har lang levetid. De har en billigere investeringskostnad som man ser i tabell 4.4. I tillegg er det ønskelig å holde driftskostnadene så lave som mulig, da oppvarmingssystemet for tappevann er en såpass liten del av det tekniske anlegget for kontorbygg. Det er tatt utgangspunkt i at solfangerne har en dekningsgrad på 50%^[16].

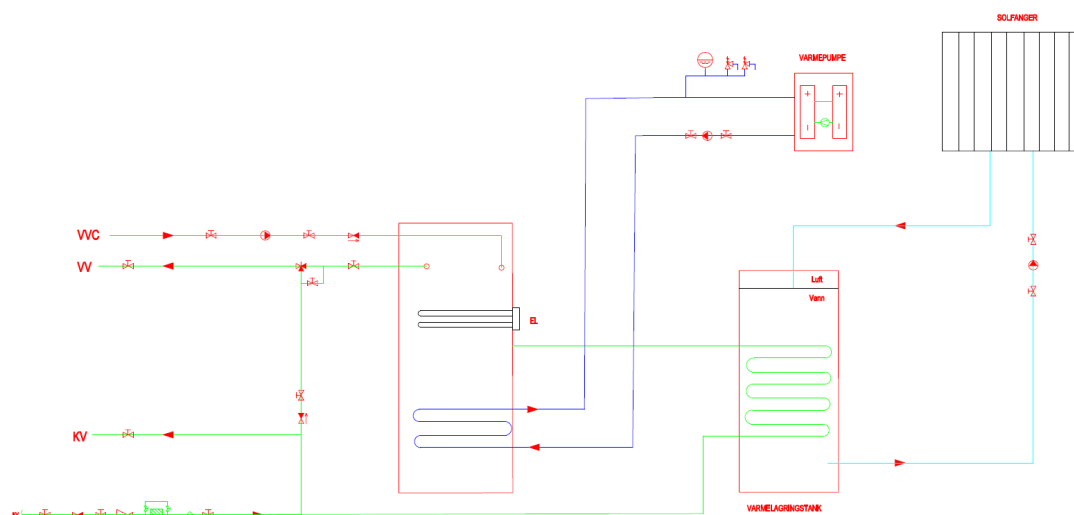
4.4 Flytskjema for tappevannsoppvarming med solfangere

Det er utarbeidet forslag til flytskjemaer for løsninger med solfanger kombinert med annet oppvarmingssystem. Følere og givere er ikke satt inn, da det er fokusert på generell utforming av systemene. Vanntilførsel, kaldtvann (KV), varmtvann (VV) og sirkulasjonsledning (VVC) forblir det samme på alle løsningene. VVC er koblet på i toppen av tanken for å holde god sirkulasjon i anlegget. Denne løsningen er lik på de forskjellige flytskjemaene.

I alle flytskjemaene er det benyttet samme type solfangere. Solen varmer opp vannet i solfangerne, og vannet sirkulerer ved hjelp av en pumpe. Videre føres det til varmelagringstanken. I varmelagringstanken er det en spiral med kaldtvann, som varmes opp av det varme vannet fra solfangeren. Spiralen for tappevann bør være lengst mulig for best mulig oppvarming av vannet. Øverst i varmelagringstanken er det luft, slik at når temperaturen på vannet blir for høy eller lav dreneres vannet ut av solfangerne og de blir fylt med luft. Når solfangerne får solinnstråling registreres dette av en temperaturføler i solfangeren, som gir signal til sirkulasjonspumpen. Denne starter å pumpe rent vann inn i solfangeren, og tar opp varmen

der. Videre vil det oppvarmede vannet gå videre inn i akkumulatortanken, der det varmer opp tappevannet. Hvis temperaturføleren i solfangeren blir for kald eller for varm, vil det gi signal til sirkulasjonspumpen som vil stoppe. Slik at vannet dreneres ut av solfangerne og inn i tanken igjen.

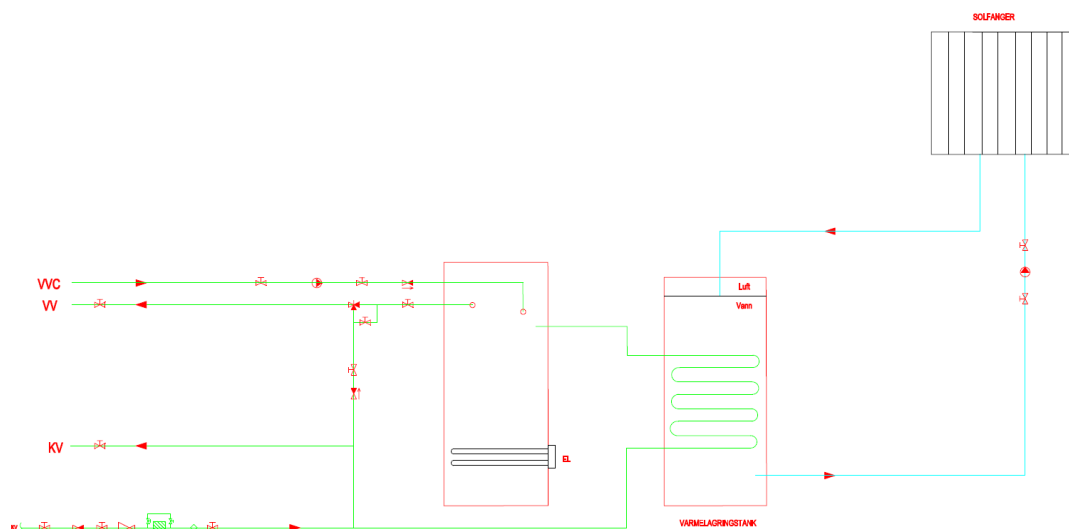
Solfangere kombinert med varmepumpe



Figur 4.1: Flytskjema solfangere kombinert med varmepumpe

I figur 4.1 vises flytskjema for solfangere i kombinasjon med varmepumpe, med en el-kolbe som spisslast. Det må være en el-kolbe i tanken siden varmepumpen ikke klarer å dekke det resterende varmebehovet etter solfangeroppvarming. Det er en luft til vann varmepumpe. Varmepumpen ligger i spiral i tanken for å varme opp vannet de dagene det er dårlige solforhold.

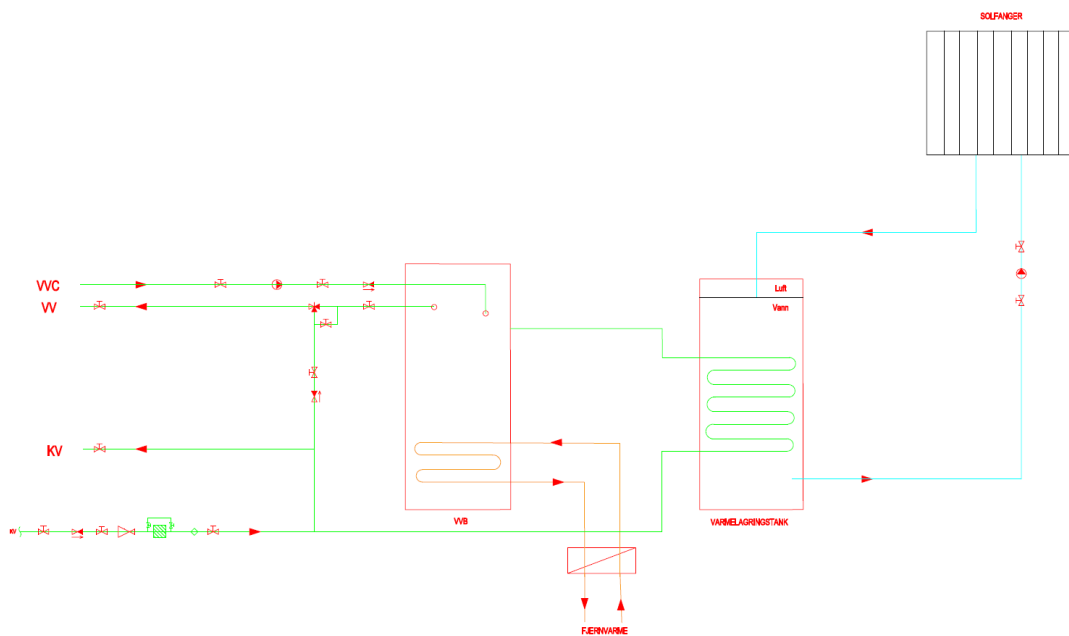
Solfangere kombinert med el-kolbe



Figur 4.2: Flytskjema solfangere kombinert med el-kolbe

Figur 4.2 viser flytskjema for solfangere i kombinasjon med el-kolbe. Her skal solfangerne dekke varmebehovet så godt det lar seg gjøre, før el-kolben tar det resterende oppvarmingsbehovet. I tilfeller hvor solfangerne ikke leverer noe varme må el-kolben kunne dekke 100% av behovet.

Solfangere kombinert med fjernvarme



Figur 4.3: Flytskjema solfangere kombinert med fjernvarme

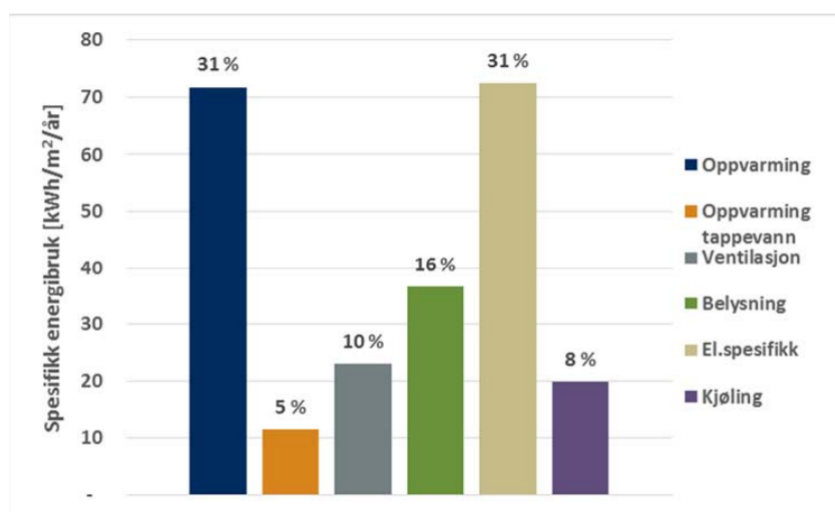
Figur 4.3 viser flytskjema for solfangere i kombinasjon med fjernvarme. Her skal solfangere dekke behovet så godt som mulig, før fjernvarme dekker det resterende oppvarmingsbehovet. Fjernvarme skal fungere på samme måte som el-kolben i flytskjemaet i figur 4.2.

5 Økonomisk analyse av foreslåtte oppvarmings-systemer

Metodene og resultatene i kapittel fire benyttes i dette kapitlet for å utføre økonomisk analyse av fem forskjellige løsninger for oppvarming av tappevann; solfangere kombinert med varmepumpe, elektrisitet og fjernvarme, 100% fjernvarme og varmepumpe kombinert med el-kolbe. For å få en oversikt over totalkostnadene er løsningene sammenlignet i et felles søylediagram for et mellomstort kontorbygg.

5.1 Energibehov i bygg med lavt tappevannsbehov

For å kunne gjøre økonomiske analyser av tappevannsanlegg er det en vesentlig faktor å vite hva energibehovet for oppvarming er. Energibehovet for oppvarming av tappevann ble i denne oppgaven funnet ved å benytte normtall for kontorbygg.



Figur 5.1: Representativt formålsdelt energibruk i kontorbygg

Figur 5.1 viser et diagram over energibruk i kontorbygg. Det er hentet fra en rapport om *Analyse av energibruk i yrkesbygg*^[24] publisert i 2016 av NVE. I kontorbygg er oppvarming av tappevann bare 5% av total energibruken til et bygg. Energibehov for tappevann er hentet fra *Manual for ENØK normtall*. I kontorbygg er energibehov for tappevann 10 kWh/m². Det kan også benyttes NS3031, *Bygningers energiytelse*, som er 5 kWh/m².

5.2 Investeringskostnader

Investeringskostnadene vil variere mellom de forskjellige oppvarmingssystemene. Det er i denne oppgaven sett på kontorbygg fra 400-10000 m^2 . Her kommer en oversikt.

5.2.1 Solfanger

Får å få en oversikt over investeringskostnader på solfangeranlegg utfra hvor stort bygget er, ble det satt sammen en rekke kilder som ble funnet under innhenting av data.

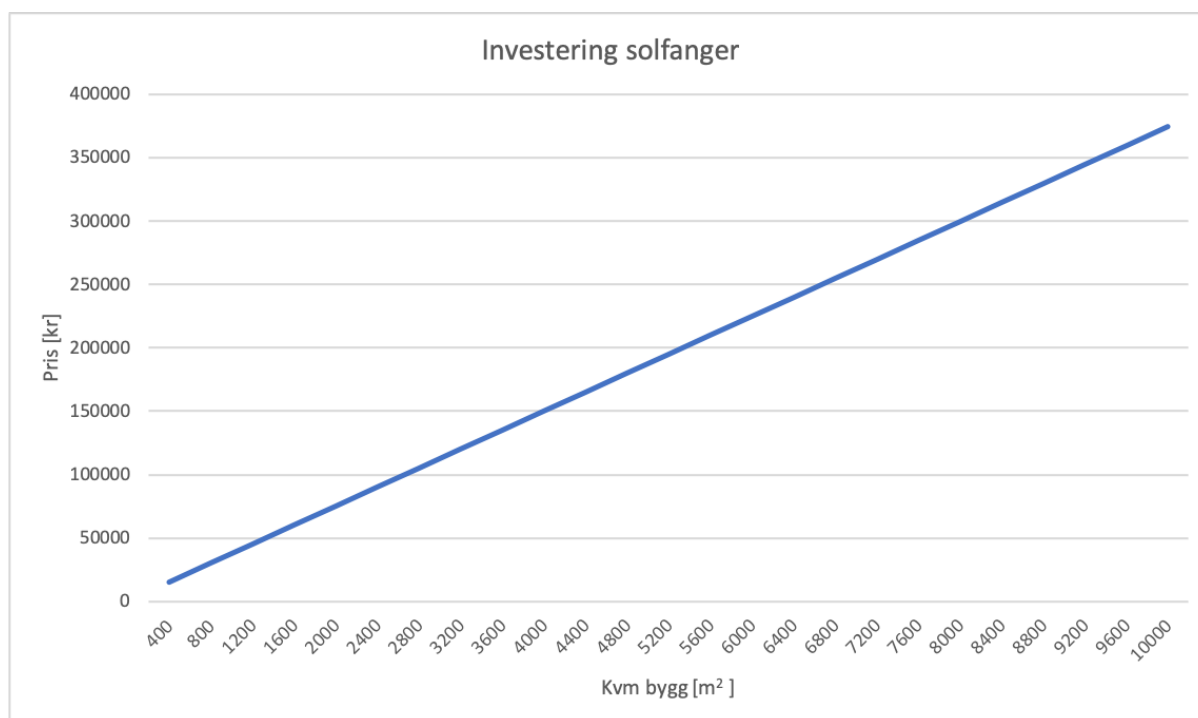
AventaSolar ble kontaktet for å undersøke priser på plane solfangere. Det ble gitt et prisanslag på 3000 kr/ m^2 solfanger, samt en produsert energi på 350 til 500 kWh per m^2 solfanger for plane, trykløse solfangere. I beregningene ble det valgt å bruke 400 kWh/ m^2 per solfanger.

Akkumulatortankene en viktig komponent i et slikt anlegg, i tillegg til solfangerne. For å gi et grovt overslag på størrelse på akkumulatortank, ble det brukt Enova sin kjøpsveileder for akkumulatortanker^[25]. Der er det gitt en verdi som sier at for tappevannsoppvarming er det et behov at akkumulatortanken skal være på 50-75 liter per kvadratmeter solfanger. For å gjøre beregningene ble det valgt å bruke 65 liter per kvadratmeter solfanger. Utfra prisanslaget som er gitt fra AventaSolar, inkluderte det akkumulatortank.

Tabeller og grafer er satt opp utfra disse opplysningene. De brukes for å få en estimert investeringskostnad på solfangeranlegget i forhold til byggets størrelse. Her er det da tatt utgangspunkt i kontorbygg.

Tabell 5.1: Inndata for beregning av investeringskostnader på solfangeranlegg

Inndata	
Produsert energi per m^2 solfanger	400 kWh/ m^2 i året
Energibehov for tappevannsbehov (ENØK normtall ^[26])	10 kWh/ m^2
Pris per kvadratmeter solfanger	3000 kr/ m^2
Størrelse akkumulatortank per m^2 solfanger	65 L/ m^2



Figur 5.2: Investeringskostnader for solfangeranlegg

I figur 5.2 er det fremstilt en graf i et diagram med størrelse på bygg på x-aksen, og investeringskostnader på y-aksen. Dette er for å gi en oversikt over investeringskostnadene på et solfangeranlegg utfra størrelsen på bygget. Så for eksempel hvis et bygg er på ca. 2000 m² vil investeringskostnadene ligge på litt over 75.000 kr. Det er antatt at investeringskostnaden for solfangere vil stige lineært med størrelsen på bygget og en dekningsgrad på 50% for solfangere. Her må det tas i betraktning at utformingen av bygget vil ha noe å si i praksis, med tanke på takareal. Et kontorbygg med BRA på 6000 m² kan eksempelvis ha alt fra to til syv etasjer, som vil avgjøre hvor stor plass det er til solfangere på taket. Dersom det er begrenset med plass på taket, kan solfangerne også installeres på yttervegg.

5.2.2 Varmepumpe

Investeringskostnad for en varmpumpe avhenger av pumpestørrelsen. Det er ikke store endringer i varmebehov for oppvarming av tappevann i kontorbygg med BRA fra 400 m² til 10000 m², og i denne oppgaven tas det derfor utgangspunkt i fire intervaller med fire forskjellige pumpestørrelser. Beregningene for dette baseres på formler i kapittel 3.2 og ligger vedlagt i vedlegg A7. Resultatene presenteres i tabell 5.2.

Tabell 5.2: Pumpeeffekt

Intervall	BRA [kvm]	Maks vannmengde [l/s]	Varmebehov [kW]	Beregnet pumpeeffekt [kW]
1	400-3600	0,35	55,9	18,6
2	3600-5600	0,40	63,8	21,3
3	5600-8000	0,45	71,8	23,9
4	8000-10000	0,50	79,8	26,6

I tabell 5.3 er en oversikt over valgt pumpeeffekt ut fra resultatene i tabell 5.2. Investeringskostnadene for de forskjellige varmepumpene er også representert (GK Inneklima, personlig kommunikasjon, 13.05.19).

Tabell 5.3: Ivesteringskostnad for varmepumper

Intervall	Valgt pumpeeffekt [kW]	Investeringskostnad
1	15	73.500 kr
2	20	88.300 kr
3	25	105.000 kr
4	30	110.000 kr

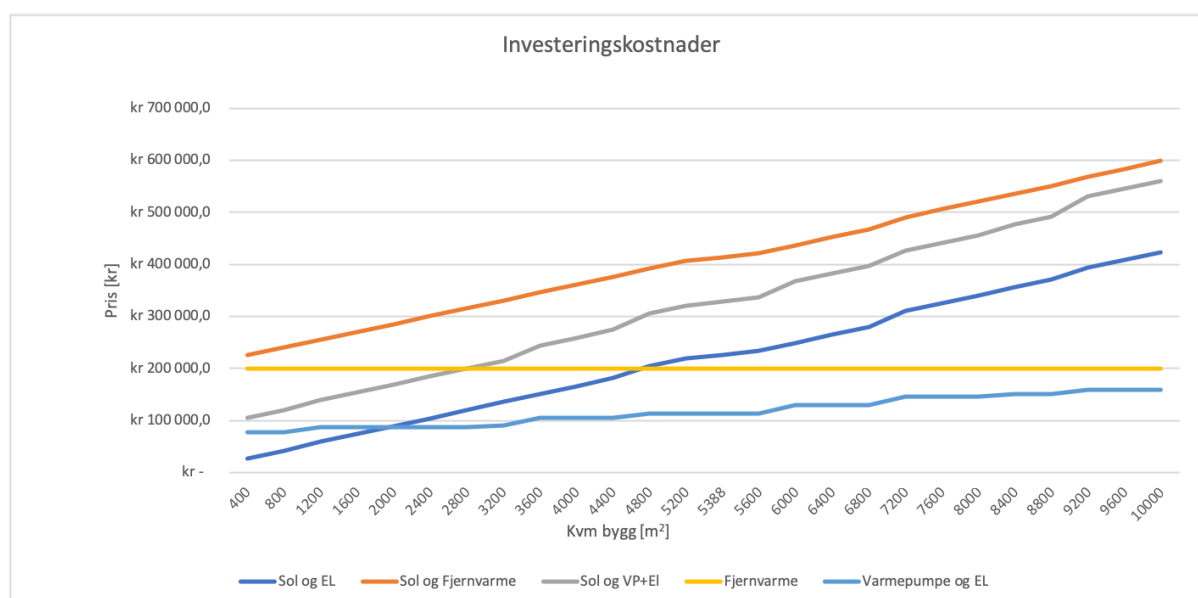
5.2.3 Elektrisitet

Investeringskostnader for elektrisitet er lave. Det er sett på kostnad på tanker med el-kolbe hos forskjellige leverandører. Priser fra Oso for industriberedere ble brukt^[27]. Det ble sett på fire berederstørrelser. På de største byggene ble det beregnet med to tanker. Prislister for tanker ligger vedlagt i vedlegg A3.

5.2.4 Fjernvarme

Tilkoblingskostnadene, også kalt anleggsbidrag, for fjernvarme skal dekke fjernvarmeledningen fra hovedledning og frem til bygget. Beregnet anleggsbidrag for fjernvarme er kostnaden ved framføring av fjernvarme. Kostnaden avhenger av avstanden til nettet, grunnforholdene og plasseringen av teknisk rom med kundesentral^[28]. Det vil si at tilkoblingskostnadene vurderes individuelt og varierer fra kunde til kunde. Typisk kan anleggsbidrag for et middels stort kontorbygg være i området 150.000 – 300.000 kr, men kan være både betydelig høyere og lavere (Å. Utne, Statkraft, personlig kommunikasjon, 01.04.19). Videre i beregningene er det brukt 200.000 kr for anleggsbidraget.

Sammenstilt modell/oversikt over investeringskostnader



Figur 5.3: Investeringskostnader

I figur 5.3 vises investeringskostnader for de tre kombinasjonsløsninger med solfangere i forhold til størrelsen på kontorbygg i m^2 . Ujevnheterne i grafen skyldes forskjellen i kostnader på tankene og varmpumpene. Det er også en graf for løsning med kun fjernvarme og en med kombinasjon av varmpumpe og el-kolbe. Disse er vist i grafen for å gi et bilde på forskjell i investeringskostnader på de tre forskjellige solfangerløsningene i forhold til tradisjonelle løsninger. Solfangere i kombinasjon fjernvarme har klart høyest investeringskostnad, mens varmpumpe og el-kolbe er den rimeligste løsningen.

5.3 Årskostnader

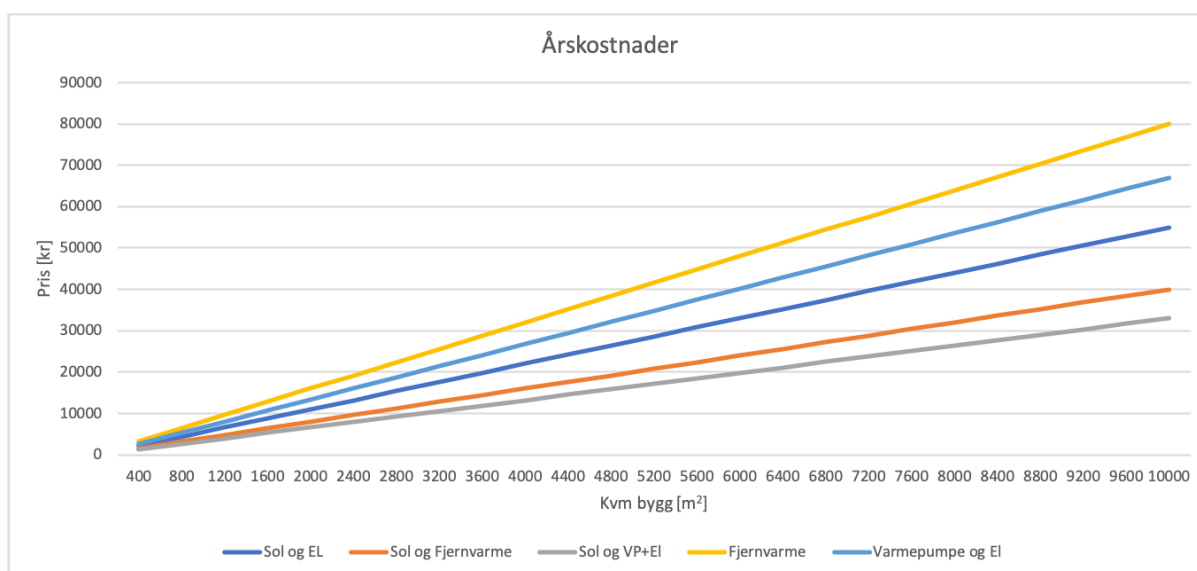
Samtidig som investeringskostnadene varierer mellom de forskjellige oppvarmingsystemene, varierer også årskostnadene på grunn av forskjellige ytelser og energipriser.

Det viste seg å være utfordrende å finne strøm- og fjernvarmepriser. Statkraft ble kontaktet angående pris på fjernvarme. Fjernvarmetarif for næringsbygg i Trondheim for 2018 ble tatt i bruk (T. Nyang, Statkraft, personlig kommunikasjon, 08.05.2019). Det ble da tatt utgangspunkt i gjennomsnittspris for 2018. Strømpris ble hentet fra statistisk sentralbyrå^[29]. Det ble også sett på elspotpriser fra Nordpool^[30]. I tabell 5.4 ser du strøm- og fjernvarmepriser som er brukt i årskostnadene.

Tabell 5.4: Strøm- og fjernvarmepris

Strømpris	1.1 kr/kWh
Fjernvarme	0.8 kr/kWh

Årskostnadene for solvarme vil være tilnærmet lik null, da det kun er en liten sirkulasjonspumpe som trenger minimalt med strøm. Denne neglisjeres derfor i kostnadsberegningene. Det er også svært lite vedlikehold og begrenset rengjøring som er nødvendig. Det er antatt at solvarme skal dekke 50% av oppvarmingsbehovet til tappevann, og dermed vil halvparten av årskostnadene for oppvarmingen være kostnadsfritt. Det resterende oppvarmingsbehovet dekkes av el-kolbe, fjernvarme eller varmepumpe.

**Figur 5.4:** Årskostnader

I figur 5.4 vises årskostnadene for de tre kombinasjonsløsningene med solfangere i forhold til størrelsen på kontorbygg i m^2 . Fjernvarme og varmepumpe kombinert med el-kolbe er også representert, for kunne se på solfangerkombinasjonene i forhold til tradisjonelle løsninger. Det er tatt utgangspunkt i et årlig energiforbruk på $10 \text{ kWh}/m^2$ og dermed øker grafene for årskostnader lineært med størrelsen på kontorbygg.

Graf for solfangere og el-kolbe viser hva det koster å varme opp $5 \text{ kWh}/m^2$ per år tappevann ved bruk av strøm. Det samme gjelder for sol og fjernvarme. For solvarme i kombinasjon med varmepumpe og el-kolbe er oppvarmingsbehovet delt opp. Teoretisk sett skal varmepumpen dekke 30% av oppvarmingsbehovet, mens el-kolben skal dekke de resterende

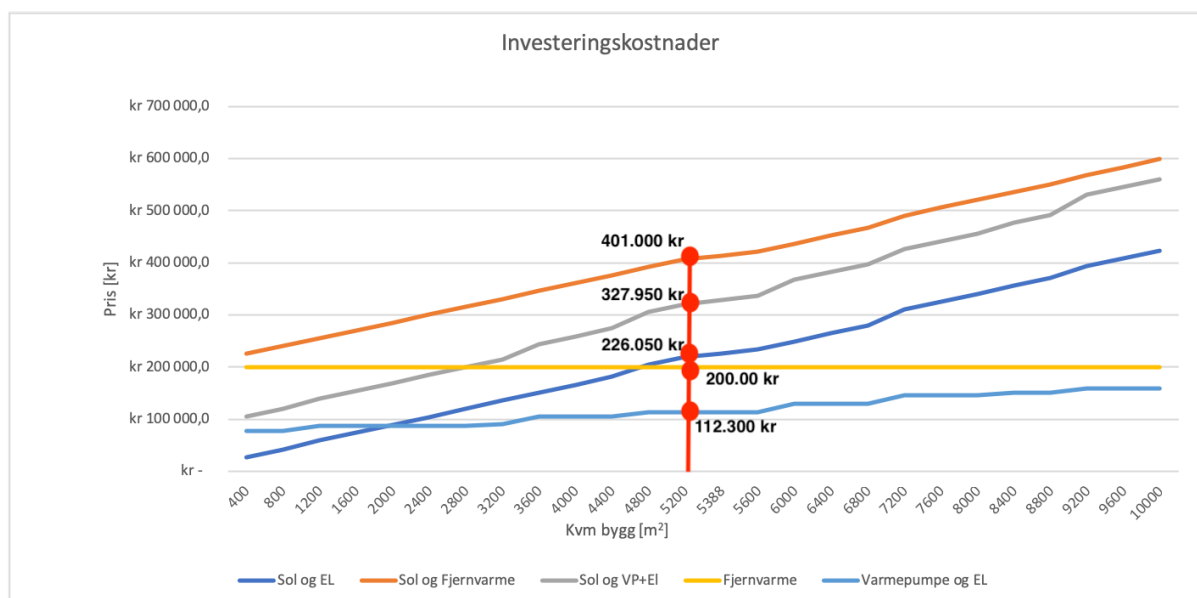
20%. Varmepumpen antas å ha en COP på 3, og bruker dermed en tredjedel strøm av den termiske energien den produserer.

I figur 5.4 ser en at fjernvarme alene har høyest årskostnad. Det er minimale forskjeller i årskostnader på små bygg, mens på de store byggene er det tydeligere kostnadsforskjeller. Solfangere kombinert med varmepumpe er den rimeligste løsningen. Fjernvarme alene har derimot den dyreste årskostnaden.

5.4 Totalkostnader

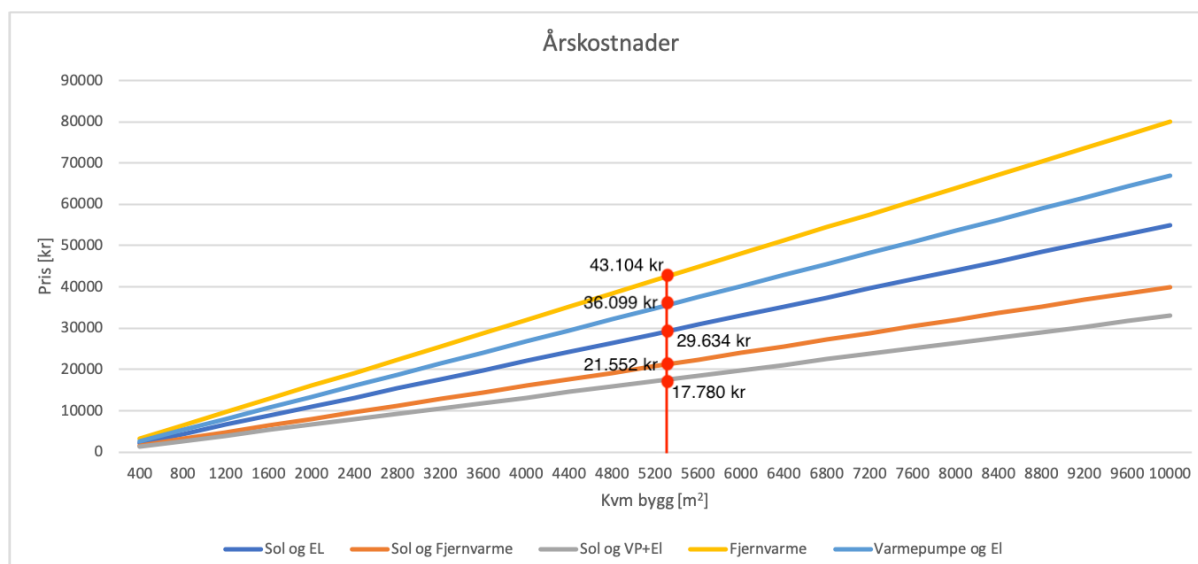
For å få et helhetlig inntrykk av totalkostnadene vil det være nødvendig å bruke de to diagrammene i foregående underkapitler, i et felles regnestykke. Eksempelvis ved å bruke størrelsen på GKBT, 5388 m², og anta en levetid på 30 år for anlegget.

Ved å bruke resultatene som fremkommer i kapittel 5.2 og kapittel 5.3 finner en investerings- og årskostnadene for GKBT hvis det var et nybygg som skulle investere i oppvarmingssystem for tappevann.



Figur 5.5: Investeringskostnader for GKBT for de ulike kombinasjonene

I figur 5.5 er det markert av for størrelsen på GKBT, og viser dermed investeringskostnadene inkludert tank for de ulike kombinasjonene.



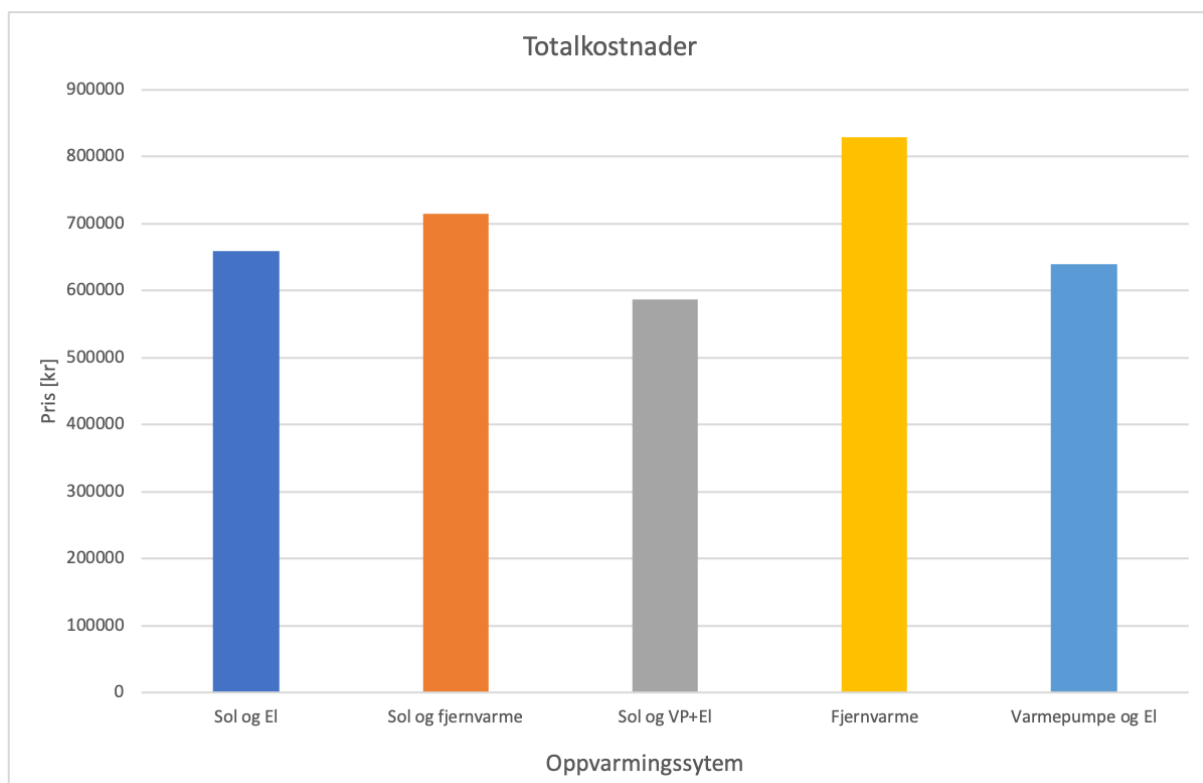
Figur 5.6: Årskostnader for GKBT for de ulike kombinasjonene

I figur 5.6 er det markert av for størrelsen på GKBT, og den viser dermed årskostnadene for de ulike kombinasjonene. Figuren viser at solfangere kombinert med varmepumpe og el-kolbe er den løsningen som har lavest årskostnader, som vil være på 17.780 kr. Løsningen med kun fjernvarme vil ha de høyeste årskostnadene.

Investerings- og årskostnadene hver for seg, sier ikke så mye om lønnsomheten av investeringen i sin helhet. Resultatet viser at årskostnader alltid er lavere med solfangere, og dermed vil det uansett lønne seg å investere i solfangere hvis investeringskostnaden også er lavere enn for tradisjonelle løsninger. Hvis investeringskostnadene for solfangerløsningene derimot er høyere enn for tradisjonelle løsninger må det utføres en nåverdiberegning, for å se hvilken løsning som er lønnsom.

For et bygg på størrelse med GKBT, vil investeringskostnadene for solfangerløsningene være høyere enn for tradisjonelle løsninger. For å se på en sammenligning av totalkostnaden er det dermed utført en nåverdiberegning. Det er satt en levetid på 30 år og en kalkulasjonsrente på 6%. Dette gir følgende totalkostnader for en periode på 30 år:

- Solfanger kombinert med varmepumpe og el-kolbe - **587.373 kr**
- Solfangere kombinert med elektisitet - **658.431 kr**
- Solfangere kombinert med fjernvarme - **715.459 kr**
- Fjernvarme - **828.918 kr**
- Varmepumpe og el-kolbe - **639.010 kr**



Figur 5.7: Totalkostnader for oppvarming av tappevann over 30 år

I figur 5.7 vises totalkostnadene for en periode på 30 år i et søylediagram. 100% fjernvarme er den dyreste løsningen, mens solfangere kombinert med varmepumpe og el-kolbe er den rimeligste løsningen.

6 Vurdering av solfangeranlegg for GK-Bygget Trondheim

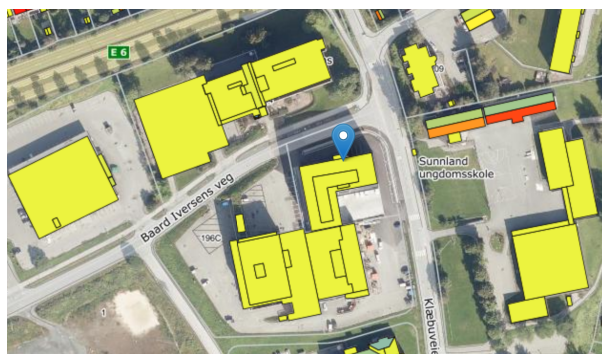
Dagens løsning på GKBT er et kombinert anlegg for både rom- og tappevannsoppvarming med energikildene fjernvarme og kjølemaskin. I dette kapittelet gjøres det beregninger på et solvarmeanlegg som kun skal forsyne tappevannssystemet på bygget. Dette ble gjort ved å benytte energikonseptet som Teknoconsult gjennomførte under prosjekteringen av GKBT. Der ble det opplyst at fjernvarmen skulle dekke 100% av tappevannsoppvarmingen.

Energibehovet for oppvarming av tappevann for GKBT blir 53 880 kWh/år basert på normtallet fra Enøk og BRA.

6.1 Befaring

I forbindelse med oppgaven er det gjennomført en befaring på referansebygget GKBT, for å få en bedre forståelse av det rørtekniske anlegget i bygget og se på mulighetene for en eventuell solfagerinstallasjon. Det er i tillegg undersøkt om det kan gjøres manuelle avlesninger på varmtvannsforbruket. Det er ikke mulig, grunnet mangel på målinger.

Det tekniske rommet på taket til GKBT viser seg å ha god plass til varmelagringstanker dersom det skulle installeres solfangere. Kaldtvannsinntaket er i teknisk rom i kjelleren på bygget, og dette fører til varmetap grunnet lange rørstrekk dersom varmelagringstankene plasseres på taket. Teknisk rom i kjelleren har begrenset plass, og varmelagringstankene kan derfor ikke plasseres her.



Figur 6.1: Solforhold på GKBT^[6]

Solkart.no ble benyttet for å se hvor godt bygget ligger til rette for gode solforhold. Dette er en nettside hvor potensialet for solceller på tak er kartlagt for alle bygg i Norge. Naturligvis vil potensialet for solfangere være relativ likt. Her er blå lite egnet, gul velegnet og rød svært egnet. Du ser fra figur 6.1 at, Baard Iversens veg 7 (GKBT), bygget er velegnet. Taket på GKBT er flatt, og det må derfor installeres solfangere med riktig helnings- og asimutvinkel, for å få full utnyttelse av solen.

6.2 Tappevannsbehov

Det finnes ingen målinger i SD-anlegget eller GKoSight som registrerer eksakt hva tappevannsforbruket er på GKBT. Det fremgår imidlertid målinger som viser totalt brukt termisk energi på 327 007 kWh i 2018. For beregninger av energibehov for kun tappevann er det derfor nødvendig å stipulere et forbruksmønster og beregne et antatt tappevannsbehov og dermed et antatt energibehov for å varme opp dette.

For å stipulere et daglig forbruksmønster ble det antall tappesteder på bygget telt opp, basert på info fra plantegningene. En oversikt over disse er presentert i tabell 6.1.

Tabell 6.1: Tappesteder GKBT

Tappested	Antall	Behov for varmtvann
Dusj	6	Ja
Kjøkkenvask	9	Ja
Oppvaskmaskin	9	Nei
Servant	35	Ja
Toalett	25	Nei
Utslagsvask	11	Ja
Vannutkaster/spylepunkt	11	Nei
Vaskemaskin	1	Nei

Det antas at bygget er i bruk fra klokken 06:00 frem til klokken 19:00. Forbruket av varmtvann er jevnt gjennom driftstiden, med effekttopper når de ansatte kommer på jobb og under lunsjen. Det stipulerte forbruksmønsteret vises i tabell 6.2.

Tabell 6.2: Stipulert forbruksmønster GKBT

Klokkeslett	Tappedsted	Varmtvannsbehov [l/s]	Tappetid [s]	Effekt [kW]	Energi [kWh]
06:00	Servant	0,10	1200	25,20	8,40
07:00	Dusj	0,20	3000	50,40	42,00
	Servant	0,10	780	25,20	5,46
08:00	Dusj	0,20	3000	50,40	42,00
	Servant	0,10	780	25,20	5,46
09:00	Servant	0,10	780	25,20	5,46
10:00	Servant	0,10	780	25,20	5,46
11:00	Servant	0,10	780	25,20	5,46
12:00	Servant	0,10	780	25,20	5,46
	Kjøkken	0,20	600	50,40	8,40
13:00	Servant	0,10	780	25,20	5,46
	Kjøkken	0,20	600	50,40	8,40
14:00	Servant	0,10	780	25,20	5,46
15:00	Servant	0,10	780	25,20	5,46
16:00	Servant	0,10	780	25,20	5,46
17:00	Servant	0,10	780	25,20	5,46
18:00	Servant	0,10	780	25,20	5,46

Forbruket viser at det totale energibehovet for varmtvann er 170,52 kWh i døgnet. En arbeidsuke på fem dager har et energibehov på 852,60 kWh, og et arbeidsår på 47 uker vil ha et energibehov på 40 072,20 kWh. Dette er noe lavere enn 53 880 kWh per år som er det antatte behovet i følge normtallet fra ENØK, men indikerer at normtallet stemmer. Videre i oppgaven benyttes derfor 53 880 kWh/år som oppvarmingsbehovet for tappevann på GKBT.

6.3 Prosjektering av solvarmeanlegg

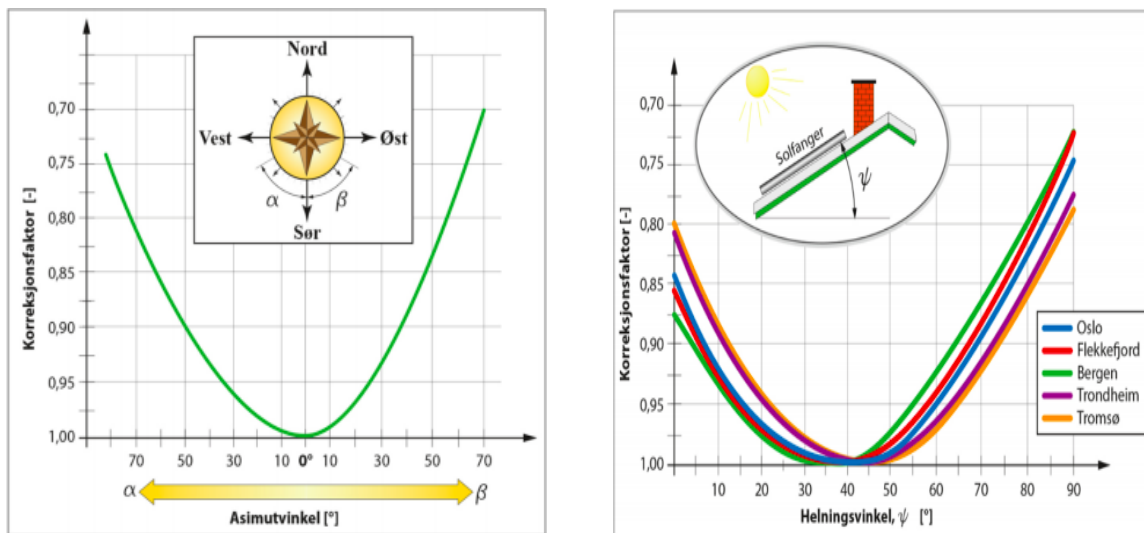
For å avgjøre størrelsen på et eventuelt solvarmeanlegget for GKBT ble det brukt to metoder. Den ene var å bruke Zijdemans formler fra Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer, og den andre var å se på anbefalinger fra ulike leverandører.

6.3.1 Fremgangsmåte ved dimensjonering av solvarmeanlegg ved bruk av Zijdemans metode:

Først benyttes en formelen for å finne energiutbyttet Q_{Utb} . Denne formelen krever at årlig innstrålt solenergi ved optimal helning er funnet. Korreksjonsfaktoren for asimutvinkelen og

helningsvinkelen må også være kjent, samt virkningsgraden til solfangeren. Dette er avgjørende faktorer for å utnytte solfangerne maksimalt.

I Trondheim er den optimale helningsvinkelen 44° med en asimutvinkel vendt mot sør, altså 0° . Dette gir korreksjonsfaktorene til disse vinklene lik 1. De ble funnet ved å bruke diagrammene i figur 6.2.



(a) Konsekvens av asimutvinkel avviker fra ideell (b) Korreksjonsfaktor for solfangerer med ikke-optimal helningsvinkel

Figur 6.2: Asimutvinkel og helningsvinkel^[1]

For å finne virkningsgraden til plane solfangerne ble det sett på ulike datablader, der var virkningsgraden mellom 60% til 80%. Derfor ble det valgt gjennomsnittet til disse, altså 70% virkningsgrad. Ved en optimal helningsvinkel på 44° i Trondheim er årlig solinnstråling på 1023 kwh/m² per år.

Dette gir et energiutbytte:

$$Q_{Utb} = I_{Opt} \cdot \overline{\eta_{Sf}} \cdot f_A \cdot f_H \quad (6.1)$$

$$Q_{Utb} = 716 \text{ kwh/m}^2 \text{ i året} \quad (6.2)$$

Videre for å finne solfangerareal A_{sol} må byggets energibehov og dekningsgraden til solfangerne være oppgitt. Ved bruk av normtall fra ENØK ble energibehovet på GKBT er 53 880 kwh/år, og dekningsprosenten skal være på 50%.

Dette gir et solfangerareal på:

$$A_{solf} = \frac{Q_{Behov} \cdot \eta_{Dekn}}{Q_{Utb}} \quad (6.3)$$

$$A_{solf} = 37m^2 \quad (6.4)$$

6.3.2 Areal beregnet fra erfaringstall:

Leverandører av solvarmeanlegg har gitt verdier for ulike parametere som kan brukes for å beregne et solfangerareal.

Tabell 6.3: Inndata for beregning av solfangerareal

Inndata	
Totalt energibehov, tappevann	53.880 kWh/år
Energibehov som dekkes av solvarmeanlegget	26.940 kWh/år
Produsert energi per kvadratmeter solfanger	400 kWh/m ² i året
Solfangerareal	67.35 m²

Ved å se på energibehovet som skal dekkes av solfangerne og produsert energi per m² solfanger finner en solfangerarealet. Disse parameterne gir et solfangerareal på 67,35 m². Dette tallet er det som vil bli brukt videre i resultatene.

6.4 Lønnsomhet

På GKBT i dag benyttes det kun fjernvarme for å varme opp tappevann. Med en fjernvarmepris på 0,80 kr/kWh vil det dermed, med et totalt energibehov for tappevann på 53 880 kWh/år, koste 43.104 kr i året for oppvarming av tappevann på GKBT med dagens løsning. Dersom en antar en dekningsgrad på 50% på solfangerne vil energibehovet reduseres til 26 940 kWh/år og kostnadene vil synke deretter, avhengig av hvilken energikilde en installerer i tillegg.

I de påfølgende avsnittene vil nåverdien og tilbakebetalingstiden for en investering i de tre forskjellige oppvarmingssystemene legges frem. Ut fra disse resultatene vil en kunne vurdere hvilken løsning som er mest lønnsom. Alle beregninger er sett opp mot dagens løsning.

Investeringskostnad solfangere

Med et behov på 67 m^2 solfangerareal og en kostnad på 3000 kr/m^2 vil investeringskostnaden for selve solfangersystemet komme på 201.000 kr på GKBT. Dette inkluderer solfangere, rørføringer og varmelagringstank.

Solfangere kombinert med varmepumpe

Dersom en investerer 201.000 kr i solfangere og 88.300 kr i en varmepumpe blir den totale investeringskostnaden for dette systemet 289.300 kr.

Varmepumpa vil dekke 30% av det gjenstående energibehovet etter at solvarmen har tatt sin del. Gitt at varmepumpa bruker en tredjedel strøm av det den produserer og de resterene 20% blir dekket av el-kolben i varmelagringstanken, vil det årlige strømforbruket synke med 32328 kWh/år. De årlige besparelsene blir dermed 20.323 kr, med en strømpris på 1,1 kr/kWh og driftskostnader på 5000 kr i året.

Det antas en levetid på 30 år og kalkulasjonsrenten settes til 6,0%. I tabell 6.4 vises nåverdien av investeringen, samt anleggets tilbakebetalingstid. Endring i nåverdi på grunn av endring i kalkulasjonsrente vises i tabell 6.5.

Tabell 6.4: Nåverdi og tilbakebetalingstid for solvarme kombinert med varmepumpe

Nåverdi	Tilbakebetalingstid
14.075 kr	14,2 år

Tabell 6.5: Endring i kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrente	Nåverdi
1,0%	258.829 kr
2,0%	189.500 kr
3,0%	132.675 kr
4,0%	85.760 kr
5,0%	46.747 kr
6,0%	14.075 kr
7,0%	-13.480 kr
8,0%	-36.878 kr
9,0%	-56.879 kr
10,0%	-74.088 kr

Solfangere kombinert med el-kolbe

For denne kombinasjonen vil investeringskostnadene kun baseres på anskaffelsen av et solvarmeanlegg. Denne kostnaden er beregnet til å bli 201.000 kr.

Her antas el-kolben å dekke det resterende energibehovet etter solvarmeanlegget. Dette tilsvarer 26940 kWh/året med en dekningsgrad på solfangerene på 50%. Med driftskostnader på 5000 kr i året og en strømpris på 1,1 kr/kWh vil dermed den årlige besparelsen komme på 8470 kr.

I tabell 6.6 ser en nåverdien og tilbakebetalingstiden for denne kombinasjonen, med en levetid på 30 år og kalkulasjonsrente på 6,0%. I tabell 6.7 vises endringen i nåverdi ved endring av kalkulasjonsrenten.

Tabell 6.6: Nåverdi og tilbakebetalingstid for solfangere kombinert med el-kolbe

Nåverdi	Tilbakebetalingstid
-75.942 kr	23,73 år

Tabell 6.7: Endring i kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrente	Nåverdi
1,0%	26.061 kr
2,0%	2.832 kr
3,0%	-26.514 kr
4,0%	-46.066 kr
5,0%	-62.325 kr
6,0%	-75.942 kr
7,0%	-87.425 kr
8,0%	-97.177 kr
9,0%	-105.512 kr
10,0%	-112.684 kr

Solfangere kombinert med fjernvarme

Dersom en velger å fortsette å bruke fjernvarme for oppvarming av tappevann på GKBT, vil investeringskostnadene igjen kun baseres på anskaffelsen av solvarmeanlegget da bygget allerede er koblet på fjernvarmenettet i Trondheim.

Med en fjernvarmepris på 0,80 kr/kWh vil den årlige besparelsen ligge på 19.969 kr.

I tabell 6.8 vises nåverdien og tilbakebetalingstiden for en investering i denne kombinasjonen med en kalkulasjonsrente på 6%, mens tabell 6.9 viser endringen i nåverdi ved endring av kalkulasjonsrenten.

Tabell 6.8: Nåverdi og tilbakebetalingstid for solvarme kombinert med fjernvarme

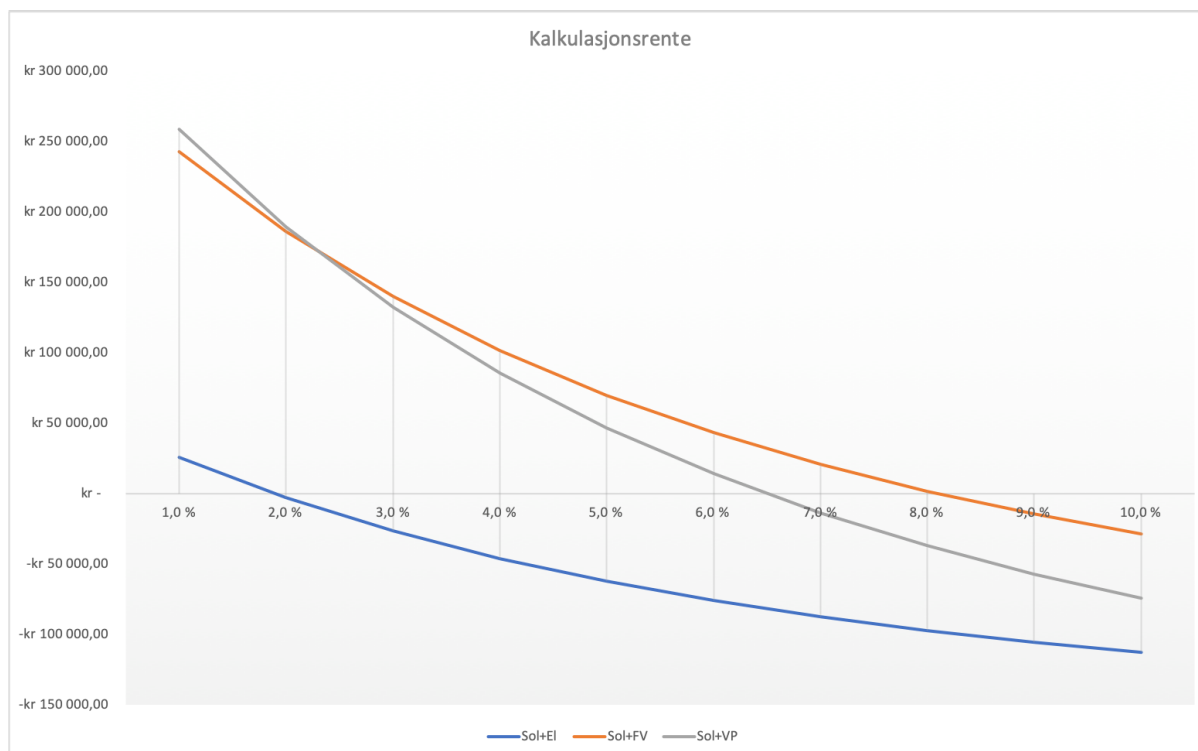
Nåverdi	Tilbakebetalingstid
43.387 kr	12,14 år

Tabell 6.9: Endring i kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrente	Nåverdi
1,0%	242.721 kr
2,0%	186.258 kr
3,0%	139.979 kr
4,0%	101.770 kr
5,0%	69.997 kr
6,0%	43.387 kr
7,0%	20.946 kr
8,0%	1.891 kr
9,0%	-14.398 kr
10,0%	-28.414 kr

Diagram for kalkulasjonsrente

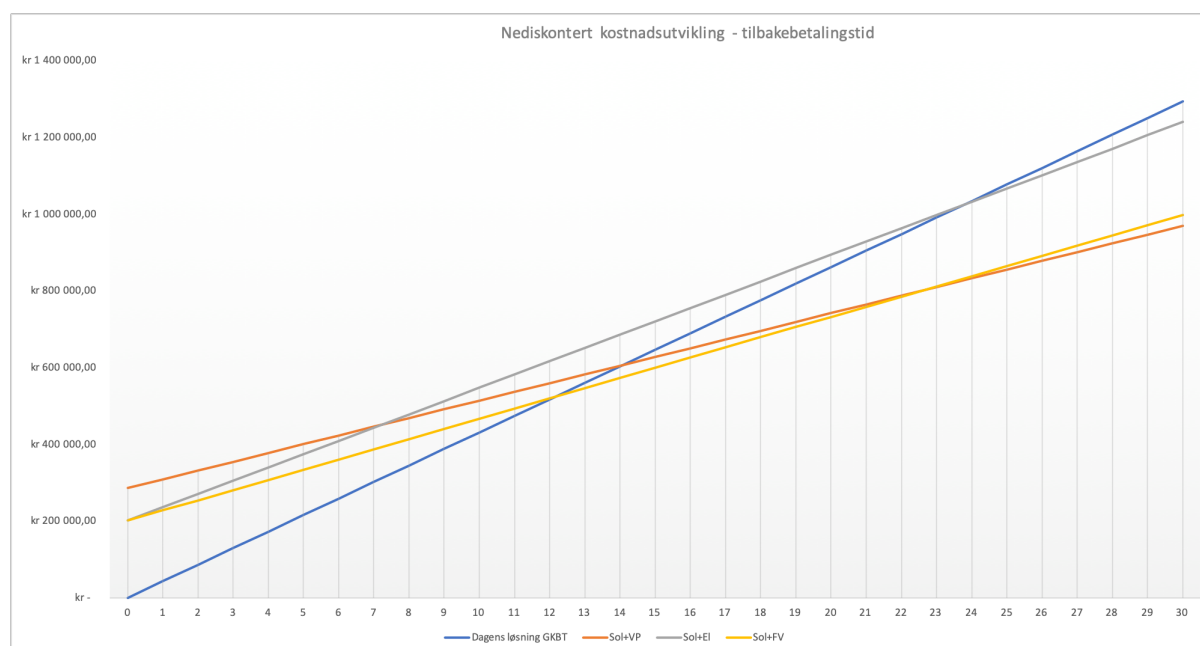
For valg av av kalkulasjonsrente i nåverdibergningene er det gjort en sensitivitetsanalyse av forskjellige rentesatser. Diagrammet i figur 6.3 viser sensitiviteten i kalkulasjonsrente for de tre forskjellige investeringene med en levetid på 30 år.

**Figur 6.3:** Sensitivitetsanalyse av kalkulasjonsrente

Diagrammet viser tydelig at solfangere i kombinasjon med el-kolbe aldri vil lønne seg. For solfangere i kombinasjon med fjernvarme eller varmepumpe kan en sette en kalkulasjonsrente på 6% med forholdsvis god margin.

Diagram for tilbakebetalingstid

For å få et visuelt inntrykk av hvordan tilbakebetalingstiden for investering i de tre forskjellige oppvarmingssystemene utvikler seg i forhold til hverandre, er de fremstilt som tre forskjellige grafer i samme diagram i figur 6.4.



Figur 6.4: Sammenligning av tilbakebetalingstid

Den blå grafen representerer dagens løsning, og krysningpunktene med de andre representerer året investeringene er tilbakebetalt. Krysningpunktene samsvarer med informasjonen som ble representert i tabellene i de foregående avsnittene.

7 Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres resultatene som fremkommer fra beregningene og analysene som ble foretatt i kapittel fire, fem og seks.

I innledningen ble det referert til SINTEF Byggforsk som forteller oss at *Solfangere egner seg best til bygg med høyt tappevannsforbruk*. I denne oppgaven er det forsøkt å stille spørsmål til dette utsagnet, ved å ta utgangspunkt i kontorbygg.

7.1 Valg av oppvarmingssystem

Det er sett på fem forskjellige system for oppvarming av tappevann, hvorav tre av disse inkluderer solfangere og de to andre representerer de tradisjonelle løsningene, 100% fjernvarme og varmepumpe kombinert med el-kolbe.

Solfangere kombinert med varmepumpe, fjernvarme eller elektrisitet for oppvarming av tappevann er de tre solfangersystemene som er vurdert. Etter undersøkelser på følgende systemer kommer det frem at det også er vanlig å bruke andre kombinasjoner. Blant annet ble det valgt å se bort ifra kombinasjonen av solvarme og bioenergi. Denne løsningen ble valgt å se bort ifra da den ikke er like mye brukt som de tre andre.

Leverandører har erfaringstall som tilsier at dekningsgrad på solfanger er mellom 40-60%. Derfor er dekningsgraden i denne oppgaven satt til 50%. Det er sett på prosjekter som tar i bruk solfangere for å undersøke realiteten av dekningsgraden. Scandic Lerkendal er et av byggene som er sett på. En masteroppgave fra 2016 er skrevet om bygget og det er da sett på tappevannsbehovet for hotellet^[31]. Det er prosjektert at solfangeranlegget skal dekke 50% av tappevannsbehovet. Derimot viser energimålinger fra hotellet at solfangerene kun har dekket 17% av tappevannsoppvarmingen. Dette var på grunn av feildimensjonering av anlegget. Det ble konkludert med at det var relativt små endringer som må gjøres på anlegget for å utnytte energien fra solen optimalt. Bygget brukte også 20% mer tappevann er prosjektert mengde^[31]. Det er derfor vesentlig med god prosjektering av tappevannsanlegg hvis en skal oppnå god dekningsgrad. God prosjektering av sentrale komponenter, som pumper, varmelager og eventuelt vekslers, for å oppnå maksimal utnyttelse av tilgjengelig solenergi.

Når det skal investeres i et solfangeranlegg må det sees på om det er nybygg eller erstatning av eksisterende tappevannsanlegg. Dersom det er et nytt bygg som skal bygges, vil det være en god del investeringer i starten uansett. I tillegg er det muligheter for å bruke selve solfangerene som taktekking eller som fasadeplater, det vil da ikke være store merkostnader når det ikke er behov for materiale og montering av dette. Dette er beregninger som ikke har blitt tatt hensyn til i oppgaven. Det er kun sett på investeringskostnader til et nytt solfangeranlegg, der det ikke er et eksisterende anlegg.

Solfanger i kombinasjon med varmepumpe og el-kolbe

Ulempen med et slikt system er dyre investeringskostnader når en skal ta i bruk solfangere, varmepumpe og el-kolbe. En fordel med en slik løsning er at oppvarming av vann dekkes nesten kun av fornybar energi. Det er også billige årskostnader fordi det blir brukt lite strøm og det meste blir varmet opp gratis. Enova gir også opptil 20.000 kr i støtte til installasjon av varmepumpe.

Varmepumpene som er tatt ut for oppvarmingssystemene har en COP på 3 ved en temperatur på 7-45 °C. Det er viktig å bemerke seg at COPen endres dersom anlegget ikke klarer å holde disse temperaturene. Dette kan være en utfordring i perioder uten sol, ettersom turtemperaturen på tappevannet inn på tanken har en temperatur på 5 °C. Dermed vil COPen synke, og el-kolben vil belastes mer enn det er tatt utgangspunkt i beregningene i oppgaven.

Det blir oppgitt at varmepumpen har en levetid på 12-15 år^[18]. Det kan være nødvendig med utskifting av komponenter eller varmepumpen. Dette kan føre til høyere investeringskostnader fordi det bare er beregnet en levetid på 30 år for hele anlegget, uten å ta dette med i betrakningen.

Solfanger i kombinasjon med el-kolbe

Solfangere og el-kolbe er enklest og billigst å installere av de tre løsningene som er forklart. Ulempen med en slik løsning er høyt strømforbruk i måneder med lite sol. For eksempel i januar og februar, der det vil være minimalt med varme fra solfangerene vil hele tappevannsbehovet være dekket av elektrisitet, da strømprisene også er dyrest. Det er ikke like miljøvennlig og kan være dyrt.

Solfanger i kombinasjon med fjernvarme

Ettersom fjernvarme er en fornybar energikilde vil systemet være 100% fornybar energi. Avhengig av hvor bygget ligger vil det ofte være en fordel å koble seg på fjernvarmenettet. Hvis fjernvarmen kun skal brukes til tappevann vil solfangere og fjernvarme i kombinasjon ha høye investeringskostnader, siden anleggsbidraget for fjernvarme i næringsbygg er det samme uansett forbruket og størrelse på bygg. Derimot er fjernvarme billigere å bruke enn strøm så en vil derfor få lavere årskostnader enn ved bruk av elektrisitet.

Kommentar til flytskjema

Tilkoblingene til varmtvannstankene i flytskjemaene i kapittel 4.4 kan forbedres. Slik det er tegnet nå ligger tilkoblingspunktet til tappevann fra varmelagringstanken til varmtvannstanken i øvre del av varmtvannstanken. Ved å flytte tilkoblingspunktet til tappevann til nedre del av tanken vil en da oppnå bedre temperatursjiktning i tanken. Det er også gunstig at tilkoblingen ikke ligger så nært varmtvannstilkoblingen.

Slik solfangerne i kombinasjon med varmepumpe og el-kolbe er tegnet i figur 4.1 er det ugunstig at varmepumpe og el-kolben er i samme tank. Varmepumpen burde ha en egen tank å varme opp slik at den ikke går av og på avhenging av hvor varmt det er i tanken, og at den har et volum å jobbe mot. Når varmepumpen er i samme tank som el-kolben risikerer en at returtemperaturen til varmepumpa blir for høy slik at den slår seg av. Da vil el-kolben konstant varme opp vannet i tanken og varmepumpen vil ikke skru seg på. Systemløsningen må derfor endres slik at varmepumpe har en egen tank med tappevannsspiral.

Det er mulig å koble solfangere med fjernvarme på en annen måte enn fremstilt i figur 4.3. Fjernvarmen kobles direkte på varmtvannsledningen ut fra varmtvannstanken med en blande-ventil. Vannet i varmtvannsledningen vil dermed føres via fjernvarmeveksleren og videre til tappestedene.

7.2 Vurdering av data

Det ble nødvendig å gjøre forenklinger av verdier for å kunne gjennomføre alle beregningene, og der det er gjort forenklinger er det forsøkt å få de så virkelighetsnære som mulig. For å få en mer spesifikk oversikt over data knyttet til solfangeranlegg, ville det muligens vært nødvendig med flere målinger fra flere bygg. Optimalt sett burde det vært gjennomført målinger på tappevannsforbruk og solinnstråling over en lengere tidsperiode. Værforholdene i Norge varierer i stor grad gjennom et kalenderår, og spesielt i Trondheim som er området det er fokusert på i oppgaven. Nettopp derfor er det essensielt å kartlegge dette. Eksisterende data som var tilgjengelig for oppgaven kunne ikke vise disse variasjonene, og det var ikke tid til å innhente nye målinger på dette. Det ville da blitt et mer realistisk bilde av hvor mye solfangeranlegget klarer å dekke, dersom en hadde ressurser til å foreta disse målingene. Fordi det ikke ble tatt målinger av produsert solenergi fra solfangere, ble det brukt erfaringstall fra leverandører i beregningene. Dette betyr ikke at et hvert installert solfangeranlegg klarer å produsere så mye energi som det er beregnet. Den produserte energien som det er lagt vekt på i beregningene er avgjørende i forhold til størrelsen på solfangerne, men også i valg av solfanger.

En utfordring ved å få priser fra leverandører er at de ønsker å selge sine produkter. Priser fra AventaSolar ble tatt i bruk ved beregning av investeringskostnader. Kostnadene avhenger mye av forholdene bygget tilbyr, og det er derfor vanskelig å fastslå eksakte priser. De avhenger blant annet av solfangerplassering, asimut og helningsvingel, ulike typer varmebehov og avstander til rør og hvordan rør kan føres. For små tanker i rustfritt stål (ekskl. utstyret som monteres på) ligger prisen på typisk 20 kr/liter, for store tanker (5-10 m³) er gjerne prisen under 10 kr/liter, og for svært store tanker enda lavere (J. Rekstad, personlig kommunikasjon, 13.05.19). I oppgaven er det benyttet 3000 kr/m² som inkluderer solfangere, rørføringer og varmelager. Det er ikke tatt utgangspunkt i at kostnad på tanken blir billigere hvis du skal ha store anlegg. Dermed vil i realiteten figur 5.2 ikke være en lineær graf, men heller flate seg ut når det kommer til store kontorbygg. Enova gir 201 kr/m² solfanger i støtte til installasjon av solfanger bygg. Dette er ikke tatt med i kostnadsberegninger.

Når det gjelder strøm og energipriser, vil disse variere hele året rundt. I beregningene som ble gjort ble det sett på gjennomsnittsprisen for 2018. Det er vanskelig å si hvordan strømprisene utvikler seg i årene fremover. Hvis en ser på historiske strømpriser kan en se en jevn økning,

som trolig vil fortsette å øke. På grunn av større behov for kjøling i nye bygg, vil det se ut som at strømprisene om sommeren også vil øke. Dette vil gi en god besparelse i forhold til å benytte seg av solfangere i disse periodene, siden de er mest effektive da. Det har ikke noe å si i forhold til kjøling, men for å spare strøm ved å bruke solfangerne til oppvarming av tappevann, selv om forbruket er lite.

Energibehov for tappevannsbehov i bygninger er 10 kWh/m^2 per år. Dette er hentet fra Enøk normtall. Det er i ettertid sett at NS3031 har et energibehov for tappevann på 5 kWh/m^2 per år. Så oppvarmingsbehovet for tappevann som er brukt i oppgaven er dobbelt så stort som tallet fra NS3031. Investerings- og årskostnader vil dermed bli lavere ved bruk av dette tallet. Grunnen til at Enøk sitt normtall ble brukt i denne oppgaven var at det fremdeles er mye brukt i bransjen i dag. Samtidig viser tappevannsberegningene på GKBT at de har et årlig varmtvannsbehov på 40 072,20 kWh som indikerer at 5 kWh/m^2 blir for lavt. Det kan derfor være mer realistisk å legge seg et sted mellom $5\text{-}10 \text{ kWh/m}^2$.

Det ble stipulert et tappevannsforbruk med normalvannmengdene til alle utstyrene på GKBT. Det ble da beregnet med tabell i Standard abonnementsvilkår for vann og avløp for normalvannmengder. Disse verdiene kan diskuteres, siden det i nye bygg ofte blir installert sparedusjer som har mindre normalvannmengder enn det tabellen tilsier. Det vil da bli et mindre tappevannsforbruk enn det beregningene i oppgaven viser. Volumstrømmen av varmtvann i en dusj er, i følge Kommuneforlagets Standard Abonnementsvilkår for vann og avløp, 0,2 l/s. Datablader for dagens sparedusjer viser en volumstrøm på 0,11 l/s varmtvann, se vedlegg A6 .

7.3 Komplet system for tappevann og romoppvarming

Det er nevnt at det hovedsaklig er behov for kjøling av romluft store deler av året. På grunn av det økende kjølebehovet er det ofte behov for å installere en kjølemaskin, men ettersom romoppvarmingsbehovet på bygg er lite vil tappevann spille en større rolle på varmebehovet. En løsning på dette kan være å installere en reversibel varmepumpe i tillegg nå det er snakk om et komplett system for tappevann og romoppvarming.

Diagrammet for investeringskostnader viser at kombinasjonen av solfangere og fjernvarme er den dyreste å investere i for et anlegg som kun forsyner tappevann til et kontorbygg. Dette er fordi energibehovet er såpass lite, men anleggsbidraget for fjernvarme er fast uansett behov.

Dersom en ser på et komplett system for tappevann og oppvarmingssystem vil energibehovet øke såpass at det vil bli behov for en kraftigere varmpumpe. Kostnadene for en kraftigere varmpumpe vil fort kunne overstige anleggsbidraget for fjernvarme. Å se på et komplett system for tappevann og romoppvarming vil dermed gi helt andre tall på både investeringskostnader og årskostnader enn det et tappevannsanlegg vil gjøre. Selv om investering i fjernvarme kombinert med solfangere kan fremstå som dyrt i utregningene for denne oppgaven, kan det fortsatt lønne seg dersom en ser på et komplett system for romoppvarming og tappevann.

Siden nye bygg i dag som regel bruker samme oppvarmingskilde til både tappevanns- og romoppvarming, er dermed vanskelig å konkludere med hvilket oppvarmingssystem som er best i et kombianlegg, når det i denne oppgaven kun blir sett på tappevannsanlegg alene.

7.4 GK-bygget Trondheim

Prosjektering solfangere

Når det ble sett på prosjektering av solfangeranlegg ble det brukt to metoder. Disse to metodene utgjør en stor forskjell i solfangerareal. Grunnen til dette er at leverandørene opererer med ulike parametere enn hva dimensjoneringsmetoden til Zijdeman gjør. Ofte blir erfaringstall fra leverandørene brukt for å få et mer realistisk resultat, i prosjektering av nye solfangeranlegg. Etter samtale med leverandører som AventaSolar, ble det informert om både prisanslag og energiutbytte som ble brukt videre i beregningene i resultatet. Siden gruppen følte det kom til å bli et mer realistisk resultat ved å bruke erfaringstall.

Lønnsomhetsvurdering

Det ligger en betydelig risiko i lønnsomhetsberegningene i forhold til energipris. Denne er ikke bare vanskelig å anslå for fremtiden, men det viste seg også at det var vanskelig å finne alle avgjørende faktorene for kostnadene som ligger til grunn i dag. For å fastsette et tall for beregningene ble kostnaden per kWh forenklet til et gjennomsnitt for bedriftskunder/næring i 2018. Det er også realistisk å anta at energiprisen kommer til å stige i løpet av levetiden til anlegget.

Det er ikke gjort nøyaktige analyser av driftskostnader for investering i solfangeranlegg for GKBT. De har i dag budsjettert med 60.000 kr i året til driftskostnader som hovedsaklig dekker vaktmestertjenester på hele det tekniske anlegget. Som en sikkerhet er det derfor lagt inn en

merkostnad på 5.000 kr i årlige driftskostnader i nåverdiberegningene i denne oppgaven, for alle de tre løsningene det er sett på.

Kalkulasjonsrenten for nåverdiberegningene til GKBT ble satt til 6,0%. Denne kan slå kraftig ut i lønnsomhetsberegninger, og valg av kalkulasjonsrente kan det derfor diskuteres mye rundt. Det viste det seg i *Norges Offentlige Utredninger* (NOU) at *Finansdepartementet* i 2014 fastsatte et krav til kalkulasjonsrente på 4%^[32]. Denne satte dermed føringer for valg av rente for investering i solfangeranlegg. I tillegg til dette ble det tatt utgangspunkt i den nominelle renten hos banken, risiko i forhold til økning i energipris, skatteforhold og generell inflasjon. Det ble også sett på valg av kalkulasjonsrente i beregninger for lignenede investeringer. Med dette tatt i betraktning ansees det som reelt å sette renten to prosentpoeng høyere enn kravet fra Finansdepartementet.

Noen kan anse 6% som et strengt krav, og vil ønske å sette kalkulasjonsrenten lavere. Andre kan anse dette som for lavt. Det er derfor beregnet nåverdi for investeringen ved valg av kalkulasjonsrente mellom 1-10%, som vist i figur 6.3. Denne viser at renten for investering i solfangeranlegg kombinert med el-kolbe er veldig følsom sett i forhold til de to andre investeringene.

I kontakt med AventaSolar ble det forespeilet et gjennomsnittlig avkastningskrav på 10 år fra deres kunder. Dette er også en trend hos GK når de leverer sine tekniske anlegg. Dette ble tatt i betraktning for lønnsomhetsvurderingen av investering i solfangeranlegg for oppvarming av tappevann hos GKBT. Med dette lagt til grunn for vurdering av lønnsomhet av investeringene i forhold til tilbakebetalingstid, er det også viktig å bemerke seg at dette er individuelt for hver enkelt investering.

Av diagrammet som vises for tilbakebetalingstid for investering i de forskjellige oppvarmings-systemene på GKBT, kan en se at grafen for kombinasjon av solvarme og fjernvarme krysser dagens løsning først, og dermed har raskest tilbakebetalingstid. Men etter som kombinasjonen av solvarme og varmepumpe har betydelig lavere årskostnader enn solvarme og fjernvarme, ser en at etter omtrent 22 år vil det heller lønne seg med denne løsningen. Verdt å bermerke seg her er at årskonstadene med varmepumpeløsningen ikke nødvendigvis blir så lave dersom systemet ikke fungerer optimalt. Denne løsningen er den vanskeligste å dimensjonere riktig med tanke på el-kolben i tanken fort blir belastet mer enn ønskelig.

Både kombinasjonen med fjernvarme og kombinasjonen med varmepumpe har en positiv

nåverdi, som indikerer at investeringene er lønnsomme. Fjernvarmeløsningen har derimot høyest nåverdi og er dermed mest lønnsom, men beregningene i denne oppgaven er basert på et oppvarmingssystem for kun tappevann alene.

Komplett system, GKBT

Dagens løsning på GKBT for rom- og tappevannsoppvarming er kjølemaskin og fjernvarme. Det er også en el-kolbe i varmtvannstanken som opprettholde sirkulasjon i systemet. Systemskjema viser at kjølemaskinen også er en del av oppvarming av tappevann i måneder hvor kjølemaskinen produserer varme. Det blir dermed utfordrende å bytte ut dagens løsning uten å foreta endringer på romoppvarmingssystemet i tillegg.

GKeSight viser at energimålinger på GKBT er veldig lave i sommermånedene, mai til august, hvor det er lite energibehov. På grunn av det lave varmtvannsbehovet i de månedene klarer el-kolben å dekke hele behovet uten hjelp fra fjernvarmen. Det er ikke optimalt at det er minst varmtvannsbehov i sommermånedene når solfangerene produserer mest energi. Det vil derfor være lurt å se på mulighet for å lagre solenergi gjennom sommermånedene og ta det i bruk på vinteren.

En usikkerhet med fjernvarmeløsningen er faren for merknader, når en skiller dagens løsning med kombinert tappevann og romoppvarming fra hverandre. Blant annet er det fare for at dagens fjernvarmeveksler må byttes ut da den kan bli for kraftig for å kun skulle levere varme til tappevannet og ikke romoppvarming i tillegg. Å skille tappevann og romoppvarming fra hverandre kan også føre til problematikk og kostnader i forhold til omlegging av rør og utskiftninger av andre komponenter i systemet.

8 Konklusjon

Resultatene i oppgaven har gitt en økonomisk oversikt over solfangere kombinert med ulike energikilder, for oppvarming av tappevann. Plane, trykkløse solfangere er både en billigere investering og har lavere driftskostnader enn vakuumsolfangere. Det vil derfor lønne seg å investere i slike solfangere for tappevann i det tekniske anlegget til kontorbygg.

Kostnadene for solfangere i kombinasjon med varmpumpe, el-kolbe og fjernvarme for oppvarming av tappevann er sammenlignet med de tradisjonelle løsningene, fjernvarme og varmpumpe kombinert med el-kolbe. Kontorbygg fra 400 til 10000 m^2 er undersøkt. Resultatet viser at årskostnader alltid er lavere med solfangere, og dermed vil det uansett lønne seg å investere i solfangere hvis investeringskostnaden også er lavere enn for tradisjonelle løsninger. Hvis investeringskostnadene for solfangerløsningene derimot er høyere enn for 100% fjernvarme eller varmpumpe kombinert med el-kolbe, må det utføres en nåverdiberegning. Dette vil vise hvilken løsning som er lønnsom. Sammenligning av total kostnader over en periode på 30 år med en kalkulasjonsrente på 6% viser at solfangere kombinert med varmpumpe og el-kolbe vil lønne seg for GKBT, dersom det var et nybygg. Da vil den totale kostnaden være 587.373 kr, gitt at solfangerne dekker 50% av tappevannsbehovet. Konklusjonen er at det er lønnsomt å bruke solfangere til oppvarming av tappevann i nye kontorbygg.

Nåverdiberegning for investering i nytt tappevannsanlegg på GKBT som skal erstatte dagens løsning, indikerer at det vil være lønnsomt å investere i solfangere i kombinasjon med fjernvarme eller varmpumpe, da disse gir en positiv nåverdi. Ved å benytte tilbakebetalingsmetoden ser en derimot at tilbakebetalingstiden for investeringen er på 12,14 år. Dette er to år lenger enn kravet som ofte settes i bransjen. Tatt i betraktning at sannsynligheten for merkostnader ved separering av dagens løsning er høy, kan tilbakebetalingstiden ansees å bli ennå lenger. Konklusjonen er dermed at det ikke er lønnsomt å erstatte dagens løsning med solfangere på GKBT.

9 Videre arbeid

Denne oppgaven har i all hovedsak tatt for seg økonomiske analyser av investering i solfangeranlegg for oppvarming av tappevann alene. Omfanget har vært begrenset for å kunne gå dypere inn på et mindre antall temaer, og på grunn av tidsbegrensning. Gjennom arbeidsforløpet ble det dermed oppdaget at noen ting burde vært undersøkt nærmere og jobbes videre med. Disse er representert i punktene nedenfor.

- Videre kan en muligens også oppnå en ennå lavere årskostnad totalt for kontorbygg enn det som er forespeilet i denne oppgaven, dersom en ser på et system som kombinerer rom- og tappevannsoppvarming. Selv om investeringskostnadene blir høyere for disse systemene, er sannsynligheten for at en får en større ytelse ut av solfangerne i disse systemene stor.
- Ta grundige målinger over en lenger tidsperiode av et solfangeranlegg i drift, for å se hvor mye energi et solfangeranlegg faktisk kan produsere i Trondheim.
- Det er behov for å gjøre en mer nøyaktig undersøkelse av energikostnader i forhold til strøm- og fjernvarmepriser.
- Utføre effekt- og energiberegninger for å undersøke om det er mulig å redusere investeringskostnaden for solfangerer, ved å minimere behovet for solfangerareal.

Referanser

- [1] David Zijdemans. *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*. SkarlandPress, 2012.
- [2] Norsk solenergiforening. Solfangere — norsk solenergiforening. <https://www.solenergi.no/solvarme>. (Hentet den 03/18/2019).
- [3] Inger Andreson. Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus. en introduksjon. 2008.
- [4] James James (Science Publishers). Planning and installing solar thermal systems: A guide for installers, architects and engineers. https://energiarenovablenec.files.wordpress.com/2015/08/german_solar_energy_society_dgs_planning_and_ibookzz-org.pdf, 2010. (Hentet den 03/19/2019).
- [5] Norsk Fjernvarme. Fjernvarme. <http://www.fjernvarme.no/index.php?pageID=30>. (Hentet den 03/25/2019).
- [6] Carl Christian Strømberg AS. Finn solcelleanlegg til ditt tak på solkart.no. <https://solkart.no/>, 2019. (Hentet den 05/05/2019).
- [7] John Rekstad and Michaela Meir. *Energy and Physics*. Department of Physics- University of Oslo, 2013.
- [8] Norsk Solenergiforening, Åse Lekang Sørensen, Camilla Bakken Torp, and Hilde Kari Nylund. *Solvarme i kombinasjon med andre varmekilder*. Norsk solenergiforening, 2017.
- [9] Totalteknisk entreprenør og servicepartner - gk.no. <https://www.gk.no/>. (Hentet den 03/19/2019).
- [10] SINTEF Byggforsk. 552.455 vannbaserte solfangere. funksjon og energiutbytte. 2011.
- [11] Norges vassdrags-og energidirektorat. Solenergi - nve. <https://www.nve.no/energiforsyning-og-konsesjon/solenergi/?ref=mainmenu>, 2019. (Hentet den 03/25/2019).
- [12] Nils H. Fløttre. Naturfag - solfangere gir varmtvann - ndla. <https://ndla.no/subjects/subject:21/topic:1:183351/topic:1:183350/resource:1:3813>, Januar 2019. (Hentet den 03/31/2019).
- [13] Arne Bergli AS. Effecta st2 plansolfanger. .
- [14] Kommuneforlaget. *Tekniske bestemmelser - Standard abonnementsvilkår for vann og avløp*. Kommuneforlaget, 2017.
- [15] Rolstadås, Olsson, Johansen, and Langlo. *Praktisk prosjektledning*. Fagbokforlaget, 2016.
- [16] Aventa as | et norsk selskap med høy kompetanse på solenergi og vannbåren varme. <https://aventa.no/>. (Hentet den 03/09/2019).
- [17] Aventa AS. Aventasolar solfanger. <https://aventa.no/solenergi/solfanger/>, 2019. (Hentet den 05/06/2019).
- [18] Varmepumpeforeningen. Alt om luft-til-vann-varmepumper. <https://www.varmepumpeinfo.no/varmepumpetyper/luft-til-vann-varmepumpe>, 11 2018. (Hentet den 03/23/2019).

- [19] Statkraft. Fjernvarme kort forklart, statkraft. <https://www.statkraft.no/Energikilder/Fjernvarme/fjernvarme-kort-forklart/>. (Hentet den 03/19/2019).
- [20] Statkraft AS. Prismodell statkraft varme. https://www.statkraftvarme.no/produkter-og-tjenester/Prismodell/?fbclid=IwAR0Sq7oK_YfcSQWComTDWCzAZc6Gz_u3ezix4xFd7HJZfN81B8ZYKgl350s, . (Accessed on 05/15/2019).
- [21] Statkraft. Tekniske bestemmelser for fjernvarme kundesentraler og invendig røranlegg, gjelder for trondheim og klæbu. 2015.
- [22] Solfanger.no. Vac 20, u-rør vakuumsolfanger med reflektor, 2 m². http://solfanger.no/shop_155e/index.php?main_page=product_info&cPath=8&products_id=53, . (Hentet den 05/06/2019).
- [23] Solfanger.no. St2 platesolfanger, 2,2 m². http://solfanger.no/shop_155e/index.php?main_page=product_info&cPath=7&products_id=59, . (Hentet den 05/06/2019).
- [24] Benedicte Langseth. Analyse av energibruk i yrkesbygg. 2016.
- [25] Enova. Kjøpsveileder akkumulatortank. 2018.
- [26] Enova. Manual for enøk normtall, 2004. (Hentet den 26/04/2019).
- [27] . *Produktprisliste 2018*. Oso Hotwater AS, Hokksund, Norge, 2018. URL <https://www.osohotwater.no/no-nb/usage/commercial>.
- [28] Statkraft Varme AS. Anleggsbidrag. <https://www.statkraftvarme.no/utbygging/anleggsbidrag/>, . (Hentet den 05/06/2019).
- [29] På verdenstoppen i bruk av strøm - ssb.no. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/pa-verdenstoppen-i-bruk-av-strom>, 2012. (Hentet den 04/29/2019).
- [30] Nord Pool. Market data | nord pool. <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data/Dayahead/Area-Prices/NO/Daily1/?view=table>, 2018. (Hentet den 05/09/2019).
- [31] Henrikke Aashammer. Analyse av termisk energiforsyning ved hotell scandic lerkendal. 2016.
- [32] Regjeringen. Nou 2018: 17. <https://www.regjeringen.no/contentassets/c5119502a03145278c33b72d9060fbc9/no/pdfs/nou201820180017000dddpdfs.pdf>, 12 2018. Hentet den 05/09/2019).

Vedlegg

A1 Vitenskapelig artikkel

VITENSKAPELIG ARTIKKEL

SOLFANGERE FOR TAPPEVANN I BYGG MED LAVT TAPPEVANNSFORBRUK



SOLFANGERANLEGG FOR BOLIG (ENOVA)

AV ELI SEGLEM, MARTINE THORBERG OG KRISTINA BJØRNÅDAL

Norge er et land i økonomisk vekst og det både jobbes på og planlegges nye, store byggeprosjekter hver dag. En vesentlig del av investeringskostnadene for disse prosjektene går til å dekke tekniske anlegg. Ettersom moderne bygninger har blitt tettere, bedre isolert og fått tekniske anlegg som varmer opp bygget mer energieffektivt enn før, blir de årlige kostnadene for å varme opp tappevann mer fremtredende enn det har vært tidligere.

Solfangere er en væskebasert teknisk løsning som direkte omdanner strålingsenergien fra solen til varme i et vannbårent system. Varmen kan benyttes til å dekke opp til hele 70% av totalbehovet for varmt tappevann og 30% av totalbehovet for romoppvarming i et byggⁱ. På verdensbasis er teknologien tatt i bruk for lengst, og har blitt mer eller mindre vanlig i flere land. Her til lands er den derimot lite brukt. Man ser en økende tendens av solfangere i bygg med høyt tappevannsforbruk, eksempelvis skoler, hoteller og bygg som inkluderer store bassenganleggⁱⁱ. Kontorbygg er ofte store i areal, men har derimot et lavt forbruk av varmtvann. I samarbeid med GK Rør Trondheim og NTNU

(Norges Teknisk-naturvitenskaplige universitet) har derfor spørsmålet blitt silt, om det vil være økonomisk lønnsomt å investere i solfangere for oppvarming av nettopp varmt tappevann i denne typen bygg.

Solvarme vil kun klare å dekke en viss andel av det totale varmtvannsbehovet i et bygg. Ytelsen avhenger av utetemperatur og temperaturen på varmemediet i selve solfangeren. For varmtvannsanlegg har den gjennomsnittlig en dekningsgrad på 50% og på grunn av dette vil solfangere alltid installeres i kombinasjon med en annen varmekilde. Den andre varmekilden supplerer med varme på de kaldeste dagene og om vinteren, og vil fungere som en sikkerhet dersom solfangeranlegget av en eller annen grunn ikke skulle klare å levere varme. Ved vurdering av lønnsomheten av solvarmeanlegg for oppvarming av varmt forbruksvann, blir det derfor naturlig å se på de forskjellige oppvarmingssystemene. Det er satt fokus på solfangere kombinert med henholdsvis varmepumpe, elektrisitet og fjernvarme. Dette er de mest brukte løsningene som finnes i dag. Disse er

satt opp mot de tradisjonelle løsningene varmepumpe kombinert med elektrisk oppvarming, og fjernvarme

Tre studenter ved NTNU har utført økonomiske analyser rundt investerings- og årskostnader for de nevnte systemene, for ulike størrelser av kontorbygg. Dette skal gi et estimat over de totale kostnadene som forekommer for et bygg ved en viss størrelse. De tre kombinasjonsløsningene som nevnt over har blitt analysert og satt opp som en sammenstilt oversikt over kostnader. Investeringskostnadene vil variere mellom de forskjellige oppvarmingssystemene, ut fra hvilken energikilde man installerer sammen med solfangerne. Det ble sett på kontorbygg fra 400-10.000 kvadratmeter.

Det å investere i solfangerer kan være dyrt dersom bygget og behovet er lite. Det er benyttet et prisanslag fra solfangerleverandøren, AventaSolar, som ligger på 3.000 kr per kvm solfanger. Dette inkluderer tank og montering. Utfra denne estimerte prisen vil kostnaden for et solfangeranlegg stige lineært med størrelsen på bygget.

Tilkoblingskostnadene, også kalt anleggsbidrag, for fjernvarme skal dekke fjernvarmeledningen fra hovedledning og frem til bygget. Typisk kan anleggsbidrag for et middels stort kontorbygg være i området kr 150.000 – kr 300.000, men kan være både betydelig høyere og lavere (Å. Utne, Statkraft, personlig kommunikasjon, 01.04.19)

Investeringskostnaden for en varmepumpe avhenger av størrelsen på pumpa. Størrelsen på pumpa

bestemmes ut fra den elektriske effekten pumpa trenger for å levere tilstrekkelig med varme, for å løfte vannet til ønsket temperatur, i tillegg til samtidigheten på tappevannsforbruketⁱⁱⁱ.

Bygg som er over 4800 m² vil det være lavest investeringskostnader på de løsningene som er uten solfangerer. Disse løsningene har derimot de høyeste årskostnadene, og derfor vil det ikke lønne seg i det lange løp. Kombinasjonsløsningene med solfanger har høye investeringskostnader, mens årskostnadene er relativt lave. Den solfangerløsningen som har lavest kostnader totalt er solfangerer kombinert med varmepumpe og el-kolbe. Det skal sies at dette er når solfangerne klarer å dekke minst 50% av energibehovet til tappevann. Det er nok ikke realistisk å satse på at det er tilfelle. Derfor vil den sikreste løsningen falle på solfangerer kombinert med fjernvarme, selv om både investeringskostnadene og årskostnadene kan bli relativt høye.

Det ble valgt å teste om det lønner seg å investere i solvarmeanlegg på et allerede eksisterende bygg. Det ble da tatt utgangspunkt i GK Bygg Trondheim som ligger på sluppen litt utenfor sentrum. Der er eksisterende løsning et kombisystem for tappevann- og romoppvarming, der fjernvarmen står for 100% av tappevannsoppvarmingen.

Utfra en lønnsomhetsanalyse som ser på nåverdi og avkastningsrente ble det konkludert med at det ikke lønner seg å investere i et nytt oppvarmingssystem for tappevann. Det må presiseres at det ikke er gjort energianalyse av de ulike løsningene.

ⁱ AventaSolar, <https://aventa.no/solenergi/solfanger/> (05.03.19)

ⁱⁱ SINTEF Byggforsk, 552.454 Vannbaserte

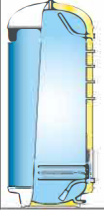
solfangerer, funksjon og energiutbytte, 2015

ⁱⁱⁱ Zijdeman David, Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer, 2014

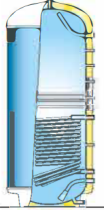
A3 Pris på beredere

Pris på tanker som er brukt for varmpumpe, elektrisitet og fjernvarme er vedlagt under. Vedlagt er det tatt med utdrag av produktprisliste 2018 fra OSO Hotwater AS. Maxi Standard er tatt i bruk for kombinasjon med el-kolbe. Maxi Geocoil er tatt i bruk for solfangere i kombinasjon med varmpumpe og el-kolbe. Priser på Saga Coil ble tatt i bruk for tankpriser på solfangere kombinert med fjernvarme.


MAXI STANDARD - MS - Norges mest solgte industribereder

		FORDELER				KOMPONENTER									
		NANOPUR:	Markedsledende isolering (300/400 L)	Blandeventil:	Se separat tilleggsutstyr for industri										
		ISOFLEX+VIP:	Markedsledende isolering (600/1000 L)	Termostat:	Justerbar 60-90°C - Preset 75°C										
		ULTRAWELD:	Høyest korrosjonsmotstand	Sikkerhetsventil:	TP 9 bar/99°C - 3/4" overløp til sluk										
		INCOTEC:	Best mot kalkholdig vann	Ansl. tur/retur:	2 x 1 1/2" innvendig rørgjenge										
		MAXTEMP:	Hetvanns-/sirkulasjons stuss	Anslutning øvrig:	4 x 3/4" innvendig rørgjenge										
		SOLAR-READY:	Forberedt for solfangere												
NRF nr.	Produktkode:	Kapasitet personer	Vekt kg.	Diakhøyde mm.	Frakt vol. m ³	Volum L	AEC kWh/år	Varmetap W	Termostat innst. °C	Energi eff. %	Rating ErP	Profil ErP	Pris ex. mva.	Pris ink. mva.	
800 1551	MS 300 - 15 kW/3x230V	Beregnes	57	ø 595x1685	0,62	280	-	83	75	-	C	-	14 040	17 550	
800 1552	MS 400 - 15 kW/3x230V	Beregnes	77	ø 595x2175	0,79	372	-	90	75	-	C	-	16 000	20 000	
800 1553	MS 600 - 15 kW/3x230V	Beregnes	131	ø 780x1900	1,28	550	-	120	75	-	C	-	24 000	30 000	
800 1554	MS 1000 - 15 kW/3x230V	Beregnes	236	ø1000x2100	2,29	885	-	142	75	-	C	-	40 400	50 500	
800 1558	MS 400 - 15 kW/3x400V	Beregnes	77	ø 595x2175	0,79	372	-	90	75	-	C	-	16 400	20 500	

MAXI GEOCOIL - MGC - Spesialdesignet for varmpumpedrift

		FORDELER				KOMPONENTER									
		NANOPUR:	Markedsledende isolering (300/400 L)	Blandeventil:	Se separat tilleggsutstyr for industri										
		ISOFLEX+VIP:	Markedsledende isolering (600/1000 L)	Termostat:	Justerbar 60-90°C - Preset 75°C										
		ULTRAWELD:	Høyest korrosjonsmotstand	Sikkerhetsventil:	TP 9 bar/99°C - 3/4" overløp til sluk										
		INCOTEC:	Best mot kalkholdig vann	Ansl. tur/retur:	2 x 1 1/2" innv. rørgjenge										
		MAXTEMP:	Hetvanns-/sirkulasjons stuss	Anslutning coil:	2 x 3/4" (400 L) / 1" (600-1000 L)										
		ECO-HOTWATER:	Varmtvann fra alternativ energi	Anslutning øvrig:	4 x 3/4" innv. rørgjenge										
NRF nr.	Produktkode:	Kapasitet personer	Vekt kg.	Diakhøyde mm.	Frakt vol. m ³	Volum L	AEC kWh/år	Varmetap W	Termostat innst. °C	Energi eff. %	Rating ErP	Profil ErP	Pris ex. mva.	Pris ink. mva.	
800 1852	MGC 400 - 15 kW/3x230V + HX 1,4m ²	Beregnes	95	ø 595x2175	0,79	363	-	96	75	-	C	-	20 600	25 750	
800 1853	MGC 600 - 15 kW/3x230V + HX 3,2m ²	Beregnes	160	ø 780x1900	1,28	523	-	118	75	-	C	-	37 600	47 000	
800 1854	MGC 1000 - 15 kW/3x230V + HX 3,2m ²	Beregnes	265	ø1000x2100	2,29	865	-	141	75	-	C	-	51 400	64 250	

SAGA COIL - SC - For gasskjel, fjernvarme eller biokjel

		FORDELER				KOMPONENTER										
		SAGA DESIGN:	Alle anslutninger skjult	Blandeventil:	Justerbar 45-80°C - Preset 55°C - ø 15											
		NANOPUR:	Markedsledende isolering	Termostat:	Justerbar 60-90°C - Preset 75°C											
		ULTRAWELD:	Høyest korrosjonsmotstand	Sikkerhetsventil:	9 bar + TP 10bar/99°C - 3/4" overløp											
		INCOTEC:	Best mot kalkholdig vann	Nettkabel:	Jordet plugg - 3 m (følg NEK 400)											
		ECO-HOTWATER:	Varmtvann fra alternativ energi	Stillben:	Justerbare - Fabrikkmontert											
						Anslutning coil:	2 x 3/4" innv. rørgjenge									
NRF nr.	Produktkode:	Kapasitet personer	Vekt kg.	Diakhøyde mm.	Frakt vol. m ³	V 40 L	AEC kWh/år	Varmetap W	Temp. setting °C	Energi eff. %	Rating ErP	Profil ErP	Pris ex. mva.	Pris ink. mva.		
800 0952	SC 150 - 3kW/1x230V+HX 0,8m ²	3,0	31	ø580x 950	0,37	251	-	52	Kjel ≤ 25kW	-	B	-	10 000	12 500		
800 0954	SC 200 - 3kW/1x230V+HX 0,8m ²	3,5	39	ø580x1260	0,47	355	-	64	Kjel ≤ 25kW	-	C	-	10 600	13 250		
800 0956	SC 300 - 3kW/1x230V+HX 0,8m ²	5,5	51	ø580x1710	0,63	539	-	84	Kjel ≤ 25kW	-	C	-	11 760	14 700		

A4 Fjernvarmetariff for næringskunder i Trondheim

Fjernvarme tariff, fått av Statkraft for næringskunder i Trondheim.

Fjernvarmetariff BT1V til næringskunder i Trondheim

Gjelder fra og med 01.08.2018. Alle priser er eks. mva.

Effektledd Fjernvarme	
Sommer mars -okt	
0-200	45,00 kr/kW/mnd
200-500	40,00 kr/kW/mnd
500-800	35,00 kr/kW/mnd
> 800	30,00 kr/kW/mnd
Vinter jan,feb,nov,des	
0-200	60,00 kr/kW/mnd
200-500	53,00 kr/kW/mnd
500-800	47,00 kr/kW/mnd
> 800	40,00 kr/kW/mnd
Energiledd Fjernvarme	
Månedsmiddel for forsyningsområdet (www.nordpoolspot.com)	spotpris el
Energipris nettleie	5,00 øre/kWh
Påslag inkl. elsertifikat	5,65 øre/kWh
Forbruksavgift	16,58 øre/kWh
- fratrekk volumledd (nov-feb)	-6 øre/kWh
Sum energiledd pr kWh (mar-okt)	Spot + 27,23 øre/kWh
Sum energiledd pr kWh (nov-feb)	Spot + 21,23 øre/kWh
Volumledd Fjernvarme	
Volumpris (nov - feb)*	3,13 kr/m ³

De enkelte elementene i beregningen av fjernvarmeprisen er identisk med til enhver tids gjeldende priser fra Trønderenergi Nett, offentlige avgifter og retningslinjer fra NVE. Enova avgift og eventuelle fastbeløp beregnes ikke i fjernvarmeprisen.

*Volumleddet vil ved $\Delta t = 45$ grader C utgjøre 6 øre/kWh. Ved å sørge for en best mulig avkjøling på anlegget, bruker man mindre vann og får en lavere fjernvarmepris.

Se www.statkraftvarme.no for tips til hvordan oppnå lav returtemperatur.

A5 Nord Pool Energipriser

Ved beregninger som er gjort med energipris ble Market data fra Nord Pool sin Day-Ahead prices benyttet. Der er det gjennomsnittsprisen for 2018 er tatt utgangspunkt i.



NOK/MWh

	Tr.heim
2018	423,44
2017	275,40
2016	266,01
2015	189,80
2014	263,57
2013	303,43
2012	235,66
2011	370,63
2010	465,46
2009	310,97
2008	421,26
2007	236,79
2006	394,64
2005	235,30
2004	243,75
2003	290,46
	Tr.heim

A6 Produktdatablad for Oras Speredusj



530 Oras Apollo - Dusjsett

EAN: 6414150080654
 NRF (Norway): 4203006
www.oras.com/no/products/oras/product/530

Oras Apollo dusjsett med ECO inkludert hånddusj (ø70 mm) med kalkbeskyttelsesteknologi, 650 mm dusjstang, såpekopp og 1500 mm dusjslange. Vann forbruk er begrenset til 7 l/min.



- Dusj
- Veggmontering
- Forkrommet
- Veggstang, Hånddusj, Dusjslange (1500 mm)

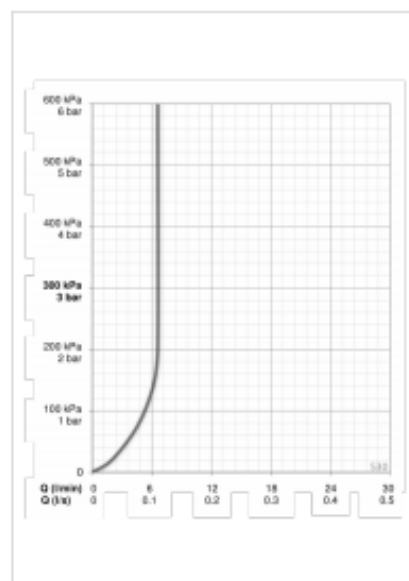
Teknisk data

Flow attributter

Vannmengde ved 300 kPa (med vannmengdebegrenser) **0.11 l/s**

Tekniske egenskaper

Varmtvannsforsyning **max. +65°C**
 Arbeidstrykk **50 - 500 kPa**
 Tilkoblingsstørrelse **G1/2**
 Lengde/høyde **650 mm**



A7 Beregning av pumpeeffekt for varmpumper

Ved beregning av pumpeeffekt må en vite maksimal sannsynlig vannmengde. Det er her tatt utgangspunkt i GKBT:

$$q = q_1 + 0,015(Q - q_1) + 0,17\sqrt{Q - q_1}$$

$$q = 0,2 + 0,015(1,5 - 0,2) + 0,17\sqrt{1,5 - 0,2}$$

$$q \approx 0,4l/s$$

GKBT med BRA på 5388 kvm havner innunder intervall 2. Det antas ut fra dette at maksimal sannsynlig vannmengde for intervall 1, 3 og 4 blir henholdsvis 0,35 l/s, 0,45 l/s og 0,5 l/s.

Dette gir for intervall 1:

$$\dot{Q}_H = q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$\dot{Q}_H = 0,35l/s \cdot 1000kg/m^3 \cdot 4,2kJ/kg^\circ C \cdot (7 - 45)^\circ C$$

$$\dot{Q}_H \approx 55,9kW$$

$$\dot{W} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{HP}}$$

$$\dot{W} = \frac{55,9kW}{3}$$

$$\dot{W} \approx 18,6kW$$

For intervall 2:

$$\dot{Q}_H = q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$\dot{Q}_H = 0,4l/s \cdot 1000kg/m^3 \cdot 4,2kJ/kg^\circ C \cdot (7 - 45)^\circ C$$

$$\dot{Q}_H \approx 63,8kW$$

$$\dot{W} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{HP}}$$

$$\dot{W} = \frac{63,8kW}{3}$$

$$\underline{\underline{\dot{W} \approx 21,3kW}}$$

For intervall 3:

$$\dot{Q}_H = q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$\dot{Q}_H = 0,45l/s \cdot 1000kg/m^3 \cdot 4,2kJ/kg^\circ C \cdot (7 - 45)^\circ C$$

$$\underline{\underline{\dot{Q}_H \approx 71,8kW}}$$

$$\dot{W} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{HP}}$$

$$\dot{W} = \frac{71,8kW}{3}$$

$$\underline{\underline{\dot{W} \approx 23,9kW}}$$

For intervall 4:

$$\dot{Q}_H = q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$\dot{Q}_H = 0,5l/s \cdot 1000kg/m^3 \cdot 4,2kJ/kg^\circ C \cdot (7 - 45)^\circ C$$

$$\underline{\underline{\dot{Q}_H \approx 79,8kW}}$$

$$\dot{W} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{HP}}$$

$$\dot{W} = \frac{79,8kW}{3}$$

$$\underline{\underline{\dot{W} \approx 26,6kW}}$$

A8 Nåverdiberegninger GKBT

Nåverdi sol + el			Nåverdi sol + fv			Nåverdi sol + vp		
	Investering	Årlig besparelse	Investering	Årlig besparelse	Investering	Årlig besparelse	Årlig besparelse	Årlig besparelse
	Rente	Rente	Rente	Rente	Rente	Rente	Rente	Rente
0	kr 8 470,00	kr 7 990,57	kr 16 552,00	kr 15 615,09	kr 201 000,00	kr 201 000,00	kr 201 000,00	kr 201 000,00
1	kr 8 470,00	kr 7 538,27	kr 16 552,00	kr 14 731,22	kr 16 552,00	kr 16 552,00	kr 16 552,00	kr 19 173,21
2	kr 8 470,00	kr 7 111,58	kr 16 552,00	kr 13 897,38	kr 1 06	kr 1 06	kr 1 06	kr 18 087,93
3	kr 8 470,00	kr 6 709,03	kr 16 552,00	kr 13 110,73	Nåverdi	Nåverdi	Nåverdi	kr 17 064,09
4	kr 8 470,00	kr 6 329,28	kr 16 552,00	kr 12 368,62	kr 242 721,00	kr 242 721,00	kr 16 098,19	kr 258 829,00
5	kr 8 470,00	kr 5 971,02	kr 16 552,00	kr 11 668,51	kr 186 258,00	kr 186 258,00	1,0 %	kr 189 500,00
6	kr 8 470,00	kr 5 633,03	kr 16 552,00	kr 11 008,03	kr 139 979,00	kr 139 979,00	2,0 %	kr 132 675,00
7	kr 8 470,00	kr 5 314,18	kr 16 552,00	kr 10 384,93	kr 101 770,00	kr 101 770,00	3,0 %	kr 85 760,00
8	kr 8 470,00	kr 5 013,38	kr 16 552,00	kr 9 797,10	kr 69 997,00	kr 69 997,00	4,0 %	kr 46 747,00
9	kr 8 470,00	kr 4 729,60	kr 16 552,00	kr 9 242,55	kr 43 387,00	kr 43 387,00	5,0 %	kr 14 075,00
10	kr 8 470,00	kr 4 461,89	kr 16 552,00	kr 8 719,39	kr 20 946,00	kr 20 946,00	6,0 %	kr 13 480,00
11	kr 8 470,00	kr 4 209,33	kr 16 552,00	kr 8 225,84	kr 1 891,00	kr 1 891,00	7,0 %	kr 36 878,00
12	kr 8 470,00	kr 3 971,07	kr 16 552,00	kr 7 760,22	kr 1 891,00	kr 1 891,00	8,0 %	kr 56 879,00
13	kr 8 470,00	kr 3 746,29	kr 16 552,00	kr 7 320,97	kr 14 398,00	kr 14 398,00	9,0 %	kr 74 088,00
14	kr 8 470,00	kr 3 534,24	kr 16 552,00	kr 6 906,57	kr 28 414,00	kr 28 414,00	10,0 %	
15	kr 8 470,00	kr 3 334,18	kr 16 552,00	kr 6 515,63				
16	kr 8 470,00	kr 3 145,46	kr 16 552,00	kr 6 146,82				
17	kr 8 470,00	kr 2 967,41	kr 16 552,00	kr 5 798,89				
18	kr 8 470,00	kr 2 799,45	kr 16 552,00	kr 5 470,65				
19	kr 8 470,00	kr 2 640,99	kr 16 552,00	kr 5 160,99				
20	kr 8 470,00	kr 2 491,50	kr 16 552,00	kr 4 868,86				
21	kr 8 470,00	kr 2 350,47	kr 16 552,00	kr 4 593,26				
22	kr 8 470,00	kr 2 217,42	kr 16 552,00	kr 4 333,27				
23	kr 8 470,00	kr 2 091,91	kr 16 552,00	kr 4 087,99				
24	kr 8 470,00	kr 1 973,50	kr 16 552,00	kr 3 856,59				
25	kr 8 470,00	kr 1 861,79	kr 16 552,00	kr 3 638,30				
26	kr 8 470,00	kr 1 756,41	kr 16 552,00	kr 3 432,35				
27	kr 8 470,00	kr 1 656,99	kr 16 552,00	kr 3 238,07				
28	kr 8 470,00	kr 1 563,20	kr 16 552,00	kr 3 054,78				
29	kr 8 470,00	kr 1 474,71	kr 16 552,00	kr 2 881,87				
30	kr 8 470,00	kr 1 391,88	kr 16 552,00	kr 2 720,00				
TOT	-kr 75 941,88		TOT	kr 43 387,49			TOT	kr 14 074,52

A9 Nåverdiberegninger total kostnader

Det ble utført nåverdiberegninger for investering i solfangeranlegg for et nytt kontorbygg på størrelse med GKBT. Detaljerte utregninger er vist under.

	SUM	NPV2%	NPV4%	NPV6%	NPV8%	NPV10%	NPV12%
Investeringer							
Sol og EI	226050	226050	226050	226050	226050	226050	226050
Sol og fjernvarme	401000	401000	401000	401000	401000	401000	401000
Sol og VP+EI	327950	327950	327950	327950	327950	327950	327950
Fjernvarme	200000	200000	200000	200000	200000	200000	200000
Varmepumpe og EI	112300	112300	112300	112300	112300	112300	112300
Årskostnader							
Sol og EI	889020	676970	532929	432381	360302	307293	267352
Sol og fjernvarme	646560	492342	387585	314459	262038	223486	194438
Sol og VP+EI	533400	406173	319750	259423	216176	184372	160408
Fjernvarme	1293120	984684	775170	628918	524076	446971	388876
Varmepumpe og EI	1082970	824659	649194	526710	438906	374332	325678
Totale kostnader							
Sol og EI	1115070	903020	758979	658431	586352	533343	493402
Sol og fjernvarme	1047560	893342	788585	715459	663038	624486	595438
Sol og VP+EI	861350	734123	647700	587373	544126	512322	488358
Fjernvarme	1493120	1184684	975170	828918	724076	646971	588876
Varmepumpe og EI	1195270	936959	761494	639010	551206	486632	437978

lavest

