

Niklas Stenhaug
Mikael Gunnarson

Energioptimalisering av drivhus Energy Optimization of Greenhouse

Bacheloroppgave i Maskiningeniør
Veileder: Terje Arne Wenaas
Juni 2020

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel

Energioptimalisering av drivhus

Energy Optimization of Greenhouse

Prosjektnr

EPT-V-2020-02

Forfatter(e)

Niklas Stenhaug

Mikael Gunnarson

Oppdragsgiver(e) eksternt

Vangberg Gartneri AS v/Stig Arild Oldervik og Inger Oldervik

Veileder(e) internt

Terje Arne Wenaas

Rapporten er ÅPEN

Dato levert

08.06.2020

Kort sammendrag

I denne oppgaven skal vi se på muligheten for å bruke varmepumper til oppvarming av et gartneri. Løsningene vil bli diskutert, og det vil bli gjennomført en økonomisk beregning etter nåverdimetoden og tilbakebetalingsmetoden for å undersøke lønnsomheten ved å investere i varmepumper.

In this assignment we will look at the possibility of using heat pumps for heating a greenhouse. The solutions will be discussed, and an economic calculation based on the «net-present value»-method and payback time method will be completed to examine the profitability of investing in heat pumps.

Stikkord:

Energioptimalisering

Varmepumpe

Fornybar Energi

Drivhus

Keywords:

Energy optimization

Heat pump

Renewable energy

Greenhouse

Oppgavetekst

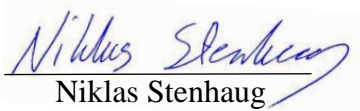
I dagens samfunn har det stadig blitt et større fokus på å bruke fornybar energi som oppvarmingskilde, både fra et økonomisk perspektiv, men også for å kunne bidra til å bremse klimaendringene som er under stadig utvikling. Stadig flere velger å bytte ut fossile oppvarmingskilder til fordel for varmepumper. Staten stimulerer også til et grønnere skifte gjennom sin støtteordning ENOVA. Det grønne skiftet har også nådd landbruksnæringen. Vi ønsker derfor å se på følgende problemstilling:

«Er det lønnsomt å benytte varmepumpe for oppvarming av et gartneri?»

Forord

Denne bacheloroppgaven er utført våren 2020 og er skrevet i forbindelse med faget TMAS3001. Dette regnes som den avsluttende oppgaven for studiet Maskiningeniør med retning VVS-teknikk ved NTNU i Trondheim.

Bacheloroppgaven er utført i samarbeid med Vangberg Gartneri. Vi ønsker å rette en stor takk til vår hovedveileder Terje Arne Wenaas. Vi ønsker å takke Vangberg Gartneri v/ Inger og Stig Arild Oldervik for oppgaven og god tilrettelegging. Vi ønsker i tillegg å takke Anders Sand i Norsk Gartnerforbund for gode samtaler og diskusjoner. Dette har vært til stor hjelp under denne oppgaven.


Niklas Stenhaug


Mikael Gunnarson

Sammendrag

Fokuset på å bruke fornybare energikilder til oppvarming av bygg har bare blitt større og større. Samtidig har det blitt innført forbud mot bruk av olje- og parafinfyring i Norge som et ledd i å bremse klimautviklingene.

I denne oppgaven brukes Vangberg Gartneri som et referansebygg. Vangberg Gartneri er en av landets største agurkprodusenter og produserer 1 200 tonn agurk årlig. Den norske gartnerinæringen regnes for å være en energikrevende næring. Tall fra Norsk Gartnerforbund viser at 37 % av energiforbruket til norske gartneri stammer fra fossile energikilder. I samarbeid med Vangberg Gartneri har det derfor blitt gjennomført lønnsomhetsberegninger for å undersøke om det er lønnsomt å bruke varmepumper til oppvarming av et gartneri.

Det har blitt utført lønnsomhetsberegninger ved bruk av nåverdimetoden og tilbakebetalingsmetoden. Det har blitt sett på tre væske til vann varmepumper med bruk av energibrønn som energikilde og tre luft til vann varmepumper.

Resultatene viser at de totale kostnadene for en væske til vann varmepumpe er langt høyere sammenlignet med en luft til vann varmepumpe. Dette skyldes i hovedsak at det er store kostnader knyttet til etablering av en brønnpark. Vi har i tillegg sett at det er store forskjeller i pris per kW varmeeffekt ut ifra hvilket kuldemedium varmepumpen bruker. Simuleringene av varmepumpene viser at det er forskjell i SCOP-faktoren for de ulike varmepumpetyper. Selv om enkelte luft til vann varmepumper er helt på høyde med SCOP-faktoren til væske til vann varmepumpene. Dette skyldes i hovedsak at Frosta har et mildt klima.

Nåverdimetoden viste at det var kun én av de tre væske til vann varmepumpene som klarte å oppnå en positiv nåverdi. Alle luft til vann varmepumpene klarte å oppnå en positiv nåverdi. Beregning av tilbakebetalingstiden viste derimot at alle varmepumpene i denne oppgaven var en lønnsom investering, men luft til vann varmepumpene hadde en klart kortere tilbakebetalingstid.

Vi kan på bakgrunn av denne oppgaven konkludere med at det er lønnsomt å investere i varmepumper for oppvarming av et gartneri, og en luft til vann varmepumpe vil være den beste investeringen for Vangberg Gartneri.

Abstract

The focus on using renewable energy sources for building heating has only increased. At the same time, a ban on the use of oil and paraffin fuels has been introduced in Norway as part of slowing climate changes.

In this thesis, Vangberg Gartneri is used as a reference building. Vangberg Gartneri is one of the country's largest cucumber producers and produces 1,200 tonnes of cucumber annually. The Norwegian greenhouse industry is considered to be an energy-intensive industry. Figures from «Norges Gartnerforbud» show that 37% of energy consumption for Norwegian greenhouses comes from fossil energy sources. Therefore, in collaboration with Vangberg Gartneri, profitability calculations have been carried out to investigate whether it is profitable to use heat pumps for heating a greenhouse.

Profitability calculations have been made using the present value method and the repayment method. Three liquids for water heat pumps have been viewed using energy well as energy source and three air to water heat pumps.

The results show that the total cost of a liquid to water heat pump is far higher compared to an air to water heat pump. This is mainly due to the large costs associated with establishing a well park. In addition, we have seen that there are large differences in the price per kW of heat output depending on which refrigerant the heat pump uses. The simulations of the heat pumps show that there is a difference in the SCOP factor for the different heat pump types. Some air to water heat pumps are although even with the SCOP factor of liquid to water heat pumps. This is mainly because Frosta has a mild climate.

The present value method showed that only one of the three liquids for the water heat pumps was able to achieve a positive present value. All air to water heat pumps were able to achieve a positive present value. Calculation of the payback time, on the other hand, showed that all the heat pumps in this task were a profitable investment, but the air to water heat pumps had a significantly shorter payback time.

On the basis of this task, we can conclude that it is profitable to invest in heat pumps for heating a greenhouse plant, and an air to water heat pump will be the best investment for Vangberg Gartneri.

Innhold

Oppgavebeskrivelse	III
Forord	IV
Sammendrag	V
Abstract	VI
Figurliste	X
Tabelliste	XI
Forkortelser	XII
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Mål	1
1.3 Oppgavens oppbygning	2
1.4 Omfang og begrensninger	3
1.5 Presentasjon av Vangberg Gartneri	3
2 Teori	4
2.1 Varmepumpe	4
2.1.1 Varmepumpens virkemåte	4
2.1.2 Varmepumpens effektfaktor	5
2.1.3 Kuldemedier	5
2.1.4 Varmekilder	6
2.1.5 Varmeakkumulering	8
2.1.6 Væske til vann varmpumpe	8
2.1.7 Luft til vann varmpumpe	9
2.1.8 Dimensjonering av varmpumpe	9
2.2 Lønnsomhetsberegning av varmpumpeanlegg	10
2.2.1 Nåverdimetoden	10
2.2.2 Tilbakebetalingsmetoden	11
2.3 Vekstvilkår for produksjon av agurk	11
3 Metode	13
3.1 Arbeidsforløp	13
3.1.1 Befaring	13
3.1.2 Litteratursøk	14
3.1.3 Simulering av energi- og effektforsbruk	14

3.1.4	Innhenting av priser	14
3.1.5	Simulering av ulike varmepumper	14
3.1.6	Lønnsomhetsberegninger	15
4	Kartlegging, simuleringer og uttak av varmepumper	16
4.1	Utbredelsen av varmepumper og systemløsninger i norske gartneri	16
4.2	Tekniske spesifikasjoner for Vangberg Gartneri	18
4.3	Kartlegging av det eksisterende varmeanlegget.....	20
4.4	Simuleringer	22
4.4.1	Hovedtall fra simuleringen.....	23
4.5	Presiseringer for videre beregninger	23
4.6	Uttak av varmepumpe	25
4.6.1	Væske til vann varmepumpe	25
4.6.2	Luft til vann varmepumpe.....	26
5	Økonomisk analyse av foreslåtte oppvarmingssystemer	27
5.1	Investeringskostnader.....	27
5.1.1	Væske til vann varmepumpe	27
5.1.2	Luft til vann varmepumpe.....	28
5.1.3	Kostnader ved bygging av lavtemperaturanlegg	29
5.1.4	Totalkostnader	29
5.2	Årlig besparelse ved investering av varmepumper	31
5.2.1	Besparelse ved væske til vann varmepumpe.....	31
5.2.2	Besparelse ved luft til vann varmepumpe	32
5.4	Nåverdiberegninger	33
5.4.1	Nåverdiberegning for væske til vann varmepumpe	33
5.4.2	Nåverdiberegning for luft til vann varmepumpe	34
5.5	Tilbakebetalingstid.....	34
5.5.1	Tilbakebetalingstid for væske til vann varmepumpe.....	34
5.5.2	Tilbakebetalingstid for luft til vann varmepumpe	35
5.6	Nåverdiberegninger ved økte byggekostnader	36
5.6.1	Væske til vann varmepumpe	36
5.6.2	Luft til vann varmepumpe.....	36
6	Diskusjon	37
6.1	Diskusjon av resultat.....	37
6.2	Vurdering av data.....	41
7	Konklusjon	43
8	Videre arbeid.....	44

Referanseliste	45
Vedlegg	47
Vedlegg 1 – Poster	48
Vedlegg 2 – Beregning av CO ₂ -produksjon	49
Vedlegg 3 – Beregning av heteflate for Vangberg Gartneri.....	50
Vedlegg 4 – Tradisjonell beregning av maksimalt effektbehov	52
Vedlegg 5 – Estimering av byggekostnader for Vangberg Gartneri.....	53
Vedlegg 6 – Lønnsomhetsberegninger for væske til vann varmepumpe	54
Vedlegg 7 – Lønnsomhetsberegninger for luft til vann varmepumpe.....	55
Vedlegg 8 – Beregning av spart CO ₂ ved varmepumpe	56

Figurliste

Figur 2.1: Varmepumpens hovedkomponenter.....	4
Figur 4.1: Oversikt over energiforbruket i kWh	18
Figur 4.2: Systemskjema over utstyr på teknisk rom.....	20
Figur 4.3: Systemskjema over anlegget i hus 1, 2, 3 og 4.....	22
Figur 4.4: Effekt-varighetsdiagram.....	24
Figur 5.1: Oversikt over pris pr kW varmeeffekt og leverandør.....	27
Figur 5.2 Oversikt over pris pr kW varmeeffekt og leverandør.....	29
Figur 5.3: Oversikt over totalkostnad for de ulike væske til vann varmepumpene.....	30
Figur 5.4 Oversikt over totalkostnadene for de ulike luft til vann varmepumpene.....	30
Figur 5.5: Energileveranse for væske til vann varmepumpe.....	31
Figur 5.6: Årlig besparelse for de ulike væske til vann varmepumpene.....	32
Figur 5.7: Energileveranse for luft til vann varmepumpe.....	32
Figur 5.8: Årlig besparelse for de ulike luft til vann varmepumpene.....	33
Figur 5.9: Nåverdiberegning for væske til vann varmepumpe.....	33
Figur 5.10: Nåverdiberegning for luft til vann varmepumpe.....	34
Figur 5.11: Tilbakebetalingstid for væske til vann varmepumpe	35
Figur 5.12: Tilbakebetalingstid for luft til vann varmepumpe.....	35

Tabelliste

Tabell 1.1: Oversikt over oppgavens struktur.....	2
Tabell 2.1: Oversikt over kuldemedier, GWP-verdier, avgifter og priser	6
Tabell 2.2: En oversikt over aktuelle varmekilder for varmepumpe i Norge med laveste temperaturnivå og variasjoner igjennom året.....	7
Tabell 4.1: Oversikt over energiforbruk i 2019.....	18
Tabell 4.2: Oversikt over tekniske spesifikasjoner Hus 1.....	19
Tabell 4.3: Oversikt over tekniske spesifikasjoner Hus 2.....	19
Tabell 4.4: Oversikt over tekniske spesifikasjoner Hus 3.....	19
Tabell 4.5: Oversikt over tekniske spesifikasjoner Hus 4.....	19
Tabell 4.6: Oversikt over tekniske spesifikasjoner Hus 5.....	19
Tabell 4.7: Oversikt over hovedtall fra simuleringen for de ulike husene.....	23
Tabell 4.8: Dimensjoneringsgrunnlag for varmepumper.....	24
Tabell 4.9: Tekniske spesifikasjoner for væske til vann varmepumpe.....	25
Tabell 4.10: Tekniske spesifikasjoner for luft til vann varmepumpe.....	26
Tabell 5.1: Oversikt over leverandører og priser.....	28
Tabell 5.2: Byggekostnader som gir nåverdi på null.....	36
Tabell 5.3: Byggekostnader som gir nåverdi på null.....	36

Forkortelser

kW	Kilowatt
kWh	Kilowatttime
COP	Coefficient of performance – Varmepumpe effektfaktor
SCOP	Seasonal Coefficient og performance – Varmepumpens årsvarmefaktor
GWP	Global Warming Potential
CO ₂	Karbondioksid
DUT	Dimensjonerende utetemperatur
p.p.m	Part per million

1 Innledning

I dagens samfunn har det stadig blitt et økt fokus på fornybar energi som energikilde til oppvarming. Fra 1. januar 2020 ble det i tillegg innført forbud mot olje- og parafinfyring til oppvarming i privatboliger, offentlige bygninger og næringsbygg, og vi kan forvente en ytterligere innstramning av regelverket i årene fremover som et ledd i å bremse klimaendringene.

Den norske gartnerinæringen er en svært energikrevende bransje. Selv om mesteparten av energien går til kunstig lys, vil i tillegg 25-40 % av det totale energiforbruket være knyttet til oppvarming. Tall fra Norsk Gartnerforbund viser at 37 % av energiforbruket til norske gartneri stammer fra fossile energikilder. Derfor ønsker vi å undersøke om det er mulig å gjøre gartnerinæringen mer klimavennlig ved å se på følgende problemstilling:

«Er det lønnsomt å benytte varmepumpe for oppvarming av et gartneri?»

1.1 Bakgrunn

Denne problemstillingen ble for første gang presentert for oss ved en samtale med eierne av Vangberg Gartneri sommeren 2019. Et gartneri har svært høye U-verdier sammenlignet med andre bygningstyper, og har derfor behov for å få tilført store mengder energi for å kunne opprettholde temperaturen inne i gartneriet. Oppvarmingskostnadene er derfor høye, og dersom man klarer å redusere disse, vil dette gi økt lønnsomhet for produksjonen. Siden vi for første gang fikk problemstillingen presentert har vi tenkt mye på denne, og i løpet av høsten 2019 konkludert vi med at denne problemstillingen ville være svært aktuell å undersøke i en bacheloroppgave.

1.2 Mål

Vårt resultatmål for denne oppgaven er å komme frem til en anbefaling til Vangberg Gartneri for valg av en fornybar energikilde som kan brukes til oppvarming sett ut ifra et økonomisk perspektiv.

Vårt effektmål for denne oppgaven er å kunne vise kunnskap og de ferdigheter som vi har tilegnet oss gjennom maskiningeniørstudiet ved NTNU.

1.3 Oppgavens oppbygning

For å kunne besvare problemstillingen til oppgaven har vi valgt å strukturere oppgaven på følgende måte:

Tabell 1.1: Oversikt over oppgavens struktur.

Kapittel 1	Innledning I dette kapittelet blir problemstillingen, bakgrunnen for oppgaven, mål og begrensninger for oppgaven presentert.
Kapittel 2	Teori I dette kapittelet går vi igjennom teorien som er nødvendig for å kunne gjennomføre oppgaven, forstå resultatene, diskutere og konkludere.
Kapittel 3	Metode I dette kapittelet går vi igjennom metodene som ble brukt for å danne grunnlaget for resultatet.
Kapittel 4	Kartlegging og dimensjonering I dette kapittel går vi igjennom aktuell litteratur fra litteratursøket, tekniske spesifikasjoner, beregning av energi- og effektbehov og uttak av varmepumpe.
Kapittel 5	Resultat I dette kapittelet blir resultatene av lønnsomhetsberegningene presentert steg for steg ved figurer og tabeller.
Kapittel 6	Diskusjon I dette kapittelet blir resultatene av lønnsomhetsberegningene diskutert opp mot problemstillingen.
Kapittel 7	Konklusjon I dette kapittelet blir det trukket en konklusjon.
Kapittel 8	Videre arbeid I dette kapittelet presenterer vi videre arbeid som kan være interessant å se på i sammenheng med denne oppgave.
Kapittel 9	Referanseliste I dette kapittelet er kildene presentert.
Kapittel 10	Vedlegg I dette kapittelet ligger alle vedleggene til oppgaven.

1.4 Omfang og begrensninger

Denne oppgaven er en teoretisk oppgave, og det har vært nødvendig å foreta forenklinger for å kunne komme frem til et resultat. Oppgaven tar ikke hensyn til den økonomiske gevinsten ved å kunne bruke varmepumpene til kjøling når gartneriet har kjølebehov.

Vi har valgt å bruke Vangberg Gartneri som et referansebygg for å undersøke lønnsomheten ved å investere i varmepumper for et gartneri.

Oppgaven tar ikke hensyn til servicekostnader på de ulike varmepumpene.

1.5 Presentasjon av Vangberg Gartneri

Vangberg Gartneri er en av landets største agurkprodusenter. De produserer årlig 1 200 tonn agurk ved sitt gartneri på Frosta. De startet opp med produksjon av agurk i 1999, og har senere utvidet gartneriet i 2003, 2014, og 2017. Dette tilsvarer investeringskostnader på mellom 40-45 millioner kroner. Dagens produksjon utgjør totalt 12 årsverk.

Produksjon av agurk er en svært energikrevende produksjon. Vangberg Gartneri har et årlig forbruk av elektrisk energi på ca. 15 000 000 kWh. Det vil si at for hvert øre strømprisen stiger, vil kostnadene øke med 150 000 kr ekstra pr år.

2 Teori

I dette kapitlet går vi igjennom grunnleggende teori som var nødvendig for at vi skal kunne diskutere resultatene som ble utredet i oppgaven.

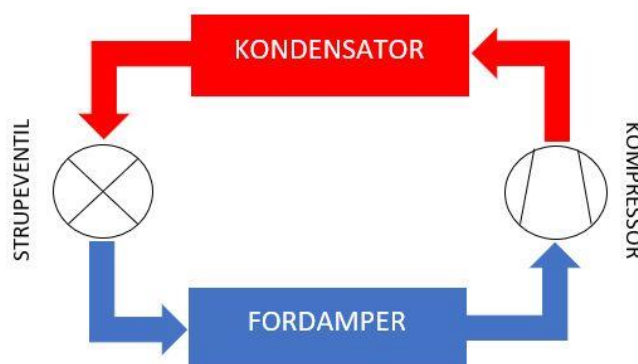
2.1 Varmepumpe

I Norge ligger forholdene godt til rette for å kunne bruke varmepumpe som energikilde til oppvarming. Vi har blant annet tilgang til billig elektrisk energi sammenlignet med andre europeiske land, og vi har i tillegg god tilgang på gunstige varmekilder som for eksempel bergvarme og sjøvann.

En varmepumpe bruker elektrisk energi til å transportere varme fra et reservoar med lav temperatur til et reservoar med høy temperatur. En varmepumpe kan brukes til oppvarming i varmeanlegg, oppvarming av ventilasjonsluft eller til oppvarming av varmt tappevann. En varmepumpe kan i tillegg også utformes for å kunne brukes som en kjølemaskin. «Et varmepumpeanlegg reduserer energibehovet til oppvarming med typisk 40 til 80 % i forhold til oppvarmingssystemer basert på elektrisitet, fjernvarme, olje, gass og bioenergi». (Prenøk 4.7, 1997, avsn. 6).

2.1.1 Varmepumpens virkemåte

En varmepumpe består i hovedsak av fire komponenter: fordampner, kompressor, kondensator og strupeventil. Disse komponentene er koblet sammen og danner dermed et lukket system hvor det sirkulerer et kuldemedium. (Zijdemans, 2012, s. 69).



Figur 2.1: Varmepumpens hovedkomponenter.

Fordamperen overfører varme fra varmekilden til kuldemediet. Temperaturen til kuldemediet holdes lavere enn temperaturen til varmekilden. Dette medfører at varmekilden vil avgi varme til kuldemediet. Ved fordamperen vil kuldemediet gå fra væske til gass. (Zijdemans, 2012, s. 69).

Kompressoren komprimerer gassen som kommer fra fordamperen, hever trykket og temperaturen ved hjelp av å tilføre elektrisk energi til en elektrisk motor. (Zijdemans, 2012, s. 69).

Kondensatoren overfører varme fra kuldemediet til en varmeforbruker, som for eksempel kan være et vannbårent varmesystem. Ved utløpet av kondensatoren vil all gass ha kondensert til væske. (Zijdemans, 2012, s. 69).

Strupeventilen reduserer trykket og dermed også temperaturen til kuldemediet. Ved utløpet av strupeventilen vil kuldemediet være en blanding av væske og gass. (Zijdemans, 2012, s. 69).

2.1.2 Varmepumpens effektfaktor

Effektiviteten til en varmepumpe beskrives med anleggets effektfaktor (COP). Det er forholdet mellom avgitt varmeeffekt fra kondensatoren, og tilført elektrisk effekt til kompressoren som bestemmer effektfaktoren. For å oppnå en høy COP-faktor bør varmepumpen benytte en varmekilde med relativt høyt temperaturnivå, og levere varme ved relativt moderat temperaturnivå. Dette skyldes at COP-faktoren avtar med 2-3 % per °C økning i kondenseringstemperaturen eller senkning i fordampningstemperaturen. Det er derfor ønskelig med et minst mulig temperaturløft for å oppnå høy COP-faktor. (Prenøk 4.7, 1997, avsn. 15-19)

Dersom man skal oppgi en gjennomsnittlig COP-faktor for en varmepumpe gjennom et helt år benyttes uttrykket årsvarmefaktor (SCOP). (Prenøk 4.7, 1997, avsn. 18).

2.1.3 Kuldemedier

Som kuldemedier i en varmepumpe kan man for eksempel benytte syntetisk framstilte midler HFK og HFO, eller naturlige midler. De ulike kuldemediene vil ha ulik påvirkning på klimaet. Klimagasspåvirkningen blir målt i Global Warming Potential (GWP). GWP er et

system som beregner hvor farlig en klimagass er for klimaet. Systemet bruker CO₂ som referanseverdi, og CO₂ har derfor verdien 1. (Zijdemans, 2012, s. 81).

Som vi kan se i tabell 2.1 er det en sammenheng mellom GWP-verdi og avgiftene til de ulike kuldemediene. Jo større GWP-verdien er, jo høyere er avgiften. Vi kan i tillegg observere at de syntetiske kuldemediene har en større miljøpåvirkning enn de naturlige kuldemediene.

Tabell 2.1: Oversikt over kuldemedier, GWP-verdier, avgifter og priser (Moderne Kjøling, 2020).

Kuldemedium	Type	GWP-verdi	Avgift (kr/kg)	Listepris (kr/kg)
R32	Syntetisk	675	367,20	600
R407C	Syntetisk	1 770	964,97	1 644,97
R410A	Syntetisk	2 088	1 135,60	1 935,6
R134a	Syntetisk	1 430	777,92	1 427,92
1234ze	Syntetisk	7	0	845
R290	Naturlig	3	0	390
R744	Naturlig	1	0	220

2.1.4 Varmekilder

Som varmekilde for en varmepumpe har man mulighet til å velge blant flere ulike varmekilder. Valg av varmekilde er avhengig av hvilken varmekilde man har tilgjengelig på det stedet varmepumpen plasseres. Andre faktorer som vil påvirke valget av varmekilde er effektbehovet til bygningen og investeringskostnadene som er knyttet til varmekilden.

Tabell 2.2: En oversikt over aktuelle varmekilder for varmepumpe i Norge med laveste temperaturnivå og variasjoner igjennom året. (Prenøk 4.7, 1997, avsn. 24).

Varmekilde	Laveste temperaturnivå ved dimensjonerende forhold	Temperaturvariasjon over året
Uteluft	-40 til -10°C	35 til 65°C
Avtrekksluft	20 til 25°C	Liten
Bergvarme	-3 til 2°C	8 til 12°C
Jord	-3 til 0°C	10°C
Grunnvann	3 til 8°C	Liten
Sjøvann	3 til 8°C	5 til 8°C
Innsjøvann	0 til 4°C	10°C
Ellevann	0 til 2°C	10 til 15°C

Uteluft

Uteluft som varmekilde er kanskje den varmekilden som er lettest tilgjengelig. Å bruke uteluft som varmekilde er forbundet med lave investeringskostnader sammenlignet med andre varmekilder. Ved bruk av uteluft som varmekilde for en varmepumpe er det viktig å huske at varmeytelsen og COP avtar ved synkende utetemperatur. (Prenøk 4.7, 1997, avsn. 30).

Avtrekksluft

Varm avtrekksluft kan brukes som varmekilde for en avtrekksvarmepumpe som leverer varme til oppvarming av tappevann og til romoppvarming. Avtrekksluft brukes primært som varmekilde i boliger. (Prenøk 4.7, 1997, avsn. 34).

Bergvarme

Å hente varme fra en energibrønn regnes som den beste tekniske løsningen. (Novema Kulde, u.å., s. 145). Temperaturen i energibrønnen er relativt stabil gjennom året. En av ulempene med å bruke bergvarme som varmekilde er at det ofte er forbundet med høye investeringskostnader. (Prenøk 4.7, 1997, avsn. 31).

Grunnvann

Ved å bruke grunnvann som varmekilde er man nødt til å bore brønner for å kunne hente varme fra grunnvannet. Boreddybden er typisk 10 til 40 meter. Forekomsten av grunnvann er god på flere steder i Norge. (Novema Kulde, u.å., s. 145).

Sjø-, innsjø- og elvevann

Man kan bruke sjø-, innsjø- og elvevann som varmekilde ved at man bruker kollektorrør. Anlegget kan enten utføres som en indirekte systemløsning der vannet blir pumpet opp til varmpumpen, eller som et direkte system der frostvæsken sirkulerer i kollektorrør som ligger ute i vannet. (Prenøk 4.7, 1997, avsn. 33).

2.1.5 Varmeakkumulering

Varmeakkumulering brukes til å lagre energi slik at den kan brukes ved behov på et senere tidspunkt og dermed vil man unngå at dyr spisslast slår inn. Dimensjonen på en slik akkumulatortank dimensjoneres ut ifra krav til leverandøren av varmpumpen. Varmenormen anbefaler maksimalt 3 kompressorstart per time (10 min drift/10 min stillstand), som gir et akkumulatorvolum (vann) på 20 L/kW på laveste effekt. En akkumulatortank vil gi bedre driftsbetingelser for varmpumpen, noe som gir mindre start og stopp av kompressoren. Kompressoren i en varmpumpe regnes for å være en kritisk komponent, og det er knyttet store kostnader ved å måtte skifte denne. Det er derfor viktig å dimensjonere en akkumulatortank riktig for å kunne øke levetiden til kompressoren og de øvrige komponentene. (Varmenormen, 2012, s. 66).

2.1.6 Væske til vann varmpumpe

En væske til vann varmpumpe henter varme ved hjelp av en frostsikker væske som fungerer som et sekundærmedium. Sekundærmediet henter varme fra en varmekilde som for eksempel en energibrønn, jordvarme, sjøvann eller ferskvann. Disse varmekildene har normalt små temperaturvariasjoner igjennom året, og en væske til vann varmpumpe egner seg derfor meget godt der det er et typisk innlandsklima med kalde vintre. Varmen fra varmpumpen overføres til en væske som sirkulerer i varmesystemet. (Zijdemans, 2012, s. 65).

De fleste varmekildene som kan benyttes for en væske til vann varmpumpe kan brukes til passiv frikjøling om sommeren, noe som er en stor fordel med denne typen varmpumpe. Ved kjølemodus sirkulerer den frostsikre væsken direkte til kjøleavgivere som for eksempel kjøleblaffer eller ventilasjonskjøling. Ved passiv frikjøling er det kun sirkulasjonspumpen som forbruker energi, og overskuddsvarmen kan for eksempel brukes til oppvarming av varmt tappevann eller lagres i varmekilden dersom denne egner seg godt for dette. En væske til

vann varmepumpe gir en meget bra besparelse i og med at den kan brukes som kombinert varmepumpe og kjølemaskin. (Zijdemans, 2012, s. 65).

2.1.7 Luft til vann varmepumpe

Luft til vann er den nest mest solgte varmepumpetypen i Norge, etter luft til luft varmepumpe. Denne typen varmepumpe kan gi et bedre inneklima på grunn av bedre varmefordeling i bygget, men investeringskostnadene er noe høyere enn for luft til luft varmepumpe. (Zijdemans, 2012, s. 65).

En luft til vann varmepumpe bruker uteluften som varmekilde. Varme fra uteluften overføres i fordampere. Kompressoren utfører et arbeid på kuldemediet, og varme overføres fra kondensatoren til en væske som sirkulerer i varmesystemet. (Zijdemans, 2012, s. 65).

En luft til vann varmepumpe kan kobles til alle vannbaserte varmeavgivere. Dette kan for eksempel være gulvvarmesystemer eller radiatorer. De kan også helt eller delvis varme opp tappevann. Når det kommer til kjøling, er det kun et fåtall av disse varmepumpene som kan brukes til dette. De har de samme ulempene som luft til luft varmepumper; høyt energiforbruk i kjølemodus, så lenge overskuddsvarmen ikke leveres til varmt tappevann. (Zijdemans, 2012, s. 65).

En luft til vann varmepumpe er i likhet med luft til luft varmepumpe best egentlig der det er milde vintre på grunn av at varmeavgivelsen er i motfase med varmebehovet. Det vil si at varmepumpen gir lavest varmeeffekt når bygningen har størst varmebehov, altså om vinteren. (Zijdemans, 2012, s. 65).

2.1.8 Dimensjonering av varmepumpe

For å kunne oppnå best mulig lønnsomhet for en varmepumpe, bør den brukes som en grunnlastkilde i varmeanlegget, mens en elkjel, gasskjel eller oljekjel eller en kombinasjon av disse brukes som en spisslastkilde. En varmepumpe har en relativt høy spesifikk investeringskostnad (kr/kWh), men en relativt lav driftskostnad per kWh levert varme (kr/kWh) da den utnytter en ekstern fornybar varmekilde. For et kjelanlegg er det motsatt. Kjeler har en relativt lav spesifikk investeringskostnad (kr/kWh), men en relativt høy driftskostnad. (Prenøk 4.7, 1997, avsn. 36).

Avhengig av type bygning, klimasone, beliggenhet og byggestandard dimensjoneres varmpumper vanligvis for 40 til 60 % av effektbehovet til bygningen. Da vil man typisk kunne dekke 85 til 95 % av det årlige energibehovet ved bruk av energibrønn, sjøvann eller ferskvann som varmekilde. Ved bruk av uteluft som varmekilde vil man typisk kunne dekke 60 til 80 % av det årlige energibehovet. (Prenøk 4.7, 1997, avsn. 36).

Etter samtaler med Anders Sand i Norsk Gartnerforbund har det blitt vanlig å dimensjonere varmpumper for å kunne dekke omtrent 80 % av det årlige energibehovet for et gartneri. I tillegg ønsker man samtidig å oppnå en gangtid for varmpumpen på mellom 3 000 til 4 000 timer ved full effekt. I praksis har man sett at dersom man installerer en varmpumpe med en effekt på 55 W/m² er dette tilstrekkelig nok for å kunne dekke 80 % av det årlige energibehovet. (A. Sand, personlig kommunikasjon, 27. april 2020).

2.2 Lønnsomhetsberegning av varmpumpeanlegg

For å vurdere lønnsomheten til et varmpumpeanlegg har vi valgt å se på nåverdien og tilbakebetalingstiden for de ulike varmpumpene.

2.2.1 Nåverdimetoden

Nåverdimetoden er en metode for å beregne lønnsomheten til en investering. Dersom nåverdien er positiv vil investeringen være lønnsom, men dersom nåverdien er negativ vil investeringen ikke være lønnsom. (Banken & Nyhuus, 1999, s. 249).

Formel for nåverdi:

$$C_0 = \sum \frac{C_i}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^N} - I_0$$

- C_0 – Nåverdi
- C_i – Kontraktstrøm i år i
- r – Kalkulasjonsrente
- N – Levetid
- I_0 – Investeringskostnad

Vi kan definere kontantstrømmen som alle inn- og utbetalinger som er knyttet til investeringen over tid. I vårt tilfelle vil dette bli den årlige besparelsen i kroner. Det betyr at i denne oppgaven vil netto kontantstrøm regnes som hvor mye Vangberg Gartneri vil redusere sine årlige kostnader til oppvarming ved å benytte varmepumpe sammenlignet med å brukes gass. Nåverdimetoden gir oss mulighet til å vurdere flere alternativer opp mot hverandre. Beste alternativ vil da være det alternativet som gir høyest nåverdi.

2.2.2 Tilbakebetalingsmetoden

Tilbakebetalingsmetoden går ut på å beregne hvor lang tid det tar før selve investeringsbeløpet er inntjent. Dersom tilbakebetalingstiden er kortere enn den økonomiske levetiden til investeringen, er investeringen lønnsom. Men dersom tilbakebetalingstiden er lengre enn den økonomiske levetiden til investeringen, er den ikke lønnsom. Denne metoden tar dermed ikke hensyn til et avkastningskrav ved investeringen. (Banken & Nyhuus, 1999, s. 258).

Formel for tilbakebetalingstid:

$$\text{Tilbakebetalingstid} = \frac{\text{Investeringskostnad}}{\text{Forventet årlig kontantstrøm}}$$

2.3 Vekstvilkår for produksjon av agurk

Det er i hovedsak fire hovedfaktorer som påvirker vekstkurven til en agurkplante. Vi skal nå gå igjennom hver av disse.

Lys: Agurkplantene krever mye lys. Stor lysmengde vil føre til en økt vegetativ vekst, særlig med tanke på økt bladvekst, noe som er å foretrekke med tanke på assimilasjon og stoffproduksjon. (Bjellend, 1976, s. 132). Hos Vangberg Gartneri kjøres det tilleggsbelysning i 20 timer i døgnet. Lyset vil automatisk slå seg av dersom globeinnstrålingen blir for høy.

Temperatur: Agurkplantene stiller store krav til temperatur. Optimal veksttempeture ligger omtrent på 24°C. Den optimale temperaturen vil variere med kulturforholdene (miljøet). På nattes tid senkes temperaturen 1°C pr time i totalt 4 timer samtidig som lyset skrues av. Dersom temperaturen inne i husene overstiger 27°C vil lukene i taket åpnes for å senke temperaturen. (Bjelland, 1976, s. 132).

Karbondioksid: Agurkplantene er avhengig av tilskudd av karbondioksid for å oppnå optimal vekst. Her ønskes det en karbondioksidkonsentrasjon på mellom 1 000 til 1 500 p.p.m. Når lysene skrues av i 4 timer på natten, vil plantene heller ikke få tilført karbondioksid. (Bjelland, 1976, s. 133).

Fuktighet: Den relative luftfuktigheten bør ligge omkring 80 % på dagtid. På nattes tid kan den relative fuktigheten være på opptil 90 %. (Bjelland, 1976, s. 151).

3 Metode

I dette kapittelet går vi igjennom arbeidsforløpet i forbindelse med denne oppgaven.

Metodene som har blitt brukt i oppgaven vil bli presentert.

3.1 Arbeidsforløp

I forbindelse med forprosjektet til denne oppgaven har vi diskutert og listet opp informasjon som var nødvendig å innhente for å kunne løse oppgaven. Vi har i tillegg satt opp et Gantt-skjema over hovedaktiviteter for å kunne sikre fremdrift og ferdigstillelse innen tidsfristen.

Innledningsvis i oppgaven diskuterte vi ulike arbeidsoppgaver og metoder vi kunne bruke for å løse oppgaven. Arbeidsoppgavene ble fordelt etter ønske fra hvert enkelt gruppelem.

Det har blitt gjennomført mange befaringer av gartneriet. Vi har tillegg hatt en god dialog med eierne av gartneriet og Anders Sand i Norsk Gartnerforbund. Vi har gjennomført et litteratursøk for å undersøke utbredelsen av varmepumper og systemløsninger i norske gartneri. Det har også blitt utført simuleringer av energi- og effektforbruk samt simuleringer av varmeeffekt og energiforbruk for de ulike varmepumpene. Vi har innhentet priser på varmepumper og priser i forbindelse med etablering av en brønnpark. Etter å ha innhentet alle priser kunne vi gjennomføre lønnsomhetsberegningene, før vi flyttet fokuset over på oppgaveskrivingen.

3.1.1 Befaring

Vi har vært på regelmessige befaringer hos Vangberg Gartneri. Vi hadde i utgangspunktet lite kunnskap om hvordan et varmeanlegg for et gartneri er bygd opp og hvordan dette fungerer. Vi har derfor prøvd å skaffe plantegninger, systemskjema og dimensjoneringsgrunnlag for varmeanlegget. Dette har vi dessverre ikke klart å skaffe. Vi har derfor brukt mye tid på å sette oss inn i varmeanlegget, beregne, kartlegge og tegne opp et enkelt systemskjema for å få en helhetlig forståelse av varmeanlegget. Denne informasjonen er basert på våre observasjoner og samtaler med eierne og Norsk Gartnerforbund. Vi har tillegg kartlagt de tekniske spesifikasjonene som for eksempel lysintensitet og areal for gartneriet for å kunne beregne energi- og effektbehov.

3.1.2 Litteratursøk

Vi har gjennomført et litteratursøk i forbindelse med denne oppgaven for å undersøke utbredelsen av varmepumper i norske gartneri og systemløsninger som har blitt brukt. Litteraturen stammer i hovedsak fra rapporter i forbindelse med pilotprosjekter som har blitt gjennomført av Norsk Gartnerforbund som et ledd i å kvalitetssikre simuleringen.

3.1.3 Simulering av energi- og effektforbruk

For å kunne beregne størrelsen til en varmepumpe for et gartneri har det vært nødvendig å gjennomføre en simulering av energi- og effektforbruket. Denne simuleringen har blitt gjennomført av Norsk Gartnerforbund. Simuleringen er basert på klimadata for Frosta og de tekniske spesifikasjonene vi har kartlagt ved befaringer og samtaler med eierne av gartneriet. Simuleringene av energi- og effektforbruket har blitt kontrollert opp mot tradisjonell beregning av maksimalt effektbehov.

3.1.4 Innhenting av priser

Vi har tatt kontakt med ulike varmepumpeleverandører for å innhente priser på varmepumper. Varmepumpeleverandørene har kommet med forslag og priser på ulike varmepumper som de mener passer vårt formål basert på de tekniske spesifikasjonene vi har oppgitt.

Vi har i tillegg innhentet priser på boring av energibrønner fra ulike leverandører.

3.1.5 Simulering av ulike varmepumper

Basert på kjøring av varmepumpene fra de ulike leverandørene ved ulike temperaturer har vi gjennomført simuleringer for å beregne varmeeffekt og energiforbruk. Simuleringene av varmepumpene er basert på simuleringen av energi- og effektbehovet. Siden simuleringen av energi- og effektbehovet ga oss tall for hver time igjennom et helt år, ble beregningen av varmeeffekt og energiforbruk enklere. I noen tilfeller har vi ikke fått fullstendige kjøringene av varmepumpene ved alle temperaturer fra leverandørene. Dette har ført til at vi i tillegg har måtte bruke informasjon fra teknisk datablad og lineære sammenhenger mellom de ulike temperaturene for å kunne gjennomføre simuleringer av hver varmepumpe.

3.1.6 Lønnsomhetsberegninger

På bakgrunn av energibesparingene fra varmepumpene har vi gjennomført lønnsomhetsberegninger ved nåverdimetoden og tilbakebetalingsmetoden for å undersøke om en slik investering er lønnsom.

4 Kartlegging, simuleringer og uttak av varmpumper

I dette kapittelet skal vi se på utbredelsen av varmpumper og systemløsninger som har blitt brukt i norske gartneri. De tekniske spesifikasjonene for Vangberg Gartneri vil bli presentert, og vi skal i tillegg se på hvordan det eksisterende varmeanlegget er bygd opp. Deretter skal vi se på beregningene av energi- og effektbehov som danner grunnlaget for å kunne ta ut en varmpumpe med riktig effekt.

4.1 Utbredelsen av varmpumper og systemløsninger i norske gartneri

Bruken av varmpumper i norske gartnerier har hatt en økende tendens de siste årene. Dette kan i hovedsak skyldes økt fokus på fornybar energi og økonomisk gevinst ved bruk av varmpumper. Ifølge Norsk Gartnerforbund er de fleste varmpumpene som har blitt installert i norsk gartneri av typen luft til vann varmpumpe. Av de 21 gartneriene som per juni 2014 har varmpumpe, bruker 14 av dem luft som varmekilde. Det finnes dessverre ikke oppdatert statistikk for dette. Norsk Gartnerforbund sier at de fleste som har investert i varmpumper er fornøyde med investeringen. Det er hittil kun tre varmpumpeanlegg som har vært mislykket. I alle disse tilfellene er det luft til vann varmpumper som egentlig er designet som kjølemaskiner, men som kjøres som varmpumper. Det finnes i dag kun tre til fire anlegg som bruker vann eller energibrønn som varmekilde i norske gartneri. (Norsk Gartnerforbund, u.å.a, avsn. 3).

Et varmpumpeanlegg i et gartneri kan utformes på flere forskjellige måter. En ting som er felles for alle de ulike systemløsningene er at varmpumpen utgjør grunnlastkilden, mens kjeler utgjør spisslastkilden i varmeanlegget. Vi skal nå se på tre forskjellige systemløsninger som kan være aktuelle i forbindelse med et varmpumpeanlegg for gartnerier.

Et av alternativene kan være å bygge om det eksisterende varmeanlegget til et lavtemperaturanlegg. Det vil gi best mulig utnyttelse av varmpumpen da vi får et minimalt temperaturløft over varmpumpen og dermed en høy COP-faktor. De fleste varmeanleggene i norske gartnerier er bygd som et høytemperaturanlegg med en tur- og returtemperatur på 80/60°C. Dette har blitt gjort fordi bruken av varmpumper i denne bransjen er forholdsvis nytt, og tidligere var kjelanlegg det eneste alternativet for oppvarming. Dersom anlegget er bygd som et høytemperaturanlegg kan det i de fleste tilfeller bety at man ikke har tilstrekkelig med heteflateareal til å kunne avgi nok varme ved kjøring av lavere vanntemperatur. En rapport fra Norsk Gartnerforbund viser at Ekra Gartneri i Trondheim har bygd om

varmeanlegget til et lavtemperaturanlegg og har dermed måtte installere mer heteflate. (Stene, 2010, s. 4). Faktorene som påvirker kostnadene ved å bygge om til et lavtemperaturanlegg kan blant annet være utformingen på det gamle varmeanlegget eller om det er gjort energiltak etter at anlegget ble bygd. Dette kan for eksempel være installasjon av energigardiner.

Et annet alternativ kan være å koble varmepumpen direkte inn på det eksisterende varmeanlegget uten at anlegget bygges om til et lavtemperaturanlegg. Varmepumpen vil dermed dekke størsteparten av effektbehovet, men ved synkende utetemperatur vil i tillegg spisslastkjelen slå inn. I et slikt system anbefales det at energisentralen bygges slik at returtemperaturen inn til varmepumpen holdes så lav som mulig. Dette gjøres for å oppnå lengre levetid på utstyret og en høyere COP-faktor til varmepumpen. (Varmenormen, 2012, s. 96). Det er i tillegg viktig at varmepumpen går på full effekt før spisslastkjelen slår inn. (Prenøk 4.9, 2002, avsn. 4). Ifølge Norsk Gartnerforbund er det denne systemløsningen som er mest brukt innen gartnerinæringen. (A. Sand, personlig kommunikasjon, 23. april 2020).

Et annet alternativ til de øvrige systemløsningene kan være å bygge et eget lavtemperaturanlegg for varmepumpen. Her har man mulighet til å bruke andre varmeavgivere som er beregnet for lave temperaturer, som for eksempel viftekonvektorer. I et slikt anlegg vil man unngå å få for høy returtemperatur, slik at man dermed klarer å opprettholde en høy COP-faktor og lang levetid på utstyret. Etter videre samtaler med Anders Sand er han klar i sin tale på at luftbåren varmedistribusjon med lave temperaturer må bli en framtidig løsning for gartnerinæringen. Grunnen til at dette alternativet ikke er mer utbredt er at folk i gartnerbransjen mener at plantene må ha strålevarme på rothalsen, men forsøk fra Nederland viser at dette ikke er nødvendig. (A. Sand, personlig kommunikasjon, 23. april 2020).

Valg av systemløsning og kostnader forbundet med de ulike løsningene, vil variere fra gartneri til gartneri. Vi har undersøkt muligheten for å bygge om til et lavtemperaturanlegg hos Vangberg Gartneri, men her ville kostnadene ved å installere mer heteflate bli for høye sammenlignet med de andre alternativene. På grunn av faren for høy returtemperatur ved uttak av varme fra gasskjelen og røykgasskjøleren mener vi at å bygge et eget lavtemperaturanlegg for varmepumpen vil være det mest gunstigste alternativet. Vi har derfor estimert kostnadene ved dette i denne oppgaven.

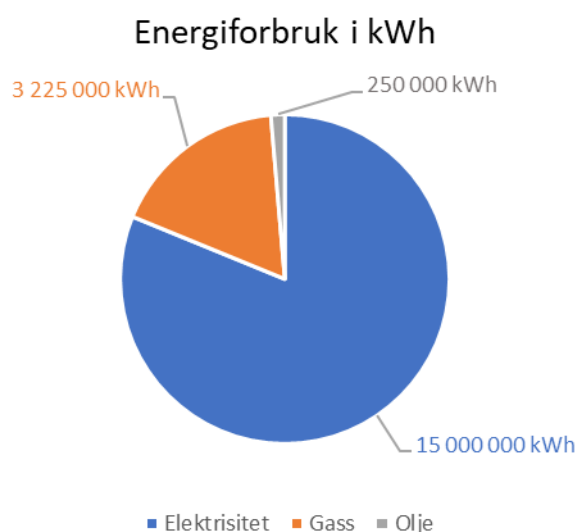
4.2 Tekniske spesifikasjoner for Vangberg Gartneri

Vi har fått oppgitt av Vangberg Gartneri at de hadde følgende energiforbruk i 2019:

Tabell 4.1: Oversikt over energiforbruk i 2019.

Energikilde	Antall	Enhet
Elektrisitet	15 000 000	kWh
Gass	250	tonn
Olje	25 000	L

Figur 4.1 viser en oversikt over energiforbruket for 2019 omregnet i kWh. Som vi kan se i figuren er energiforbruket til gartneriet høyt. Dersom vi sammenligner energiforbruket med den gjennomsnittlige energibruken til en husstand, tilsvarer dette energiforbruket til 913 husstander ifølge tall fra SSB. (Statistisk Sentralbyrå, 2014, avsn. 1).



Figur 4.1: Oversikt over energiforbruket i kWh.

Vi skal nå presentere de ulike husene i gartneriet og de tekniske spesifikasjonene. Dette danner grunnlaget for beregningen av energi- og effektbehovet for gartneriet.

Hus 1 er det eldste huset hos Vangberg Gartneri og ble satt opp i 1999, og er i tillegg det største huset. Huset brukes til produksjon av agurk. Det er installert skyggegardiner i dette huset.

Tabell 4.2: Oversikt over tekniske spesifikasjoner Hus 1.

Areal	4 000	m ²
Lysintensitet	220	W/m ²

Hus 2 ble satt opp i 2003. Dette huset brukes til oppal av agurkplanter. Det er også her installert skyggegardiner.

Tabell 4.3: Oversikt over tekniske spesifikasjoner Hus 2.

Areal	1 500	m ²
Lysintensitet	180	W/m ²

Hus 3 ble satt opp i 2003. Dette huset brukes til produksjon av agurk. Det er også her installert skyggegardiner.

Tabell 4.4: Oversikt over tekniske spesifikasjoner Hus 3.

Areal	2 500	m ²
Lysintensitet	240	W/m ²

Hus 4 ble satt opp i 2017 og er det nyeste huset. Dette huset brukes til produksjon av agurk. Det er også her installert skyggegardiner.

Tabell 4.5: Oversikt over tekniske spesifikasjoner Hus 4.

Areal	2 500	m ²
Lysintensitet	290	W/m ²

Hus 5 ble satt opp i 2015. Dette huset brukes kun 7 måneder i året for oppal av grønnsaksplanter til friland. Dette huset er ikke tilkoblet varmeanlegget slik som de øvrige husene, men varmes opp av egne gassbrennere.

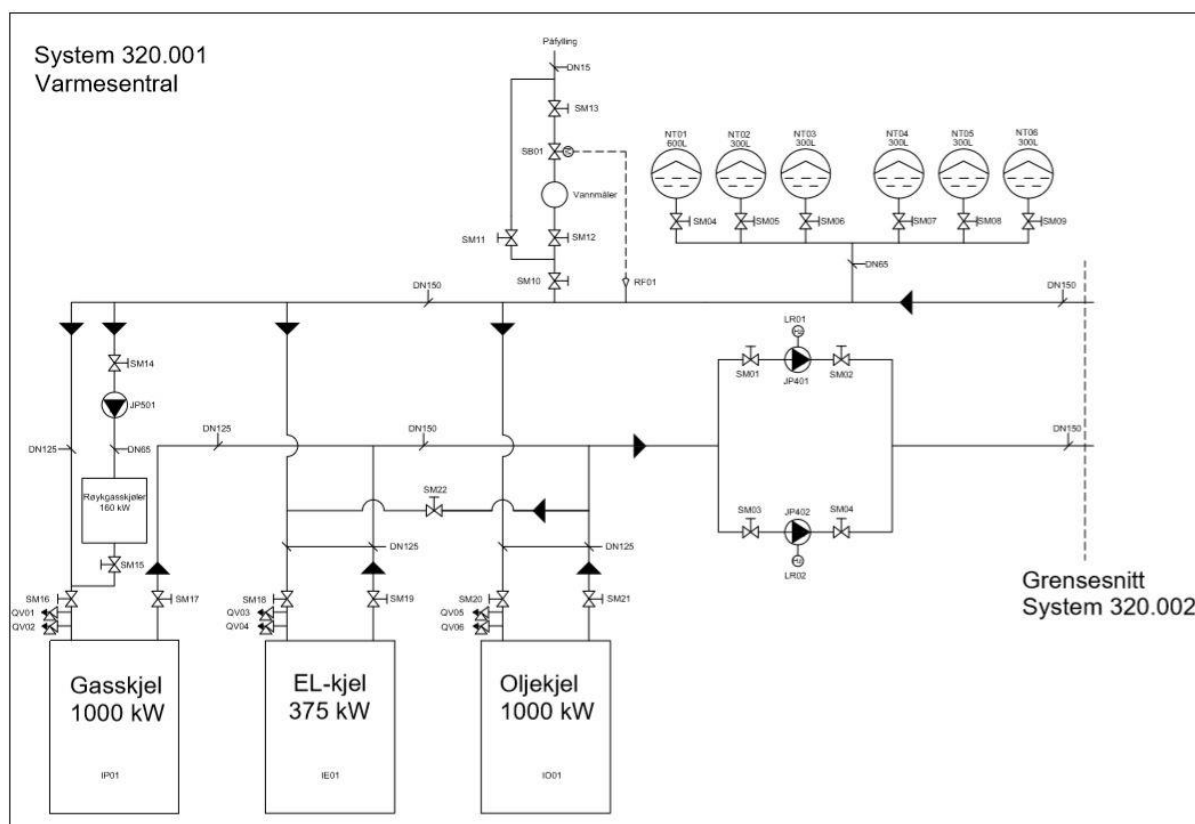
Tabell 4.6 Oversikt over tekniske spesifikasjoner Hus 5.

Areal	1500	m ²
Lysintensitet	0	W/m ²

4.3 Kartlegging av det eksisterende varmeanlegget

I det eksisterende varmeanlegget hos Vangberg Gartneri brukes gass som grunnlastkilde for varmeproduksjon. Gassen består av en blanding av propan og butan. Gassen forbrennes i en gasskjele som har en effekt på 1 000 kW. Røykgassen som oppstår ved forbrenningen kjøles ned, og varmen fra denne overføres til varmeanlegget. Den nedkjølte røykgassen har et høyt karbondioksidinnhold. Røykgassen sendes derfor ut i gartneriet slik at de klarer å opprettholde en karbondioksidkonsentrasjon på mellom 1 000 til 1 500 p.p.m. Dette bidrar til bedre vekstvilkår for agurkplantene.

Som spisslastkilde brukes el- og oljekjel. El-kjelen har en effekt på 375 kW, og vil slå inn dersom gasskjelen alene ikke klarer dekke effektbehovet. Dersom gass- og el-kjelen ikke klarer å dekke effektbehovet på kalde vinterdager når effektbehovet er størst, vil oljekjelen slå inn. Oljekjelen i varmeanlegget har en effekt på 1 000 kW. Røykgassen fra oljekjelen inneholder andre partikler enn kun vann og karbondioksid, og sendes derfor rett ut over tak. Oljekjelen i dette anlegget vil i tillegg fungere som en nødløsning ved strømbrudd, da denne kan forsynes av et strømaggregat.

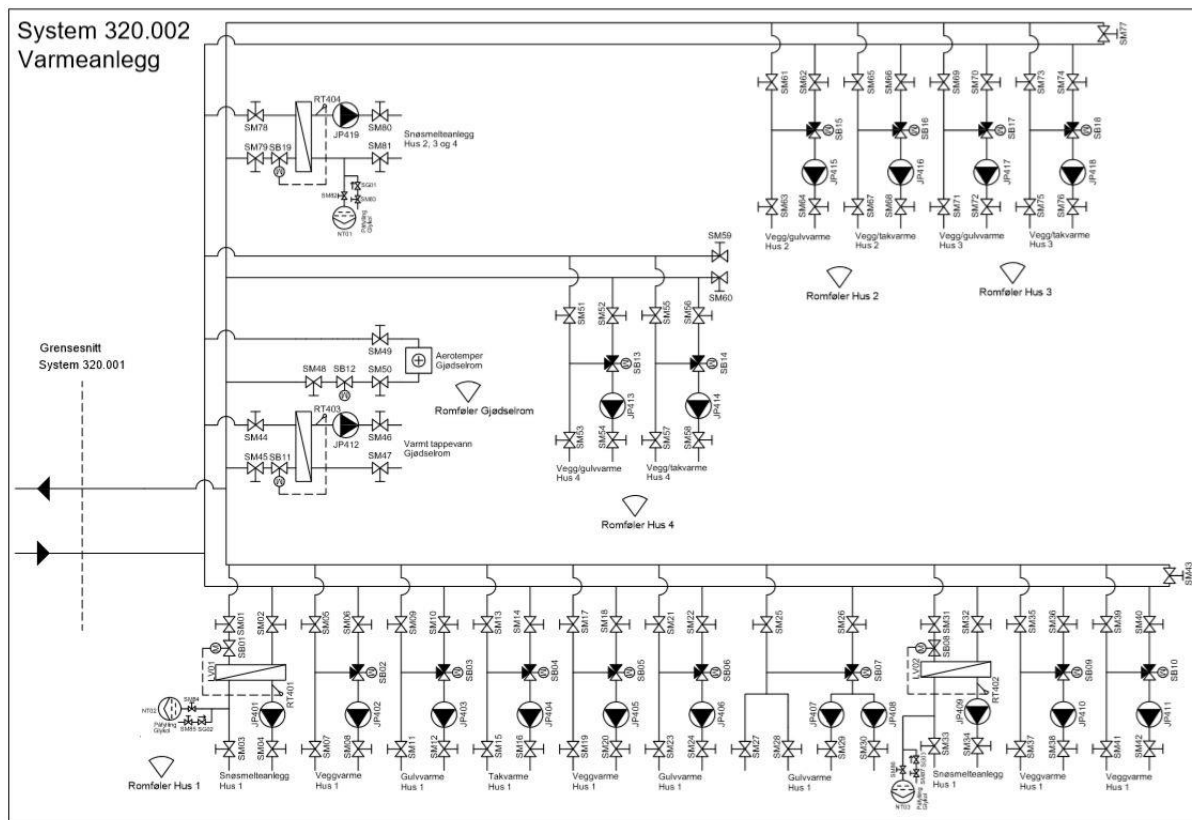


Figur 4.2: Systemskjema over utstyr på teknisk rom.

Hele varmeanlegget er bygd som et høytemperaturanlegg. Hovedstokken i varmeanlegget er dimensjonert for en tur- og returtemperatur på 80/60°C. Som varmbærer brukes det vann i dette anlegget. Pumpene i hovedstokken styres av differansetrykk, og er i tillegg frekvensstyrte. Det betyr at pumpene automatisk vil regulere vannmengden opp og ned avhengig av åpningene på shuntene ute i anlegget. Dermed kan vi si at reguleringsteknikk som er brukt her er mengderegulert. Det er i tillegg montert automatisk vannpåfylling på anlegget.

Ut fra teknisk rom fordeler hovedstokken seg i to varmekurser. En kurs som dekker Hus 1, og en kurs som dekker Hus 2, 3 og 4. Inne i hvert hus er det montert flere shunter og pumper som henholdsvis går til gulvvarme, veggvarme og takvarme. Reguleringsprinsippet i disse kursene er temperaturregulering, og derfor shentes vanntemperaturen ned inne i hvert hus etter behov. Shuntene styres av en romføler, og prøver å opprettholde 24°C på dagtid. Som varmeavgivere inne i hvert hus brukes uisolerte stålrør. Varmen vil da overføres ved konveksjon og stråling. Det er i tillegg montert rennevarme (snøsmelleanlegg) i hver renne på taket. Rennevarmen bruker glykol som varmbærer, og derfor må denne veksles med varmen i hovedstokken. I tillegg forsyner varmeanlegget én tappevannsveksler som brukes i forbindelse med utvanning av gjødsel og én aerotemper som brukes til oppvarming av gjødselrom.

Hus 5 er ikke tilknyttet varmeanlegget som forsyner de andre husene. Her er det montert egne gassbrennere som brukes til oppvarming.



Figur 4.3: Systemskjema over anlegget i hus 1, 2, 3 og 4.

4.4 Simuleringer

For å kunne dimensjonere en varmepumpe som skal brukes til oppvarming er det nødvendig å beregne effekt- og energibehovet for gartneriet. Vi har fått hjelp av Norsk Gartnerforbund til å utføre beregningene, da de har programvare for dette. Simuleringene er basert på de tekniske opplysningene vi har kartlagt for gartneriet og meteorologiske data for Frosta. I simuleringen er det antatt at 20 % av solenergien reflekteres og dermed tapes. Det betyr at 80 % av solenergien påvirker innklimaet i gartneriet. Denne prosentandelen vil selvfølgelig variere med solhøyde og gartneriets orientering i terrenget. I tillegg er vi nødt til å anta at 95 % av energien som går til lysene, også vil gå til å produsere varme. Vi ønsker å opprettholde en lufttemperatur på 24°C. Simuleringene tar i tillegg hensyn til vind og nedbør som er registrert i de meteorologiske dataene.

Dette fører til at energi- og effektbehovet ikke er beregnet på tradisjonell måte, og er heller ikke beregnet ut ifra dimensjonerende utetemperatur (DUT). Vi har derfor måtte gjennomføre en kontroll av simuleringen opp mot tradisjonell beregning av energi- og effektbehov. Det viser seg at simuleringen stiller et høyere krav til effekt- og energibehov sammenlignet med

tradisjonell beregning. Vi har derfor valgt å basere oss på simuleringen i videre beregninger. En av grunnene til at vi har valgt dette, er at vi under befaringer har oppdaget en del utettheter i konstruksjonen som vil gi et økt varmetap for bygget.

4.4.1 Hovedtall fra simuleringen

Tabell 4.7 viser hovedtallene fra simuleringen som ble utført for å beregne energi- og effektbehovet til gartneriet. Som vi kan se i tabellen er det årlige energibehovet for oppvarming på 4 307 298 kWh, mens det største effektbehovet er på 2 505 kW.

Tabell 4.7: Oversikt over hovedtall fra simuleringen for de ulike husene.

Hus nr	Årlig energibehov (kWh)	Største effektbehov (kW)
Hus 1	1 697 610	824
Hus 2	517 898	315
Hus 3	898 774	474
Hus 4	903 763	474
Hus 5	289 254	419
Sum	4 307 298	2 505

4.5 Presiseringer for videre beregninger

Hus 5 er ikke tilknyttet det eksisterende varmeanlegget i gartneriet. Huset benytter seg av egne gassbrennere som er montert inne i huset for å produsere varme. Ut ifra dette har vi valgt å se bort fra hus 5 i videre beregninger. I tillegg brukes huset kun 7 måneder i året, og huset ligger heller ikke helt inntil de andre husene. Vi anser derfor kostnaden for tilkobling av hus 5 på varmeanlegget for høy sammenlignet med nytten vi ville fått ved å koble til dette huset.

Som nevnt tidligere må Vangberg Gartneri brenne gass for å produsere karbondioksid. Et annet alternativ er å kjøpe ren karbondioksidgass. Vi har valgt å fokusere på en løsning der vi ikke erstatter noen av de allerede eksisterende varmekildene med en varmepumpe. Det betyr at gasskjelen primært vil brukes til å produsere karbondioksid til gartneriet. Samtidig som gasskjelen kjøres for å produsere karbondioksid, kan vi hente ut varme direkte fra gasskjelen og ved røykgasskjøleren.

På grunn av de nevnte faktorene ovenfor har vi valgt å korrigere energi- og effektbehovet for at Hus 5 ikke er tilknyttet varmeanlegget og at gasskjelen vil brukes til å produsere karbondioksid, samtidig som vi kan hente ut varme.

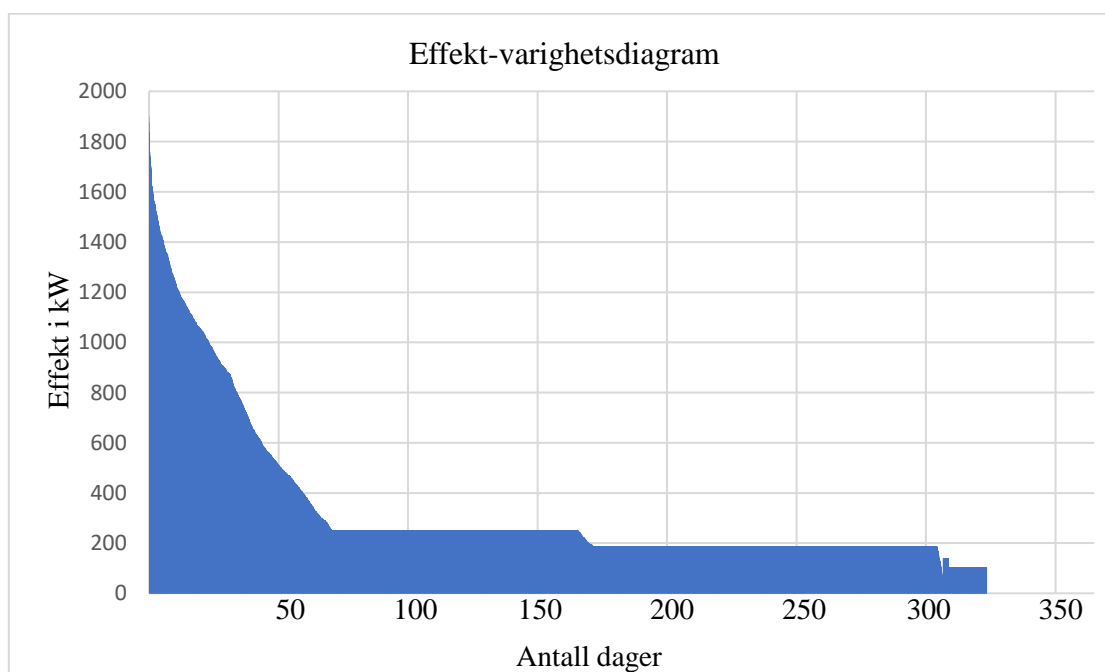
Dette gir oss følgende tall som danner grunnlaget for videre beregninger av varmepumpeløsninger for gartneriet:

Tabell 4.8: Dimensjoneringsgrunnlag for varmepumper.

Hus nr	Årlig energibehov (kWh)	Største effektbehov (kW)
Hus 1	1 148 649	753
Hus 2	312 036	289
Hus 3	573 359	429
Hus 4	578 349	429
Sum	2 612 394	1 900

Som vi kan se i tabell 4.8 er det årlige energibehovet til oppvarming nå korrigert til 2 612 394 kWh, mens det største effektbehovet nå er korrigert til 1900 kW.

Basert på simuleringene som har blitt gjennomført har det blitt mulig å sette opp et effekt-varighetsdiagram for gartneriet. Figur 4.4 viser effektbehovet i kW over et helt kalenderår. Som vi kan se i figuren er det behov for oppvarming 323 dager i året.



Figur 4.4: Effekt-varighetsdiagram.

4.6 Uttak av varmepumpe

På grunn av at vi ønsker å ta ut en varmepumpe som dekker omtrent 80 % av det årlige energibehovet til et gartneri, viser simuleringer og beregninger at en varmepumpe på 550 kW vil være tilstrekkelig i dette tilfellet. Dette stemmer godt med anbefalingen til Sand om at 55 W/m² ofte er tilstrekkelig for å oppnå 80 % av energibehovet. Varmepumpen vil dermed dekke 29 % av det totale effektbehovet, og vil i tillegg gi oss en driftstid på 3 754 timer på full effekt.

Vi har tatt kontakt med tre ulike leverandører av væske til vann og luft til vann varmepumper, og fått de til å komme med forslag på aktuelle varmepumper som har en effekt omtrent 550 kW. Vi vil nå presentere de tekniske spesifikasjonene til varmepumpene som har blitt tilbudt av de ulike leverandørene. De tekniske spesifikasjonene diskuteres senere i oppgaven.

4.6.1 Væske til vann varmepumpe

I tabell 4.9 kan vi se de ulike tekniske spesifikasjonene til de tre ulike væske til vann varmepumpene.

Tabell 4.9: Tekniske spesifikasjoner for væske til vann varmepumpe.

Parameter	Leverandør 1	Leverandør 2	Leverandør 3
Varmeeffekt (kW)	130	79	583,2
Oppgitt COP	3,90	4,2	4,02
Nødvendig antall varmepumper	4	7	1
Simulert dekning av energibehov (%)	78,9	80,3	81,6
Dekning av effektbehov (%)	27,4	29,1	30,7
Simulert driftstid	3 964	3 796	3 656
Type	Reversibel væske til vann varmepumpe	Reversibel væske til vann varmepumpe	Reversibel isvannsmaskin
Kan brukes til kjøling	Ja	Ja	Ja
Kuldemedium	R290	R410	R410
Antall kg kuldemedium	5	8,7	104

4.6.2 Luft til vann varmepumpe

I tabell 4.10 kan vi se de ulike tekniske spesifikasjonene til de tre ulike luft til vann varmepumpene.

Tabell 4.10: Tekniske spesifikasjoner for luft til vann varmepumpe.

Parameter	Leverandør 1	Leverandør 2	Leverandør 3
Varmeeffekt (kW)	257	105	565,9
Oppgitt COP	3,78	3,7	2,73
Nødvendig antall varmepumper	2	6	1
Simulert dekning av energibehov (%)	78,3	74,3	76,2
Dekning av effektbehov (%)	25,5	19,2	24,5
Simulert driftstid	3 982	3 081	3 519
Type	Reversibel luft til vann varmepumpe	Luft til vann varmepumpe	Reversibel luft til vann varmepumpe
Kan brukes til kjøling	Ja	Nei	Ja
Kuldemedium	R290	R410A	R410A
Antall kg kuldemedium	39	26,5	100

5 Økonomisk analyse av foreslåtte oppvarmingsystemer

Vi skal nå presentere resultatene av lønnsomhetsberegningene steg for steg. De ulike varmepumpeleverandørene har foreslått og tilbudt ulike varmepumper med ulike egenskaper og kapasiteter. Vi har derfor valgt å gjennomføre lønnsomhetsberegninger på hver av de ulike varmepumpene. På grunn av at differansen i pris per kW varmeeffekt for de ulike varmepumpene er så stor, ville en gjennomsnittlig pris gi et dårlig bilde av virkeligheten.

Leverandørene holdes anonyme i denne oppgaven på grunn av at enkelte leverandører har levert konfidensielle pristilbud. Vi har derfor valg å nummerere leverandørene.

Alle priser som er nevnt i denne oppgaven er eksklusive merverdiavgift.

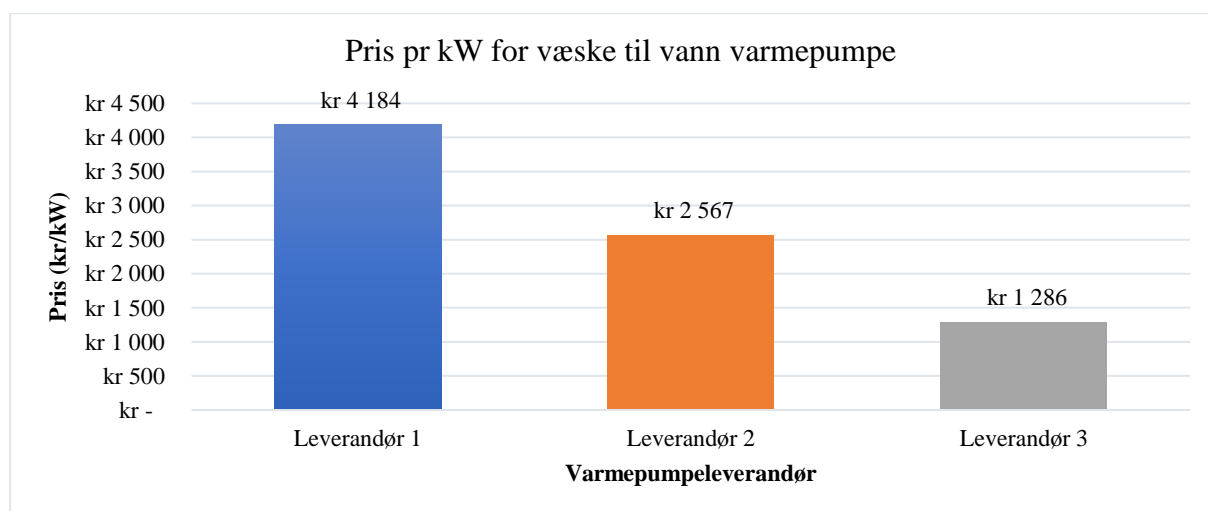
5.1 Investeringskostnader

Vi har undersøkt investeringskostnadene for de ulike varmepumpetypene.

Investeringskostnadene er en del av grunnlaget for å kunne gjennomføre en lønnsomhetsberegning.

5.1.1 Væske til vann varmepumpe

Vi har innhentet pristilbud på tre forskjellige væske til vann varmepumper fra tre ulike leverandører. Som vi kan se i figur 5.1 er det store variasjoner i pris pr kW varmeeffekt. Prisen pr kW varmeeffekt varierer helt fra 4 184 ned til 1 286 kr/kW.



Figur 5.1: Oversikt over pris pr kW varmeeffekt og leverandør.

5.1.1.1 Energibrønn

Vi har innhentet prisestimer fra tre ulike leverandører for boring av energibrønner. Disse skal forsyne væske til vann varmpumpene med varme. Det som var felles for alle prisestimatene var at alle hadde inkludert tre meter med stålrør, kollektorslanger og påfylling av frostvæske.

Som vi kan se i tabell 5.1 er det kun én leverandør som har inkludert samlekommer i sitt prisestimat for boring pr meter. Vi har derfor valgt å bruke det prisestimatet som inkluderer samlekommer i videre beregninger.

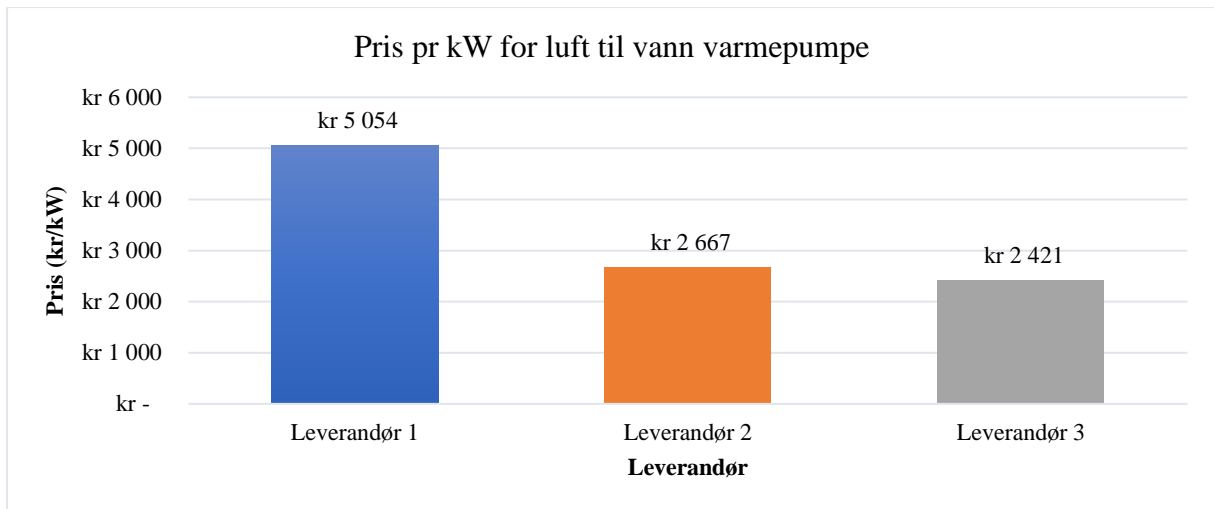
Tabell 5.1: Oversikt over leverandører og priser.

Leverandør	Pris pr meter (kr/m)	Inkluderer samlekommer
Leverandør 1	265,6	Nei
Leverandør 2	250,4	Nei
Leverandør 3	459,2	Ja

Beregninger som har blitt utført av varmpumpeleverandørene viser at en boreddybde på totalt 11 000 meter skal være tilstrekkelig for å forsyne en varmpumpe på omtrent 550 kW. Dette vil gi oss en total kostnad på kr. 5 051 200 for etablering av en brønnpark.

5.1.2 Luft til vann varmpumpe

Vi har innhentet pristilbud på tre forskjellige luft til vann varmpumper fra tre ulike varmpumpeleverandører. Som vi kan se i figur 5.2 er det også her store variasjoner i prisen per kW varmeeffekt. Prisen pr kW varmeeffekt varierer helt fra 5 054 ned til 2 421 kr/kW.



Figur 5.2 Oversikt over pris pr kW varmeeffekt og leverandør.

5.1.3 Kostnader ved bygging av lavtemperaturanlegg

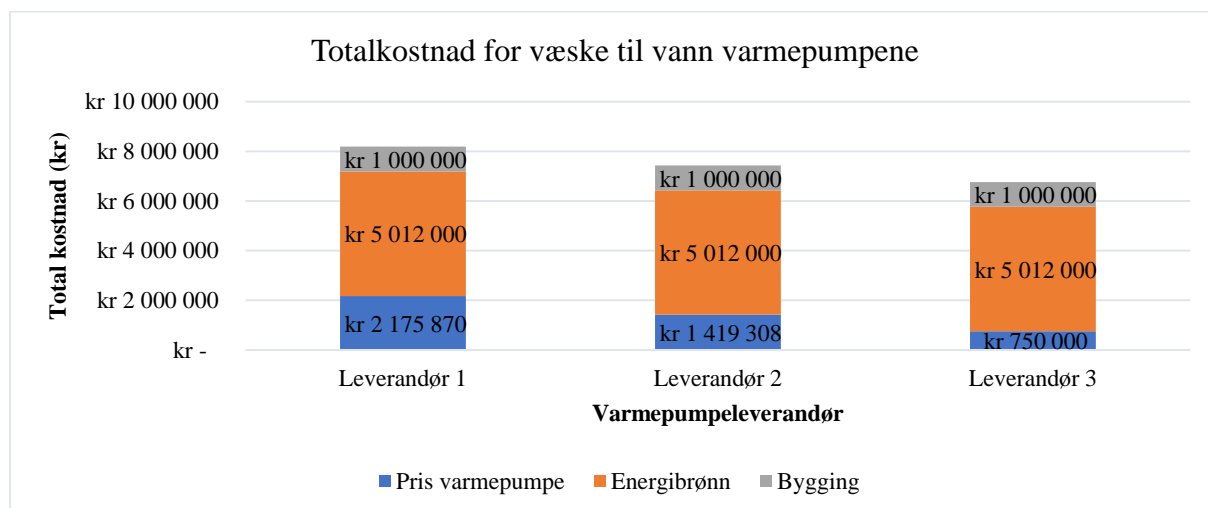
Vi har estimert kostnadene ved bygging av et lavtemperaturanlegg som skal forsynes med varme fra en varmepumpe. Som varmeavgivere har vi valgt å bruke aerotempere. Vi mener at kr. 1 000 000 skal være tilstrekkelig for å bygge et slikt anlegg for gartneriet. Senere i oppgaven skal vi i tillegg se på hvor stor byggekostnadene ved systemløsningene kan være før et slik prosjekt ikke vil bli lønnsomt.

5.1.4 Totalkostnader

De totale kostandene for et varmepumpeanlegg som baserer seg på væske til vann varmepumper er i all hovedsak knyttet til innkjøp av varmepumpe. I tillegg kommer kostnader i forbindelse med etablering av brønnpark og bygging av et lavtemperaturanlegg. For et varmepumpeanlegg som baserer seg på luft til vann varmepumpe vil de totale kostnadene bestå av innkjøp av varmepumpe og bygging av et lavtemperaturanlegg.

5.1.4.1 Væske til vann varmpumpe

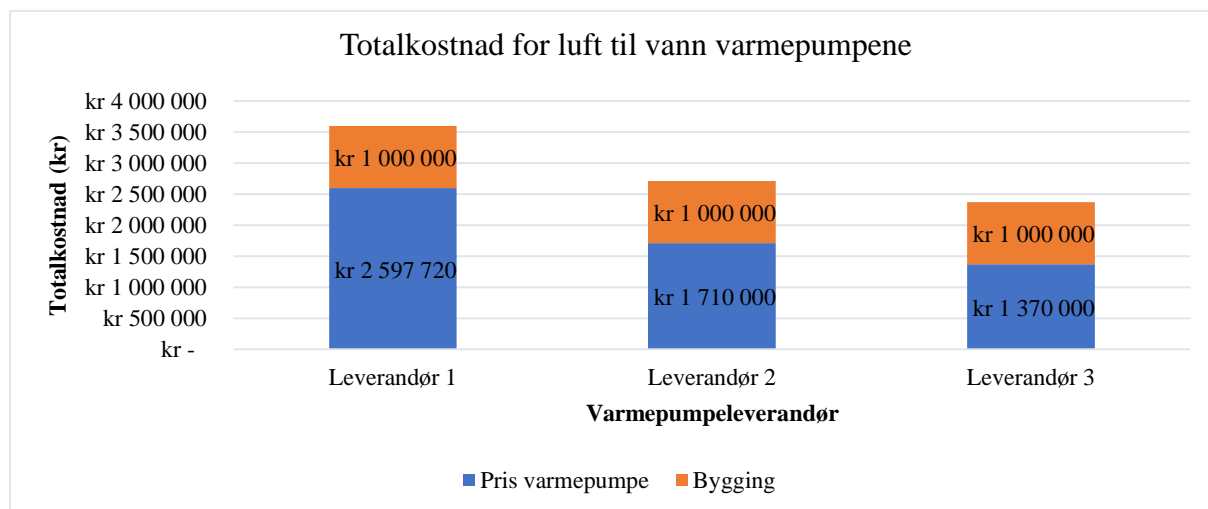
Figur 5.3 viser en oversikt over de totale kostnadene som er forbundet med hver av de ulike væske til vann varmpumpene. Som vi kan se i figuren er det kun prisen på de ulike varmpumpe som varierer, og dermed gir ulik totalkostnad. Totalkostnaden per leverandør varierer fra kr. 8 187 870 til kr. 6 762 000.



Figur 5.3: Oversikt over totalkostnad for de ulike væske til vann varmpumpene.

5.1.4.2 Luft til vann varmpumpe

Figur 5.4 viser en oversikt over de totale kostnadene som er forbundet med hver av de ulike væske til vann varmpumpene. Som vi kan se i figuren er det kun prisen på de ulike varmpumpene som varierer, og dermed gir ulik totalkostnad. Totalkostnaden per leverandør varierer fra kr. 3 597 720 til kr. 2 370 000.



Figur 5.4 Oversikt over totalkostnadene for de ulike luft til vann varmpumpene.

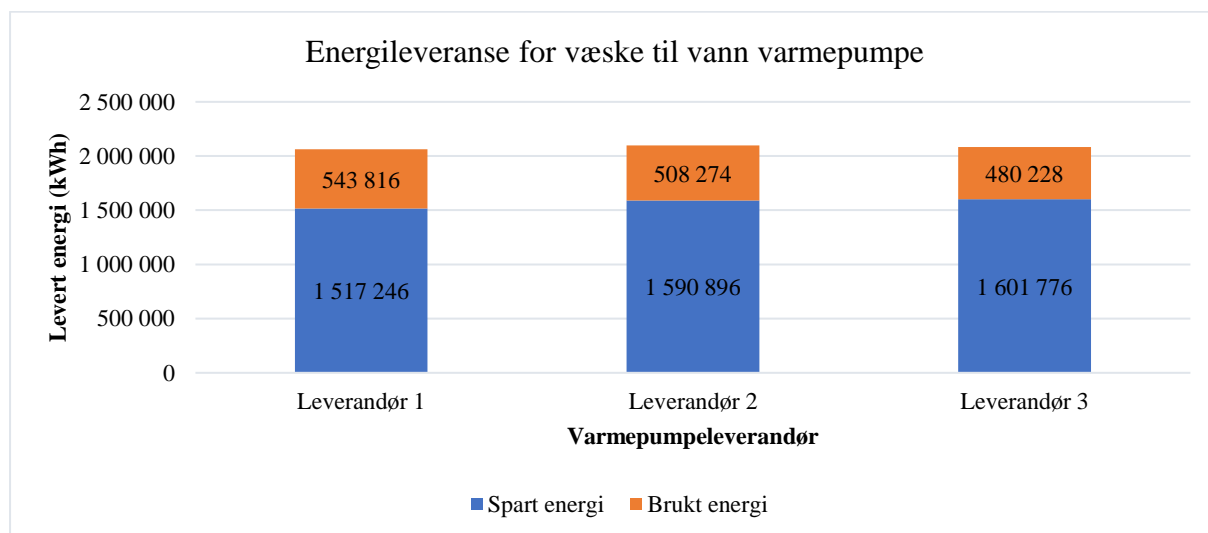
5.2 Årlig besparelse ved investering av varmepumper

Vi har gjennomført simuleringer og beregninger på hver av de ulike varmepumpene for å kunne fastslå den årlige besparelsen ved investering av varmepumper. Simuleringene er basert på simuleringen av energi- og effektbehov og kjøringene for de ulike varmepumpene.

For å kunne beregne den årlige besparelsen i kroner ved å investere i væske til vann varmepumpe har vi måtte se på spart energi og brukt energi ved varmepumpene, sammenlignet med denne energimengden som tidligere har blitt levert av gasskjelen. Beregningene har forutsatt en pris på elektrisk energi til 30 øre/kWh og en gasspris på 35 øre/kWh. Vi har i tillegg antatt en virkningsgrad på 90 % for gasskjelen.

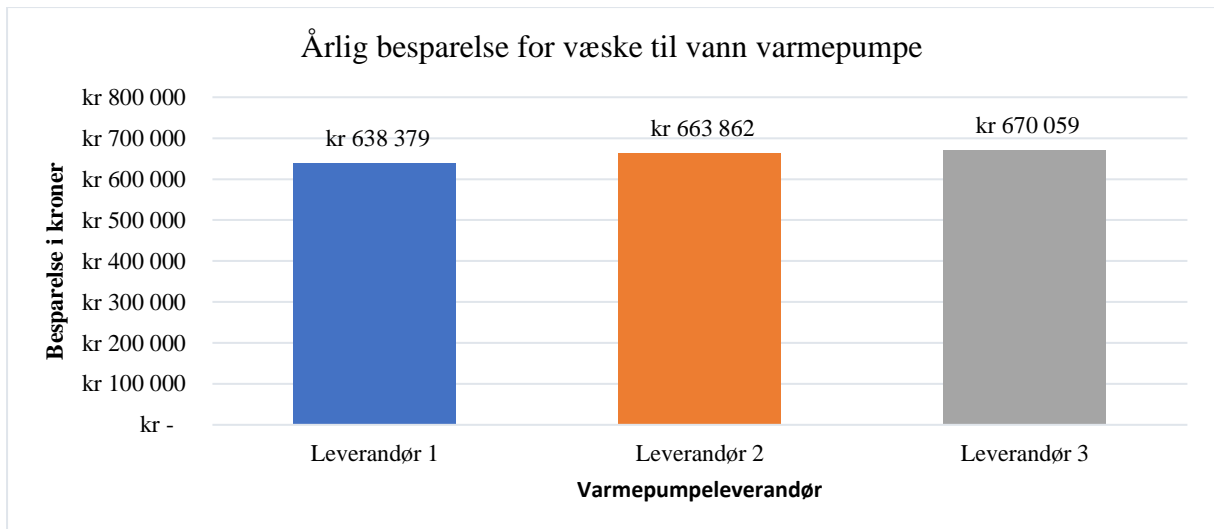
5.2.1 Besparelse ved væske til vann varmepumpe

Figur 5.5 viser den årlige energileveransen til de ulike væske til vann varmepumpene. Som vi kan se i figuren leverer nesten alle varmepumpene like mye energi. Det som utgjør den største forskjellen mellom de ulike varmepumpene er forbruket av energi.



Figur 5.5: Energileveranse for væske til vann varmepumpe.

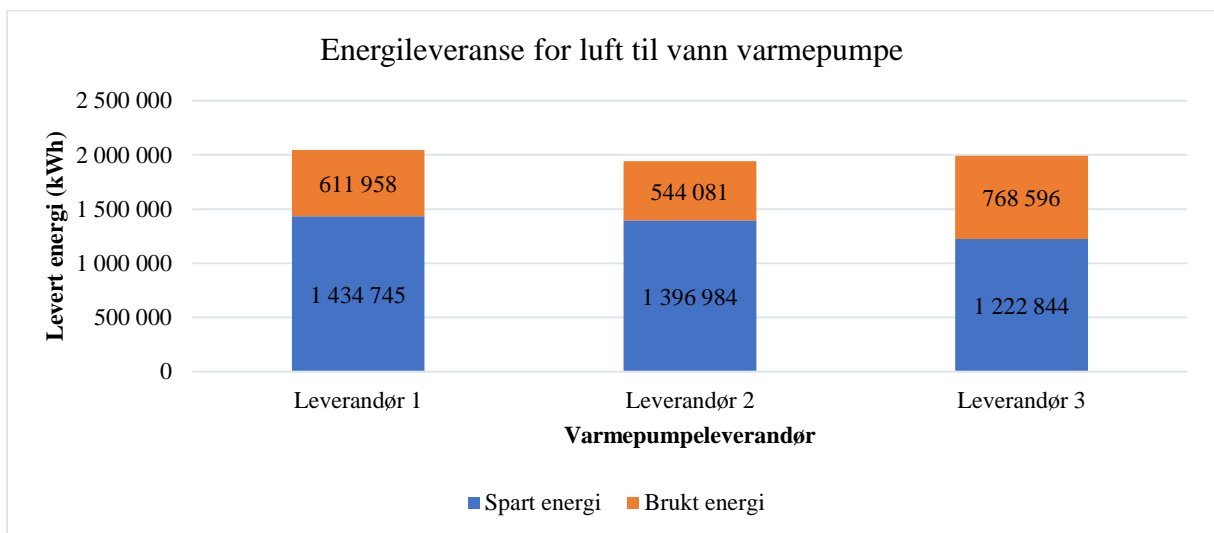
Figur 5.6 viser den årlige besparelsen i kroner ved investering av de ulike væske til vann varmepumpene. Som vi kan se i figuren varierer besparelsen med kr. 31 680 kr for den varmepumpen som har høyest årlig besparelse og den varmepumpen som har lavest årlig besparelse.



Figur 5.6: Årlig besparelse for de ulike væske til vann varmepumpene.

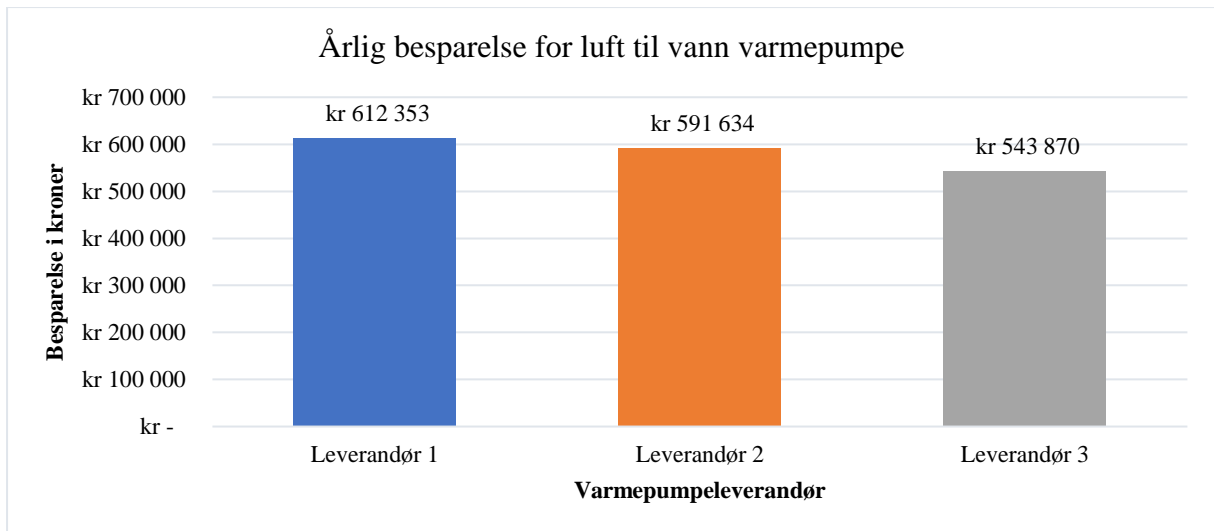
5.2.2 Besparelse ved luft til vann varmepumpe

Figur 5.7 viser den årlige energileveransen til de ulike væske til vann varmepumpene. Som vi kan se i figuren leverer nesten alle varmepumpene like mye energi. Det som utgjør den største forskjellen mellom de ulike varmepumpene er forbruket av energi.



Figur 5.7: Energileveranse for luft til vann varmepumpe.

Figur 5.8 viser den årlige besparelsen i kroner ved investering av luft til vann varmepumpe. Som vi kan se i figuren varierer besparelsen med kr. 68 483 for den varmepumpen som har høyest årlig besparelse og den varmepumpen som har lavest årlig besparelse.



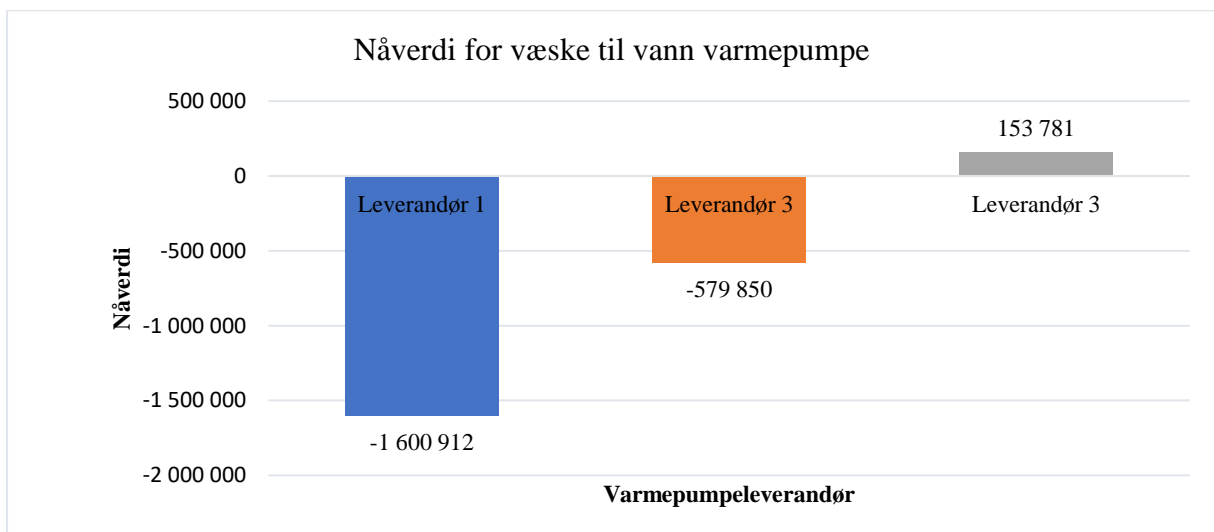
Figur 5.8: Årlig besparelse for de ulike luft til vann varmepumpene.

5.4 Nåverdiberegninger

For å vurdere lønnsomheten ved å investere i en varmepumpe ved bruk av nåverdimetoden har vi valgt å sette levetiden til en væske til vann varmepumpe til 15 år. Vi har valgt å sette levetiden til en luft til vann varmepumpe til 10 år. Kalkulasjonsrenten har blitt satt til 5 %.

5.4.1 Nåverdiberegning for væske til vann varmepumpe

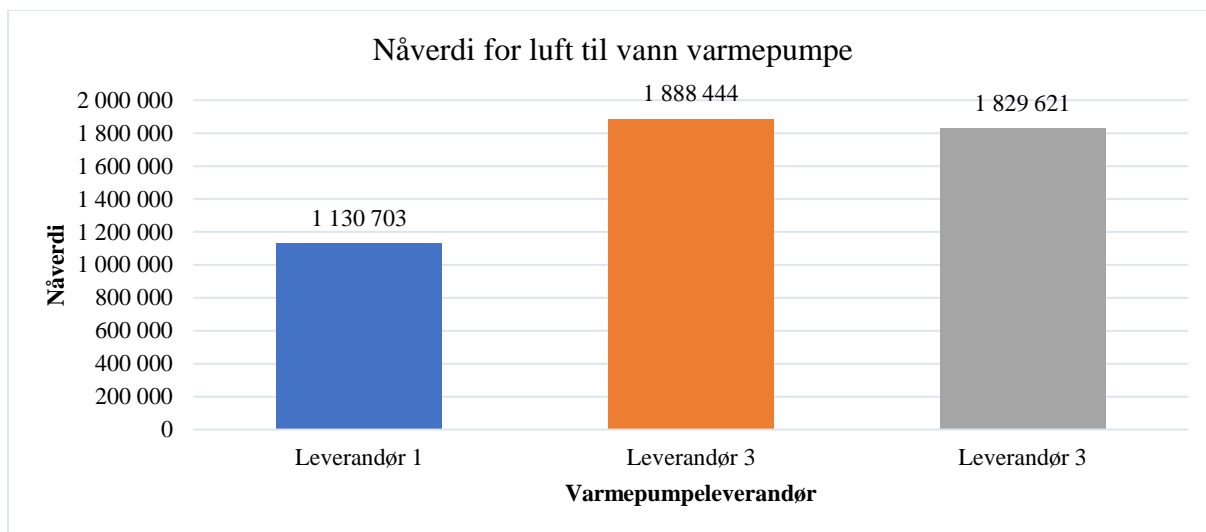
Figur 5.9 viser nåverdien til de ulike væske til vann varmepumpene. Som vi kan se i figuren er nåverdien til leverandør 1 og 2 negativ, mens leverandør 3 har en positiv nåverdi.



Figur 5.9: Nåverdiberegning for væske til vann varmepumpe.

5.4.2 Nåverdiberegning for luft til vann varmepumpe

Figur 5.10 viser nåverdien til de ulike luft til vann varmepumpene. Som vi kan se i figuren har alle leverandørene en positiv nåverdi.



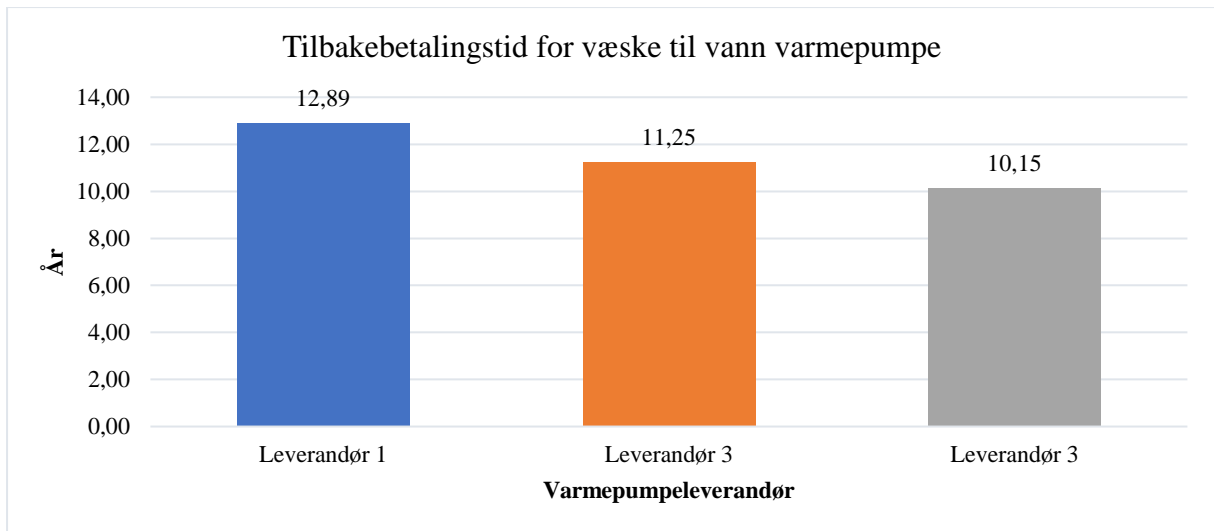
Figur 5.10: Nåverdiberegning for luft til vann varmepumpe.

5.5 Tilbakebetalingstid

For å vurdere lønnsomheten ved å investere i en varmepumpe uten avkastningskrav skal vi nå se på tilbakebetalingstiden til investeringen for de ulike varmepumpene.

5.5.1 Tilbakebetalingstid for væske til vann varmepumpe

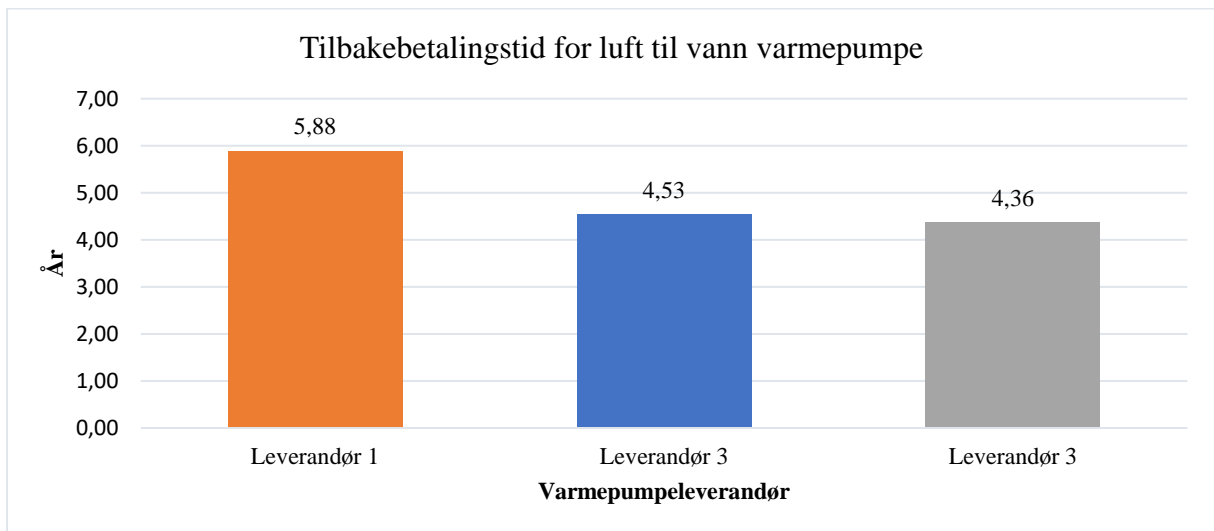
Figur 5.11 viser tilbakebetalingstiden for de ulike væske til vann varmepumpene. Som vi kan se i figuren varierer tilbakebetalingstiden med 2,74 år for de ulike leverandørene.



Figur 5.11: Tilbakebetalingstid for væske til vann varmepumpe.

5.5.2 Tilbakebetalingstid for luft til vann varmepumpe

Figur 5.12 viser tilbakebetalingstiden for de ulike luft til vann varmepumpene. Som vi kan se i figuren varierer tilbakebetalingstiden med 1,52 år for de ulike leverandørene. Vi har her en langt kortere tilbakebetalingstid sammenlignet med væske til vann varmepumpene.



Figur 5.12: Tilbakebetalingstid for luft til vann varmepumpe.

5.6 Nåverdiberegninger ved økte byggekostnader

For å kunne trekke mer generelle linjer til andre gartneriet har vi valgt å se på hvor store byggekostnadene kan være før investeringen ikke blir lønnsom, altså en nåverdi på null. Byggekostnadene for de ulike systemløsningene vil variere fra gartneri til gartneri.

5.6.1 Væske til vann varmpumpe

Tabell 5.2 viser hvor stor byggekostnaden kan være for at den gir null i nåverdi for de ulike væske til vann varmpumpene. Som vi kan se i tabellen er det ikke mulig å oppnå null i nåverdi for leverandør 1, fordi kostnadene for varmpumpen og etablering av brønnpark er for høy.

Tabell 5.2: Byggekostnader som gir nåverdi lik null.

Nåverdi	Leverandør 1 (kr)	Leverandør 2 (kr)	Leverandør 3 (kr)
0	Ikke mulig	420 150	1 153 781

5.6.2 Luft til vann varmpumpe

Tabell 5.3 viser hvor stor byggekostnaden kan være for at den gir null i nåverdi for de ulike væske til vann varmpumpene. Som vi kan se i tabellen kan byggekostnaden være betydelig høyere sammenlignet med væske til vann varmpumpe.

Tabell 5.3: Byggekostnader som gir nåverdi lik null.

Nåverdi	Leverandør 1 (kr)	Leverandør 2 (kr)	Leverandør 3 (kr)
0	2 130 703	2 888 444	2 829 621

6 Diskusjon

I dette kapittelet skal vi diskutere lønnsomhetsberegningene og de ulike varmepumpetyperne. Vi skal i tillegg også vurdere dataene som er brukt i denne oppgaven.

6.1 Diskusjon av resultat

Det har blitt sett på to forskjellige typer varmepumper, væske til vann og luft til vann. Det har blitt gjennomført analyser og lønnsomhetsberegninger for tre varmepumper av hver type for å vurdere lønnsomheten i en slik investering.

Som vi kan se i figur 5.1 er det store differanser i pris pr kW varmeeffekt på de ulike varmepumpene. I tabell 4.9 kan vi se at Leverandør 1 bruker propan som kuldemedium, mens de to andre leverandørene bruker R410 som kuldemedium. En av grunnene til den store prisdifferansen for disse varmepumpene kan skyldes bruk av ulike kuldemedier. Bruken av propan som kuldemedium er forholdsvis nytt, og det er knyttet til større produksjonskostnader til disse varmepumpene sammenlignet med varmepumper som bruker syntetiske kuldemedier. Leverandør 3 er den rimeligste leverandøren, og som vi kan se i tabell 4.9 er denne varmepumpen i hovedsak konstruert for kjøling, men kan i tillegg kjøres som en varmepumpe. Vi kan se de samme tendensene til sammenhengen mellom pris og kuldemedium for luft til vann varmepumpene i figur 5.2 og tabell 4.10. Også her er det kun Leverandør 1 som leverer en varmepumpe som bruker propan som kuldemedium.

Som vi kan se i figur 5.3 og 5.4 er det store forskjeller med tanke på de totale kostnadene for de to ulike varmepumpetyperne. Denne store forskjellen skyldes i hovedsak at en væske til vann varmepumpe i denne oppgaven skal tilkobles en brønnpark. Kostnadene ved etablering av en brønnpark er relativt høye. Simuleringene og beregningene som har blitt gjennomført av de ulike varmepumpeleverandørene har tatt utgangspunkt i at man klarer å hente ut en effekt på 30 W/m. Erfaringer viser at det kan være mulig å hente ut mellom 20-80 W/m. (Aarbø, Jonassen, Kaasa, Knudsmoen, & Velure, 2002, s. 21). Hvilken effekt man klarer å hente ut per meter vil ha en stor betydning for kostnadene ved etablering av en brønnpark. Dersom det viser seg at man klarer å hente ut 40 W/m i stedet, vil dette føre til en total boreddybde på 7975 m, og en reduksjon i borekostnaden på kr. 1 389 080. Etter samtaler med ulike boreaktører har de påpekt at det er svært vanskelig å fastslå effekten før man eventuelt borer en testbrønn på det aktuelle stedet. En testbrønn vil føre til en mye mindre usikkerhet med tanke på borekostnaden i et slikt prosjekt. Vi har undersøkt om det finnes noen

energibrønner i umiddelbar nærhet til gartneriet for å kunne gjøre prisestimatet mer nøyaktig med tanke på effekten per meter som er mulig å hente ut. Kart fra Norsk Grunnvannsdatabase viser at det er ingen energibrønner i umiddelbar nærhet.

Som vi kan se i figur 5.6 og 5.8 er det forskjeller i den årlige besparelsen for de ulike varmepumpetyperne. Dette skyldes at en væske til vann varmepumpe klarer å oppnå en høyere SCOP-faktor gjennom året. Likevel viser simuleringen at Leverandør 2 for luft til vann varmepumpe klarer å oppnå en SCOP-faktor på 3,57. Dette er helt på høyde med SCOP-faktoren en væske til vann varmepumpe klarer å levere. En forklaring på dette kan være at Frosta har et mildt kystklima med milde vintre, da halvøya er omringet av Trondheimsfjorden. Dette vil gi en luft til vann varmepumpe gunstige temperaturforhold med tanke på å opprettholde en høy SCOP-faktor. Dersom gartneriet hadde vært plassert på et sted som har et typisk innlandsklima med kalde vintre, ville man ha fått en lavere SCOP-faktor enn det vi har fått her. Dermed kan det tenkes at en væske til vann varmepumpe ville ha vært et bedre alternativ. Dette skyldes primært at temperaturen nede i energibrønnene er meget stabil uavhengig av været. Derfor vil en luft til vann varmepumpe kanskje være mest aktuell hos gartnerier som ligger på et sted som har et mildt klima.

Figur 5.9 viser at det kun er én av de tre væske til vann varmepumpene som har en positiv nåverdi, og dermed vil være en lønnsom investering. Siden borekostnadene og byggekostnadene er lik for alle varmepumpene, er det forskjellen i pris på varmepumpen som er avgjørende for om nåverdien er positiv eller negativ. Leverandør 1 har den minste nåverdien på -1 600 912, mens Leverandør 2 har en nåverdi på -579 850. Nåverdien hos Leverandør 1 er på 153 781.

I figur 5.10 kan man se at alle luft til vann varmepumpene har en positiv nåverdi, og dermed vil være en lønnsom investering. Leverandør 1 har en nåverdi på 1 130 703, mens Leverandør 2 har en nåverdi på 1 888 444 og Leverandør 3 på 1 829 621. I og med at Leverandør 2 har den høyeste nåverdien vil denne betegnes som det beste alternativet blant disse tre varmepumpene. Dersom vi sammenligner nåverdiene for luft til vann varmepumpene med nåverdiene for væske til vann varmepumpe er det store forskjeller. Dersom man kun legger vekt på nåverdi, vil luft til vann varmepumpe være det beste investeringsalternativet i dette tilfellet.

Dersom vi ser på tilbakebetalingstiden i figur 5.11 og 5.12 er det markante forskjeller mellom de to varmepumpetyperne. Tilbakebetalingstiden for en væske til vann varmepumpe strekker

seg fra 12,89 til 10,15 år, mens for luft til vann varmpumpe strekker tilbakebetalingstiden seg fra 5,88 til 4,36 år. Vi har beregnet en levetid for en væske til vann varmpumpe til 15 år, mens levetiden for en luft til vann varmpumpe vil være 10 år. Ut ifra disse kriteriene kan vi si at begge varmpumpetyperne er lønnsomme, dersom man ikke tar hensyn til et avkastningskrav slik som er gjort ved nåverdiberegningene.

I kapittel 5.6 har vi undersøkt hvor stor byggekostnadene ved valg av systemløsning kan være for at vi skal få null i nåverdi, altså hvor en investering vil være lønnsom eller ikke. Som vi ser i tabell 5.2 er det umulig for Leverandør 1 å oppnå en positiv nåverdi uansett byggekostnad. Dette skyldes at kostnadene ved innkjøp av varmpumpen og etableringen av brønnparken er for høye. Leverandør 2 kan tillate en byggekostnad på kr. 420 150, mens Leverandør 3 kan tillate en byggekostnad på kr. 1 153 781. Som vi kan se er det små marginer i byggekostnadene for begge varmpumpene.

Dersom vi ser i tabell 5.3 for luft til vann varmpumpe er det helt andre tall. Leverandør 1 kan tillate en byggekostnad kr. 2 130 703, mens Leverandør 2 er den som kan tillate en høyest byggekostnad på kr. 2 888 444. Leverandør 3 kan tillate en byggekostnad på kr. 2 829 621. Vi kan derfor si at vi har en høyere fleksibilitet i byggekostnadene for en luft til vann varmpumpe enn for en væske til vann varmpumpe. Også i disse beregningene er det satt et avkastningskrav på 5 %.

I denne oppgaven har vi valgt å sette en kalkulasjonsrente på 5 %. Hvor høy kalkulasjonsrenten bør være er avhengig av flere ulike faktorer som for eksempel risikoen som er forbundet med prosjektet og den alminnelige lånerenten i markedet. (Banken & Nyhuus, 1999, s. 248). Vi har valgt å sette et litt høyere krav til kalkulasjonsrente fordi det er knyttet usikkerhet til kostnadene ved etablering av en brønnpark. Ved bruk av en lavere kalkulasjonsrente vil man ha fått en høyere nåverdi. I løpet av perioden som vi har jobbet med oppgaven har den norske kronen svekket seg betraktelig, noe som har ført til en lavere lånerent i markedet. Det kan derfor tenkes at en kalkulasjonsrente på 5 % er satt for høyt.

Vi har valgt å sette den økonomiske levetiden til 15 år for en væske til vann varmpumpe, og 10 år for en luft til vann varmpumpe. Levetiden til varmpumper kan under optimale driftsforhold og regelmessig vedlikehold bli betydelig lengre. Ekstremtilfellet i gartnerinæringen er varmpumpen til Haukebø Hagesenter. Der ble det i 1971 installert en væske til vann varmpumpe, og den fungerer problemfritt enda i dag. (Haukebø Hagesenter, u.å., avsn. 2).

Som vi kan se i tabell 4.9 og 4.10 bruker de forskjellige varmepumpene ulike kuldemedium. Vi har tidligere sett på at enkelte kuldemedium fører til en høyere produksjonskostnad på varmepumpene. Valg av varmepumpe og kuldemedium bør gjøres ut fra et grunnlag av miljøpåvirkning, avgift og priser på kuldemedium, og gjeldende nasjonale retningslinjer sett under ett. Regjeringen har bestemt at F-gasser skal fases ned for å redusere klimautslippene i årene fremover. «Fra 1. januar er det forbudt å bruke fluorholdige klimagasser med en GWP-faktor på 2 500 eller over i forbindelse med service på eller vedlikeholde kuldeanlegg med fyllingsmengde på 40 tonn CO₂-ekvivalenter eller mer.» (Mijødirektoratet, u.å., avsn. 5). Det vil derfor være svært viktig å tenke fremtidsrettet ved valg av varmepumpe og kuldemedium. Vi kan forvente at Regjeringen og EU kommer til å fase ned F-gasser ytterligere i årene fremover. Derfor vil det være svært viktig å være sikker på at kuldemediet man velger ikke utfases i løpet av varmepumpens levetid. I verste fall kan man risikere å måtte investere i ei ny varmepumpe dersom det ikke lenger er lov til å etterfylle kuldemediet ved en eventuell lekkasje.

Det kan oppstå store kostnader i forbindelse med lekkasje av kuldemedium i en varmepumpe. Norsk Gartnerforbund har registrert lekkasje hos 14 % av varmepumpene de har fulgt i ulike pilotprosjekter. (Norsk Gartnerforbund, u.å.a, avsn. 3). Vi kan statuere et eksempel på de økonomiske konsekvensene ved lekkasje av kuldemedium. Varmepumpeleverandør 3 for luft til vann varmepumpe har tilbudt en varmepumpe med totalt 105 kg med kuldemediet R410A. Som vi kan se i tabell 2.1 er avgiften for R410 på kr. 1 135,60 pr kilo og prisen for R410A er på 1 936,6 pr kilo. Dersom det her hadde oppstått en lekkasje på alle kjølekretsene i varmepumpen vil dette har ført til en ekstrakostnad på kr. 322 476 dersom alt kuldemediet hadde lekket ut. I tillegg ville man ha skadet miljøet. Det er derfor viktig å tenke nøye på valg av kuldemedium og kostnadene som kan påløpe ved eventuelle lekkasjer.

Som nevnt tidligere i oppgaven har Vangberg Gartneri utvidet sitt produksjonslokalet hele 3 ganger siden oppstarten i 1999. Vi ser det derfor som sannsynlig at gartneriene utvider sine produksjonslokaler relativt ofte. Det vil derfor være en fordel å investere i flere varmepumper som kobles sammen. I de forslagene og pristilbudene som vi har innhentet er det kun Leverandør 3 for begge typer varmepumper som kun leverer én varmepumpe. Ved en utvidelse av gartneriet, og dermed også varmeanlegget, vil det være enklere og mer kostnadseffektivt å investere i flere mindre varmepumper. Samtidig vil man få en bedre driftssikkerhet ved at varmeanlegget er basert på flere enheter og ikke kun én enhet.

Det er mulig å kunne søke om støtte til å investere i væske til vann varmpumper gjennom støtteordningen til ENOVA. Man kan motta støtte på inntil 1 600 kr/kW på opptil 1 million kroner, og inntil 45 % av de totale investeringskostnadene. Vi har valgt å ikke ta med denne støtteordningen ved beregningen av lønnsomheten til varmpumpene. Dette har vi gjort på grunn av at hver søknad om støtte behandles individuelt, og det stilles også formelle krav til foretaket som det søkes støtte for. Det er heller ikke sikkert gartneriet ville ha oppnådd full støtte, og derfor mener vi det er knyttet for stor usikkerhet til å ta med dette i lønnsomhetsberegningene.

Fra 1. januar 2020 ble det forbudt å bruke olje- og parafinfyring til oppvarming i privatboliger, offentlige bygninger og næringsbygg. For driftsbygninger i landbruket er fristen forlenget til 1. januar 2025. (forskrift om forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger, 2018, § 2). Norsk Gartnerforbund opplyser i tillegg at det har kommet opp om forbudet også skal gjelde spisslast. (Norsk Gartnerforbund, u.å.b., avsn. 14). Det betyr at i løpet av årene fremover er det nødvendig å vurdere mulighetene til å bytte ut fossile oppvarmingskilder med varmpumper uavhengig om investeringen er lønnsom eller ikke. En investering av en varmpumpe vil både ha en økonomisk side og en miljømessig side. I vedlegg 8 er det beregnet hvor mange kg CO₂ man kan redusere ved å installere varmpumper hos Vangberg Gartneri. Utrekninger viser at Leverandør 3 for luft til vann varmpumpe kan redusere CO₂-utslippet til gartneriet med 528 864 kg.

Dersom man tenker å velge energibrønn som varmekilde til en varmpumpe er det viktig å være klar over at en brønnpark vil kreve et stort areal. Det kreves minimum 15 meter mellom hver energibrønn. (Ramstad, 2017, s. 6). Områdene i rundt et gartneri er gjerne dyrket mark, da gartneriene som oftest ligger landlig til. Derfor kan det være aktuelt å vurdere lønnsomheten til en brønnpark ved at man tar hensyn til tappt inntekt fra arealet man opptar. Det er i tillegg viktig å tenke på fremtidig utvidelse av gartneriet når man skal plassere en brønnpark, da man ikke kan bygge på arealet som brønnparken krever.

6.2 Vurdering av data

Det har vært nødvendig å gjøre forenklinger for å kunne gjennomføre alle beregningene i oppgaven. Vi har prøvd å gjøre forenklingene så virkelighetsnære som mulig.

En av hovedutfordringene har vært å kunne estimere en riktig strøm- og gasspris. Strømprisen vil variere gjennom hele året. I tillegg vil nettleien variere med årstiden, og et gartneri er også fritatt fra el-avgiften. De fleste gartnerier forhandler en fastpris på strøm sammen med andre gartnerier for å kunne oppnå best mulig strømvatle, mens noen velger å forholde seg til en spotpris på strøm. Etter samtaler og gjennomgang av strømgninger med Vangberg Gartneri har vi valgt å legge til grunne en strømpris på 30 øre/kWh for lønnsomhetsberegningene. Prisen på gass vil variere i takt med markedet, og følger ofte prisen til andre energikilder. Også her har vi tatt en gjennomgang av gassregninger med Vangberg Gartneri for å finne et fornuftig estimat for gassprisen. Vi har derfor valgt å bruke en gasspris på 4,5 kr/kg, noe som vil gi oss 35 øre/kWh etter omregninger i denne oppgaven.

En annen stor utfordring har vært at enkelte varmpumpeleverandører ikke har kunne gitt oss fullstendige simuleringer av varmeeffekt og effektforbruk ved ulike temperaturer. Dette gjelder begge varmpumpeypene, men vil ha størst usikkerhet hos luft til vann varmpumpene som opererer ved ulike utetemperaturer. Dette har ført til at vi har måtte gjøre egne vurderinger av varmeeffekt og effektforbruk ved ulike temperaturer ut ifra teknisk datablad for de ulike varmpumpene og lineære sammenhenger mellom de ulike temperaturene.

Estimering av nødvendig CO₂-produksjon og avgitt varme fra denne har vært vanskelig å estimere nøyaktig. Produksjon av karbondioksid blir påvirket av hvor mye taklukene i gartneriet er åpne til enhver tid. Lukeåpningene styres primært av sola og temperaturen inne i husene. Vi har derfor valgt å legge oss på en minimumsverdi. Det betyr at avgitt varme fra CO₂-produksjon sannsynligvis er høyere enn beregnet, og dermed vil man sannsynligvis få et lavere energi- og effektbehov til oppvarming.

Som tidligere nevnt har den økonomiske situasjonen i Norge og resten av verden svekket seg betydelig i løpet av denne oppgaven. Dette har ført til at den norske kronen har svekket seg opp mot euroen. Flesteparten av varmpumpene produseres i Europa. Som en konsekvens av dette vil tidspunktet vi har innhentet pristilbud på for de ulike varmpumpene ha noe å si for lønnsomheten. Pristilbudene ble innhentet når valutakursen for euro var på sitt høyeste, og dermed kan vi ha fått en ugunstig høy pris. De fleste leverandørene har gjort oss oppmerksomme på dette, og har vist til regnestykker for prisene på varmpumpene med en normal valutakurs for euro.

7 Konklusjon

Gjennom oppgaven har vi tatt for oss lønnsomheten ved å investere i varmepumpe for et gartneri. Her er det mange faktorer som har betydning for om investeringen er lønnsom eller ikke. Vi har blant annet sett at det er store forskjeller i pris per kW varmeeffekt avhengig av valg av kuldemedium. Samtidig har vi sett at de totale kostnadene for en væske til vann varmepumpe er langt høyere enn for en luft til vann varmepumpe. Dette skyldes i all hovedsak at kostnaden ved etablering av en brønnpark er svært høy. Vi har i tillegg sett at SCOP-faktoren er ulik for de to varmepumpetyperne vi har tatt for oss, selv om enkelte luft til vann varmepumper er helt på høyde med SCOP-faktorene for væske til vann varmepumpene.

Nåverdimetoden viste at det var kun én av tre væske til vann varmepumper som klarte å oppnå en positiv nåverdi. For luft til vann varmepumpene klarte alle tre varmepumpene å oppnå en positiv nåverdi. Nåverdien for luft til vann varmepumpene var langt høyere sammenlignet med væske til vann varmepumpene.

Tilbakebetalingsmetoden viste at alle tre væske til vann varmepumpene hadde en tilbakebetalingstid som var kortere enn den beregnede levetiden til varmepumpen. Det samme kunne vi også se for luft til vann varmepumpene, men her var tilbakebetalingstiden betraktelig kortere.

Det er stor forskjell i fleksibiliteten på byggekostnadene for de ulike varmepumpetyperne. Dersom investeringen for en væske til vann varmepumpe skal være lønnsom, har man ikke mye å gå på når det kommer til byggekostnadene, før investeringen ikke blir lønnsom. For luft til vann varmepumpe har man derimot mye større fleksibilitet når det kommer til byggekostnader, før investeringen ikke blir lønnsom.

Vi kan på bakgrunn av denne oppgaven konkludere med at det er lønnsomt å investere i varmepumper for oppvarming av et gartneri, og en luft til vann varmepumpe vil være den beste investeringen for Vangberg Gartneri. I tiden fremover vil det komme flere og flere restriksjoner på bruk av dagens fossile energikilder, og man vil etter hvert bli tvunget over på mer fornybare energikilder. Samtidig som investeringen vil være lønnsom for bedriften, vil den også være fremtidsrettet og samfunnsvennlig i forhold til dagens fokus på fornybar energi, miljøpåvirkning og den globale oppvarmingen.

8 Videre arbeid

Gjennom arbeidet med denne oppgaven har vi oppdaget forhold som burde blitt undersøkt nærmere og kan jobbes videre med. Vi har kommet frem til følgende punkter:

- Beregne lønnsomheten til en væske til vann varmpumpe der man i tillegg bruker denne til frikjøling når gartneriet har kjølebehov. Ved bruk av frikjøling vil man oppnå mindre lukeåpninger og dermed redusert CO₂-produksjon.
- Se om det finnes andre energitiltak som bør innføres før man investerer i en varmpumpe for å kunne senke effekt- og energibehovet til gartneriet.
- Vangberg Gartneri bør undersøke muligheten til å bruke innsjøen «Liavatnet» som energikilde da dette ligger i nærheten. Dette kan senke de totale kostnadene for en væske til vann varmpumpe.

Referanseliste

Aarbø, T.K., Jonassen, Ø., Kaasa, L., Knudsmoen, H. & Velure, M. (2002). *Grunnvarmebasert oppvarming av bolighus*. Hentet 3. juni 2020 fra

http://www.ivt.ntnu.no/docs/igb/2002_gr4_grunnvarmebasert_oppvarming_av_bolighus.pdf

Banken, K. & Nyhuus, E. M. (1999). *Innføring i bedriftsøkonomi* (6. utg.). Oslo: Cappelen Akademiske Forlag

Bjelland, O. (1976). *Grønnsakdyrking i regulert klima* (2. utg.). Oslo: Landbruksforlaget

Forskrift om forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger. (2018). Forskrift om forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger (FOR-2018-06-28-1060). Hentet 19. april 2020 fra <https://lovdata.no/forskrift/2018-06-28-1060>.

Haukebø Hagesenter. (u.å.). Vårt Hagesenter. Hentet 1. april 2020 fra <https://www.haukebo.no/om-oss>

Miljødirektoratet. (u.å.). Nye forbud mot f-gasser. Hentet 10. april 2020 fra <https://www.miljodirektoratet.no/naringsliv/varehandel/f-gasser/nye-forbud/>

Moderne Kjølning. (2020). *Pris på kuldemedier*. Hentet 20. februar 2020 fra <http://renkulde.no>

Norsk Gartnerforbund. (u.å.a). Erfaringer. Hentet 2. mai 2020 fra <http://ngfenergi.no/en-forsideseksjon/varmepumpe/erfaringer/>

Norsk Gartnerforbund. (u.å.b). Forbud mot mineralolje. Hentet 2. mai 2020 fra <http://ngfenergi.no/en-forsideseksjon/olje-og-gass/forbud-mot-mineralolje/>

Novema Kulde. (u.å.). *Konsulenthåndboken* (3. utg.). Novema Kulde

Prenøk 4.7. (1997). *Prenøk 4.7*. Skarland Press

Prenøk 4.9. (2002). *Prenøk 4.9*. Skarland Press

Ramstad, R. K. (2017). Energibrønner som varmekilde for varmepumper. Hentet 1.juni 2020 fra https://www.tekna.no/contentassets/975d36ae0e7c40f986d92b129697c34d/energibr3b8nner_norsk_kjc3b8leteknisk_forening_26.10.20171.pdf

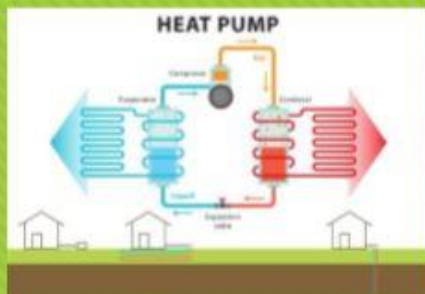
Stene, J. (2010). *Varmepumper i veksthus – befaringer 2010*. Norsk Gartnerforbund

Varmenormen. (2012). *Varmenormen* (2. utg.). Norsk Energi- og Miljøteknisk forening

Zijdemans, D. (2012). *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer* (3. utg.). Oslo: Skarland Press

Vedlegg

Energioptimalisering av drivhus



Om Oppgaven

I denne oppgaven skal vi se på muligheten for å bruke varmepumper til oppvarming av et gartneri. Løsningene vil bli diskutert, og det vil bli gjennomført en økonomisk beregning etter nåverdimetoden for å undersøke lønnsomheten ved å investere i varmepumper.



Vangberg Gartneri AS

Vangberg Gartneri er en av landes største agurkprodusenter og produserer 1 200 tonn agurk årlig. Produksjonslokalet er på 12 000 m² og har et årlig forbruk av elektrisk energi på ca. 15 000 000 kWh.

Hvem er vi?

Mikael Gunnarson 1995

Niklas Stenhaug 1996

Begge studerer Maskiningeniør med retning VVS-teknikk.

Veileder: Terje Arne Wenaas

Samarbeidspartnere:

VANBERG
Gartneri as



Norsk Gartnerforbund



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Vedlegg 2 – Beregning av CO₂-produksjon

Forbrenning av 1 kg propan gir 3 kg CO₂

Forbrenning av 1 kg propan gir 12,9 kW varme.

En agurkkultur trenger å få tilført 40 kg CO₂ per m² i året.

Vi trenger derfor å tilføre:

$$40 \text{ kg CO}_2 \text{ per m}^2 \times 10\,500 \text{ m}^2 = 420\,000 \text{ kg CO}_2.$$

Dermed trenger vi:

$$140\,000 \text{ kg propan for å produsere } 420\,000 \text{ kg CO}_2.$$

Dette vil gi oss:

$$1\,806\,000 \text{ kWh varme}$$

Vi antar at gasskjelen og røykgasskjøleren har en virkningsgrad på 90 %. Dermed får vi:

$$1\,806\,000 \text{ kWh} \times 90 \% = 1\,625\,400 \text{ kWh varme}$$

Vi antar at CO₂-produksjonen er lik gjennom hele året, selv om det kun produseres CO₂ i 20 timer per døgn:

$$1\,625\,400 \text{ kWh} / 8760 \text{ timer} = 185,547945 \text{ kW}$$

Vi antar så at denne varmen fordeles likt på antall m²:

$$185,547945 \text{ kW} / 10\,500 \text{ m}^2 = 0,0176712328767123 \text{ kW/m}^2$$

Dette gir oss følgende fordeling for de ulike husene:

$$\text{Hus 1: } 0,01767123287 \text{ kW/m}^2 \times 4\,000 \text{ m}^2 = 70,6849315068493 \text{ kW}$$

$$\text{Hus 2: } 0,01767123287 \text{ kW/m}^2 \times 1\,500 \text{ m}^2 = 26,5068493150685 \text{ kW}$$

$$\text{Hus 3: } 0,01767123287 \text{ kW/m}^2 \times 2\,500 \text{ m}^2 = 44,1780821917808 \text{ kW}$$

$$\text{Hus 4: } 0,01767123287 \text{ kW/m}^2 \times 2\,500 \text{ m}^2 = 44,1780821917808 \text{ kW}$$

Vedlegg 3 – Beregning av heteflate for Vangberg Gartneri

For å kunne fastslå hvilke temperaturer som er lagt til grunne ved dimensjonering av det eksisterende varmeanlegget har vi målt opp antall meter med heteflate i hvert hus. Dette har i tillegg gjort det mulig å undersøke om vi har tilstrekkelig med heteflate til å kunne bygge om varmeanlegget til et lavtemperaturanlegg og kostnadene som er forbundet med dette.

Vi har kartlagt følgende rørdimensjoner og rørlengder hos Vangberg Gartneri:

Tabell A3.1: Rørdimensjoner og rørlengder.

Hus nr	38 mm	42 mm	46 mm	48 mm	50 mm	51 mm	60 mm	76,1 mm
Hus 1	1757 m	0 m	192 m	0 m	0 m	7627 m	0 m	566 m
Hus 2	0 m	5199 m	0 m	0 m	0 m	0 m	0 m	10 m
Hus 3	0 m	2120 m	0 m	2430 m	47 m	0 m	152 m	0 m
Hus 4	0 m	2415 m	0 m	0 m	0 m	2536 m	141 m	57 m

For å kunne beregne varmeavgivelsen ved konveksjon og stråling for de ulike rørdimensjonene har vi brukt følgende tabell. Tabellen stammer fra et regneark vi fikk tilsendt av Norsk Gartnerforbund.

Tabell A3.2: Varmeavgivelse ved konveksjon og stråling.

Utvendig dimensjon	Varmeavgivelse ved 80/60°C	Varmeavgivelse ved 45/40°C
38 mm	75,9 W/m	28,5 W/m
42 mm	82,9 W/m	31,1 W/m
46 mm	89,7 W/m	32,6 W/m
48 mm	93,1 W/m	34,9 W/m
50 mm	96,5 W/m	36,2 W/m
51 mm	98,2 W/m	36,8 W/m
60 mm	113,2 W/m	42,5 W/m
76,1 mm	139,6 W/m	52,4 W/m

Dersom man kombinerer tabell A3.1 og A3.2 får man følgende varmeavgivelse for hvert hus:

Tabell A3.3 Oversikt over varmeavgivelse for hvert hus.

Hus nr	Varmeavgivelse ved 80/60°C	Varmeavgivelse ved 45/40°C	Simulert effektbehov etter korrigering
Hus 1	979 kW	367 kW	753
Hus 2	433 kW	148 kW	289
Hus 3	425 kW	135 kW	429
Hus 4	474 kW	147 kW	429

Som vi kan se i tabell A3.3 er varmeavgivelsen ved 80/60°C høyere enn det simulerte effektbehovet etter at det er korrigert for at vi kan hente ut varme ved produksjon av karbondioksid. Varmeavgivelsen ved 45/40°C er langt lavere enn det simulerte effektbehovet. Dersom vi ønsker å bygge om til et lavtemperaturanlegg er vi nødt til å installere ekstra rørlengder for å få nok heteflate. Vi har i tabell A3.4 beregnet nødvendig ekstra rørlengde for å kunne avgi ønsket effekt ved en tur- og returtemperatur på 45/40°C med en utvendig rørdimensjon på 48,3 mm.

Tabell A3.4 Nødvendig ekstra rørlengde.

Hus nr	Nødvendig ekstra meter rør – 48,3 mm
Hus 1	10 997 m
Hus 2	4 017 m
Hus 3	8 376 m
Hus 4	8 034 m
Sum	31 424 m

Som vi kan se i tabell A3.4 har vi måtte installere 31 424 m ekstra rør for å kunne dekke det simulerte effektbehovet dersom vi hadde kjørt varmeanlegget som et lavtemperaturanlegg.

Dersom man estimerer at man klarer å legge 18 meter rør per time, en rørkostnad på kr. 50 per meter, og en timespris for rørlegger på kr. 730, vil totalkostnadene for å installere den nødvendige rørlengden bli på kr. 2 845 618. Det er viktig å huske at denne prisen ikke tar hensyn til shuntgrupper, pumper, innreguleringsventiler etc.

Vedlegg 4 – Tradisjonell beregning av maksimalt effektbehov

Som et ledd i å kontrollere simuleringene som har blitt utført av Norsk Gartnerforbund har vi beregnet det maksimale effektbehovet på tradisjonell måte. Gartnerinæringen bruker ikke U-verdier slik som andre bransjer, men bruker P-verdier. P-verdien er oppgitt i W/grC/m² grunnflate/h. P-verdien til et gartneri blir beregnet ut fra U-verdiene til bygningsmaterialene og høyden på huset.

$$\text{Max effektbehov [kW]} = \frac{P - \text{verdi [W/grC/m}^2 \text{ grunnflate/h]} \times \text{Areal [m}^2] \times -(DUT [\text{grC}] - \text{Innetemperatur [grC]})}{10^3 W}$$

Forutsetninger:

DUT = -19°C

Ønsket innetemperatur = 24°C

Ved bruk av formel vil vi få følgende maksimalt effektbehov:

Tabell A4.4: Oversikt over P-verdi, areal og maksimalt effektbehov.

Hus nr	P-verdi [W/grC/m ² grunnflate/h]	Areal [m ²]	Max effektbehov [kW]
Hus 1	4,55	4 000	783
Hus 2	4,55	4 000	293
Hus 3	3,88	2 500	417
Hus 4	3,88	2 500	417
SUM		10 500	1 910

Som vi kan se er det maksimale effektbehovet her lavere enn effektbehovet fra simuleringene.

Vedlegg 5 – Estimering av byggekostnader for Vangberg Gartneri

Vi har estimert byggekostnadene for Vangberg Gartneri ved bygging av et eget varmpumpesystem til følgende:

Tabell A5.1: Oversikt over kostnadsposter.

Kostnadsposter	Kostnad (kr)
Viftekonvektorer	300 000
Rør	190 000
Pumper	160 000
Akkumulatortank	50 000
Øvrig utstyr	50 000
Arbeid	250 000
Sum	1 000 000

Vedlegg 6 – Lønnsomhetsberegninger for væske til vann varmepumpe

Beregning for væske-vann VP

Beregning av årlig kontantstrøm

Forutsetning energibehov	
Årlig energibehov [kWh]	2 612 394

Leverandør	COP [-]	Lvert energi fra varmepumpe [kWh]	Brukt energi fra varmepumpe [kWh]	Spisslast [kWh]	Netto spart energi med varmepumpe [kWh]
Leverandør 1	3,79	2 061 062	543 816	551 332	1 517 246
Leverandør 2	4,13	2 099 170	508 274	513 224	1 590 896
Leverandør 3	4,02	2 132 166	530 390	480 228	1 601 776

Forutsetning	
Strømpris [kr/kWh]	0,3
Gasspris [kr/kWh]	0,35
Virkningsgrad gasskjele	90 %

Varmepumpeleverandør	Strømkostnad ved varmepumpe [kr]	Årlig besparelse ved bruk av varmepumpe [kr]
Leverandør 1	163 145	638 379
Leverandør 2	152 482	663 862
Leverandør 3	159 117	670 059

Beregning av investeringskostnader

Kostnad	Leverandør 1	Leverandør 2	Leverandør 3
Varmepumper	kr 2 175 870,00	kr 1 419 308,00	kr 750 000,00
Energibrønn	kr 5 051 200,00	kr 5 051 200,00	kr 5 051 200,00
Byggerkostnader	kr 1 000 000,00	kr 1 000 000,00	kr 1 000 000,00
Sum investeringskostnader	kr 8 227 070,00	kr 7 470 508,00	kr 6 801 200,00

Beregning av nåverdi

Rente og levetid	5 % og 15 år
Renteverdi	10,379658

Nåverdi	Leverandør 1	Leverandør 2	Leverandør 3
Årlig kontantstrøm [kr]	638 379	663 862	670 059
Investeringskostnad [kr]	8 227 070	7 470 508	6 801 200
Nåverdi	-1 600 912	-579 850	153 781

Beregning av tilbakebetalingstid

Tilbakebetalingstid	Leverandør 1	Leverandør 2	Leverandør 3
Investingskostnad [kr]	8 227 070	7 470 508	6 801 200
Årlig kontantstrøm [kr]	638 379	663 862	670 059
Tilbakebetalingstid [år]	12,89	11,25	10,15

Vedlegg 7 – Lønnsomhetsberegninger for luft til vann varmepumpe

Beregning for luft-vann VP

Beregning av årlig kontantstrøm

Forutsetning energibehov	
Årlig energibehov [kWh]	2 612 394

Leverandør	COP [-]	Lvert energi fra varmepumpe [kWh]	Brukt energi fra varmepumpe [kWh]	Spisslast [kWh]	Netto spart energi med varmepumpe [kWh]
Leverandør 1	3,34	2 046 703	611 958	565 691	1 434 745
Leverandør 2	3,57	1 941 065	544 081	671 329	1 396 984
Leverandør 3	2,59	1 991 440	768 596	620 954	1 222 844

Forutsetning	
Strømpris [kr/kWh]	0,3
Gasspris [kr/kWh]	0,35
Virkningsgrad gasskjele	90 %

Leverandør	Strømkostnad ved varmepumpe [kr]	Årlig besparelse ved bruk av varmepumpe [kr]
Leverandør 1	kr 183 587	kr 612 353
Leverandør 2	kr 163 224	kr 591 634
Leverandør 3	kr 230 579	kr 543 870

Beregning av investeringskostnader

Kostnad	Leverandør 1	Leverandør 2	Leverandør 3
Varmepumper	kr 2 597 721,00	kr 1 680 000,00	kr 1 370 000,00
Byggerkostnader	kr 1 000 000,00	kr 1 000 000,00	kr 1 000 000,00
Sum investeringskostnader	kr 3 597 721,00	kr 2 680 000,00	kr 2 370 000,00

Beregning av nåverdi

Rente og levetid	5 % og 10 år
Renteverdi	7,721735

Nåverdi	Leverandør 1	Leverandør 2	Leverandør 3
Årlig kontantstrøm [kr]	kr 612 352,52	kr 591 634,35	kr 543 870,07
Investeringskostnad [kr]	kr 3 597 721,00	kr 2 680 000,00	kr 2 370 000,00
Nåverdi	1 130 703	1 888 444	1 829 621

Beregning av tilbakebetalingstid

Tilbakebetalingstid	Leverandør 1	Leverandør 2	Leverandør 3
Investingskostnad [kr]	kr 3 597 721,00	kr 2 680 000,00	kr 2 370 000,00
Årlig kontantstrøm [kr]	kr 612 352,52	kr 591 634,35	kr 543 870,07
Tilbakebetalingstid [år]	5,88	4,53	4,36

Vedlegg 8 – Beregning av spart CO₂ ved varmepumpe

Forbrenning av 1 kg propan gir 3 kg CO₂.

Forbrenning av 1 kg propan gir 12,9 kWh.

Vi antar at gasskjelen har en virkningsgrad på 90 %, dermed få vi:

$$12,9 \text{ kW} / 90 \% = 11,61 \text{ kWh.}$$

Leverandør 1 for luft til vann varmepumpe leverer totalt 2 046 703 kWh varme. Dette tilsvarer:

$$2\,046\,703 \text{ kWh} / 11,61 \text{ kWh} = 176\,288 \text{ kg propan}$$

Dette gir en besparelse på:

$$176\,288 \text{ kg} \times 3 \text{ kg} = 528\,864 \text{ kg CO}_2$$

