

Lasse Sunde Øiesvold

Bruk av smartstyring og varmepumpe for å spare penger

Bacheloroppgave i VVS

Veileder: Bjørn Austbø

Juni 2023

Lasse Sunde Øiesvold

Bruk av smartstyring og varmepumpe for å spare penger

Bacheloroppgave i VVS
Veileder: Bjørn Austbø
Juni 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for energi- og prosessteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet på egenhånd og utført ved institutt for energi- og prosessteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og regnes som en avslutning på maskiningeniør VVS studiet. Bacheloroppgaven er skrevet med hjelp fra Steffen Overaa i Oslo Hotwater.

Hensikten med denne oppgaven er å finne ut om det går an å spare penger ved å varme opp varmtvann med varmepumpe, med smartstyring og med varmepumpe og smartstyring kombinert.

Dette har vært en svært lærerik prosess, hvor jeg har utviklet meg mye faglig. Jeg har fått større innsikt i varmepumper, arbeidsmedier og smartstyring. Og jeg har fått mye erfaring i å jobbe med prosjektarbeid.

Jeg vil gjerne takke min veileder Bjørn Austbø, hjelpende hånd i Oslo Steffen Overaa, Natasa Nord, Lars Konrad Sørensen og Tore Kristian Eliassen.

Lasse Sunde Øiesvold

Lasse Sunde Øiesvold

Trondheim 09.06.2023

Summary

This thesis is about the use of heat pumps and smart controllers to save electricity and money on heating hot water.

There have been done two experiments of heating water with a heat pump that did not give the expected results.

The first plan was to heat up hot water with a CO₂ heat pump to 60 °C and extrapolate the results from 60 °C to 70 °C to calculate how much energy is needed to heat water from 7 to 70 °C.

During the second experiment it became clear that the heat pump could in fact not heat the water to more than 40 °C. It was then decided to do a theoretical calculation on the rest of the values in this thesis.

CO₂ heat pumps can deliver high heat output water, but works inefficiently with high temperatures on the return water (over 50 °C). It was therefore decided to choose a heating medium for the heat pump that can deliver high temperatures as well as works with high return temperatures. Propane R290 was selected as the heating medium of choice. Heat pump Nibe S2125 was chosen to look closer at an example of a propane heat pump.

Manual calculations were then done to find out how much money you could save by using a heat pump instead of electrical heating, smart control of heating instead of heating without smart control and smart control of a heat pump compared to electrical heating without smart control.

The result is that it is possible to save approximately 23% with a smart controller, approximately 63% with a heat pump and approximately 72% with a smart controller and a heat pump combined.

For an average Norwegian family of four with electricity prices from 2022 it takes about 626 days to recoup the cost of a retrofitted smart controller kit, 1 166 days to recoup the cost of a new smart hot water tank and 5 341 days to recoup the cost of a air-water heat pump used only for heating tap water. It takes 5 087 days to recoup the cost of a smart hot water tank combined with a heat pump.

The conclusion is that a smart hot water tank is a good investment for the average Norwegian family, especially considering the grants from Enova. And that a air-water heat pump makes most economical sense to install combined with a hot water central heating system.

Sammendrag

I denne oppgaven har jeg skrevet om bruk av varmepumpe og smartstyring for å spare strøm og penger ved oppvarming av vann i varmtvannstank.

Det er gjort to forsøk på å varme opp varmtvann med varmepumpe som ikke ga forventet resultat.

Først var planen å varme opp vannet i varmtvannstanken under forsøket med en CO₂ varmepumpe til 60 °C og ekstrapolere verdier fra 60 °C opp til 70 °C for å regne ut forbruk av strøm for oppvarming med varmepumpe fra ca. 7 °C til 70 °C.

Under andre forsøk ble det klart at varmepumpen ikke kunne varme opp vannet i varmtvannstanken til mer enn 40 °C. Det ble da bestemt å regne videre på resten av verdiene teoretisk. CO₂ varmepumper kan varme opp tur vann til høy temperatur, men jobber ineffektivt med høy retur temperatur på vann (over 50 °C). Det ble derfor bestemt å velge et arbeidsmedium til varmepumpen som kunne varme opp tur vannet til høy temperatur og som tålte høy retur temperatur. Propan ble valgt som arbeidsmedium. For å se videre på et eksempel av en propan varmepumpe ble varmepumpe Nibe S2125 valgt.

Deretter ble det gjort manuelle utregninger på hvor mye penger man kan spare ved å bruke varmepumpe i forhold til strømoppvarming, smartstyring i forhold til ikke smartstyring og smartstyring og varmepumpe kombinert.

Resultatene ble at man kan spare ca. 23% med smartstyring, ca. 63% med varmepumpe og ca. 72% med smartstyring og varmepumpe kombinert.

For en gjennomsnittlig norsk familie på fire med strømprisene fra 2022 tar det 626 dager å spare inn et ettermonterbart smart kit til varmtvannstank, 1 166 dager å spare inn en ny smart varmtvannstank og 5 341 dager å spare inn en luft-vann varmepumpe som bare er brukt til oppvarming av varmt tappevann. Smart varmtvannstank og varmepumpe kombinert (her er det tatt noen forbehold) tar 5 087 dager å spare inn.

Konklusjonen er at smart oppvarming av varmtvann er en god investering for den gjennomsnittlige norske familien, spesielt med støtte fra Enova. Og at luft-vann varmepumpe er mest økonomisk å installere sammen med vannbåren oppvarming

Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Summary.....	II
Sammendrag	III
Innholdsfortegnelse.....	IV
Figurer.....	VI
Tabeller	VII
Innledning	1
Teori	2
Varmepumpe	2
COP varmpumpe	6
Smart styring.....	7
Berederstørrelse og varmtvannsbuffer	7
Legionella	8
Oppvarming av varmtvann med strøm	10
Forbruk av varmtvann.....	11
Metode	15
Første utkast.....	15
Endring av metode	16
Utrekning av pris på forbruk av varmtvann.....	17
Forutsetninger for utregning av pris	18
Resultat	20
Første forsøk	20
Andre forsøk	21
Kostnader ved drift	23
Innsparing av produkter	24
Diskusjon	27
Faktisk system og ideelt system.....	27
Varmevekslere.....	28
Oso Plus-P.....	31

Arbeidsmedier.....	33
Varmeveksler og temperatur sensor.....	36
Kostnader på forbruk.	37
Kostnader og innsparinger.....	38
Propan vs CO ₂	38
Konklusjon.....	40
Forslag til videre arbeid.....	41
Kilder.....	42

Figurer

Figur 1: Varmepumpe laboratoriet	3
Figur 2: Snitt av varmtvannstank	4
Figur 3: Koblingsforslag til varmtvannstanken	5
Figur 4: Trykk enthalpi diagram	6
Figur 5: Bilde fra: OSO Academy - Legionella and scalding[1827].	9
Figur 6: Varmtvannsforbruk i % fordelt på timer i døgnet.	12
Figur 7: Effekt på varmpumpe over tid	22
Figur 8: DGC 300 snitt	30
Figur 9: Snitt av Oso Plus-P	32
Figur 10: Hva koster en dusj? Besparelse med smart varmtvannstank.	37

Tabeller

Tabell 1: Temperatur på tappevann målt med forskjellige termometer.....	11
Tabell 2: Vannforbruk fordelt igjennom døgnet.....	12
Tabell 3: Resultater fra forsøk 1.....	20
Tabell 4: Resultater fra forsøk 2.....	21
Tabell 5: Oppvarmingskostnader og innsparinger.	23
Tabell 6: Gjennomsnittlige innsparinger.	23
Tabell 7: Priser på varmtvannstank, smart system og VP.	24
Tabell 8: Tid for innsparing av investeringskostnad.	25
Tabell 9: Varmepumpe modeller og spesifikasjoner.	33

Innledning

Strømprisene har i det siste vært svært høye i flere deler av Norge. Oppvarming av varmtvann er en betydelig del av strømregningen og det kan lett gjøres billigere ved å flytte tidspunktet av oppvarming til det tidspunktet på dagen der strømmen er billigst. For å senke strømutfgiftene til oppvarming vil vi se på bruk av smart styring kombinert med varmepumpe for å varme opp varmtvann. Varmepumpen vil være med på å spare strøm og smartstyringen vil forhåpentligvis gjøre hver kilowattime billigere.

Målet med denne oppgaven blir å finne ut hvor mye strøm man kan spare ved å bruke varmepumpe for å varme opp varmtvann i forhold til ren strømoppvarming og hvor mye penger man kan spare ved å utsette oppvarming av varmtvann til de tidene på dagen der strømmen er billigst. Jeg vil finne ut hvor mye penger det koster å varme opp varmtvann med strøm med en gang etter bruk og ved utsatt oppvarming. Jeg vil også finne ut hvor mye det vil koste å varme opp varmtvann med varmepumpe med en gang etter bruk og ved utsatt oppvarming.

Teori

Varmepumpe

Varmepumpen fungerer ved å ta varme fra en utedel også kalt kald del eller lavtrykks side og bruke den til å varme opp varmtvannet på innedelen også kalt varm del eller høytrykk side.

Temperaturen ved utedelen varierer med temperaturen i luften ute. I dette tilfellet er utedelen plassert inne i laboratoriet utenfor rommet der varmtvannstanken står. Temperaturen på luften rundt «utedelen» er på ca. 21.5 °C. Dette vil da simulere en sommertemperatur på utedelen.

Temperaturen på vannet i tanken er variabel. Men vil i dette tilfelle starte på 7 °C som er ca. temperatur på tappevann om sommeren. Temperaturen vil deretter stige opp til ca. 60 °C der varmeveksleren i riggen ikke lenger klarer å overføre nok varme til å heve temperaturen ytterligere. På dette tidspunktet skrur vi av riggen og beregner hvor mye strøm varmpumpen ville brukt på å varme opp vannet fra 60 °C til 70 °C.

Varmepumpen på laboratoriet på NTNU er en luft-vann varmpumpe.

Riggen består av en varmpumpe, en varmeveksler, en varmtvannstank og en datamaskin som styringssentral.



Figur 1: Varmepumpelaboratoriet.

Varmtvannstanken står inne i et lukket rom. Varmepumpen, varmeveksleren og styringssentralen er lokalisert utenfor rommet, men fortsatt inne på laboratoriet. Riggeren har også radiatorer koblet opp slik at det går an å varme opp rommet varmtvannstanken står i. Disse skal vi ikke bruke i dette forsøket. Varm delen og kald delen av varmpumpen er lokalisert på utsiden av rommet. Kald delen har en vifte som blåser luft fra laboratoriet igjennom fordampere. Varm delen er koblet til en varmeveksler som overfører varme fra gasskjøleren til vannet fra varmtvannstanken. Derfra går varmtvannet i rør inn til det indre rommet og inn i den nedre delen av varmtvannstanken.

Varmtvannstanken har to kammer, det første kammeret brukes til forvarming av varmtvann. Dette varmes av varmpumpen og har mulighet for elektrisk varme som backup for å få temperaturen opp til driftstemperatur for varmeanlegget. Kammer nr 2 brukes til lagring av

varmt tappevann og det har også mulighet for elektrisk oppvarming for å få varmtvannet opp til driftstemperatur og for å holde det ved driftstemperatur.

Til høyre har vi et snitt av varmtvannstanken på laboratoriet. Under er de forskjellige inn og utgangene beskrevet.

Utgang nr 2 er vann ut av tanken.

Inngang nr 5 er tappevann inn.

Nr 7 er retur vann fra varmeanlegg inn i tanken/ retur vann ut av tanken til varmepumpen.

Inngang nr 8 er tappevann ut.

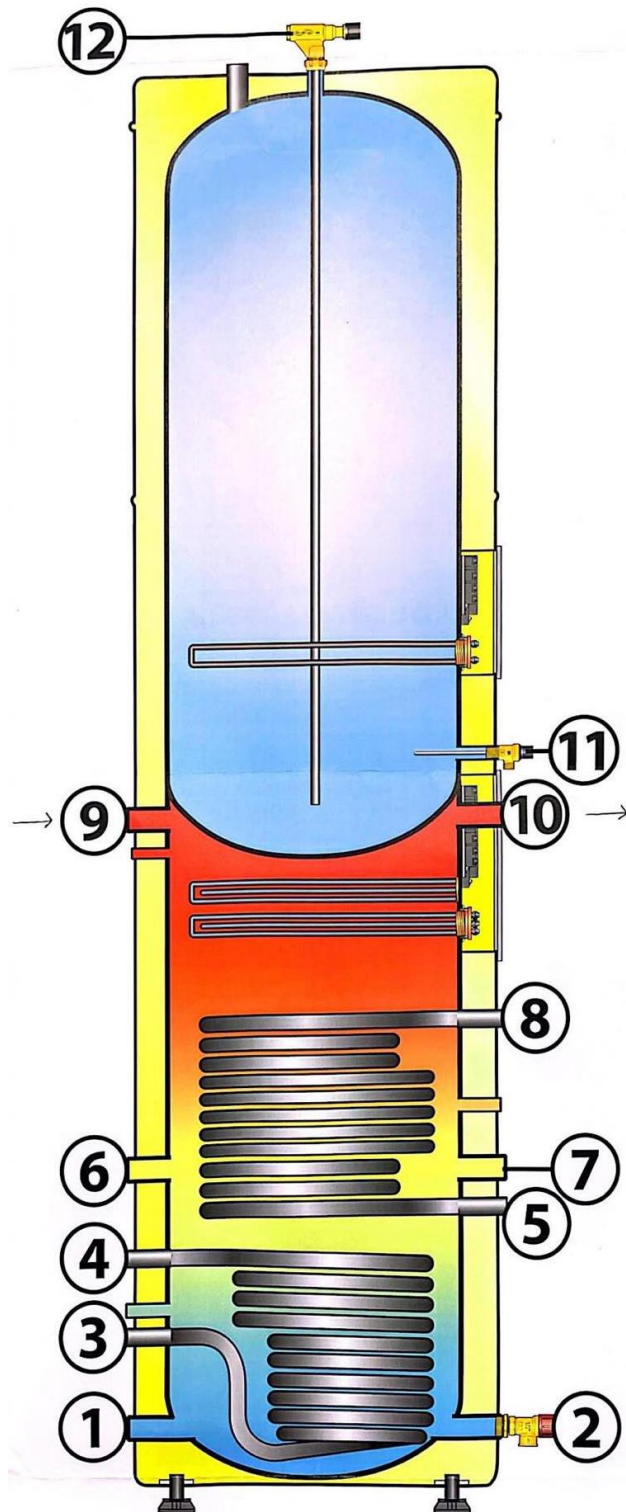
Nr 9 er tur vann fra varmepumpe inn til tanken

Nr 10 er vann ut av tanken til varmeanlegg

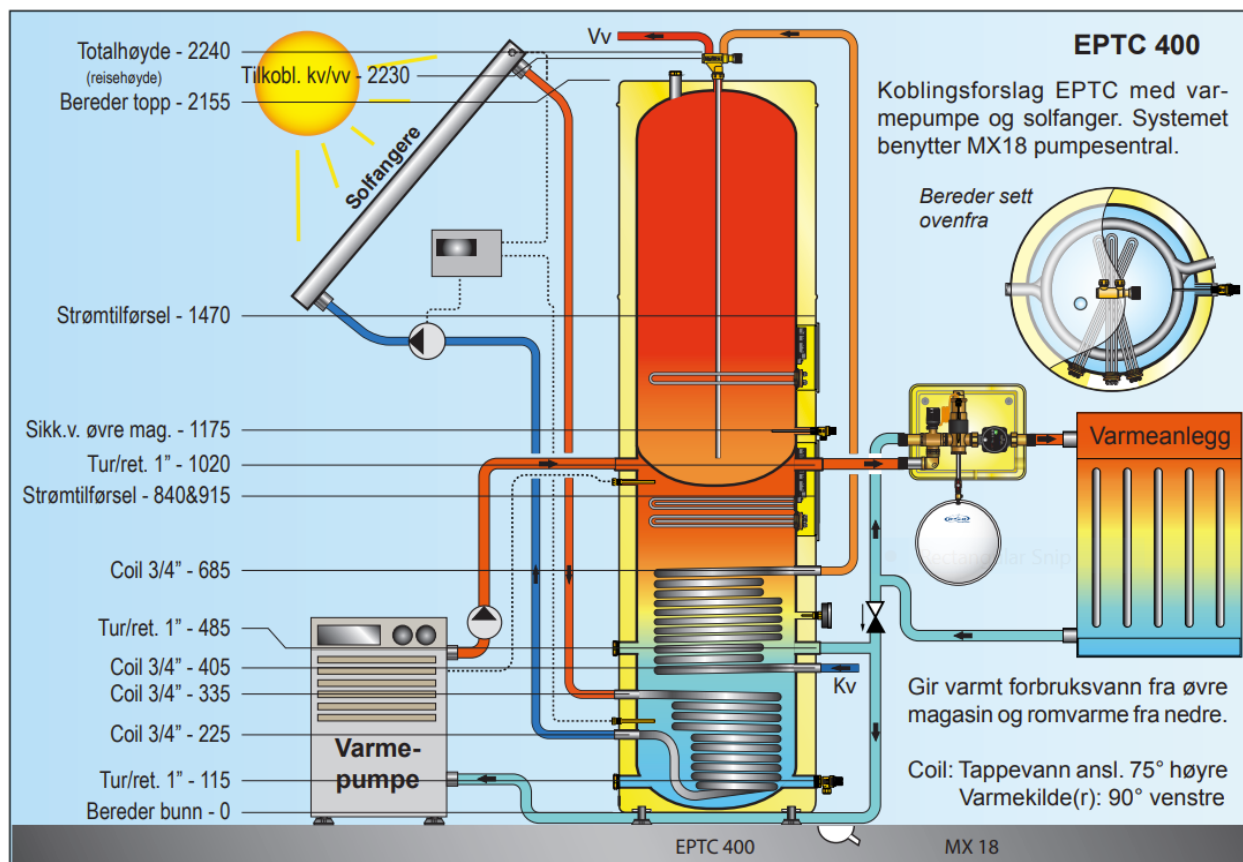
Nr 11 er tappevann ut av tanken.

Ved nr 12 kommer forvarmet tappevann inn og varmt tappevann fra tanken ut

1, 3, 4 og 6 er ikke i bruk på NTNU sin rigg.



Figur 2: Snitt av varmtvannstank



Figur 3: Koblingsforslag til varmtvannstanken

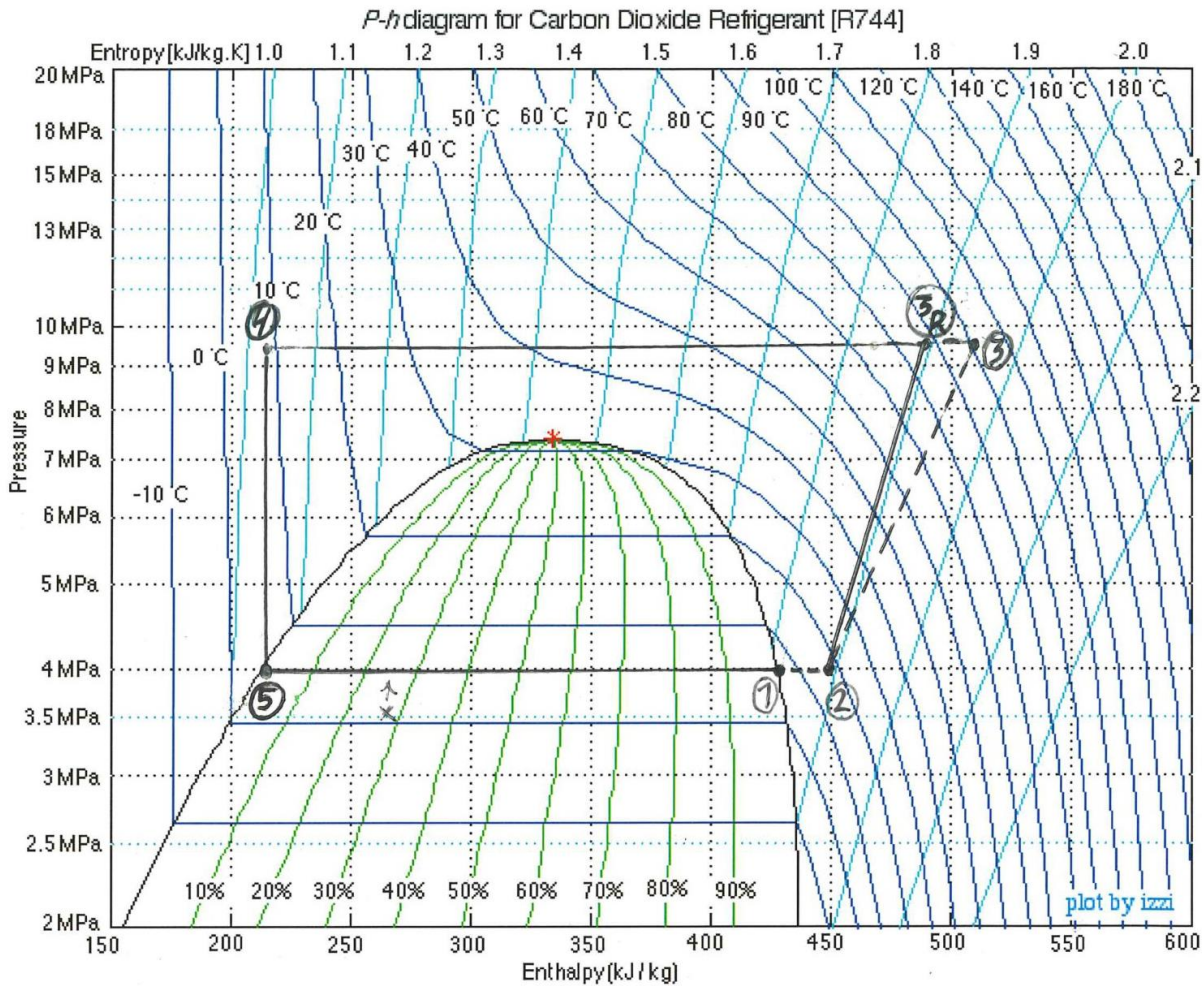
Kilde til figur 2 og 3 er hefter som fulgte med kjøpet av varmtvannstanken på laboratoriet, disse har jeg scannet inn.

Figur 3 viser koblingsforslag til typen varmtvannstank vi har på laboratoriet. Tanken vi har på laboratoriet er koblet opp på samme måte minus solfanger.

COP varmepumpe

COP er kort for Coefficient of performance og er et mål på hvor mye varme varmepumpen gir til i dette tilfellet tappevannet i forhold til hvor mye arbeid kompressoren gjør / hvor mye strøm kompressoren bruker. Hvis vi har en COP på 1 betyr det at varmepumpen gir like mye varme ut som kompressoren bruker i strøm, altså ingen vinning. Og hvis vi har en COP over 1 får vi mer varme ut av systemet enn vi putter arbeid (elektrisitet) inn. Vi ønsker å ha en så høy COP som mulig, og den må være over 1 for at det skal være noe vits i å kjøre varmepumpen.

Under er et trykk enthalpi diagram. Med dette kan du regne ut COP på varmepumpen ved å ta enthalpi på varme [Q] avgitt fra punkt 3 til 4 delt på enthalpi på arbeid [W] gitt inn i prosessen, fra punkt 2 til 3.



Figur 4: Trykk enthalpi diagram

Kilde: (Ohio university, 2023)

Linje 2-3 er et eksempel på en reel prosess med tap, mens 2-3R er et eksempel på en realistisk prosess.

Temperaturen ute kan være høyere på dagen og kvelden enn på natten og morgenen og det kan derfor være gunstig for COP på varmepumpe å kjøre på dag/ kveld istedenfor natt/ morgen. Dette kan det være lurt å se nærmere på. Dessverre får jeg ikke kjørt varmepumpen med høyere eller lavere temperatur på den kalde delen enn den temperaturen som er i laboratoriet, så jeg får ikke gjort noen praktiske forsøk på dette. Det går an å regne på dette og se om det er relevant.

Smart styring

Smart styring av varmtvannsbeholdere går ut på at tidspunktet for oppvarming av varmtvann blir forskjøvet til det tidspunktet på døgnet der strømmen er billigst. På den måten blir det billigere å varme opp varmtvannet. Du kan for eksempel dusje om morgenen, når strømmen ofte er dyr, også kan oppvarmingen av varmtvann bli forskjøvet til natten da strømmen ofte er billigere.

Oppvarming av vann i en varmtvannstank tar et visst antall timer og vi kan fordele disse timene utover døgnet når strømmen er billigst. For å kunne fordele timene for oppvarming mest mulig effektivt igjennom døgnet er det lurt å lage en modell for forbruk av varmtvann. Denne modellen kan lages ved å måle hvor mye varmtvann som blir forbrukt til hvilke tider på døgnet.

Strømpriser for de neste 24 timene blir lagt ut døgnet i forveien på Nordpool sine nettsider. Vi vil derfor alltid ha tilgjengelig pris til å kunne gjøre beregninger for når det er lurt å varme opp varmtvann. Tanken må aldri tømmes helt, da vi alltid kan ha bruk for varmtvann, så det er lurt å ha en buffer som sørger for at det alltid er varmtvann tilgjengelig.

Berederstørrelse og varmtvannsbuffer

En smart varmtvannstank vil deler av døgnet ha lavere temperatur og som en følge av det er det mindre varmtvann tilgjengelig på de tidene på døgnet. Når vi bruker smart styring til oppvarming av varmtvannet kan det være lurt med en litt større varmtvannstank i forhold til en vanlig «dum» varmtvannstank. Med en større varmtvannstank vil du kunne få mer fleksibilitet og økt mulighet til å varme opp vannet når strømmen er på sitt aller billigste.

Det er også aktuelt med en buffer for ikke å gå tom for varmtvann. Varmlvannstanken bør være programmert til å holde en viss minimumstemperatur slik at husstanden ikke går tom for varmlvann. Ifølge Steffen Overaa i Oso sin R&D avdeling vil deres Oso Charge smart varmlvannstank alltid holde en buffer med mindre tanken er satt i dvalemodus. (S. Overaa, quality & welding manager, product manager – commercial & marine hos Oso, personlig kommunikasjon, 2.05.2023, mail). Dvalemodus brukes når eieren er på ferie eller av andre grunner ikke trenger varmlvann i en lengre periode.

Legionella

Det er viktig å forhindre legionella vekst i varmlvannstanken. Dette kan være et problem på smarte varmlvannstanker om de ikke har et program for å forhindre det. Dette fordi smarte varmlvannstanker holder lavere temperatur en «dumme» varmlvannstanker i deler av døgnet. Smarte varmlvannstanker har som regel et program for å forhindre legionella. Dette programmet vil varme opp tanken til en temperatur som dreper legionella bakteriene.

Under har jeg listet opp Høiax og Oso sine legionella programmer ved forskjellige varmlvannstanker.

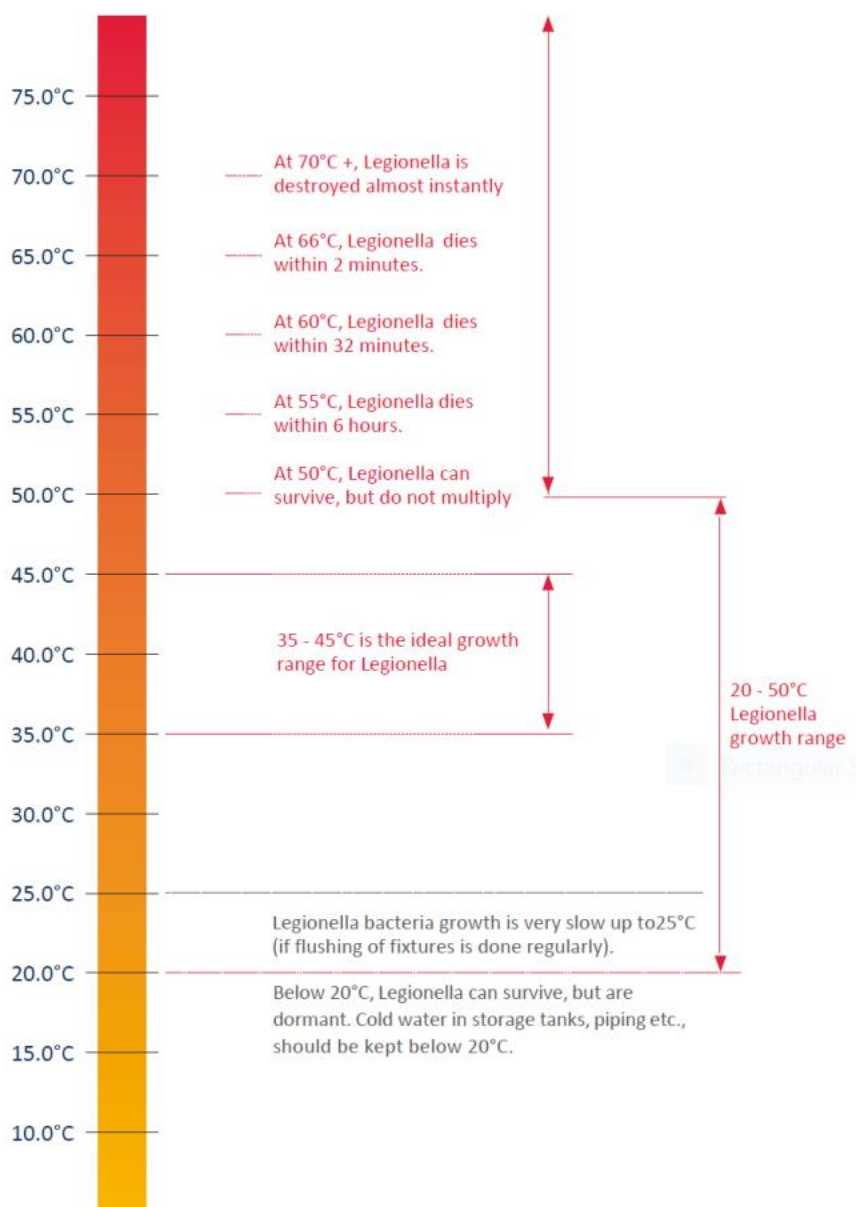
- Høiax Connected: 75 °C – ukjent tidsomfang og intervall (Høiax, 2023).
- Oso Plus-P: 70 °C, 1 time hver 7 dag (Hver 168 time) (Oso, 2023).

Høiax Connected er en smart varmlvannstank. Oso Pluss-P er en kombinert varmpumpe og varmlvannstank. Oso oppgir verken temperatur, tidsomfang eller intervall for sin Connect smart varmlvannstank.

På de smarte varmlvannstankene fra både Oso og Høiax kjøre legionella program «med jevne mellomrom» når kontrollenheten i varmlvannsbekholderen mener det er nødvendig. Med denne typen program skal det ifølge produsentene ikke være problem med legionella.

Jeg har fått et dokument fra Steffen Overaa (quality & welding manager, product manager – commercial & marine hos Oso) som omhandler legionella. Her er et bilde fra dokumentet som viser hvor fort legionella dør ved forskjellige temperaturer. Dokumentet er lagt med som vedlegg.

TEMPERATURE VS LEGIONELLA GROWTH CHART



Figur 5: Bilde fra: OSO Academy - Legionella and scalding[1827].

Som vi ser så dør legionella nesten med en gang ved 70 °C og etter 2 minutter ved 66 °C. Jeg vil si at hvis du varmer opp vannet til 75 °C så bør all legionella i tanken dø med en gang. Derfor mener jeg Høiax sin måte å sikre tanken for legionella, på deres Connected tank bør fungere. Oso holder 70 °C i en time i sin Plus-P tank. Dette bør også være mer en nok til å drepe legionella.

Begge tankene er utsatt for at forbrukeren kan begynne å tappe vann mens tanken kjører legionella program. Det er derfor bra at de har litt buffer på hvor varmt vann de har/ hvor lang tid de holder den temperaturen for å drepe legionella. Både Oso og Høiax tåler at temperaturen nederst i tanken synker 5 °C under legionella programmet ved for eksempel tapping av varmtvann. All Legionella i tanken burde fortsatt dø selv om temperaturen nederst i tanken synker 5 grader. Oso sin Plus-P måler temperaturen ved legionella program, og hvis riktig temperatur ikke oppnås innen 12 timer vil en alarm vises i displayet. I og med at programmet har 12 timer på å oppnå riktig temperatur vil jeg si at det er stor sannsynlighet for at programmet får kjørt ferdig og at det er stor sannsynlighet for at det dreper all legionella i tanken.

Oppvarming av varmtvann med strøm

Mengden energi som må til for å varme opp vann fra x antall grader til x antall grader er:

$$q = cm\Delta T$$

der q = termisk energi i kJ, c = varmekapasitet for vann i J/g °C, m er masse i kg, og ΔT er temperatur endringen i °C.

For å få formelen fra kJ til kWh deler vi på (3600)

Vi får da:

$$q = \frac{cm\Delta T}{3600}$$

Varmekapasiteten for vann ved 20 °C er: 4.184 J/g °C (Engineering ToolBox, 2004)

Tappevann fra springen holder som regel 5 °C varmere om sommeren enn om vinteren (Hansen, 2023, avsnitt 1). Jeg spurte Trondheim kommune hva temperaturen på tappevann var om sommeren og om vinteren, og da fikk jeg dette til svar: «Det kan variere mellom 2 og 7 °C etter årstidene.» (D. Mischke, kundebehandler vann og avløp Trondheim kommune, personlig kommunikasjon, 15.05.2023, mail) Dette passer bra. Vi går ut ifra at tappevannet om sommeren er ca. 7 grader, gjennomsnittstemperatur er 4.5 °C og at om vinteren er det 2 grader.

Jeg har også målt temperaturen på tappevannet i påvente av svar fra kommunen den 4.05.2023. Temperaturen ble målt etter 5 minutter med tapping av vann.

Jeg fikk disse resultatene:

Tabell 1: Temperatur på tappevann målt med forskjellige termometer.

Termometer	Digitalt	Kvikksølv Stort	Kvikksølv lite
Temperatur °C	5.6	5.3	5.2

Her er utregningen for å varme opp vann fra kaldt til 70 °C for forskjellige start temperaturer.

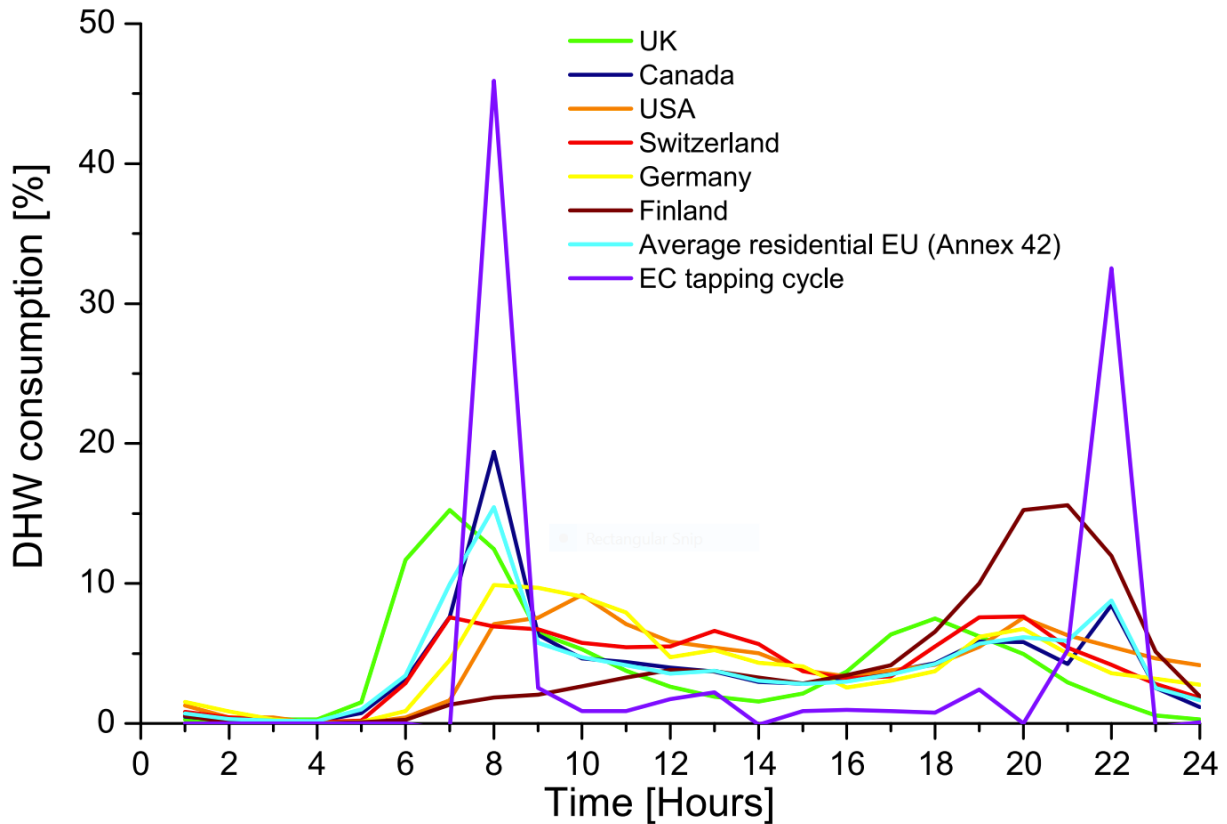
$$4.184 \text{ J/g } ^\circ\text{C} * 190 \text{ kg} * (70 \text{ } ^\circ\text{C} - 20 \text{ } ^\circ\text{C}) / 3600 = 11.04 \text{ kWh (Rom temperatur)}$$

$$4.184 \text{ J/g } ^\circ\text{C} * 190 \text{ kg} * (70 \text{ } ^\circ\text{C} - 7 \text{ } ^\circ\text{C}) / 3600 = 13.91 \text{ kWh (Sommer temperatur tappevann)}$$

$$4.184 \text{ J/g } ^\circ\text{C} * 190 \text{ kg} * (70 \text{ } ^\circ\text{C} - 2 \text{ } ^\circ\text{C}) / 3600 = 15.02 \text{ kWh (Vinter temperatur tappevann)}$$

Forbruk av varmtvann

Ifølge huseiernes landsforbund bruker vi 70-100 liter varmtvann per dag i Norge (Huseiernes Landsforbund, 2015). Hvis vi tar gjennomsnittet av det får vi 85 liter/ dag.



Figur 6: Varmtvannsforbruk i % fordelt på timer i døgnet.

Kilde: (Fuentes, Arce og Salom, 2017)

Figuren over viser hvor mye varmtvann i % vi bruker til forskjellige tider av døgnet. I denne oppgaven bruker jeg de norske tallene for forbruk fordelt på Average residential EU (Annex 42) sitt forbruksmønster.

Under har jeg laget en tabell med tallene fra figuren over som viser forbruk i % og jeg har også regnet ut forbruk i liter. Forbruk i % er lest av manuelt fra grafen og rundet av til nærmeste hele tall, derfor summeres det til 99 istedenfor 100%.

Tabell 2: Vannforbruk fordelt igjennom døgnet.

Klokkeslett	0-5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Forbruk i %	0	4	11	15	6	5	4	3	4	3	3	3	4	4	6	7	6	9
Forbruk i L/ person	0	3.4	9.4	12.8	5.1	4.3	3.4	2.6	3.4	2.6	2.6	2.6	3.4	3.4	5.1	6	5.1	7.7
Forbruk i L/ familie (4 pers)	0	13.6	37.6	51.2	20.4	17.2	13.6	10.4	13.6	10.4	10.4	10.4	13.6	13.6	20.4	24	20.4	30.8

Strømforbruket starter kl 6 om morgenen. Det vil si at varmtvannet som har blitt brukt dagen før må være ferdig eller delvis ferdig oppvarmet kl 6 neste morgen.

Under har jeg regnet ut hvor mye varmtvann på 40 °C vi kan få ut av tanken på 300 L.

$$T_{\text{varm}} = 55 \text{ °C}. T_{\text{kald}} = 4.5 \text{ °C}. T_{\text{blandet}} = 40 \text{ °C}$$

$$M_{\text{varm}} = 300 \text{ l}. M_{\text{kald}} = x \text{ l}$$

$$M_{\text{blandet}} = M_{\text{varm}} + M_{\text{kald}}$$

$$M_{\text{k}} * (T_{\text{b}} - T_{\text{k}}) = M_{\text{v}} * (T_{\text{v}} - T_{\text{b}})$$

$$M_{\text{k}} = M_{\text{v}} * (T_{\text{v}} - T_{\text{b}}) / (T_{\text{b}} - T_{\text{k}})$$

$$M_{\text{k}} = 300 \text{ l} * (55 \text{ °C} - 40 \text{ °C}) / (40 \text{ °C} - 4.5 \text{ °C})$$

$$M_{\text{k}} = 126.8 \text{ l}$$

$$M_{\text{b}} = M_{\text{v}} + M_{\text{k}}$$

$$M_{\text{b}} = 300 \text{ l} + 126.8 \text{ l}$$

$$M_{\text{b}} = 426.8 \text{ l}$$

Vi kan altså få ut 426.8 l varmtvann ved 40 °C fra tanken.

Vi må ha en margin som senker tallet litt siden noe av vannet kommer til å blande seg og vi vil få litt varmeoverføring via konduksjon. Vi kommer da til å gå tom for varmt nok vann før tanken er helt tom for (lunkent/ kjølig) vann. Jeg har ingen tall på hvor mye vann som blander seg, eller hvor mye varme som overføres til det kalde vannet som kommer inn i tanken via konduksjon. Det hadde vært bra å ha, men hvis vi tar et utdannet gjett så er det kanskje et sted mellom 5-10%? Jeg velger og regner videre på 5%.

$$426.8 \text{ l} * 0.95 = 405.46 \text{ l} \approx 405 \text{ l}$$

La oss si at vi kan tappe ca. 405 l varmtvann ved 40 °C fra varmtvannstanken før den går tom.

Vi må ha en buffer slik at vi ikke går tom for varmtvann. Jeg spurte Steffen i Oso hvor stor buffermengde de bruker. Dette fikk jeg ikke svar på. Jeg antar at det er en bedriftshemmelighet. Om jeg skal finne en god og hensiktsmessig buffermengde på egenhånd vil jeg si at det er lurt å ha en buffermengde som rekker til en 10 min dusj.

En sparedusj bruker $<10 \text{ l / min}$ med vann ved $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

$10 \text{ min} * 10 \text{ l / min} = 100 \text{ l}$.

100 l mener jeg er en god størrelse på en buffer.

Da har vi 305 l igjen. Dette bør være nok vann for smartstyringen å jobbe med, slik at den kan jobbe effektivt og spare penger.

Metode

Første utkast

Forsøket vil bestå av å varme opp vannet i varmtvannstanken på laboratoriet så varmt det går an å få det. Jeg har blitt fortalt at varmepumpen kan varme opp vannet til ca. 60 °C og at den er holdt tilbake av varmeveksler på varmepumpen som ikke klarer å overføre nok varme. Mens vi varmer opp vannet noterer vi ned strømforbruket. Deretter blir det ekstrapolert verdiene for strømforbruk fra 60 °C eller det vi får varmet tanken opp til, til 70 °C som er normal temperatur for en varmtvannstank i et hjem. Dette for å få et strømforbruk for å varme opp vann fra 7 °C (kaldt) til 70 grader. Deretter regner vi ut hvor mye strøm det ville tatt å varme opp den samme tanken med strøm.

Etter det beregner vi hvor mye det vil koste å varme opp varmtvannstanken på en normal dag der strøm blir brukt til å varme opp varmtvannet rett etter forbruk. Her bruker vi Average residential EU (Annex 42) forbruksmønsteret.

Deretter regner vi ut hvor mye strømmen vil koste om vi forskyver tidspunktet for oppvarmingen av varmtvannet til de timene der strømmen er billigst.

Så regner vi ut hvor mye det vil koste å kjøre varmepumpen rett etter forbruk av varmtvann på en normal dag.

Og hvor mye det vil koste å kjøre varmepumpen de timene i døgnet der strømmen er billigst.

Da har vi strømforbruk for å varme opp varmtvannet med varmepumpe og med strøm respektivt. Vi har også kostnadene av å varme opp varmtvannet med varmepumpe, med strøm, og utsatt oppvarming med varmepumpe og utsatt oppvarming med strøm.

For å finne ut forskjellen på å kjøre varmepumpen med en gang og etter utsatt tid tar vi et utvalg av dager og regner ut forskjellen på å kjøre varmepumpen med en gang og på utsatt tid.

Strømforbruket blir beregnet for en typisk familie på fire bosatt i Trondheim.

Endring av metode

Etter å ha gjort to forsøk fant jeg ut at varmpumpen på laboratoriet ikke klarer å varme opp varmtvannet i tanken til mer enn 40 grader. Dette på grunn av at varmpumpen er en CO₂ varmpumpe som er programmert til å stoppe når temperaturen på CO₂ ut av gasskjøler når 50 grader. Dette på grunn av at varmpumpen ikke er effektiv på temperaturer over 50 grader. (N. Nord, professor, ansvarlig for varmpumpe laboratoriet, personlig kommunikasjon, 29.05.2023, mail)

På grunn av at varmpumpen ikke klarer å varme opp vannet til mer enn 40 °C har jeg gjort en endring i metode. Les mer om forsøkene i resultater (forsøk 1 og 2) og diskusjon.

Dette betyr at retur temperaturen på vann fra varmtvannstanken inn til varmpumpen ikke kan nå mer en max 50 °C før varmpumpen slår seg av. Varmtvannstanken er også konstruert med uttak av vann fra varmtvannstanken til varmpumpen ca. midt på tanken. Dette gjør at vi får vann lenger ned i tanken som ikke blir varmet helt opp og som holder kjøligere temperatur en vannet som går ut av tanken og kommer i retur tilbake til varmpumpen.

Vannet i tanken ble altså varmet opp til 40 grader, mens vannet inn til varmpumpen ble målt til 51 grader.

Varmeveksleren fungerte fint under forsøket virket det som. Forsøket ble stoppet av temperaturen på CO₂ etter gasskjøleren, ikke av varmeveksleren.

Det skal gå an å varme opp vann til 70 grader med varmpumpe. For å få til dette må vi velge en annen type tank, og en varmpumpe med et annet kjølemedium og et annet oppsett. Vi ønsker en varmpumpe som kan varme vannet fra helt kaldt om vinteren, ca. 2 grader, opp til 70 °C som er driftstemperatur.

Vi vil da altså ikke ekstrapolere de siste gradene (fra tenkte 60 °C til 70 °C). Isteden velger jeg å regne på forbruk av varmpumpe teoretisk og må velge noen verdier som jeg kan regne med istedenfor å bruke verdier fra et forsøk. Dette fordi varmpumpen på laboratoriet ikke fungerer helt slik jeg trodde den gjorde. Jeg trodde at varmpumpen kunne varme opp til 70 grader, men at gasskjøleren/ varmeveksleren ikke var stor nok og at vi derfor ville få en maks temperatur i varmtvannet på ca. 60 grader. I det tilfellet ga det mening å ekstrapolere og regne ut hvor mye strøm som ville gått med for å varme opp varmtvannet fra 60 °C til 70 °C med varmpumpen.

Nå velger jeg å gå videre med en varmepumpe med et kjølemedium og oppsett som helst kan varme opp varmtvann til 60-70 grader. Jeg regner altså videre på et fiktivt scenario.

(Herifra gir det mest mening å lese på resultat forsøk 1 og 2.)

Utrekning av pris på forbruk av varmtvann

Produsentene oppgir ofte en SCOP som er høyere enn det du får til i virkeligheten, derfor legger jeg inn en margin på SCOP slik at vi skal få et mer realistisk tall. Jeg velger å legge inn en margin på 20% som jeg mener er realistisk. SCOP på varmepumpe Nibe S2125 er 3.4. Med en margin på 20% får vi en SCOP på 2.72.

Jeg har ikke funnet effekt eller strømforbruk på varmepumpen. Derfor velger jeg en effekt som virker sannsynlig. Jeg velger 7 kW som maximum effekt og 2 kW som minimumseffekt.

Energiforbruk for å varme vann fra 4.5 °C til 40 °C =

$$4.184 \text{ J/g } ^\circ\text{C} * 1 \text{ kg} * (40 \text{ } ^\circ\text{C} - 4.5 \text{ } ^\circ\text{C}) / 3600 = 0.0412 \text{ kWh}$$

$$11 = 0.04126 \text{ kWh}$$

$$51.2 \text{ l} = 2.112 \text{ kWh}$$

$$300.4 \text{ l} = 12.39 \text{ kWh}$$

51.2 l er maks belastning vi får på en gang i løpet av døgnet. Dette gir behov for 2.112 kWh energi til oppvarming og er innenfor det både strømelementet og varmepumpen klarer å levere.

Vi bruker altså ikke mer enn en time på å varme opp varmtvannet som blir forbrukt selv i «rush tiden» kl 8. Dette gjør det enklere å regne ut momentant forbruk.

Varmtvannstanken har en kapasitet på ca. 300 l etter buffer. Vi kan ikke bruke mer en kapasiteten på 300 l før vi må varme opp noe vann. I løpet av døgnet blir det i gjennomsnitt brukt ca 338.4 l vann for 4 personer. Det er ca. 38 liter mer enn vi har kapasitet til. Kl 22 passerer behovet for varmtvann 300 l. Det vil si at vi må varme opp ca 38 liter varmtvann før kl 22 for å ha nok kapasitet i tanken.

Stikkord og nøkkeltall for utregning av strømforbruk:

Varmeelement elektrisk er 2.8 kW

SCOP etter margin = 2.72

Varmepumpe (VP) effekt Max = 7 kW, Min = 2 kW

Strømforbruket blir Max 2.574 kW og minimum 0.735 kW med en SCOP på 2.72.

Jeg deler opp strømforbruket i løpet av en dag på bolker på 2.8 kWh som kan varmes opp av det elektriske varmeelementet. Det samme gjør jeg for varmepumpen i 7 kWh bolker.

Strømoppvarming nødvendig ved $300.4 \text{ l} = 12.39 \text{ kWh}$. Delt opp i 2.8 kWh bolker blir det: $2.8 \text{ kWh} + 2.8 \text{ kWh} + 2.8 \text{ kWh} + 2.8 \text{ kWh} + 1.19 \text{ kWh}$

VP varme nødvendig ved $300.4 \text{ l} = 12.39 \text{ kWh}$. Det vil si: $7 \text{ kWh} + 5.39 \text{ kWh}$ varme levert. Som gir $2.574 \text{ kWh} + 1.982 \text{ kWh}$ strøm forbrukt.

Forutsetninger for utregning av pris

I excel dokumentet vedlagt har jeg hentet inn strømpriser og brukt det Europeiske forbruksmønsteret på varmtvann kombinert med norsk gjennomsnitts forbruk til å regne ut hvor mye det koster å varme opp varmtvannet som ble forbrukt. Dette er regnet ut for strøm og varmepumpe med og uten smart styring.

Datoene er plukket ut tilfeldig. I alt er det 10 dager.

Pris på forbruk av strøm ved et helt klokkeslett for eksempel kl 6 blir regnet ut med strømprisen i timen etter. For eksempel 6-7.

Når jeg regner lar jeg bufferen på varmtvannet være litt elastisk slik at det blir enklere å regne.

Det skal ikke gjøre noe om vi går noen få liter inn i bufferen.

For varmepumpen er det best å gå i kontinuerlig drift når den først er startet. Derfor beregner jeg strømpriser for sammenhengende timer når jeg beregner pris for varmepumpe med smartstyring.

Da blir det minst mulig start og stopp.

Når jeg regner ut hvor mye strøm varmepumpen bruker uten smartstyring regner jeg på at den går med en gang etter forbruk. Da tar jeg ikke høyde for at en varmepumpe vanligvis venter litt med å slå inn, for så å gå lenger av gangen og at det tar 20-30 min før varmepumpen produserer full effekt. Jeg regner med at varmepumpen går med en gang strømmen blir brukt, på full effekt og uten oppvarmingstid. Jeg har dessverre ikke tid til å finne ut når varmepumpen ville gått og deretter regne ut at varmepumpen går i ett sett med forskjellig effekt og med oppvarmings tid.

Disse utregningene tar ikke høyde for nettleie.

Jeg regner ut billigste tidspunkt å kjøre strøm og varmepumpe på manuelt.

Dette er sum for utregning med 55 °C varmtvann. Med høyere varmtvannstemperatur vil vi få lavere SCOP og mindre besparelser for varmepumpen.

Resultat

Første forsøk

Første forsøk ble gjort med for mye CO₂ i varmpumpen.

Her ble vannet varmet opp fra 5.5 °C (TT02)/ 7.8 °C (TT03) til 45 °C (TT03) eller ca. 34.5 °C (Manuel analog temp måler i tanken). TT02 er temp sensor montert på tur varmtvann fra varmpumpe til varmtvannstank. TT03 er temp sensor montert på retur fra varmtvannstank til varmpumpe.

Manuelt avlest analog temperatur sensor i tanken kan leses fra 20 °C i intervall på 2 grader opp til 120 °C.

I første forsøk kom temperaturen opp til ca. 35 °C over TT03 før temperaturstigningen ble veldig treg. Det tok veldig lang tid fra 35 °C til 40 °C. På dette tidspunktet fikk jeg hjelp av Natasa Nord (laboratorie ansvarlig, Professor ved Institutt for energi- og prosessteknikk) til å få varmpumpen til å produsere mer varme. Ved å manuelt justere trykk over ekspansjonsventilen og hastighet på kompressoren gikk temperaturen fortere opp. Trykket over ekspansjonsventilen ble satt til 95 bar, og kompressoren ble justert til 1000 RPM og etter hvert videre opp til 1150 RPM i trinn på 50-100 RPM.

Forsøket ble avsluttet på 3:35:00 da temperaturen nesten ikke steg lenger, turtall på kompressor og trykk over ekspansjonsventil var blitt justert og dette gjorde at forsøket hadde blitt endret underveis. På dette tidspunktet så jeg på det som unødvendig å fortsette forsøket.

Tabell 3: Resultater fra forsøk 1.

Temperatur °C	Temp sensor i tank (Tid)	Temp sensor TT03 (Tid)
5.5/ 7.8	-	0:00:00
10	-	0:17:20
20	0:48:00	0:24:28
30	2:52:40	0:54:00
40		2:54:55
Avsluttende temperatur		
34.5	3:31:00	
45		3:31:00

Andre forsøk

I andre forsøk var det riktig fyllingsgrad av CO₂ i varmepumpen. Trykk over ekspansjonsventilen ble satt til 95 bar og kompressoren ble satt til 1200 RPM.

Luft temperatur inn på fordampere ble målt med flere termometer.

- Digitalt termometer: 21.3 °C.
- Stort kvikksølvtermometer: 21.4 °C.
- Lite kvikksølvtermometer: 21.1 °C.

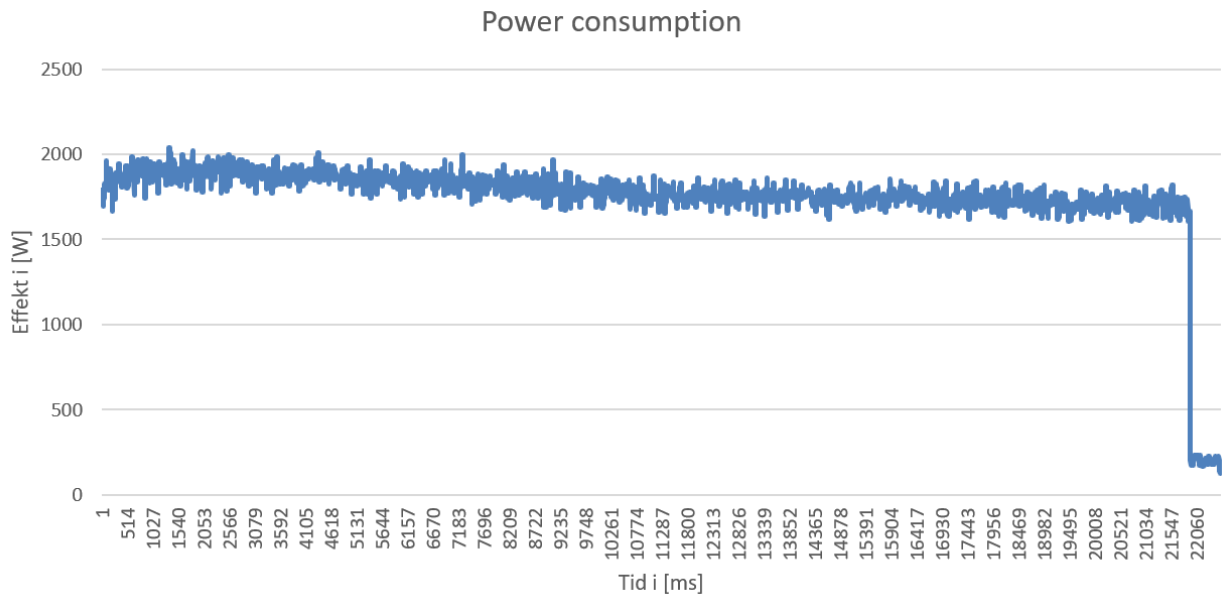
Temperaturen steg fort i starten, men da TT03 kom til ca 40 °C sakk det ned og temperaturen krøp saktere og saktere opp til 45, 50 og til slutt 51 °C før det gikk en alarm og varmepumpen skrudde seg av.

I andre forsøk ble det klart at med denne vannpumpen og denne varmtvannstanken går det bare å varme opp vannet til TT03 = 51 °C før riggen slår seg av. Dette fordi tur varmtvann som går inn i varmtvannstanken blander seg med vannet som allerede er i tanken. Da strømmer det varmt vann ut av tanken og inn til varmepumpen og varmepumpen vil da etter hvert slå seg av når CO₂ ut av gasskjøleren når 50 grader.

Temperaturen i tanken var 40 grader på dette tidspunktet. Lest av fra den manuelle analoge måleren midt på tanken.

Tabell 4: Resultater fra forsøk 2.

Temperatur °C	Temp sensor i tank (Tid)	Temp sensor TT03 (Tid)
5.6/ 7.9	-	0:00:00
10	-	0:22:30
20	0:44:20	0:26:45
30	1:15:30	0:48:13
35	1:49:45	
40	3:55:15	1:16:35
45		1:50:40
50		3:31:17
Avsluttende temperatur		
40	4:01:00	
51		4:01:00



Figur 7: Effekt på varmepumpe over tid.

Grafen over har tid i 500ms intervaller på x aksen. 22089 = 3 t og 4 min.

Over er strømforbruk som en funksjon av tid representert.

Total strømforbruk har jeg prøvd å få ut av de loggførte dataene. Dessverre er det noe feil med tid og dato i dataene og det viser seg vanskelig å få dataene ut av tabellen. Derfor har jeg ikke fått ut totalt strømforbruk eller strømforbruk mellom tidsintervall.

Jeg har et stort excel dokument med all loggført data, dette er lagt ved som vedlegg.

Effekten starter gjennomsnittlig rundt 1 830 W. Stiger til rundt 1 900 W etter ca. 12 min og derfra går det sakte ned til rundt 1 700 W før varmepumpen stopper.

Herifra gir det mest mening å lese videre på diskusjon: «faktisk system og ideelt system».

Kostnader ved drift

I excel arket vedlagt «Utrekning på pris av forbruk av varmtvann» har jeg regnet ut hvor mye det koster å bruke varmtvann på 10 tilfeldig utvalgte døgn fra 2022.

Under er en tabell som viser resultatene fra utregningene:

Tabell 5: Oppvarmingskostnader og innsparinger.

Type oppvarming	Brukt/ spart per dag
Strømoppvarming gjennomsnitt	43.83 kr
VP gjennomsnitt	16.12 kr
Strømoppvarming med smartstyring gjennomsnitt	33.63 kr
VP med smartstyring gjennomsnitt	12.40 kr
Spart per dag smartstyring av strømoppvarming	10.21 kr
Spart per dag smartstyring av VP	3.71 kr
Spart per dag VP i forhold til strømoppvarming	27.72 kr
Spart per dag smartstyring av VP i forhold til strømoppvarming uten smartstyring.	31.43 kr

Tabellen under viser hvor mye det går an å spare i gjennomsnitt med varmepumpe og smartstyring.

Tabell 6: Gjennomsnittlige innsparinger.

	Spart i gjennomsnitt
Smart styring	23%
Varmepumpe	63%
Varmepumpe og smartstyring kombinert	72%

Innsparing av produkter

Under er en tabell som viser priser på smart kit for ettermontering (Oso Charge R2 og Høiax Connected), smart varmtvannstank (Oso Saga S + Charge R2 og Høiax Connected), vanlig varmtvannstank (Oso Saga S og Høiax Titanium Eco), prisforskjell på smart varmtvannstank vs. vanlig varmtvannstank og luft-vann varmepumpe (Nibe S2125-8). Prisene er laveste pris funnet ved søk på nett den 02.06.2023.

Tabell 7: Priser på varmtvannstank, smart system og VP.

	200 l	300 l	VP 8 kW
Oso Charge R2 smart kit	5 690 kr	6 390 kr	
Høiax Connected retrofit	5 175 kr	7 062 kr	
Oso Saga S + Charge R2	12 795 kr	17 064 kr	
Høiax Connected varmtvannstank	9 799 kr	11 898 kr	
Oso Saga S	6 180 kr	9 066 kr	
Høiax Titanium Eco	4 990 kr	6 990 kr	
Varmtvannstank vs. smart varmtvannstank	4 809 kr	4 908 kr	
Nibe S2125-8 VP			148 000 kr

Kilder: (VVSkuipp, 2023), (TempeVVS, 2023) og Nibe S2125-8 (personlig kommunikasjon over telefon, ikke fått mail).

Jeg har tatt med Oso Saga Standard S og Høiax Titanium Eco i tabellen da dette er to relativt standard varmtvannstanker fra de to største produsentene, begge er representative for noen som skal kjøpe seg ny varmtvannstank og det går ann å ettermontere smart styring i begge.

Når det gjelder Nibe S2125-8 og S2125-12 fant jeg ut at de var 8 og 12 kW varmepumper. Av disse er prisen på 8 kW versjonen mest aktuell da jeg har regnet med at varmepumpen kan levere 7 kW i utregningene for pris på forbrukt varmtvann.

Under er en tabell som viser hvor lang tid det tar å spare inn de forskjellige produktene. Alle tall er regnet ut for billigste produkt i tabell 7.

Tabell 8: Tid for innsparing av investeringskostnad.

Produkt	Innkjøps pris	Spart per dag	Tid til innspart	Tid til innspart
Smart kit 300 l (Oso charge R2)	6 390 kr	10.2 kr / dag	626 dager	1 år og 9 mnd.
300 l smart varmtvannsbereder (om du allikevel skal kjøpe ny) (Høiax Connected)	4 908 kr	10.2 kr / dag	481 dager	1 år og 4 mnd.
300 l smart varmtvannsbereder (Høiax Connected)	11 898 kr	10.2 kr / dag	1 166 dager	3 år og 2 mnd.
Luft-vann VP (Nibe S2125-8)	148 000 kr	27.71 kr / dag	5 341 dager	14 år og 7 mnd.
Luft-vann VP og smart varmtvannstank (Høiax Connected med Nibe S2125-8)	159 898 kr	31.43 kr / dag	5 087 dager	13 år og 11 mnd.

Disse beregningene er gjort uten monteringskostnader og nettleie inkludert, så det vil kunne ta kortere eller lenger tid å spare dem inn i virkeligheten.

Beregningene for Nibe S2125-8 bruker SCOP fra S2125-12. S2125-8 har litt lavere SCOP, 3.2 vs 3.4, så besparelsene vil være litt mindre og tiden til innsparing litt lenger en oppgitt i tabellen.

Varmepumpe og smart varmtvannstank kombinert er regnet ut med forbehold om at varmpumpe, varmtvannstank og smart styring koster det samme kombinert som det gjør separat. Det koster nok mer i virkeligheten, spesielt med varmtvannstank beregnet for varmpumpe.

Diskusjon

Faktisk system og ideelt system.

Etter å ha kjørt to forsøk, først et der det var for mye CO₂ i systemet også et med riktig mengde CO₂ og etter å ha snakket med Armin Hafner (Professor, Institutt for energi- og prosesseteknikk) kan vi komme med noe raske konklusjoner. Det hadde vært optimalt med en varmtvannstank der vann inn til varmtvannstanken fra varmpumpen kom inn i toppen av tanken og vann ut av varmtvannstanken til varmpumpen kom ut fra bunnen av tanken. Det hadde også vært optimalt med en vannpumpe med variabel fart slik at vi kunne sette ut temperaturen på varmtvannet fra varmpumpen til ønsket temperatur. Det burde med en CO₂ varmpumpe gå lett å få 70 °C ut fra varmeveksleren. 70 °C er det vi ønsker i tanken, men vi må kanskje ha litt høyere temperatur i og med at vi må forvente at noe av vannet blander seg, og det vil kunne oppstå konduksjonsvarmetap fra øvre sjikter av vann til sjikter av vann lenger ned. Temperaturen på CO₂ etter kompressor var på over 100 °C i løpet av forsøket. (se vedlagt logg) Det burde altså ikke være noe problem å få varmtvann ut fra varmpumpen som holder minimum 70 °C.

Det vi vil ha er et system som trekker inn kaldtvann og som varmer opp vannet til 70 °C ved å kjøre vannpumpen på lavt turtall. Systemet skal ideelt sett heller ikke trekke inn varmtvann som allerede har vært oppvarmet. Dette oppnår vi ved å kjøre vannpumpen på så lavt turtall at vi får en tur temperatur på 70-80 grader. Det danner seg da et varmt sjikt i toppen av tanken som sakte forflytter seg nedover når vannpumpen pumper inn varmtvann ved lav pumpehastighet. Vannet ut fra tanken inn til varmpumpen vil da holde lav temperatur helt til det varme sjiktet når utløpet i bunnen av tanken. På den måten vil vi kunne holde en lav temperatur på retur vannet og varmpumpen vil kunne gå helt til returvannet fra varmtvannstanken når 50 grader. Når returvannet når 50 °C betyr det at det varme sjiktet har nådd bunnen av tanken. Hvis vi har kjørt varmpumpen med en tur temperatur på over 70 °C, og kanskje helt opp til 80 °C vil da nesten hele tanken være fylt med varmtvann som holder minimum 70 °C og det vil bare være et lite sjikt med kaldere vann mot bunnen som holder temperaturer ned til 50 grader.

På denne måten vil vi kunne varme opp nesten hele tanken til minimum 70 °C med varmpumpen, men dette forutsetter at vannet er relativt kaldt når vi starter. Vannet i varmtvannstanken må holde en temperatur under 50 °C for at vi skal kunne kjøre en varmpumpe med CO₂ som er satt opp slike varmpumpen på laboratoriet på NTNU er satt opp.

Dessverre går det ikke å kjøre denne varmpumpen hvis varmtvannet allerede er varmt (50 °C og opp). Hvis varmtvannet allerede er relativt varmt må vi ha et arbeidsmedium som kan brukes med høy returtemperatur og som kan ha høy temperatur på arbeidsmediet etter gasskjøleren/kondensatoren. Med et arbeidsmedium som virker under høye temperaturer kan vi varme opp varmtvannet også ved middels høye og høye temperaturer. Vi kan da bruke varmpumpen også ved høye og middels høye temperaturer i varmtvannstanken og ikke bare ved lave temperaturer.

Varmevekslere

Varmt tappevann må være adskilt fra vann fra varmpumpen. Dette på grunn av legionella, korrosjon osv. «Vann i en bereder er å regne som drikkevann iht forskriftene.» (S. Overaa, quality & welding manager, product manager – commercial & marine hos Oso, personlig kommunikasjon, 5.05.2023, mail)

Det må da tas forbehold slik at vi opprettholder drikkevannskvalitet på det varme tappevannet. Vi må derfor ha en varmeveksler mellom varmtvannet fra varmpumpen og det varme tappevannet slik at de ikke kommer i direkte kontakt med hverandre. Dette vil sørge for at de to kretsene er adskilt og vil være med på å forhindre legionellavekst, korrosjon mm.

Når vi skal velge en varmeveksler er det flere hensyn å ta. Vi må sørge for at varmeveksleren ikke legger til rette for legionella vekst, den må kunne adskille de to væskestrømmene 100%, den må være billig og den må kunne integreres med varmtvannstanken.

Vi kan for eksempel bruke en platevarmeveksler, inni eller utenfor varmtvannstanken, eller vi kan bruke en coil inne i varmtvannstanken.

På denne måten blir tappevannet varmet opp og sirkulerer tilbake i varmtvannstanken uten å være i direkte kontakt med varmtvannet fra varmpumpen.

Vannpumpen skal helst dra tappevann fra bunnen av varmtvannstanken. På denne måten holder vi returtemperaturen til varmpumpen lavest mulig lengst mulig.

Med en platevarmeveksler så kan denne være plassert på innsiden av varmtvannstanken eller på utsiden av varmtvannstanken. Om den er plassert inne i varmtvannstanken vil vannet som er inni plateveksleren kunne varmes opp sammen med resten av vannet i varmtvannstanken ved bruk av elektrisitet uten at vannpumpen trenger å være i drift. Dette vil sørge for at vi kan drepe

legionella uten at vannpumpen må være i drift.

Ved plassering utenfor tanken må vi sørge for at vannet inni plateveksleren også kan varmes opp om det kjøres et legionellaprogram. Dette kan gjøres ved å kjøre vannpumpen mens et legionellaprogram kjøres, men det krever også at vannpumpen er i drift og fungerer. Hvis vannpumpen ikke går for eksempel fordi den er ødelagt vil ikke vannet som er i varmeveksleren bli varmet opp, og varmeveksleren vil kunne bli et sted for legionella oppblomstring.

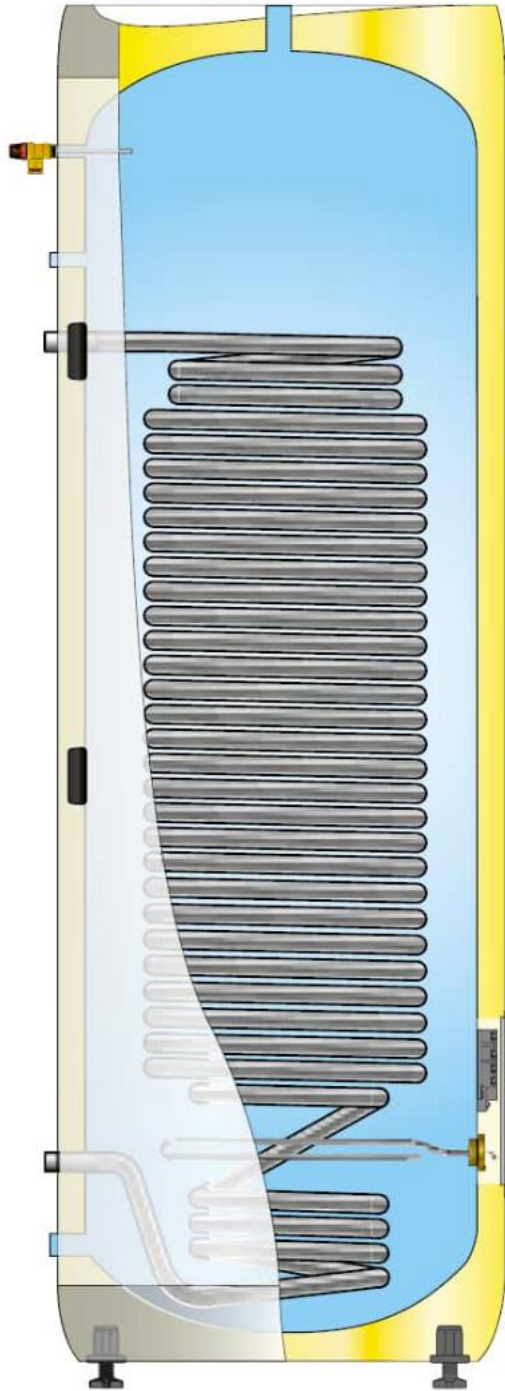
Fordelen med en plateveksler kan være at du kan holde lav temperatur på vannet inn i plateveksleren lenger enn med en coil hvis du bruker en vannpumpe på tappevannet som kan regulere turtallet og holde temperaturen ut fra plateveksleren konstant. Dette vil skje på grunn av sjiktet med varmtvann som danner seg i toppen av tanken og som presser kaldtvannet sakte nedover i tanken. Vannpumpen trekker da inn kaldt vann til varmeveksleren, og returvannet inn til varmepumpen vil holde lavere temperatur lenger.

Med en coil inne i varmtvannstanken som varmeveksler blir ting litt lettere. Det trengs ikke en pumpe for å pumpe tappevann, coilen er i direkte kontakt med tappevannet og overfører varme til tappevannet via konduksjon. Når coilen er varm vil det oppstå varme oppdriftsstrømmer rundt coilen og det vil føre til overføring av varme via konveksjon innad i tappevannet.

Legionella er ikke et problem med coil. Coilen har ingen kriker og kroker der det kan gjemme seg vann, og så lenge den er tett, festet ordentlig og det ikke er noen lekkasjer så skal det ikke være direkte kontakt mellom varmtvann fra varmepumpe og tappevann i tanken.

Oso har en serie varmtvannstanker som heter DGC. Disse varmtvannstankene er konstruert som en stor tank, med en varmevekslende coil inne i tanken som overfører varme fra varmtvannet ut av varmepumpen til det varme tappevannet i varmtvannstanken.

Jeg velger å se videre på DGC 300, da dette er en tank som finnes på markedet. Dette er også en noe større tank enn det som er vanlig for 4 personer. Dette kan lønne seg ved bruk av smart styring.



Figur 8: DGC 300 snitt

Kilde: (Oso Hotwater, 2023)

Med vann fra varmpumpen som sirkulerer igjennom en varmevekslende coil inne i varmtvannstanken vil vi ikke kunne benytte oss av prinsippet med et varmt sjikt med varmtvann i toppen av tanken. Varmt vann fra varmpumpen vil sirkulere igjennom den varmevekslende

coilen og gi ifra seg varme til vannet inne i varmtvannstanken. Det vil da oppstå strømminger inne i tanken, og dette vil føre til at vannet inne i tanken blander seg og oppnår en jevnere temperatur enn hvis vi tilfører varmt vann i toppen og suger kaldt vann ut i bunn. Vi får da ikke en like tydelig sjiktering av varmtvann og kaldtvann i tanken, men ender opp med en noe jevnere temperatur i hele tanken. Det vil fortsatt være varmere på toppen og kaldere mot bunnen av tanken, men det vil være mindre forskjell på temperatur på topp og bunn enn det ville vært i en tank der varmtvannet kom sakte inn på toppen og ble sugd sakte ut av bunnen.

Med denne løsningen med en varmevekslende coil kan vi ikke forvente å alltid ha kaldt vann på retur til varmepumpe, og må se på arbeidsmedier som kan jobbe ved høyere returtemperaturer. Arbeidsmediet må helst kunne jobbe med returvann fra varmtvannstanken på 4 til 70+ °C for å kunne varme opp tappevannet til 70 grader.

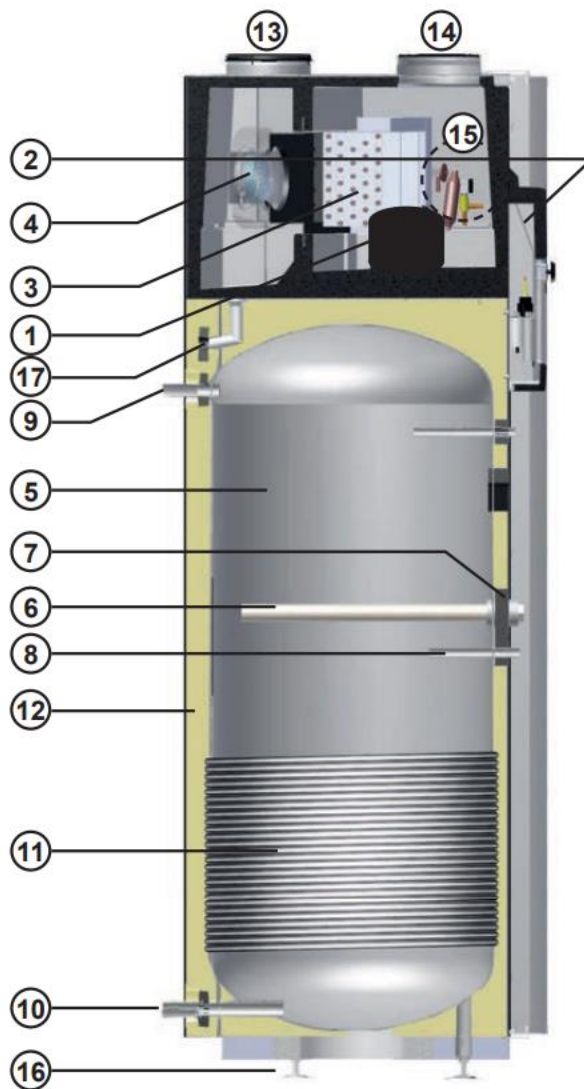
Et stort spørsmål er jo om varmtvannet bør varmes opp helt til 70 °C med varmepumpen. Kanskje er det mer effektivt å varme opp vannet til en hvis temperatur med varmepumpe og varme opp resten med elektrisitet.

Oso Plus-P

Oso har en varmtvannstank og varmepumpe kombinert som heter Plus-P. Denne varmtvannstanken og varmepumpen kombinert kunne vært aktuell å se videre på. Men varmepumpen i denne kombinasjonen er anbefalt å starte ved vann i varmtvannstanken på 35 °C og anbefalt å slutte på vann ved ca. 45-55 grader. Dette gir en ganske liten buffer til varmtvann. Ved bruk av smart styring vil vi helst ha en så stor buffer som mulig for å best kunne dra nytte av besparingen ved å utsette oppvarming av varmtvannet. Derfor velger jeg å se videre etter andre alternativer, da Plus-P har en liten varmtvannsbuffer i forhold til størrelsen på tanken.

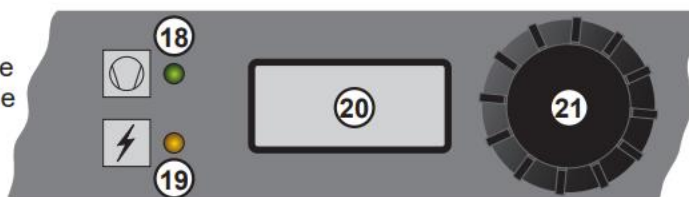
N Komponenter

1. Kompressor
2. Kontrollenhet
3. Fordamper
4. Vifte
5. Rustfri varmtvannstank
6. Varmeelement
7. Termostat
8. Føler
9. Varmtvann - utløp
10. Kaldtvann - inntak
11. Alu kondenseringsenhet
12. Skumisolasjon
13. Luft utløp (topp)
14. Luft inntak
15. Luft utløp (høyre/venstre side, valgfri)
16. Justérbare ben
17. Overløp



Kontrollpanel

18. Drift/alarmlampe varmepumpe
19. Drift/alarmlampe tilleggsvarme
20. Kontrollpanel (display)
21. Innstillingshjul - trykk/rotér



Figur 9: Snitt av Oso Plus-P

Kilde: (Oso Hotwater, 2023)

Arbeidsmedier

Under har jeg hentet et utvalg av varmepumper med forskjellige arbeidsmedium fra Høiax sin søsterbedrift ABK-Qviller. ABK-Qviller leverer luft-vann og væske-vann varmepumper som kan brukes til å varme opp tappevann.

Tabell 9: Varmepumpe modeller og spesifikasjoner.

Modell	Type VP	Arbeidsmedium	Tur temp °C	Retur temp °C	Min temp utedel °C
S2125	Luft-vann	R290 (propan)	(max) 75	65	-25
F2050	Luft-vann	R32	58	55	-20
S1255	Væske-vann	R407C	65	58	NA
F2120	Luft-vann	R410A	65	55	-25

Kilde: (ABK Quiller, 2023)

Av disse varmepumpene er det Nibe S2125 med propan som arbeidsmedium som skiller seg ut. Denne har høy tur temperatur, relativt høy retur temperatur og fungerer helt ned til -25 grader. Ved -25 °C gir denne varmepumpen 65 °C tur temperatur.

Det vil si at ved -25 °C kan man få nesten opp til 65 °C i tanken med en coil som varmeveksler.

En problemstilling her er at propan er brennbart, giftig og lukter ikke. Det er derfor lurt å ikke ha delene med propan i rom der folk oppholder seg. Heldigvis har de løst det med at propan bare er i utedelen. I utedelen har den en varmeveksler mellom propan og væske, slik at bare væske sirkulerer inn i huset og vi slipper å ha propan inne i huset.

S1255 kan også være aktuell. Denne er en kombinasjon av varmtvannstank og væske-vann varmepumpe med smartstyring som skrur på varmepumpe når strømmen er billigst. Denne har turtemperatur på 65 °C og kan fungere med returtemperatur på opp til 58 grader. Den bruker R407C som arbeidsmedie.

Denne kunne vært aktuell om den var luft-vann varmepumpe. Væske-vann varmepumper som ofte borres med dype hull ned i bakken er som regel mye dyrere en luft-vann varmepumper. Væske-vann varmepumper er som regel mest økonomisk fornuftig å kombinere med vannbåren varme. Dette blir et mye større, mer komplekst og dyrere system enn vi ønsker å ta for oss i denne oppgaven. Vi velger derfor å se bort fra denne typen varmepumpe og fokuserer heller på luft-vann varmepumper.

En smart varmtvannstank holder som regel mellom 40-70 °C (S. Overaa, quality & welding manager, product manager – commercial & marine hos Oso, personlig kommunikasjon, 22.05.2023, mail)

Om vi vil beholde vanlig driftstemperatur i varmtvannstanken mens vi bruker varmpumpe må vi velge en varmpumpe som kan varme opp vann mellom 40 og 70 grader.

I en enebolig er det ikke kontinuerlig bruk av varmtvann. Det brukes litt, så går det perioder uten bruk også brukes det mer. Temperaturen i varmtvannstanken vil være variabel, men vil som regel holde seg mellom 40 og 70 grader. For at varmpumpen skal kunne varme opp vannet når tanken er nesten varm og halv-varm og ikke bare når den er kald bør det velges et arbeidsmedie som tåler høy retur temperatur.

For å ha en god buffermengde med varmtvann til smartstyring er det lurt å ha en stor tank og høy temperatur. I forhold til energieffektivitet både ved varmetap fra tanken og for å få høy COP fra varmpumpen ønsker vi å ha en så lav temperatur som mulig.

En vanlig varmtvannstank kan innstilles til å holde temperaturer på 70-90 grader.

Oso Plus-P er anbefalt å drifte med max temperatur på 45-55 grader.

Dette blir et litt lite temperaturspenn da vanlig dusj temperatur ligger på opptil 40 °C og vi vil ha en så stor buffer som mulig til smart styring.

Vi ønsker å få en balanse mellom å ha høy nok temperatur til å få en stor buffer, og lav nok temperatur til å unngå mye varmetap fra tanken og for å få en høy COP fra varmpumpen. Derfor velger vi å holde en temperatur på ca. 60-70 °C i varmtvannstanken.

Med en temperatur på 60-70 °C er det best egnede arbeidsmediet til varmpumpen propan.

Jeg velger derfor å se videre på propan som arbeidsmedium i denne oppgaven.

Varmepumpe S2125 har en variant som heter 8 og en som heter 12. 12 er den største varianten og har høyest SCOP. Jeg velger å se videre på S2125-12.

SCOP til propan varmpumpen S2125-12 ved 55 °C ut av pumpen (varmtvann) og kaldt klima (Helsinki sonen) er oppgitt fra fabrikant å være 3.4.

SCOP er årsvarmefaktor som betyr at det er den COP vi vil få i gjennomsnitt i løpet av et helt år med drift.

55 °C drift temperatur betyr at den jobber med temperaturer opp til 55 °C på varmtvannet. I gjennomsnitt i løpet av året skal du da kunne få en COP på 3.4 om varmepumpen er satt til å varme opp vannet til 55 °C. I praksis er det vanskelig å oppnå så høy COP i virkeligheten.

Kaldt klima refererer til klimaet i Helsinki sonen. Dette vil si temperaturene året rundt i Helsinki. Kald klimasone tilsvarer en årsmiddeltemperatur på 5.3 °C. (T. L. Marthinsen, 2023, Klimasoner avsnitt 3)

Under har jeg regnet ut COP for varmepumpe med propan ved forskjellige temperaturer. Jeg hadde dessverre ikke tid til å regne ut COP manuelt for hånd, derfor er utregninger gjort med coolpack. Alle verdier er satt til standard verdier. Temperatur i fordamper er satt til 7 °C under ambient temperatur og temperatur i kondensator er satt til 7 °C over tur temperatur på varmtvann.

COP ved 55 °C og 5.3 °C ambient = 62 °C kondensator og -2.3 °C fordamper.

COP = 1.89

COP ved 65 °C og 5.3 °C ambient = 72 °C kondensator og -2.3 °C fordamper.

COP = 1.44

COP ved 55 °C og -5 °C ambient = 62 °C kondensator og -12 °C fordamper.

COP = 1.49

COP ved 65 °C og -5 °C ambient = 72 °C kondensator og -12 °C fordamper.

COP = 1,1

Som vi ser så blir COP veldig lav ved 65 °C tappevann og 5.3 °C ambient temperatur. Ved 65 °C tappevann og -5 °C ambient temperatur er COP nesten 1. Det vil si at vi får så lite ekstra varme ut av systemet at det ikke er noe særlig vits i å kjøre det. Systemet trenger ikke å være dimensjonert for de kaldeste dagene, men -5 er vanlig temperatur på vinteren i Trondheim så systemet burde kunne operere opp til fastsatt temperatur ved denne ute temperaturen.

65 °C tappevanstemperatur er dermed ikke helt effektivt med propan varmepumpe ut ifra mine beregninger. Leverandøren sier at varmepumpen kan levere 75 °C tur temperatur max, og 70 °C tur ved -5 °C. Hvis vi beregner COP for propan varmepumpe med 70 °C tur og -5 ambient så får vi en COP på 0.98. Dette med ± 7 °C for fordamper og kondensator. Hvis vi skal være litt snillere

og bruke ± 5 °C for fordampere og kondensator får vi en COP på 1.1. Dette er fortsatt svært lavt, og jeg vil si at det ikke lønner seg å kjøre varmepumpen ved denne temperaturen.

Ut ifra disse tallene må vi kanskje revidere temperatur på 60-70 °C. Det er mer effektivt for varmepumpen å jobbe på en lavere temperatur, men vi ønsker fortsatt ha en høy nok temperatur for å få en vis buffer i varmvannstanken som smart styringen kan jobbe med. Ved å gå ned fra 70 °C til 55 °C senker vi bufferstørrelsen signifikant. For å ha en større buffer hadde det kanskje vært bedre med en temperatur på for eksempel 60 grader. Da minsker vi bufferstørrelsen litt mindre.

Dette kan være noe å se på videre. Hvilken temperatur er mest lønnsomt for smart styring i kombinasjon med varmepumpe?

For å komme videre med oppgaven og kunne regne ut noen eksempler bruker jeg 55 °C og en SCOP på 3.4 (SCOP fra Nibe S2125-12). Det er vanskelig å oppnå SCOP oppgitt fra fabrikant, derfor legger vi inn en margin på 20% og SCOP for varmepumpen blir da 2.72.

Max effekten på varmepumpen ved 55 °C varmtvann og kaldt klima, 5.3 °C setter jeg til 7 kW og minimumseffekten til 2 kW. Dette for å simulere en varmepumpe som er dimensjonert for et boligbygg. Jeg skulle gjerne brukt tallet for hva S2125-12 kan levere ved disse temperaturene, men det ligger ikke ute på nettsiden til forhandleren, og forhandleren visste ikke selv da jeg spurte de.

Varmeveksler og temperatur sensor

I forsøket så varmeveksleren ut til å virke fint og CO₂ ut av gasskjøleren holdt som regel samme temperatur eller lavere enn varmtvann i retur fra varmvannstanken. CO₂ ut av gasskjøleren skal ikke kunne få lavere temperatur enn retur varmtvann under drift. Jeg mistenker at temperatur sensor TT03 som viser 2-2.5 °C høyere temperatur en TT02 ved samme vanntemperatur viser feil verdi. Jeg antar at den riktige verdien på varmtvannet når TT02 og TT03 har samme vanntemperatur er nærmere den verdien TT02 viser. Jeg antar da også at CO₂ etter gasskjøleren er 1-2 °C varmere en retur varmtvann fra varmvannstanken istedenfor at CO₂ er samme temperatur eller opp til 1 grad kaldere en retur varmtvannet.

(Herifra kan du gå tilbake å lese på «Utrekning av pris på forbruk av varmtvann» under metode

hvis du hoppet fra «Endring av metode»

til Resultat forsøk 1 og 2.)

Kostnader på forbruk.

Høiax har et eksempel på sin nettside for Høiax Connected som viser en dusj der du med vanlig varmtvannstank betaler 21.58 kr og med Høiax Connected betaler 15.80 kr (Høiax, 2023). Dette gir en besparelse på ca 27%. Det er bare 4% høyere enn det resultatet jeg fikk, og dette stemmer ganske godt overens. Produsenter oppgir ofte tall som er litt bedre enn det man oppnår i virkeligheten. Derfor ser jeg på det som lovende å få 4% lavere besparelse enn det en produsent oppgir.



Figur 10: Hva koster en dusj? Besparelse med smart varmtvannstank.

(Høiax, 2023)

Når det gjelder varmepumpen er jeg mer usikker. Jeg fikk en besparelse på 63%, mens Oso på sin Plus-P kombinert varmtvannsbeholder og varmepumpe oppgir en besparelse på minimum 50% (Oso Hotwater, 2023).

Dette er et minimumstall, og jeg har fått et tall som er høyere. Det kan hende at 63% er en realistisk besparelse.

Kostnader og innsparinger

Det var stor forskjell i hvor mye man sparte med smartstyring de forskjellige dagene, men i gjennomsnitt sparte man ca 23%.

Varmepumpe sparer mer en smartstyring, men varmpumpe er også en vesentlig dyrere investering og tar lenger tid å spare inn.

Varmepumpe er mer aktuelt om det kombineres med vannbåren oppvarming. Da er det nok mulig å spare vesentlig større summer.

Både for varmpumpe og for smartstyring så vil besparelsene bli større med en større familie. En familie på 5-6 vil spare mer enn en på 3-4. For enslige eller par uten barn blir besparelsene mindre. En luft-vann varmpumpe vil ikke lønne seg for enslige eller par uten å kombinere det med vannbåren oppvarming. Smartstyring, spesielt ved oppgradering av eksisterende varmtvannstank eller som valg ved kjøp av ny varmtvannstank vil kunne være lønnsomt.

For en familie på 4 eller flere, som har smart timesbasert strømmåler i huset sitt, så vil smart varmtvannstank være lønnsomt. I alle fall med de strømprisene vi har hatt de siste årene. Dette gjelder hvis du allikevel skal kjøpe ny varmtvannstank og velger en med smart styring, hvis du har kompatibel varmtvannstank for oppgradering med smart kit og hvis du trenger en helt ny varmtvannstank med smart styring.

En varmtvannstank har en anbefalt levetid på 10-20 år (Bademiljø, 2023). Det vil si at selv om det tar over 3 år å tjene inn en ny varmtvannstank med smartstyring så kan man spare penger i lengden. Det må selvfølgelig tas hensyn til monteringskostnader. Nettleie er heller ikke inkludert i beregningene. Selv med monteringskostnader inkludert bør det være mulig å spare penger i lengden, du sparer jo mer med nettleie inkludert. Her er levetid på tanken essensielt.

I tillegg til besparingene vist i utregningene over er det mulig å få støtte av Enova, både til oppgradering av varmtvannstank med smart kit og til kjøp av ny varmtvannstank med smart styring. Med støtte fra Enova blir tiden for inntjening av investeringene kortere.

Propan vs CO₂

Det viser seg ved prat med sensorer og foreleserne våre på VVS under presentasjon av bachelor oppgaven at det skal gå an å få CO₂ varmpumper til å fungere for å varme opp tappevann. De to eksemplene jeg fikk var Østmarka akuttpsykiatriske sykehus og Heimdal VGS. Begge har CO₂ varmpumper som brukes til å varme opp tappevann. Begge prosjektene brukte tid på å få systemene til å fungere. På Østmarka akuttpsykiatriske ble det brukt over 2 år på å få systemet til å fungere og det rapporteres at de som var ansvarlig for systemet ikke kan dokumentere hva det var som fikk det til å fungere til slutt. Viktig å nevne at på Østmarka brukte de en diffusor inne i varmtvannstanken for å unngå at vannet inni tanken blandet seg og for å få et varmtvanns sjikt i toppen av tanken.

CO₂ varmpumper kan ikke brukes der returtemperaturen blir for høy (i vårt tilfelle 50 °C). Det vil si at de egner seg best der det er kontinuerlig forbruk av varmtvann slik at det alltid vil kunne

være lav temperatur på returvann inn til varmepumpen. Slik som i næringsbygg og store boligkomplekser med felles varmtvann. I en enebolig vil det nok være mer hensiktsmessig med et arbeidsmedium som tåler høyere returtemperaturer og som kan jobbe med høyere temperatur på returvannet.

Konklusjon

Det går an å spare penger både med smart styring av varmtvannstank og ved bruk av luft-vann varmepumpe. Det går også an å kombinere smart styring og varmepumpe for en større besparelse.

Besparelsene er større med varmepumpe (63%) i forhold til smartstyring (23%), men varmepumpe er også den dyreste investeringen og lønner seg best i kombinasjon med gulvvarme. Besparelsene med smartstyring er betydelige og i kombinasjon med en relativt lav investeringskostnad kan det være en god investering for familier som bruker normalt eller mye varmtvann.

Besparelsene ved bruk av smartstyring og varmepumpe kombinert er store (72%) og gjør at tiden for innsparing av investeringen går ned i forhold til bare varmepumpe alene.

Forslag til videre arbeid

Det optimale for et videre forsøk hadde vært å ha en varmtvannstank med varmepumpe, elektrisk varmeelement og en form for smart styring. Deretter går det an å varme opp tanken til driftstemperatur. Tappe vann som simulerer forbruk. La strøm varme opp tanken og måle hvor mye strøm som skal til for å varme opp og på hvilket tidspunkt man bruker strøm og hvor lenge varmeelementet står på.

Deretter gjør det samme med varmepumpe.

Da kan du regne ut hvor mye det kostet å varme opp varmtvannstanken på en hvilken som helst dag med både strømoppvarming og varmepumpe.

Deretter kan du kjøre en smart varmtvannstank over et antall dager med den samme simulerte lasten.

Til slutt kan du regne ut besparelsene ved å kjøre varmepumpe, smartstyring og varmepumpe og smartstyring kombinert.

Hvis man ikke har tilgang til alt dette kan man eventuelt gjøre beregninger litt mer nøyaktig ved å bruke riktig SCOP til en riktig dimensjonert varmepumpe. Og ved å bruke programmer til å regne ut priser på forskjellige dager for flere enn 10 dager for å få en større utvalgsstørrelse og dermed et mer pålitelig resultat.

Videre går det an å se på hvilken temperatur i varmtvannstanken som er mest lønnsom med smartstyring kombinert med varmepumpe. Varmepumpen er mest effektiv ved lav temperatur, mens smartstyringen jobber best med en stor buffer og dermed høyere temperatur med mindre vi skal ha en overdimensjonert varmtvannstank.

For å få et riktigere resultat kan man inkludere nettleie i beregninger for hvor mye det koster å drifte varmtvannstanken.

Det blir også best om man inkluderer monteringskostnader og nettleie når man regner ut tid til innsparing av investeringer.

Kilder

ABK Quiller (2023) *F2050 monoblokk, luft-vann varmpumpe*. Tilgjengelig fra:

<https://www.abkquiller.no/produkter/varmpumper-og-tilbehor/luft-vann-varmpumper/luft-vann-varmpumper-til-bolig/f2050-monoblokk-luft-vann-varmpumpe/?code=521274> (Hentet: 08.06.2023)

ABK Quiller (2023) *Luft-vann varmpumpe monoblokk Nibe F2120*. Tilgjengelig fra:

<https://www.abkquiller.no/produkter/varmpumper-og-tilbehor/luft-vann-varmpumper/luft-vann-varmpumper-til-bolig/luft-vann-varmpumpe-monoblokk-nibe-f2120/?code=523290> (Hentet: 08.06.2023)

ABK Quiller (2023) *Luft-vann varmpumpe monoblokk Nibe S2125*. Tilgjengelig fra:

<https://www.abkquiller.no/produkter/varmpumper-og-tilbehor/luft-vann-varmpumper/luft-vann-varmpumper-til-bolig/luft-vann-varmpumpe-monoblokk-nibe-s2125/?code=521270> (Hentet: 08.06.2023)

ABK Quiller (2023) *Nibe S1255 inverter*. Tilgjengelig fra:

<https://www.abkquiller.no/produkter/varmpumper-og-tilbehor/vaske-vann-varmpumper/vaske-vann-varmpumper-til-bolig/nibe-s1255-inverter-vaske-vann-varmpumpe/?code=523995> (Hentet: 08.06.2023)

Bademiljø (2023) *5 GRUNNER TIL Å BYTTE VARMTVANNBEREDER*. Tilgjengelig fra:

<https://www.bademiljo.no/pusse-opp-badet/nyttige-artikler/varme-og-energi/bytte-varmtvannsbereder/> (Hentet: 08.06.2023)

Engineering ToolBox (2004). *Water - Specific Heat vs. Temperature*. Tilgjengelig fra:

https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-water-d_660.html (Hentet: 05.05.2023)

Fuentes, E., Arce, L. og Salom, J. (2017) *A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis*. (). Barcelona Spain:

Catalonia Institute for Energy Research. Tilgjengelig fra:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117308614?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=7cff79fafa61b505 (Hentet: 08.06.2023)

Hansen, N. H. (2023) *Er vannet i springen kaldere om vinteren?* Tilgjengelig fra: <https://illvit.no/teknologi/er-vannet-i-springen-kaldere-om-vinteren> (Hentet: 12.05.2023)

Huseiernes Landsforbund (2015) *Hvor mye varmtvann bruker vi?* Tilgjengelig fra: <https://www.huseierne.no/hus-bolig/tema/bad2/hvor-mye-varmtvann-bruker-vi/> (Hentet: 31.05.2023)

Høiax (2023) *Høiax CONNECTED - smart varmtvannsbereder med skyløsning.* Tilgjengelig fra: <https://www.hoiax.no/om-hoiax/articles/smart-varmtvannsbereder-med-skylosning-hoiax-connected> (Hentet: 27.04.2023)

Høiax (2023) *Høiax connected en smart investering.* Tilgjengelig fra: <https://www.hoiax.no/produkter/varmtvannsberedere/smartberedere/hoiax-connected> (Hentet: 04.06.2023)

Martinsen, T. L. (03.04.2023) *Hva er SCOP og COP? (Varmepumpe energimerking).* Tilgjengelig fra: <https://tjenestetorget.no/blogg/cop-scop-enkelt-forklart> (Hentet: 30.05.2023)

Ohio university (2023) *P-h diagram for Carbon Dioxide Refrigerant [R744].* Tilgjengelig fra: https://www.ohio.edu/mechanical/thermo/property_tables/CO2/ph_CO2.html (Hentet: 07.06.2023)

Oso Hotwater (2023) *Delta Geocoil – DGC.* Tilgjengelig fra: <https://osohotwater.no/wp-content/uploads/2023/01/11002281-146050-04-Manual-Delta-Geocoil-DGC-NO.pdf> (Hentet: 08.06.2023)

Oso Hotwater (2023) *Oso Plus - P 250.* Tilgjengelig fra: <https://osohotwater.no/wp-content/uploads/2021/09/145031-02-Manual-Plus-P-NO.pdf> (Hentet: 08.06.2023)

Oso Hotwater (2023) *Plus-P.* Tilgjengelig fra: <https://osohotwater.no/product/tappevannsvarmepumpe-plus/> (Hentet: 08.06.2023)

TempeVVS (2023) *Høiax Connected 200.* Tilgjengelig fra: <https://www.tempevvs.no/varme-og-inneklima/varmtvannsbereder/hoiax-connected-200-varmtvannsbereder> (Hentet: 08.06.2023)

TempeVVS (2023) *Høiax Connected 200/250l.* Tilgjengelig fra: <https://www.tempevvs.no/varme-og-inneklima/varmtvannsbereder/hoiax-connected-200250-retrofit-m2kw-element-ombygging-sett> (Hentet: 08.06.2023)

TempeVVS (2023) *Høiax Connected 300*. Tilgjengelig fra: <https://www.tempevvs.no/varme-og-inneklima/varmtvannsbereder/hoiax-connected-300-varmtvannsbereder> (Hentet: 08.06.2023)

TempeVVS (2023) *Høiax Titanium Eco 200l*. Tilgjengelig fra: <https://www.tempevvs.no/varme-og-inneklima/varmtvannstanker/hoiax-titanium-eco-200> (Hentet: 08.06.2023)

TempeVVS (2023) *Høiax Titanium Eco 300l*. Tilgjengelig fra: <https://www.tempevvs.no/varme-og-inneklima/varmtvannstanker/hoiax-titanium-eco-300> (Hentet: 08.06.2023)

TempeVVS (2023) *Oso Saga S200 + Charge R2*. Tilgjengelig fra: <https://www.tempevvs.no/varme-og-inneklima/varmtvannsbereder/oso-saga-s200-pakke-inkl-charge-r2-smart-varmtvannsbereder> (Hentet: 08.06.2023)

TempeVVS (2023) *Oso saga S200*. Tilgjengelig fra: <https://www.tempevvs.no/varme-og-inneklima/varmtvannstanker/oso-saga-s-200-2-kw-varmtvannsbereder> (Hentet: 08.06.2023)

TempeVVS (2023) *Oso Saga S300*. Tilgjengelig fra: <https://www.tempevvs.no/varme-og-inneklima/varmtvannstanker/oso-saga-s300-3-kw-varmtvannsbereder> (Hentet: 08.06.2023)

VVSkupp (2023) *Høiax Connected 300l*. Tilgjengelig fra: <https://www.vvskupp.no/h%c3%b8iax/8025043/h%c3%b8iax-connected-300-retrofit-kit-uten-varmeelement-3000-w> (Hentet: 08.06.2023)

VVSkupp (2023) *Oso Charge R2 200l*. Tilgjengelig fra: <https://www.vvskupp.no/oso-hotwater/8004022-200/oso-charge-r2-200l-ettermontering-kit-16a-1x230v-styring-og-sensor> (Hentet: 08.06.2023)

VVSkupp (2023) *Oso Charge R2 300l*. Tilgjengelig fra: <https://www.vvskupp.no/oso-hotwater/8004022-300/oso-charge-r2-300l-ettermontering-kit-16a-1x230v-styring-og-sensor> (Hentet: 08.06.2023)

VVSkupp (2023) *Oso Saga S300 + Charge R2*. Tilgjengelig fra: <https://www.vvskupp.no/oso-hotwater/8000556-8004022/oso-saga-bereder-s300-pakke-med-charge-r2-%c3%b8580x1710-mm-300-liter> (Hentet: 08.06.2023)

