



Noregs miljø- og
biovitenskaplege
universitet

Masteroppgåve 2021 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Energieffektivitet for fjernvarme som nyttar sjøvatn og varmepumper

Casestudie: Fjordvarmeanlegg på Nordfjordeid

Ragnhild S. Bjørkedal

Fornybar Energi

Forord

Dette er punktum på tre fantastiske år med bachelorutdanning i Sogndal og no to år med masterutdanning på Ås. Til tross for utfordrande og kjedelege tilhøve under pandemien har det vore kjekke år, og no er eg klar for å ta fatt på arbeidslivet.

Arbeidet med masteren har vore kjekt, men utfordrande. Eg har prøvd å knytte saman all kunnskapen eg har teke til meg gjennom åra. Særleg interessant har det vore å ha sett seg inn i noko nytt, og fått vore med på heile prosessen, frå starten av, i eitt prosjekt som dette. Det er spennande å få vere med på ein slik prosess, og sjå resultatet av noko eg sjølv har produsert. Eg har fått høve til å setje saman mykje av det eg har lært, arbeidet har vore overveldande, omfattande, tidkrevjande, lærerikt og engasjerande.

Arbeidet byrja for alvor i januar 2021, då startskotet for masteren gjekk. Prosjektet har utvikla seg utover våren, saman med rettleiaren min Thomas Martinsen, Førsteamanuensis ved Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning ved Norges miljø- og biovitenskaplige universitet, NMBU.

Ynskjer å takke rettleiaren min, Thomas Martinsen for all hjelp og støtte undervegs i arbeidet. Rettar og ei stor takk til Fjordvarme AS lokalisert på Nordfjordeid, Stad kommune, og særleg Henrik Tryggestad Koi. Vil og takke Henrik Åbrekk, ved Eid vidaregåande skule, som gav meg høve til å komme og sjå anlegget deira og høyre kva erfaringar dei har gjort, og tolmodig gav meg høve til å spørja om alt mogleg.

Vil og rette ein stor takk til familien og venner, som har vore gode støttespelarar i denne tida. Eg har valt å bu heime under skrivinga grunna pandemien, og rettar derfor ein ekstra stor takk til mamma og pappa som måtte halde ut med meg i denne perioden.

Stad: Bjørkedal, Volda

Dato: 01.06.2021



Ragnhild S. Bjørkedal

Samandrag

Fjordvarmeanlegget på Nordfjordeid, Stad kommune i Vestland, har vore i drift sidan 2004. Anlegget forsyner 183 einingar, alt frå ein bustadar, kontor, skular, privat næring og andre offentlege bygg, med varme eller kjøling.

Anlegget består av eit omfangsrikt røyrrnett med inntak 50 meter ute i fjorden og rundt 10 km med røyr som strekker seg frå fjorden, til brukarane i og rundt Eid sentrum. Sjøvatn med ein temperatur på mellom 9,2 C° og 12,4 C° blir pumpa inn til vekslarhusa. Der blir energien, varmen i vatnet, overført til ein ferskvasskrins ved hjelp av ein varmevekslar. Vatn med ein temperatur på mellom 7,8 C° til 11,9 C° blir pumpa frå vekslarhusa ut til dei ulike brukarane som er kopla på. Kvar brukar har sin eigen varmevekslar og ei varmpumpe som er nytta til oppvarming, enten for rom, tappevatn eller begge. Totalt er 63 varmpumper knytt til anlegget.

Faktorar og komponentar som påverkar energieffektiviteten til anlegget er kartlagt og estimert. Her er det snakk om varme, elektrisitetsbruk og ulike tap, enten i form av varme eller elektrisitet. Energieffektiviteten for heile systemet er estimert, og ei sensitivitetsanalyse er gjennomført, for å sjå kva faktorar energieffektiviteten er mest følsam for. I tillegg er den spesifikke energien estimert, kor mange kilowatt med elektrisitet som må til for å produsere ein kilowattime med varme frå varmpumpa. Det er og gjennomført ei sensitivitetsanalyse for å finne faktorar den spesifikke energien er følsam for.

Varmpumpene er den komponenten som kan gje størst positiv effekt på energieffektiviteten til systemet og den spesifikke energien, og er ein nøkkel komponent i systemet. Både elektrisitetsbruken og varmen produsert er viktig, men endå viktigare er ytingskoeffisienten, COP.

Abstract

A fjord heating and cooling system at Nordfjordeid, Stad in Vestland has been operating since 2004. The system delivers heating and cooling to 183 units, which includes for instance households, schools, apartments, offices, and industry buildings.

The system consists of a wide pipe network of approximately 10 km, that stretches from the fjord to the users in and around downtown Eid. Seawater at a temperature between 9,4 C° and 12,4 C° is pumped from 50 meters depth out in the fjord to the house with the exchanger. There the energy, the heat in the water, is transferred by a heat exchanger to a loop with freshwater. Freshwater with a temperature between 7,8 C° to 11,9 C° is pumped from the house with the exchanger to the users. Each user has its own heat exchanger and a heat pump that they use for heating, either for rooms or tap water or both. A total of 63 heat pumps are connected to the system.

Factors and components that effects the systems energy efficiency is mapped and estimated. In this case it is the heat, electricity use and different losses either as heat or electricity. The energy efficiency for the whole system is estimated, and a sensitivity analysis is conducted to see which factors the energy efficiency is sensitive to. The specific energy is also estimated, how many kilowatt hours with electricity is needed to produce one kilowatt hour of heat from the heat pump. It is conducted a sensitivity analysis to find the factors that the specific energy is sensitive to.

The heat pumps are the component that can give the biggest positive effect on the energy efficiency for the system and the specific energy, and it is a key component in the system. Both the electricity use and the heat produced is important, but even more important is the coefficient of performance, COP.

Innholdsfortegnelse

1. Introduksjon	9
2. Bakgrunn	11
2.1 Varmepumpe	11
2.2 Varmevekslar	11
3. Litteraturstudie	12
4. Metode.....	15
4.1 Kartlegging av system.....	15
4.2 Energieffektiviteten	15
4.2.2 Varmevekslar	17
4.2.3 Pumper	17
4.3 Energi henta ut av væske.....	18
4.4 Spesifikk energi.....	18
4.5 Sensitivitetsanalyse	19
5. Casestudie: Nordfjardeid ved Fjordvarme AS	20
5.1 System og systemgrenser	22
5.2 Teknisk skildring av fjordvarmeanlegget.....	23
5.3 Skildring av brukarane av fjordvarmeanlegget	24
5.4 Datagrunnlag	28
6. Resultat.....	30
6.1 Kartlegging av system.....	30
6.1.1. Samtale med driftsansvarleg hjå Eid vidaregåandeskule	30
6.2 Energieffektivitet.....	30
6.3 Spesifikk energi.....	34
6.4 Sensitivitetsanalyse	34
6.4.1. Endring av COP	36
7. Diskusjon.....	38

7.1 Energieffektivisering	38
7.2 Varmepumpene og ytingskoeffisienten, COP	39
7.3 Tap i systemet.....	39
7.4 Sensitivitetsanalyse	40
7.5 Datagrunnlag og usikkerheit	41
8. Konklusjon	42
Referansar.....	43

Figurliste

Figur 1. syner prinsippet bak energieffektiviteten, sammenhengen mellom energi inn, E_{INN} , systemet og energi ut av systemet, E_{UT}	16
Figur 2. syner ei enkel oversikt over dei viktigaste komponentane i fjordvarmeanlegget på Eid.	20
Figur 3. syner fjordvarmeanlegget på Nordfjordeid, dei blå linene viser røyrnett som går ut til brukarane/einingane. V1 syner kvar det fyste vekslarhuset og V2 kvar det andre er lokalisert. ((FjordvarmeAS, u.å.)Redigert Bjørkedal).....	21
Figur 4. syner systemet med systemgrenser. Totale systemet, Fjordvarmeanlegget består av både Fjordvarme sitt system og brukaren sitt system. Skil brukarane i to ulike system, med og utan sirkulasjonspumpe.	23
Figur 5. syner ei oversikt over systemet med tekniske komponentar samt verksnadsgradar og andre symbol nytta til å kvantifisere ulike parameterar.	24
Figur 6. syner sensitivitetsanalyse for energieffektiviteten, η_{EE} for heile systemet med ein reduksjon på -50% , inga endring 0% og ein auke på +50% for kvart ledd som inngår i likning (13).	35
Figur 7. syner sensitivitetsanalysen for energieffektivitet, η_{EE} for heile systemet utan elektrisitetsbruken, E_{VP} til varmpumpa og varme, Q_{VP} produsert av varmpumpa, med ein reduksjon, -50% , inga endring, 0% og ein auke, +50% for dei resterande ledda i likning (13).	35
Figur 8. syner sensitivitetsanalyse for den spesifikke energien for 2020 for heile året med utak av sumaren, månadane juni, juli og august.	36
Figur 9. syner energieffektiviteten for kvar måned i året med unntak av juni, juli og august og korleis den endrar seg ved ulike COP for varmpumpa.	37
Figur 10. syner den spesifikke energien for kvar måned i året med unntak av juni, juli og august og korleis ulike COP for varmpumpa påverkar den.....	37

Tabelliste

Tabell 1. syner informasjon for alle bygg av typen hushald. Viser om einingane er kopla på for varme og/eller kjøling og arealet. Om dei har sirkulasjonspumpe, der 1 er pumpe og 0 eller utan pumpe, og effekten. Syner og effekt varme, som er effekten til varmpumpene. Effekt for sirkulasjonspumper, SP vist i oransje er gjennomsnittleg effekt.	25
Tabell 2. syner informasjon for alle bygg av typen offentleg. Viser om einingane er kopla på for varme og/eller kjøling og arealet. Om dei har sirkulasjonspumpe, der 1 er pumpe og 0 eller utan pumpe, og effekten. Effekt for sirkulasjonspumper, SP vist i oransje er gjennomsnittleg effekt. Syner og effekt varme, som er effekten til varmpumpene. Verdier for effekt varme vist i raudt er kalkulert basert på gjennomsnittsverdi per areal for dei resterande bygga.	26
Tabell 3. syner informasjon for alle bygg av typen privat næring. Viser om einingane er kopla på for varme og/eller kjøling og arealet. Om dei har sirkulasjonspumpe, der 1 er pumpe og 0 eller utan pumpe, og effekten. Effekt for sirkulasjonspumper, SP vist i oransje er gjennomsnittleg effekt. Syner og effekt varme, som er effekten til varmpumpene. Verdier for effekt varme vist i raudt er kalkulert basert på gjennomsnittsverdi per areal for dei resterande bygga.	27
Tabell 4. syner oversikt over temperaturen i grader celsius, C° på vatnet henta inn, tur frå sjøen, sleppt ut i sjøen igjen, retur og ferskvasskrinsen på veg ut til brukarane og inn igjen frå brukarane.	28
Tabell 5. syner det totale elektrisitetsbruken til vekslarhusa, brukstimane til fjordvarmeanlegget, vassføring av sjøvattn og ferskvattn totalt og for kvar månad i 2020.	29
Tabell 6. syner oversikt over tap for sjøvasspumpa, $P_{sjø}$, sirkulasjonspumpa, P_{sirk} , i vekslarhusa, sirkulasjonspumper, P_b , hjå brukarane og elektrisitetsbruken, El_{P_b} til sirkulasjonspumpene hjå brukarane.	30
Tabell 7. syner tap frå varmevekslarane VK i vekslarhusa og varmevekslarane hjå brukarane (VKb) og det totale tapet (dei lagt saman).	31
Tabell 8. syner elektrisitetsbruk, El_{VP} og varmen, Q_{VP} produsert av varmpumpene i kilowattimar for COP lik 3, 3,5, 4, 4,5 og 5.	32
Tabell 9. syner verdiane for likning (2), som består av likning (3) og (4), og gir energieffektiviteten for kvar månad i 2020.	33
Tabell 10. syner spesifikk energi for ulike COP-verdi for varmpumpe.	34

1. Introduksjon

Noreg sine kalde vintrar gjer at det alltid vil vere eit stort behov for varme, og om sumaren vil det vere eit behov for kjøling i bygg for å skape eit godt inn klima. Det meste av oppvarming for hushald i dag er ved hjelp av elektrisitet, og i noko grad ved forbrenning av ved eller ein kombinasjon av dei (Snl.no, 2018). Om lag halvparten av einebustadar i Noreg hadde i 2015 varmepumper. NVE har berekna at i 2015 leverte varmepumper 15 TWh varme til bygningsmassen, brukte 6,5 TWh elektrisitet og henta om lag 8,5 TWh varme frå omgjevnadane (Ericson et al., 2016). Varmepumper har gjort bruken av elektrisitet til oppvarming meir energieffektivt (NVE, 2020a).

Energieffektivisering er ein faktor som skildrar kor mykje av energien ein får ut, samanlikna med energien ein tilfører. Den bereknast ved å dele mengda energi ein får ut på mengda energi som er tilført. Faktoren vil avhenge av utforminga og driftsforhold, slik som temperatur, høgdemeter og oppførselen til brukarane. (Bolk & Nieuwlaar, 2017). Gjennom EØS-avtalen er Noreg forplikta til å følgje EU sitt klimaregelverk og avtale om felles utsleppsmål for 2030, som mellom anna inneheld eit betydeleg mål om energieffektivisering (Regjeringen.no, 2020). Energieffektivisering er også viktig for å nå målet om energisparing, ein stor del av målet om energisparing kjem direkte av energieffektivisering (Commission, 2019). EU har fokus på energieffektivisering som bidreg til senke energibehovet, spesielt for byggsektoren som bidreg til store utslepp av drivhusgassar (Norway, 2021). Regjeringa vil få ned oppvarmingsbehovet til byggemassen gjennom nye bygningsreglar med strenge energikrav (NVE, 2020a). Strengare energikrav og energimerking fører til at elektriske apparat vert meir og meir energieffektive (NVE, 2020a), dette gjeld for alle elektriske apparat både dei nytta til oppvarming og dei nytta til å dekkje andre behov, som til dømes belysning.

I 2018 var om lag 73 TWh nytta til oppvarming og kjøling for hushald, tenesteytande næring og industri. Det meste av energien nytta var elektrisitet, om lag 67%, deretter biobrensel, fjernvarme og oljeprodukt. Fjernvarme er i større grad nytta av tenesteytande næring enn hushald og industri (NVE, 2020b). Nettoproduksjon av fjernvarme var på 6,6 TWh i 2020 (Fjernvarme, u.å.-b) jamfør Norsk fjernvarme, ein næringsorganisasjon for fjernvarmebedrifter i Noreg (Fjernvarme, u.å.-c). Av dette utgjer omgjevnadsvarme omlag 10% , 695 GWh. Omgjevnadsvarme er nytta som eit samleomgrep for fjernvarme henta frå

energikjeldene avløpsvarme, bygningsvarme, elvevatn, grunnvarme, industrivarmer, luft, sjøvatn, solfangarar, spillvarme frå kjøleproduksjon, uspesifisert frå varmepumper og varmepumpe el (Fjernvarme, u.å.-b). Sjøvatn utgjer 21% ,143 GWh av den totale omgjevnadsvarmen, men utgjer ein svært liten del berre 2,17% av nettoproduksjonen av fjernvarmen(Fjernvarme, u.å.-a). Noreg har ei lang kystlinje og mange større og mindre tettstadar nær kysten, dette gir eit enormt potensiale for fjernvarme som nyttar sjøvatn. Potensialet er kalkulert til 13,2 TWh varme som årleg kan hentast frå sjøvatn til oppvarming, dette potensialet blir endå større om det etablerast fjernvarmesystem med varmepumpeanlegg (Smebye et al., 2011).

Det er eit stort fokus på å redusere utslepp av drivhusgassar og energieffektivisering, her kan energieffektive løysingar for oppvarming vere viktige bidragsytarar. Fjernvarme som nyttar sjøvatn og varmepumper er ei løysing for oppvarming og kjøling som har eit stort potensiale. Sjøvatn er ein lett tilgjengeleg ressurs, og behovet for spesielt varme, men også for kjøling vil vere betydeleg i Noreg i lang tid framover.

Kva påverkar, og korleis er energieffektiviteten til eit fjernvarmeanlegg som nyttar sjøvatn og varmepumper til oppvarming og kjøling.

- Kva er dei kritiske faktorane som må optimaliserast for at systemet skal bli så energieffektivt som mogleg?
- Kva er energieffektiviteten til systemet i dag? Kan den aukast og korleis er det mogleg å auke den?

2. Bakgrunn

2.1 Varmepumpe

Ei varmpumpe produserer varme ved hjelp av eitt medium og elektriske energi. Det er fleire ulike typar varmpumper, den mest vanlege i norske hushald er luft til luft varmpumpe.

Denne produserer varme ved hjelp av elektrisitet og temperaturen på lufta utanfor huset til oppvarming. Mediet nytta av varmpumpa kan til dømes vere luft, bakken, ventilasjonseksos eller overflate vatn (Bolk & Nieuwlaar, 2017). Det finst også vatn til luft eller vatn til vatn varmpumper.

Effektiviteten til ei varmpumpe er vanlegvis uttrykt ved ytingskoeffisienten (coefficient of performance), ofte kalla COP, som er forholdet mellom levert varme frå varmpumpa og den elektriske energi brukt. Typisk COP for ei varmpumpe variera frå 3 til 5. (Bolk & Nieuwlaar, 2017).

$$(1) \quad COP = \frac{\textit{Levert varme}}{\textit{Elektrisitet bruk}}$$

2.2 Varmevekslar

Ein varmevekslar vert nytta for å overføre varme frå ein straum til ein annan straum, straumane kan vere ulike væsker eller gassar. Det er ulike typar med platevarmevekslar som er det mest vanlege. Ofte er den kalde og den varme straumen motstraums og då strøymer dei i ulike retningar. Energien i form av varmen som er overført er proporsjonal med varmevekslaren sitt overflate areal og temperaturskilnad mellom straumane. (Bolk & Nieuwlaar, 2017) .

3. Litteraturstudie

Det er skrive to artiklar som handlar om fjordvarmeanlegget på Nordfjordeid, Idsø (Idsø, 2013) og Idsø & Årethun (Idsø & Årethun, 2017). Artiklane omhandlar omtrent det same, men av litt ulik karakter og vinkling. Begge fokuserer på lønnsenda til prosjektet. Idsø sin artikkel er meir retta mot økonomisk teori og har ei rundare tilnærming til lønnsenda. Idsø & Årethun bereknar lønnsenda, men presenterer ikkje den økonomisk teorien like djupt som Idsø. I tillegg utfører dei eit litteraturstudie, og ser på eit anlegg lokalisert i Sogndal som har nokre likskapstrekk med anlegget på Nordfjordeid.

Rundt om i verda, og i Europa, er det mange anlegg basert på den same teknologien, både varme og kjøling frå ei kjelde ved bruk av varmepumper. Buffa et al. gjennomførte i 2019 ei SWOT-analyse for femte generasjons fjernvarme og -kjølings system, 5GDHC og ei statistisk analyse av 40 anlegg. Av dei 40 anlegga som vart undersøkte nærare er det fleire som brukar vatn som energikjelde, fire nyttar sjøvatn, to elv og tre innsjø. (Buffa et al., 2019).

Buffa et al. har kome med ein eigen definisjon for 5GDHC system grunna mangel på ein klar definisjon og på retningslinjer. Ulik bruk av omgrepet i litteraturen kan lett kan føre til misforståingar og forvirring. Kort samanfatta er 5GDHC system definert som eit system som tilfører termisk energi ved bruk av medium som vatn eller saltlake til vasskjelde varmepumper. At mediet kan ha låg temperatur, nær bakkenivå opnar for mange moglegheiter. Spesielt høvet til å kunne dekke behov for både oppvarming og kjøling gjennom same røyrnett (Buffa et al., 2019).

Zheng et al. har gjennomført fysiske målingar for tre ulike system for oppvarming, og samanlikna dei med kvarandre. To varmepumpesystem som nyttar sjøvatn med ulike løysingar for å hente ut energien frå sjøvatnet og eitt varmepumpesystem med luft som kjelde. Eit av systema som nytta sjøvatn henta ut energien ved ein vertikal strandbrønn med infiltrasjon, det andre ved ein spiralforma varmevekslar senka ned på 20 meter djup. Ytingskoeffisienten, COP, er berekna ut i frå målingar tekne gjennom ein perioden, ein kald vinter. COP for dei to sjøbaserte systema varierte frå 2,5 til 4. Det er også kalkulert varmeoverføringsraten, oppvarmingssesongyttingsfaktor og ei økonomisk analyse for dei

sjøbaserte systema for å finne ut kva system som eignar seg best i oppvarmingssesongen. Resultata indikera at systema med sjøvatn har best energieffektivitet ved låge temperaturar på sjøvatnet. Energieffektiviteten var best for systemet med strandbrønn fram for det med spiralforma varmevekslar (Zheng et al., 2015).

Shu et al. 2010 ser på to teoretisk fjernvarmesystem og samanliknar dei for å sjå om det eine systemet er meir energieffektivt enn det andre. Det eine systemet nyttar sjøvatn og varmpumper, medan det andre nyttar ein konvensjonelle fyrkjele, her med kol som brensel. Alle andre parameterar er like for begge systema. (Shu et al., 2010). Medan Shu et al. 2015 ser på energieffektiviteten og utførte feltmålingar ved eitt eksisterande fjernvarmesystem som nyttar sjøvatn lokalisert på ei øy nord i Kina (Shu et al., 2015). Shu et al. 2010 og Shu et al. 2015 einast om at varmpumpa er den eininga i fjernvarmesystemet som nyttar sjøvatn som har størst potensiale for energieffektivisering. Dette kan i følgje Shu et al. 2015 enten forbeholdt ved å endre på driftstilhøva, utforminga av systemet eller dei ibuande ytingsegenskapar. Då Shu et al. 2015 ikkje kan gjere noko med driftstilhøva har dei sett nærare på ei endring av ibuande ytingsegenskapar for varmpumpa. Potensialet for energieffektivisering er å erstatte varmpumpa med ein nyare modell. For ei nyare varmpumpe vart COP kalkulert til 3,26, basert på data frå ein produsent av ei nyare varmpumpe, med lik kapasitet som eksisterande varmpumpa. COP basert på feltmålingane var kalkulert til 2,43 for den eksisterande varmpumpe.

Shu et al. 2010 fortel korleis driftstilhøva og utforminga av systemet kan optimaliserast for å maksimere energieffektiviseringa av systemet. For å kunne nå høgare energieffektivitet for fjernvarmesystemet som nyttar sjøvatn er det naudsynt med ei nøyaktig kartlegging, planlegging og utforming av systemet og lokasjonen. Her inngår valet av lokasjon for sjøvasspumpe, ynsket er minst mogleg fallhøgde og lokasjon så nær som mogleg inntak og utlaup. Valet av lokasjon for henting av sjøvatn optimalt med størst mogleg skilnad i temperatur på vatnet ein nyttar og skallinga av røyrnett.

Zhen et al. har gjennomført ein studie med fokus på den økonomiske vurderinga av eit system under bygingsprosessen i Kina, som nyttar sjøvatn og varmpumpe, SWHP (seawater-sources

heat pump). I tillegg fortel studien litt om moglegheitene for energisparing og miljøfordelar. Samanlikna med konvensjonell fjernvarme her ein koldriven kjel eller klimaanlegg er SWHP meir energisparande (Zhen et al., 2007).

Vetterli et al. har overvaka, modellert og optimalisert distriktet «Suurstoffi» i Sveits som har som hovudmål å vere fullt forsynt med fornybar energi og ha CO₂ nøytraldrift. Distriktet har eit komplekst oppvarming og kjølesystem, sett saman av borehol, solfangarar, distribusjonsnett og varmpumper. Dei nyttar to krinsar, ein for vatn med låg temperatur og ein for vatn med høgre temperatur, dette gjer at uavhengig kan vatnet nyttast til både oppvarming og kjøling. Tilpassing av komponentane, slik som varmpumpene, sirkuleringspumpene og kontrollteknologien i systemet er viktig for å forbetre energieffektiviteten og pålitelegheita (Vetterli et al.2017).

4. Metode

Det er kartlagt og identifisert komponentar og parameterar som kan påverke energieffektiviteten til heile systemet. Utført analysar for å finne energibalansen, estimere energieffektiviteten til systemet og den spesifikke energien, kor mykje elektrisk energi som må til for å produsere ein kilowattime med termisk energi. Analysane er utført ved bruk av Excel-rekneark. Data om anlegget nytta i analysen er henta frå produsenten, Fjordvarme AS (heretter referert til som Fjordvarme). Datane er henta ved direkte kontakt med driftspersonell hjå produsenten, Fjordvarme. Alle kalkulasjonar er gjort basert på verdiar for kvar måned for året 2020, er der verdiar som manglar er det nytta gjennomsnittlege verdiar basert på tal gjevne for andre liknande verdiar.

4.1 Kartlegging av system

Det er gjennomført mange samtaler med produsenten, Fjordvarme og besøk med synfaring av fjordvarmeanlegget. I tillegg besøk og samtale med ansvarleg for oppvarming og kjøling ved Eid vidaregåande skule. Dette gav eit innblikk i anlegget frå brukarsida, erfaringar og dagleg drift av deira oppvarmingsanlegg. Kartlegginga er basert på informasjon gitt av driftspersonell for fjordvarmeanlegget. Komponentar og faktorar i systemet er kartlagt, deira påverknad av energieffektivitet i form av energibruk eller tap av energi til omgjevnadar eller i prosessar er identifisert.

4.2 Energieffektiviteten

Energieffektiviteten for heile fjordvarmeanlegget, frå inntak til varmepumpa hjå brukaren er estimert. Brukarane som nyttar fjordvarmeanlegget kan vere kopla på for kjøling eller oppvarming, eller begge deler. Ved bruk av kjøling er det antekt at det er ved prinsippet om «gratis-kjøling» og at fjorden blir nytta som ein «heat sink», ein stad å plassere varmen frå brukarane. Energieffektiviteten er kalkulert med omsyn på oppvarming.

Verdiane er kalkulert basert på informasjon om fjordvarmeanlegget og elektrisitetsforbruket til produsenten, Fjordvarme. For brukarane av systemet er verdiar for energibruk anslått basert på informasjon om varmepumpe og sirkulasjonspumper, gitt av Fjordvarme.



Figur 1. syner prinsippet bak energieffektiviteten, sammenhengen mellom energi inn, E_{INN} , systemet og energi ut av systemet, E_{UT} .

Energieffektiviteten, η_{EE} for eit system er gitt ved energien inn, E_{INN} delt på energien, E_{UT} av systemet, illustrert i Figur 1. og vist likning (2).

$$(2) \quad \eta_{EE} = \frac{E_{INN}}{E_{UT}}$$

Energien inn i systemet, E_{INN} , vist i likning (3), er gitt ved elektrisitetsbruken til anlegget sine to vekslarhus, E_{VH1} og E_{VH2} , summen av elektrisitetsbruken til varmepumpene, El_{VP} knytt til anlegget og summen av elektrisitetsbruken til sirkulasjonspumpene hjå brukarane, El_{Pb} , kalkulert ved likning (10). I tillegg inngår energien i sjøvatnet, $Q_{SJØ}$, likning (11) blir nytta til å kalkulere varmen henta ut frå sjøvatnet basert på tur- og retur- temperaturar. Om $Q_{sjø}$ blir mindre enn null (negativ) er anlegget nytta til kjøling, dette vil føre til at elektrisitetsbruken, El_{VP} og varmen produsert frå varmepumpene, Q_{VP} vil vere null i likning (4).

$$(3) \quad E_{INN} = \sum_{1+2} (E_{VH1} + E_{VH2}) + \sum_i El_{VPi} + Q_{SJØ} + \sum_i El_{Pb}$$

Energien ut, E_{UT} av systemet, vist i likning (4), er gitt ved summen av varmen, Q_{VP} , produsert av alle varmepumpene knytt til anlegget, summen av tapet frå varmevekslarane til omgjevnadane, ε_{VK} gitt ved likning (7), tapet til filter, γ_F , tapet frå røyrnett til omgjevnadane, γ_r , og summen av tap frå pumper, η_{Pi} , gitt av likning (9).

$$(4) \quad E_{UT} = \sum_i Q_{VPi} + \gamma_F + \sum_i \varepsilon_{VKi} + \gamma_r + \sum_i \eta_{Pi}$$

Sjå Figur 5. og delkapitel 5.2 Teknisk skildring av fjordvarmeanlegget for ei meir detaljert skildring av systemet.

4.2.1 Varmepumpe

Elektrisitetsbruken, El_{VP} til varmepumpene til brukarane er kalkulert frå brukstid, h for fjordvarmeanlegget og effekten, P_{VP} til varmepumpene hjå brukarane, vist i likning (5). For

dei brukarane der effekten til varmpumpa ikkje er gitt er snittet for effekten for bygningstypen nytta. Forutsett at brukarane nyttar energien frå fjordvarmeanlegget til oppvarming heile brukstida og nyttar annan oppvarmingsløyising for å dekke eventuell spisslast som kan oppstå.

$$(5) \quad El_{VP} = h \times P_{VP}$$

Varmen levert, Q_{VP} er kalkulert frå elektrisitetsbruken, El_{VP} og ytingskoeffisienten til varmpumpene, COP_{VP} , vist i likning (6). Det er vanleg med ein COP på mellom 3 og 5 for varmpumper (Bolk & Nieuwlaar, 2017), det blir her nytta ein COP på 4 for alle kalkulasjonane.

$$(6) \quad Q_{VP} = El_{VP} \times COP_{VP}$$

4.2.2 Varmevekslar

Summen av tapet frå varmevekslarane til omgjevnadane, ε_{VK} er gitt av tapet frå varmevekslaren i veksjarhus 1, ε_{VKVH1} og veksjarhus 2, ε_{VKVH2} og summen av tapet hjå veksjarane til brukarane, ε_{VKb} , sjå likning (7).

$$(7) \quad \sum_i \varepsilon_{VK} = \sum_{1+2} (\varepsilon_{VKVH1} + \varepsilon_{VKVH2}) + \sum_i \varepsilon_{VKbi}$$

Tapet frå varmevekslaren er gitt ved eit temperaturfall, det saman med vassføringa og likning (11) vil gi oss det eksakte tapet av energi i form av varme.

4.2.3 Pumper

Tapet til alle pumpene, η_{Pi} , er kalkulert basert på effekten, P_{Pi} , til pumpene, verknadsgrad til pumpa, og brukstimar, h , vist i likning (8).

$$(8) \quad \eta_{Pi} = P_{Pi} \times h \times (1 - \text{verknadsgrad})$$

Fjordvarmeanlegget består av fleire ulik pumper, sjøvasspumpe og sirkuleringspumper ved veksjarhusa og hjå brukarane, nærare skildring i delkapitel 5.2 Teknisk skildring av fjordvarmeanlegget. Summen av tap frå alle pumpene summen av tapet frå sjøvasspumpe, $\eta_{Psjø}$, sirkulasjonspumpe, η_{Psirk} , til ferskvasskrinsen og summen av tap frå sirkulasjonspumpene hjå brukarane, η_{Pb} , er vist i likning (9).

$$(9) \quad \sum_i \eta_{Pi} = \eta_{Psj\ddot{o}} + \eta_{Psirk} + \sum_i \eta_{Pbi}$$

Elektrisitetsbruken, El_{Pb} , til sirkulasjonspumpene hjå brukarane er gitt ved effekten, P_{Pb} til pumpene og brukstimane, h , vist i likning (10). For dei brukarane der effekten til sirkulasjonspumpa ikkje er gitt, er snittet for effekten nytta.

$$(10) \quad El_{Pb} = h \times P_{Pb}$$

4.3 Energi henta ut av væske

Energien, varmen, Q_i som er henta frå ei væske, her vatn er gitt ved likning (11). Som gir varmen, Q i joule, som vert gjort om til kilowattimar ved at ein kWh til svarar 3,6 megajoule. Der ΔT er temperaturskilnaden i Kelvin for væska før og etter at energien er henta ut. Massen til vatnet som er V volumet multiplisert med ρ tettleiken til vatn, ein konstant på 1000kg/m^3 og c_p spesifikke kapasiteten til vatn på 4180 J/kgK , vist i likning (11).

$$(11) \quad Q_i = V \times \rho \times c_p \times \Delta T$$

Likning (11) blir nytta til å anslå tapet frå varmevekslarane, ε_{VK} , og energien totalt henta ut av sjøvatnet og ført inn i systemet, $Q_{sj\ddot{o}}$.

4.4 Spesifikk energi

Spesifikk energi fortel kor mange einingar med elektrisitet energi, E_{el} som må nyttast for å levere ei eining varme, termisk energi, E_{th} , vist i likning (12). Altså kor mange kilowattimar med elektrisk energi, kWh_{el} for å få ut ein kilowattime med varme, kWh_{th} .

$$(12) \quad \text{Spesifikk energi} = \frac{E_{el}}{E_{th}} = \frac{[kWh_{el}]}{[kWh_{th}]}$$

Spesifikk energi for ein kWh med energi, varme hjå brukarane, er gitt ved summen av elektrisiteten brukt i systemet frå inntaket til varmen er produsert av varmpumpa delt på summen av varmen produsert av varmpumpa, vist i likning (13). Summen av elektrisiteten er gitt ved elektrisitetsbruken til vekslarhusa, El_{VH} , elektrisitetsbruken til varmpumpene, El_{VP} , gitt ved likning (5) og summen av elektrisitetsbruken til sirkulasjonspumpene, El_{Pb} , hjå brukarane, gitt ved likning (10).

$$(13) \quad \text{Tall kWh elektrisitet per 1 kWh termisk} = \frac{\sum_i El_{VH} + \sum_i El_{VP} + \sum_i El_{Pb}}{Q_{VP}}$$

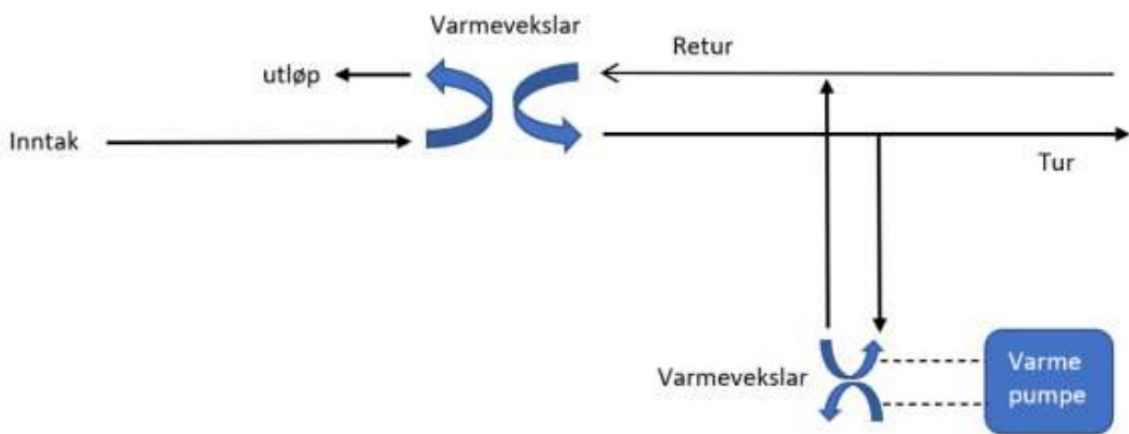
4.5 Sensitivitetsanalyse

Ei sensitivitetsanalyse vert nytta for å kartlegge kor sensitiv resultat av ei analyse er overfor endringar i føresetnadane (Bøhren & Gjørnum, 2016). Det er gjennomført sensitivitetsanalyse for både energieffektiviteten og den spesifikke energien. Sensitivitetsanalysen for energieffektiviteten gitt av likning (2), er det sett på ein 50% reduksjon og ein 50% auke for alle ledd i likning (3) og (4) som utgjer likning (2). Det same er gjort for den spesifikke energien, 50% reduksjon og 50% auke av ledda i likning (13). Endringane blir presentert i eit stjernediagram, eit stjernediagram samanfattar resultat frå dei enkeltvise endringane i ein figur. Stjernediagrammet syner den relative effekten av kvar variabel som blir endra, di brattare kurve til ein variabel di større effekt har denne variabelen. (Bøhren & Gjørnum, 2016).

I tillegg er det gjennomført ei sensitivitetsanalyse for å sjå korleis endring av COP-verdien til 3, 3,5, 4,5 og 5 for varmpumpa påverkar energieffektiviteten og den spesifikke energien, samanlikna med resultat for COP-verdi på 4.

5. Casestudie: Nordfjordeid ved Fjordvarme AS

På Nordfjordeid, Stad kommune i Vestland, har det sidan 2004 vore drifta eit fjordvarmeanlegg (FjordvarmeAS, u.å.). Det nyttar sjøvatn til både oppvarming og kjøling for bygg i tettstaden, ved hjelp av vekslarhus med varmevekslarar, eit omfangsrikt røyrikk og varmepumper hjå brukarane. Figur 2 syner ei enkel oversikt av systemet. Sidan oppstarten har Fjordvarme vore ansvarlege for drifta av anlegget, og i hovudsak er brukarane sjølv ansvarleg for drift av varmepumpene.



Figur 2. syner ei enkel oversikt over dei viktigaste komponentane i fjordvarmeanlegget på Eid.

Anlegget har ein installert effekt på 4000 kW og ein årleg produksjon på 9 400 000 kWh (FjordvarmeAS, u.å.). Sjøvatn blir henta 50 meter ute i fjorden, og følgjer ein krins inn til vekslarhusa der sjøvatnet blir filtrert, før energien i sjøvatnet blir overført til ein krins med ferskvatn ved varmevekslar. Dette er ein prosess som gir eit tap i form av eit lite temperaturfall. På land vert vatnet pumpa frå vekslarhusa og vidare ut til brukarane. Mellom fjordvarmeanlegget og brukaren er det ei indirekte forbindelse ved at ferskvasskrinsen fraktar vatnet frå vekslarhusa til brukaren der det går gjennom ein varmevekslar, sjå Figur 2. Dette er eitt driftsbeskyttande tiltak for å ha eit klart skilje mellom fjordvarme sitt anlegg og anlegget hjå brukarane. Varmevekslaren hjå brukaren overfører energien frå ferskvasskrinsen til systemet i bygget, før vatnet går vidare til varmepumpa. Brukarane kan hente ut varmen eller kjølinga frå røyrikket ved vatn til vatn eller vatn til luft varmepumper. Dei er sjølv ansvarlege for drifta av si varmepumpe, om ikkje eksterne ressursar er henta inn. I tillegg til å forsyne brukarar med varmepumper har fjordvarmeanlegget ein eigen krins som pumpar sjøvatn opp til kunstgrasbana ved ungdomskulen. Dette for å halde den frostfri om vinteren, krinsen har inntak ved vekslarhuset frå 2004 og utløp i Presteelva.

I dag er 82 bygningar med totalt 63 varmpumper kopla på anlegget, nokre bygningar delar varmpumpe. Totalt er det 129 einingar tilknytt anlegget, dette består av einebustadar, leilegheiter, kommunale bygg og næringsbygningar. Kommunen er sterkt inne og har kopla på mange av sine bygg.

Fjordvarmeanlegget har ein ferskvasskrinsen som er om lag 10 km lang, for den nordre delen er totalt indre volum av røyra 194 m^3 og for den sørlege delen 290 m^3 . Krinsen strekker seg frå vekslarhusa ved fjorden sørover gjennom Nordfjordeid sentrum og til industriområde i Øyane. Vidare går det og nordover opp mot Eid vidaregåandeskule og Nordfjord sjukehus, opp på Golvsengane og vidare innover mot Stokkenes, vist i Figur 3. Det fyrste vekslarhuset vart bygd samstundes med anlegget og stod ferdig i 2004, og har ein installert effekt for oppvarming på 1728 kW og 1253 kW for kjøling. Det ligg ved utløpet av Presteelva i enden av Sjøgata, vist med V1 på Figur 3. I 2017 stod vekslarhuset ved Sagastad ferdig og har ein installert effekt for oppvarming på 1187 kW og 1264 kW for kjøling, vist ved V2 på Figur 3. I høve drifta er det mogleg å drive vekslarhusa saman, eller avskilt alt etter kva som er behovet til brukarane og mest driftseffektivt. I dag vert det i all hovudsak drifta som to delte krinsar der skiljet går i strandgata mellom vekslarhusa, krins sør går sørover og krins nord går nordover.



Figur 3. syner fjordvarmeanlegget på Nordfjordeid, dei blå linene viser røyrnettet som går ut til brukarane/einingane. V1 syner kvar det fyste vekslarhuset og V2 kvar det andre er lokalisert. ((FjordvarmeAS, u.å.)Redigert Bjørkedal)

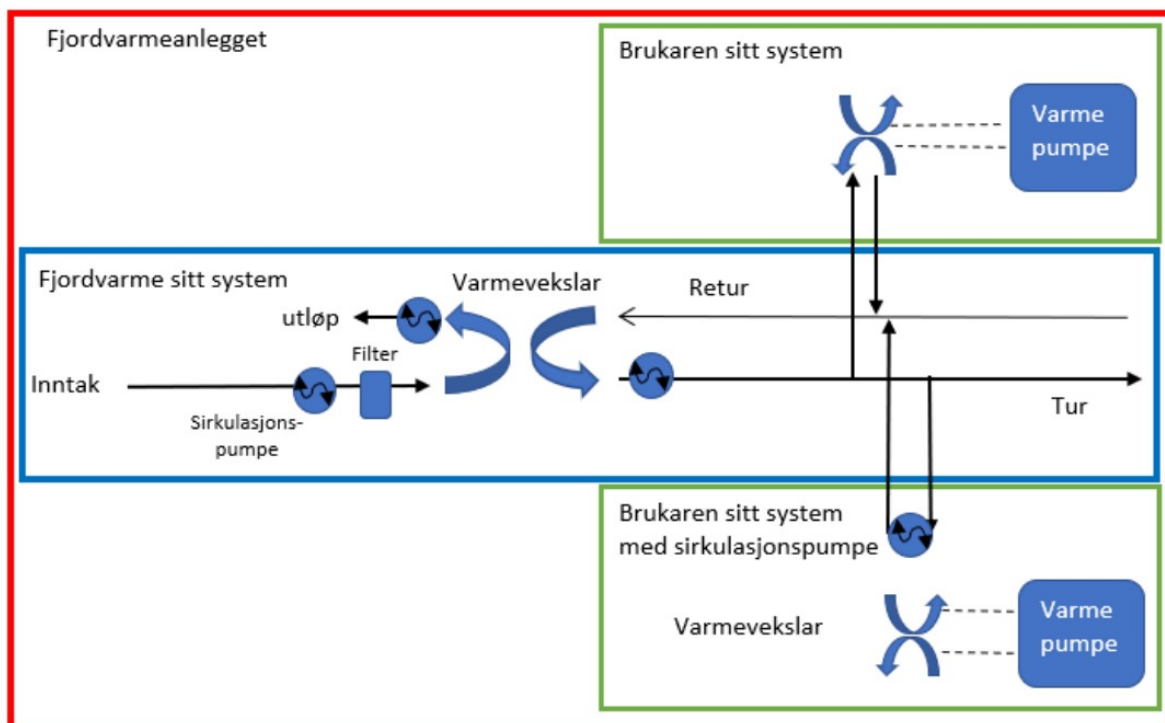
Kapasiteten er stor, og anlegget er ikkje fullt utnytta til de, i dag er berre 26,8% av kapasiteten til anlegget nytta. Grunnen til dette, trur Fjordvarme, er kjennskapen hjå brukarane, både til anlegget, bruken av varmpumper og investeringa som må til for å kople seg på. Brukarane må sjølv betale for tilknytninga med røyr frå bygninga til røyrnettet, varmevekslar og innkjøp av varmpumpa. For at systemet skal bli mest mogleg effektivt både økonomisk og for energibruken, er det viktig at systemet hjå brukarane er dimensjonert etter bruken.

Stad Fjordvarme KF eig anlegget, det er eit selskap i regi av Stad kommune og kommunen har bestemt at anlegget skal drivast etter sjølvkostprinsippet(FjordvarmeAS, u.å). Brukarane betalar ein årleg pris per kvadratmeter og kan bruke det slik dei vil. For kommunale og næringsbygg er det ulike reguleringar og krav i forhold til energibruk og klima som pålegg dei meir energieffektiv drift enn det som gjeld for private hushald.

5.1 System og systemgrenser

Fjordvarmeanlegget er definert som heile systemet og dekkjer alt frå inntak av sjøvatn til varmen produsert og levert i bygga, består av Fjordvarme sitt system og brukaren sitt system,

vist i Figur 4. Grunna sirkulasjon av vatn ved låg temperatur og mange varmpumper tilknytt anlegget og ulikt driftsansvar er det totale systemet, fjordvarmeanlegget delt i ulike system etter driftsansvar. Fjordvarme, som er produsenten, er og ansvarleg for den delen av anlegget frå inntak av sjøvatn og fram til brukaren. Brukaren er ansvarleg for drift av systemet i sitt bygg. Systemet består av varmevekslar og varmpumpe, og for nokre også ei sirkuleringspumpe. Skil mellom brukaren sitt system med eller utan sirkulasjonspumpe. Systemet omfattar ikkje systemet nytta for oppvarming av rom og tapevatn, det fell utanfor systemet.



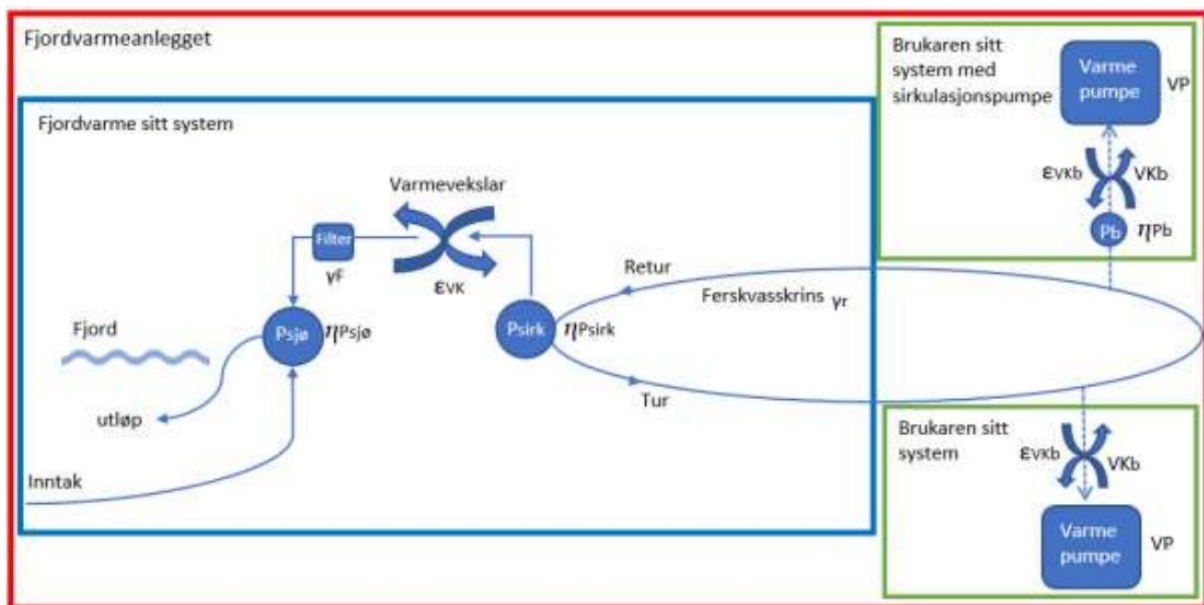
Figur 4. syner systemet med systemgrenser. Totale systemet, Fjordvarmeanlegget består av både Fjordvarme sitt system og brukaren sitt system. Skil brukarane i to ulike system, med og utan sirkulasjonspumpe.

5.2 Teknisk skildring av fjordvarmeanlegget

Fjordvarme sitt systemet er sett saman av fleire komponentar og faktorar som kan påverke energieffektiviteten, vist i Figur 5. Systemet består av ei sjøvasspumpe, $P_{sjø}$ som pumpar sjøvatn inn frå fjorden og ut igjen. Sjøvasspumpa har ein effekt på 30kW og ei verknadsgrad på 83,56%, energitap er uttrykt ved $\eta_{P_{sjø}}$. Det er plassert eit filter mellom sjøvasspumpa og varmevekslar for å fange fragment som sand og skjell i sjøvatnet som har kome forbi andre gitter og filter, dette er for å hindre skadar på systemet. Filteret må tømmast med jamne mellomrom, dette då det blir fullt i fragment og påverkar effekten til systemet (Tryggestad,

2021). Tap gitt av filteret er uttrykt ved γ_F , det er antatt at filteret blir renska og skyldt slik at tapet er tilnærma null dette gir tapsfaktoren, γ_F lik ein.

Systemet består av ein varmevekslar som vekslar varmen frå sjøvatnet til ferskvasskrinsen som fraktar det til brukarane. Varmevekslaren, VK, har eit temperatur fall på 0,9 grader celsius, tapet er uttrykt ved ε_{VK} . Sirkulasjonspumpa, P_{sirk} , som sirkulerer ferskvatn rundt i ferskvasskrinsen, ut til brukarane og tilbake til vekslarhusa igjen har ein effekt på 30kW. Tapet for pumpa er uttrykt ved η_{Psirk} , antatt same verknadsgrad som for sjøvasspumpa. Tap til omgjevnadane i form av varme for ferskvasskrinsen er uttrykt ved γ_r . Røyra som utgjør krinsen er greven ned på same djup som kommunale vassrøyr og kloakk, derav ingen problem med tele og frost om vinteren. Då temperaturen på ferskvatnet som sirkulera i krinsen er så nær temperaturen i bakken er det antekt at tapet er tilnærma null, gir γ_r lik ein.



Figur 5. syner ei oversikt over systemet med tekniske komponentar samt verknadsgradar og andre symbol nytta til å kvantifisere ulike parameterar.

Systemet til brukarane består av ein varmevekslar, VK_b , tapet er uttrykt ved ε_{VK_b} . Det er antatt same temperaturfall for varmevekslarane til brukarane som varmevekslarane til Fjordvarme. Brukarane sitt system består og av ei varmpumpe, VP, elektrisitetsbruken er uttrykt ved El_{VP} og varmen produsert ved Q_{VP} . For system med sirkulasjonspumpe, P_b er tapet uttrykt ved η_{P_b} og elektrisitetsbruken ved El_{P_b} . Sirkulasjonspumpene hjå brukarane er både nytta til å pumpe

ferskvatnet i krinsen til og frå brukaren, og hjelpe til med sirkulasjonen for heile krinsen. Forutsett same verknadsgrad som for sjøvasspumpa.

5.3 Skildring av brukarane av fjordvarmeanlegget

Fjordvarmanalegget forsyner 63 varmpumper som produserer varme for bygg som heilt eller delvis kan kategoriserast som hushald, offentleg bygg eller privat næring. Til saman utgjer dette eit areal på 105 379 m². 59 einingar er kopla på for oppvarming og 33 for kjøling. Av desse er det 31 som kunn er knytt til for oppvarming og 5 kunn for kjøling, altså er 28 er knytt til for begge deler. Brukarane er for orden skuld nummerert frå 1 til 63, 49 av desse brukarar har sirkulasjonspumper. Effekten for sirkulasjonspumpene, P_b er gitt for 20 av 49 pumper, for dei resterande pumpene blir gjennomsnittseffekten på 1 kW nytta i kalkulasjonane. Nokre av brukarane kan ikkje klassifiserast som ein bestemt type bygg, men som ein kombinasjon av to typar. Ved kombinasjon av fleire typar bygg er fordeling etter areal, total summen er vist som 100.

Dei 29 brukarane som delvis eller heilt er av typen hushald er alle kopla på for oppvarming, 5 stykk er og kopla på for kjøling, av desse har 26 sirkulasjonspumpe knytt til ferskvasskrinsen, gitt i Tabell 1. Saman med verdiar for dei enkelte brukarane. Til saman utgjer hushald eit areal på 14678,4 m² og ein effekt for varme på 420,1 kilo watt (kW). Gjennomsnittleg effekt for varme er per areal er 14 kW.

Tabell 1. syner informasjon for alle bygg av typen hushald. Viser om einingane er kopla på for varme og/eller kjøling og arealet. Om dei har sirkulasjonspumpe, der 1 er pumpe og 0 eller utan pumpe, og effekten. Syner og effekt varme, som er effekten til varmpumpene. Effekt for sirkulasjonspumper, SP vist i oransje er gjennomsnittleg effekt.

Nr	Varme	Kjøling	Areal fjordvarme [m ²]	Sirkulasjons pumpe, P _b	Effekt P _b [kW]	Hushald	Effekt varme [kW]
11	1	1	1344	1	1	20	30
22	1	0	267	1	0,2	100	20
25	1	0	742	1	1	60	42,5
26	1	1	1358	1	1,1	50	41,6
38	1	1	188	1	1	100	7
39	1	0	1181	1	1	100	34

41	1	0	338	1	1	100	11,8
42	1	0	300	1	0,099	100	9
43	1	0	907,4	1	1	100	45
44	1	0	250	0		100	7,2
45	1	1	2651	1	1,3	100	60
46	1	0	168	1	1	100	7
47	1	0	199	1	1	100	6
48	1	0	206	1	1	100	6
49	1	0	240	1	0,165	100	9,1
50	1	0	222	1	1	100	5,9
51	1	0	200	1	1	100	7
52	1	0	230	1	1	100	6
53	1	1	195	1	0,015	100	6
54	1	0	220	1	0,03	100	8
55	1	0	242	1	0,03	100	6
56	1	0	206	1	0,13	100	7
57	1	0	168	1	1	100	6
58	1	0	222	1	1	100	6
59	1	0	150	1	1	100	8
60	1	0	222	1	1	100	7
61	1	0	190	0		100	8
62	1	0	3250	1	0,333	100	47,8
63	1	0	673	1	0,05	100	17
Sum	29	5	14678,4	26			420,1

Offentleg bygg utgjer 15 av brukarane knytt til fjordvarmeanlegget, dette utgjer eit areal på 46426 m², 10 av desse har sirkulasjonspumpe, gitt i Tabell 2. saman med verdiar for dei enkelte brukarane. Totalt er 13 kopla til for oppvarming og 11 for kjøling, av desse er 4 kunn kopla på for oppvarming og 2 kunn for kjøling. Til saman har dei ein effekt for varme på 2046,6 kilo watt, gjennomsnittleg effekt per areal 136,4 kilo watt.

Tabell 2. syner informasjon for alle bygg av typen offentleg. Viser om einingane er kopla på for varme og/eller kjøling og arealet. Om dei har sirkulasjonspumpe, der 1 er pumpe og 0 eller utan pumpe, og effekten. Effekt for sirkulasjonspumper, SP

vist i oransje er gjennomsnittleg effekt. Syner og effekt varme, som er effekten til varnepumpene. Verdier for effekt varme vist i raudt er kalkulert basert på gjennomsnittsverdi per areal for dei resterande bygga.

Nr	Varme	Kjøling	Areal fjordvarme [m2]	Sirkulasjonspumpe, P _b	Effekt P _b [kW]	Offentleg	Effekt varme [kW]
1	1	1	7000	1	2,2	100	300
2	1	1	9300	1	1	100	350
3	1	0	4950	1	1	100	430
4	0	1	4600	0		100	204,6
5	0	1	4156	0		100	184,89
6	1	0	2880	1	1,25	100	100
7	1	0	730	1	1	100	28
12	1	1	2650	1	1	100	104,5
15	1	1	1333	1	1	100	45
29	1	1	150	1	0,23	100	12,2
31	1	1	1577	1	1	100	54,4
34	1	1	2019	0		100	90
35	1	1	3630	0		100	79
36	1	1	1030	0		100	30
40	1	0	421	1	1	100	34
Sum	13	11	46426	10			2046,6

22 einingar knytt til fjordvarmeanlegget er heilt eller delvis av typen privat næring. Dei utgjer eit areal på 41649,6 m², der 15 har sirkulasjonspumpe, gitt i Tabell 3, saman med verdier for dei enkelte brukarane. Av desse er 19 koplå på for oppvarming og 17 for kjøling, 4 er kunn koplå på for oppvarming og 3 kunn for kjøling. Total effekt for varme er 1222,5 kilo watt, gjennomsnitt per eining er 55,6 kW.

Tabell 3. syner informasjon for alle bygg av typen privat næring. Viser om einingane er koplå på for varme og/eller kjøling og arealet. Om dei har sirkulasjonspumpe, der 1 er pumpe og 0 eller utan pumpe, og effekten. Effekt for sirkulasjonspumper, SP vist i oransje er gjennomsnittleg effekt. Syner og effekt varme, som er effekten til varnepumpene. Verdier for effekt varme vist i raudt er kalkulert basert på gjennomsnittsverdi per areal for dei resterande bygga..

Nr	Varme	Kjøling	Areal fjordvarme [m2]	Sirkulasjonspumpe, P _b	Effekt P _b [kW]	Privat næring	Effekt varme [kW]
----	-------	---------	-----------------------	-----------------------------------	----------------------------	---------------	-------------------

8	0	1	1000	0		100	28,4
9	1	1	4775	1	0,76	100	110
10	1	0	538,6	0		100	10,2
11	1	0	1344	1	1	60	30
13	0	1	600	0		50	10,2
14	0	1	2299	1	1	100	92
16	1	1	2100	1	1	100	59,64
17	0	1	2100	1	1,5	100	80
18	1	1	4499	1	1	100	90
19	0	1	775	0		100	22,01
20	1	0	1740	1	1,1	100	86
21	0	1	430	0		100	12,21
23	1	1	4215	1	1,1	100	104,5
24	1	1	600	1	1	100	19,8
25	1	0	742	1	1	40	42,5
26	1	1	1358	1	1,1	50	41,6
27	1	0	1055	1	5,5	100	50,5
28	1	1	849	1	1,1	100	42,5
30	1	1	1290	1	1	100	34
32	1	1	1500	1	1	100	46,5
33	1	1	7967	0		100	226,28
37	1	1	1266	0		100	35,96
Sum	19	17	41649,6	15			838

5.4 Datagrunnlag

Gjennomsnittstemperaturen på sjøvatnet på tur, inn mot vekslarhusa varierte i løp av året(2020) frå 9,2C° til 12,4C°, og på retur, ut i fjorden igjen mellom 8,1C° til 14,4C°, vist i Tabell 4. For ferskvatnet i krinsen mellom vekslarhus og brukarane varierte temperaturane på tur frå 7,8C° til 11,9C° og på retur frå 7,4 C° til 12C°:

Tabell 4. syner oversikt over temperaturen i grader celsius, C° på vatnet henta inn, tur frå sjøen, sleppt ut i sjøen igjen, retur og ferskvasskrinsen på veg ut til brukarane og inn igjen frå brukarane.

Kjelde	Sjøvatn		Ferskvatn	
	Tur	Retur	Tur	Retur
Januar	10	8,5	9,2	7,7
Februar	9,7	8,2	8,8	7,4
Mars	9,5	8,1	8,6	7,4
April	9,2	9,1	8,4	7,8
Mai	8,8	9,4	7,8	7,5
Juni	9,8	11,9	9,4	9,9
Juli	10,5	12,1	9,6	9,7
August	13,1	14,4	11,9	12
September	12,4	13,3	11,4	11
Oktober	11	10,3	10,1	9,3
November	11,7	10,7	10,9	9,9
Desember	11,6	10,1	10,4	9,6

For 2020 varierte elektrisitetsbruken for vekslarhusa med minst i september på 26 551 kWh og mest i desember med 53 657 kWh, vist i Tabell 5. Brukstimane varierer med minst i november med 495 timar til mest i september med 645 timar. Mengda sjøvatn, vassføringa var i 2020 på totalt 3 303 139 kubikkmeter, m³ og for ferskvatn i ferskvasskrinsen på 5 090 6071 m³, vist i Tabell 5. Mest sjøvatn vart sirkulert i mars med 357 373 m³ og minst i juli med 190 822 m³. Vassføringa i ferskvasskrinsen var minst i september med 397 356 m³ og mest i oktober med 446 274 m³.

Tabell 5. syner det totale elektrisitetsbruken til vekslarhusa, brukstimane til fjordvarmeanlegget, vassføring av sjøvatn og ferskvatn totalt og for kvar månad i 2020.

Månad	Sjøvatn [m3]	Ferskvatn [m3]	Elektrisitetsbruk vekslarhusa [kWh]	Brukstimar [h]
Januar	335 104	422 532	38 711	550
Februar	339 497	421 213	49 897	559
Mars	357 373	438 817	47 056	540
April	306 868	412 418	32 529	597

Mai	290 231	428 971	33 200	624
Juni	225 113	404 325	28 447	532
Juli	190 822	419 965	26 552	575
August	195 529	421 525	27 237	644
September	193 671	397 356	26 551	645
Oktober	251 667	446 274	32 865	451
November	276 029	432 242	38 988	495
Desember	341 235	444 970	53 657	512
Sum	3 303 139	5 090 607	435 690	6722

6. Resultat

6.1 Kartlegging av system

Komponentar og parameter i systemet er skildra nærare i 5.2 Teknisk skildring av og vist i Figur 5.

6.1.1. Samtale med driftsansvarleg hjå Eid vidaregåandeskule

Etter samtale med Henrik Åbrekk, som sidan 2004 har vore ansvarleg drift kjøling og oppvarming hjå Eid vidaregåandeskule. Han fortel at det er viktig å drive varmpumpa jamt og trutt for å få best effekt. Der driv dei ikkje med noko senking av temperaturen om natte og har heller tru på lagring av energi i rom om natta til dagen etter. Noko av grunne til dette er at anlegget på skulen er noko under demisjonert med tanke på temperaturen som varmpumpa kan gi. Varmepumpa er dimensjonert for å kunne gi ein temperatur mellom 40 og 70 grader. Derfor er radiatorane dimensjonert for dette. Drift og erfaring over tid viser at varmpumpa trivast og forholda kan best utnyttast til å gi ein temperatur på 45 til 50 grader. (Åbrekk, 2021)

6.2 Energieffektivitet

I fjordvarme sitt system er det to pumper, sjøvasspumpa, $P_{sjø}$, og sirkulasjonspumpa, P_{sirk} , tapet frå desse er funnen ved bruk av likning (8), resultatet er vist i Tabell 6. For brukaren sitt system med sirkulasjonspumper er tapet, η_{Pb} , frå dei funnen ved likning (8) og elektrisitetsbruken, El_{Pb} er funnen ved likning (9), resultata er vist i Tabell 6.

Tabell 6. syner oversikt over tap for sjøvasspumpa, $P_{sjø}$, sirkulasjonspumpa, P_{sirk} , i vekslarhusa, sirkulasjonspumper, P_b , hjå brukarane og elektrisitetsbruken, El_{Pb} til sirkulasjonspumpene hjå brukarane.

Månad	$\eta_{P_{sjø}}$ [kWh]	$\eta_{P_{sirk}}$ [kWh]	η_{P_b} [kWh]	Summen av tap pumper, η_{Pi}	El_{P_b} [kWh]
Januar	2712,6	2712,6	25 738,7	31 164	25 955,6
Februar	2757,0	2757,0	26 159,9	59 420	26 380,3
Mars	2663,3	2663,3	25 270,7	57 400	25 483,7
April	2944,4	2944,4	27 938,2	63 459	28 173,6
Mai	3077,6	3077,6	29 201,7	66 329	29 447,8
Juni	2623,8	2623,8	24 896,4	56 550	25 106,1

Juli	2835,9	2835,9	26 908,7	61 120	27 135,4
August	3176,2	3176,2	30137,7	68 455	30 391,6
September	3181,1	3181,1	30 184,5	68 561	30 438,8
Oktober	2224,3	2224,3	21 105,7	47 940	21 283,6
November	2441,3	2441,3	23 164,8	52 617	23 360,0
Desember	2525,2	2525,2	23 960,4	54 424	24 162,3
Sum	33 163	33 163	314 667	687 437	317 319

Tap frå varmevekslarane i vekslarhusa, ϵ_{VK} og varmevekslarane, ϵ_{VKb} hjå brukarane er funne ved hjelp av likning (10), resultatet er vist i Tabell 7.

Tabell 7. syner tap frå varmevekslarane VK i vekslarhusa og varmevekslarane hjå brukarane (VKb) og det totale tapet (dei lagt saman).

Månad	Tap Varmevekslar, ϵ_{VK} [kWh]	Tap Varmevekslar hjå brukarane, ϵ_{VKb} [kWh]	Totalt tap frå varmevekslarane, ϵ_{VK} [kWh]
Januar	350 184	441 546	791 729
Februar	354 774	440 168	794 942
Mars	373 455	458 564	832 019
April	320 677	430 976	751 653
Mai	303 291	448 274	751 566
Juni	235 243	422 519	657 763
Juli	199 409	438 864	638 273
August	204 328	440 493	644 821
September	202 386	415 237	617 623
Oktober	262 992	466 356	729 349
November	288 451	451 693	740 144
Desember	356 590	464 994	821 584
Sum	3 451 780	5 319 685	8 771 465

Elektrisitetsbruken, El_{VP} til varmepumpene er kalkulert ved hjelp av likning (5) og varmen, Q_{VP} produsert av varmepumpene er kalkulert ved likning (6) for ytingskoeffisient, COP på 3, 3,5, 4, 4,5 og 5, resultatene er vist i Tabell 8.

Tabell 8. Syner elektrisitetsbruk, El_{VP} og varmen, Q_{VP} produsert av varmepumpene i kilowattimmar for COP lik 3, 3,5, 4, 4,5 og 5.

Månad	COP	3	3,5	4	4,5	5
	El_{VP}	Q_{VP}	Q_{VP}	Q_{VP}	Q_{VP}	Q_{VP}
Januar	2136 475	6 409 426	7 477 664	8 545 901	9 614 139	10 682 377
Februar	1464 157	4 392 472	5 124 550	5 856 629	6 588 708	7 320 786
Mars	1417 899	4 253 697	4 962 647	5 671 596	6 380 546	7 089 495
April	2319 047	6 957 141	8 116 664	9 276 187	10 435 711	11 595 234
Mai	2423 928	7 271 785	8 483 749	9 695 714	10 907 678	12 119 642
Juni	0	0	0	0	0	0
Juli	0	0	0	0	0	0
August	0	0	0	0	0	0
September	2505 503	7 516 509	8 769 260	10 022 012	11 274 763	12 527 514
Oktober	1751 910	5 255 729	6 131 684	7 007 639	7 883 594	8 759 549
November	1922 828	5 768 483	6 729 897	7 691 311	8 652 725	9 614 139
Desember	1988 864	5 966 593	6 961 025	7 955 457	8 949 889	9 944 322
Sum	24 732 372	74 197 117	86 563 303	98 929 489	111 295 675	123 661 861

Energieffektiviteten er gitt ved likning (3) og (4) som utgjør likning (2), vist i Tabell 9. Elektrisitetsbruken til vekslarhusa, El_{VH} , elektrisitetsbruken til varmpumpene, El_{VP} , varmen henta frå sjøen, $Q_{Sjø}$, gitt ved likning (11). Gjennomsnittet for faktoren for energieffektivisering, η_{EE} , gjennom heile året er 0,221 og utan sumaren, månadane juni, juli og august når det ikkje er behov for oppvarming er 0,269.

Tabell 9. syner verdiane for likning (2), som består av likning (3) og (4), og gir energieffektiviteten for kvar månad i 2020.

Månad	Einn					Eut				Energi-
	El_{VH}	El_{VP}	$Q_{Sjø}$	El_{Pb}	Sum	Q_{VP}	ϵ_{VK}	η_{pi}	Sum	effektivitet η_{EE}
Januar	38 711	2136 475	326 838	25 956	2527 980	8 545 901	791 729	31 164	9 368 795	0,270
Februar	49 897	1464 157	384 338	26 380	1924 773	5 856 629	794 942	59 420	6 710 990	0,287
Mars	47 056	1417 899	390 053	25 484	1880 492	5 671 596	832 019	57 400	6 561 016	0,287
April	32 529	2319 047	263 668	28 1734	2643 417	9 276 187	751 653	63 459	10 091 300	0,262
Mai	33 200	2423 928	213 989	29 448	2700 565	9 695 714	751 566	66 329	10 513 608	0,257
Juni	28 447	0	-254 847	25 106	53 553	0	657 763	56 550	714 312	0,075
Juli	26 552	0	-57 607	27 135	53 687	0	638 273	61 120	699 393	0,077
August	27 237	0	-178 219	30 392	57 629	0	644 821	68 455	713 276	0,081
September	26 551	2505 503	220 376	30 439	2782 869	10 022 012	617 623	68 561	10 780 196	0,260
Oktober	32 865	1751 910	146 107	21 284	1952 165	7 007 639	729 349	47 940	7 784 927	0,251
November	38 988	1922 828	294 861	23 360	2280 037	7 691 311	740 144	52 617	8 484 072	0,269
Desember	53 657	1988 864	431 871	24 162	2498 554	7 955 457	821 584	54 424	8 831 465	0,283
Sum	435 690	24 732 372	2 181 427	317 319	21 355 721	98 929 489	8 771 465	687 437	81 181 349	

6.3 Spesifikk energi

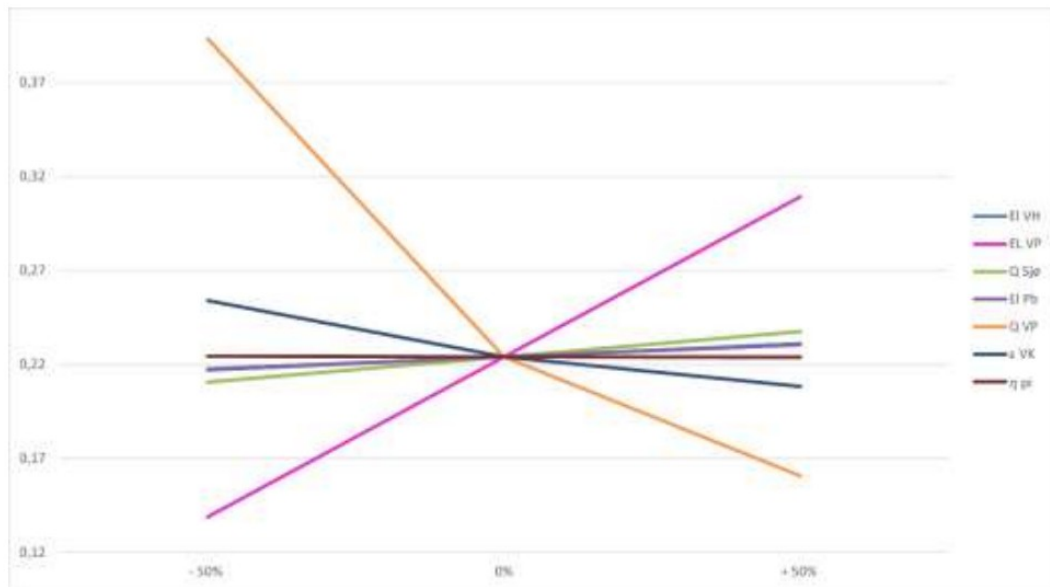
Basert på likning 11. er den spesifikke energien, tall kWh elektrisitet per kWh termisk, varme produsert funnen. For månedane juni, juli og august når fjordvarmeanlegget er nytta til kjøling er verdien 0. For dei andre månedane variera det for 2020 frå 0,426 i september til 0,493 i desember., vist i Tabell 10. Gjennomsnittet for alle 12 månedane er 0,346, gjennomsnittet for månedane fjordvarmeanlegget er nytta til oppvarming er 0,461.

Tabell 10. syner spesifikk energi for ulik COP-verdi for varmpumpa.

Månad	COP				
	3	3,5	4	4,5	5
Januar	0,343	0,294	0,258	0,229	0,206
Februar	0,351	0,301	0,263	0,234	0,210
Mars	0,350	0,300	0,263	0,234	0,210
April	0,342	0,293	0,257	0,228	0,205
Mai	0,342	0,293	0,256	0,228	0,205
Juni	0	0	0	0	0
Juli	0	0	0	0	0
August	0	0	0	0	0
September	0,341	0,292	0,256	0,227	0,205
Oktober	0,344	0,295	0,258	0,229	0,206
November	0,344	0,295	0,258	0,229	0,206
Desember	0,346	0,297	0,260	0,231	0,208
Gjennomsnitt, heile året	0,259	0,222	0,194	0,172	0,155
Gjennomsnitt utan sommaren	0,345	0,296	0,259	0,230	0,207

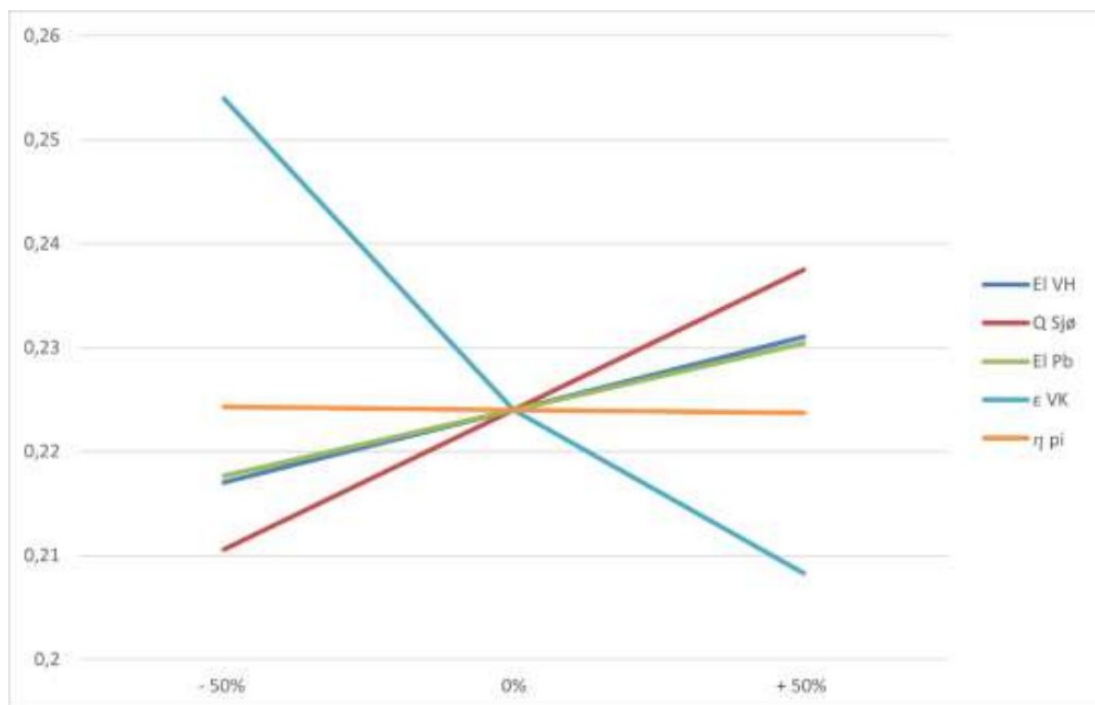
6.4 Sensitivitetsanalyse

Figur 6. syner eit stjernediagram som viser sensitivitetsanalysen for energieffektiviteten, η_{EE} , til heile systemet. Ser at det er ein reduksjon av varmen, Q_{VP} produsert av varmpumpa η_{EE} er mest følsam for. Er og nok så følsam for ei endring av El_{VP} , ein auke vil auke η_{EE} og ein reduksjon vil redusere η_{EE} .



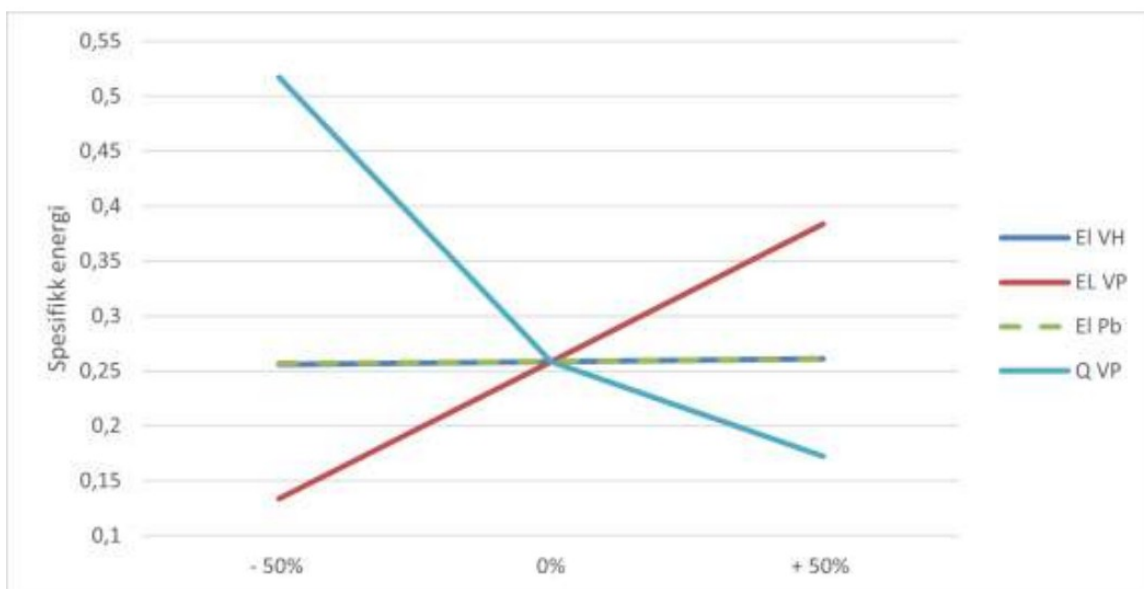
Figur 6. syner sensitivitetsanalyse for energieffektiviteten, η_{EE} for heile systemet med ein reduksjon på -50% , inga endring 0% og ein auke på +50% for kvart ledd som inngår i likning (13).

Figur 7. syner sensitivitetsanalysen for η_{EE} sett vekk frå faktorane for varmepumpene, E_{VP} og Q_{VP} . Ser då at tapet frå varmevekslarane, ϵ_{VK} , η_{EE} er mest følsam for. Ein reduksjon av ϵ_{VK} vil auke η_{EE} medan ein auke av ϵ_{VK} vil redusere η_{EE} . Ser at η_{EE} er nokså følsam for ei endring av $Q_{Sjø}$ også. Ein reduksjon av varmen henta frå sjøen, $Q_{Sjø}$, og vil redusere η_{EE} , ein auke av $Q_{Sjø}$ vil auke η_{EE} .



Figur 7. syner sensitivitetsanalysen for energieffektivitet, η_{EE} for heile systemet utan elektrisitetsbruken, E_{VP} til varmepumpa og varme, Q_{VP} produsert av varmepumpa, med ein reduksjon, -50% , inga endring, 0% og ein auke, +50% for dei resterande ledda i likning (13).

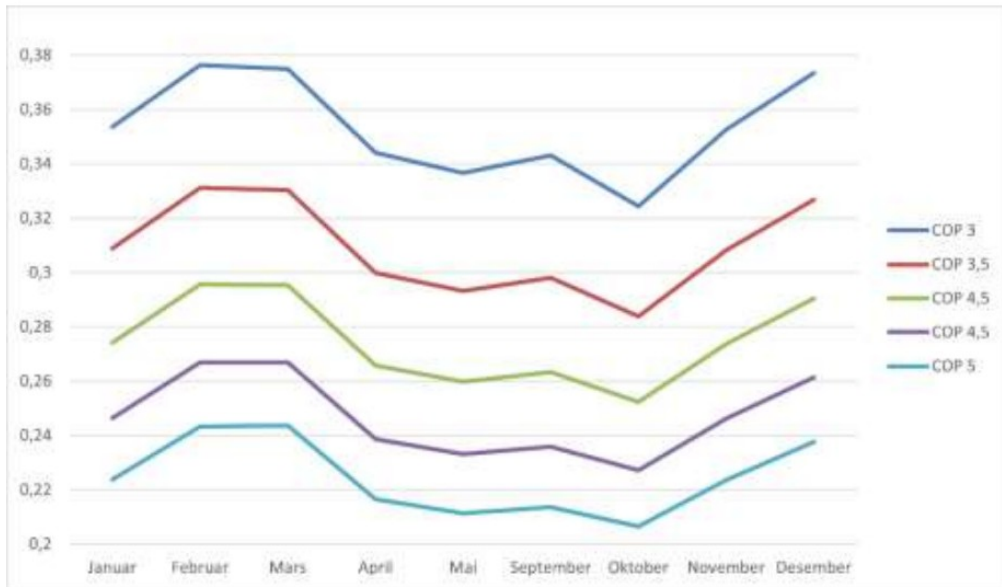
Figur 8. viser sensitivitetsanalysen for den spesifikke energien for 2020 utan sumaren, månadane juni, juli og august. Syner ar det er faktorane som omhandlar varmpumpa den spesifikke energien er mest følsam for. Ein reduksjon av varmen, Q_{VP} henta frå varmpumpene vil føre til ein tydeleg auke i den spesifikke energien, altså vil ein trenge meir elektrisk energi per termisk energi. Ein auke av Q_{VP} vil føre til ein lågare spesifik energi, men i mindre grad enn ein auke. For elektrisitetsbruken, El_{VP} til varmpumpene vil ein reduksjon redusere den spesifikke energien og ein auke av El_{VP} auke den. Ei endring av elektrisitetsbruken til vekslarhusa, El_{VH} og elektrisitetsbruken, El_{Pb} til sirkulajsonspumpene hjå brukarane vil påverke den spesifikke energien i liten grad.



Figur 8. syner sensitivitetsanalyse for den spesifikke energien for 2020 for heile året med utak av sumaren, månadane juni, juli og august.

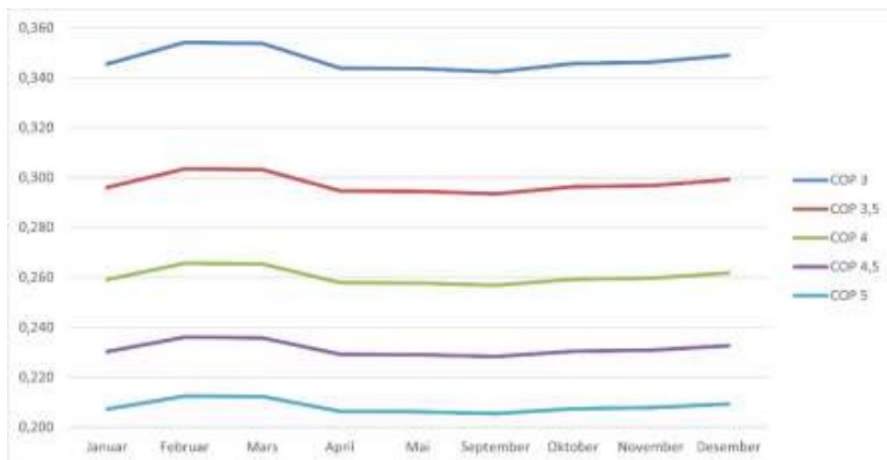
6.4.1. Endring av COP

Figur 9. viser korleis energieffektiviteten, η_{EE} for heile systemet endrar seg ved ulike ytingskoeffisient, COP for varmpumpa. Ser at kurva er lik for alle månadane, men lågare COP gir høgare energieffektivitet.



Figur 9. syner energieffektiviteten for kvar måned i året med unntak av juni, juli og august og korleis den endrar seg ved ulike COP for varmepumpa.

Figur 10. syner korleis den spesifikke energien endrar seg for ulike COP for varmepumpa. Ser at kurva er like, men at lågare COP gir høgare spesifikk energi.



Figur 10. syner den spesifikke energien for kvar måned i året med unntak av juni, juli og august og korleis ulike COP for varmepumpa påverkar den.

7. Diskusjon

Resultatet syner tydeleg at elektrisitetsbruken og varmen produsert av varmepumpene er dei kritiske faktorane både for energieffektiviteten, η_{EE} , til heile systemet og den spesifikke energien. Varmepumpa er den komponenten som i størst grad kan påverke energieffektiviteten. Både Shu et al. 2010, Shu et al. 2015 og Vetterli et al. har i sine studiar peika på den som ein viktig komponent. I tillegg til varmepumpa peikar Vetterli et al. på sirkulasjonspumpene og kontrollteknologien i systemet som viktige komponentar for eventuelt energieffektivisering. Sensitivitetsanalysen for energieffektiviteten, η_{EE} for heile systemet syner at tapet frå pumpene og elektrisitetsbruken til sirkulasjonspumpene hjå brukarane kan påverke η_{EE} , men samanlikna med faktorane for varmepumpa så er denne påverknaden mykje lågare.

7.1 Energieffektivisering

System nytta til oppvarming og kjøling vil aldri kunne vere heilt utan tap, men det er mogleg å optimalisere drifta slik at ein minimera så mykje som mogleg av tapa. Målet med energieffektivisering er å ha eit system som produserer mest mogleg energi, samanlikna med energien tilført. Sjølv potensialet for energieffektivisering av fjordvarmeanlegget er ikkje kvantifisert. Gjennom kalkulering av energieffektiviteten for heile systemet, η_{EE} , og den spesifikke energien syner resultatet at det er teoretisk mogleg å forbetre begge desse parameterane. Sensitivitetsanalysane syner kva faktorar som påverkar parametara mest, og peikar på kva faktorar ein bør sjå på fyrst ved ei energieffektivisering av systemet. Ei energieffektivisering av systemet til fjordvarme eller av systemet til brukarane vil truleg påverke kvarandre og vil uansett forbetre energieffektiviteten til fjordvarmeanlegget.

Grunna ei enorm teknologisk utvikling dei siste åra kan alderen på komponentane i systemet kan påverke energieffektiviteten. Erfaringane til driftsansvarlege, som Åbrekk driftsansvarleg ved Eid VGS, kan vere hjelpsame ved eventuelle oppgraderingar eller utskiftingar av komponentar i systemet. Dette kan medføre at komponentane verte mest mogleg tilpassa behovet som truleg gjev energieffektivisering av systemet. Då anlegget vart bygd i 2004 var det lite kunnskap om og rundt denne typen anlegg. Dette har truleg konsekvensar for

energieffektiviteten til anlegget i dag. Med bakgrunn i dette kan ei utskifting av komponentar hjå brukarane som knytte seg til anlegget tidleg vere aktuelt for å betre energieffektiviteten.

7.2 Varmepumpene og ytingskoeffisienten, COP

Kalkuleringa av faktorane til varmpumpene er basert på brukstimar for fjordvareanlegget og effekten til pumpene, effekten var gitt for nesten alle brukarane. Det er ein føresetnad for resultatet at når fjordvarmeanlegget er i drift er varmpumpene og i drift, dette gjeld når anlegget er nytta til oppvarming. Dette krev at oppvarmingsbehovet til brukarane er så stort at det forsvarar drift av varmpumpene ved full effekt over alle brukstimane, og at brukarane har andre system som dekkjer eventuell spisslast. Meir nøyaktige kalkulasjonar kan gjerast ved innhenting av brukstimar og elektrisitetsbruken til varmpumpene direkte frå brukarane. For å kunne hente tal for kor mykje brukarane faktisk nyttar anlegget krev det montering av målarar for vassføring hjå kvar enkelt brukar.

Sensitivitetsanalysane for ytingskoeffisienten, COP syner at den er svært viktig for energieffektiviteten, η_{EE} , for heile systemet og den spesifikke energien. Høgare ytingskoeffisient vil påverke begge positivt. Ytinga til varmpumpene er viktig for energieffektiviteten, den er i stor grad påverka av behovet og drifta av brukarane sitt system. Behovet for oppvarming til brukarane vil vere ulikt avhengig av tid på døgnet og temperaturen ute. Motivasjonen knytt til drifta av varmpumpene vil vere subjektivt og avhenge av den personen/ane som er ansvarleg for drifta. Dette varierer frå å vere tilsett til privat personar i eigen heim. Drift av slike varmpumper og oppvarmingssystem varierer truleg for dei ulike bygningstypene. Det er andre krav og behov for oppvarming for offentlege bygg og privat næring enn for hushald.

7.3 Tap i systemet

Tap i ferskvasskrinsen kan oppstå ved at noko av varmen i vatnet blir overført til bakken. Grunna plassering til røyra, er ikkje frost og tele noko problem og den relativt låge temperaturen på vatnet, er det rimeleg å anta at tapet er tilnærma null. Den same føresetnaden for tap i røyr er og nytta i studien til Vetterli et al.

Tap gitt av filteret, som filtrera sjøvatnet før det går inn i varmevekslaren i vekslarhusa, er her anteke å vere null. Jamfør driftspersonell hjå Fjordvarme vert det ein nedgang i effekten til systemet når filteret fyllest med fragmenter. Dette tapet er det ikkje mogleg å kvantifisere ved hjelp av informasjonen som er tilgjengeleg på noverande tidspunkt. Det hadde vore interessant å gjere målingar, overvake systemet og sjå om ein finn ein direkte samanheng mellom graden av fragmenter i filteret og effekten til systemet.

Tapet frå varmevekslarane er kalkulert basert på vassføring og eit temperaturfall, verdiar gitt av Fjordvarme. For vekslarane i vekslarhusa er dette truleg eitt nokså sikkert estimat av tapet. Tapet til varmevekslarane hjå brukarane er det ikkje gitt, det er anteke same tap ved temperaturfall som for vekslarane i vekslarhusa. Eit betre estimat kan kalkulerast ved å hente inn informasjon om tapet til varmevekslarane hjå brukarane kombinert med målingar av vassføringa hjå brukarane.

Systemet består av mange pumper av ulike typar og storleikar. Estimatet for tapet til pumpene er basert på verknadsgraden gjev truleg eit nokså reelt resultat. Eit meir nøyaktig estimat kan kalkulerast ved innhenting av verknadsgrad og brukstid for kvar enkelt pumpe. Effekten for sirkulasjonspumpene hjå brukarane er det mest usikre elementet i kalkulering av estimata knytt til pumpene. Det er teke utgangspunkt i den høgste effekt gitt for pumpene, dette inneberer at pumpene er drivne ved fulle effekt over alle brukstimane. Det er knytt usikkerheit til denne føresetnaden, derfor kan tapet vere noko mindre. Tapet kan estimerast meir nøyaktigheit ved å måle elektrisitetsbruken til pumpene direkte.

7.4 Sensitivitetsanalyse

Sensitivitetsanalysen viser kva som skjer om ein aukar eller reduserer ein faktor åleine, men tek ikkje omsyn til eventuelle interaksjonar mellom faktorane. Truleg avheng faktorane av kvarandre, og endring av ein faktor kan føre til endring av andre faktorar. Dette gjeld spesielt for elektrisitetsbruken og varmen produsert av varmepumpene. Truleg gjeld dette også for pumper, varmevekslar og vassføringa som igjen påverkar mengda varme henta ut av sjøvatnet. Dei ulike komponentane og faktorane i systemet avheng truleg direkte eller indirekte av kvarandre.

7.5 Datagrunnlag og usikkerheit

Resultata er kalkulert ut frå verdiar gjevne av Fjordvarme. Størstedelen av usikkerheita er truleg knytt til dei datane som ikkje er gjevne, men kalkulert frå gjevne data og bruken gjennomsnittsverdiar. Usikkerheita kan reduserast ved å innhente opplysningar for dei faktorane som er estimerte eller verdiar basert på gjennomsnitt. I nokre tilfelle vil dette vere eit omfattande innsamlingsarbeid, av di det truleg er rikeleg med data for nokre brukarar medan det for andre er mangelfullt. Truleg vil det vere større tilgang til data for brukarar innanfor dei ulike bygningstypene, større tilgang for offentlege bygg og privat næring samanlikna med hushald. Dette fordi det er stilt andre krav til oppvarming og lønnsemd for deira system. For å få eit resultat med mindre usikkerheit må ein kvantifisere mest mogleg av faktorane direkte. Dette vil krevje installasjon av ulike måleapparater, til dømes måling av vassføring hjå brukarane.

8. Konklusjon

Resultata syner at den kritiske komponenten for energieffektivitet til fjordvarmeanlegget er varmepumpene, det er derfor den eininga som har størst potensielle for energieffektivisering. Ytinga til varmepumpene er essensiell og ytingsfaktoren, COP er viktig, drift med høgst mogleg COP vil gje ein positiv effekt for energieffektiviteten.

Gjennomsnitt for energieffektiviteten, η_{EE} til fjordvarmeanlegget er estimert til 0,22 for 2002. Over oppvarmingssesongen varierer η_{EE} frå 0,25 til 0,29 og gjennomsnittet er på 0,27 , gjennom sommaren når det ikkje er behov for oppvarming ligg den på rundt 0,08. Den spesifikke energien, kor mange kilowattimar med elektrisitet som må til for å produsere ein kilowattime med varme frå varmepumpa varierte frå 0,256 til 0,263 for 2020. Gjennomsnittet for oppvarmingssesongen er estimert til 0,259.

For vidare studiar vil det vere interessant å laga ein detaljert modell av systemet, der brukarane er modellert enkeltvis. Undersøke om det er interaksjonar mellom faktorane, og om ein enkelt brukar kan ha betydeleg påverkar energieffektiviteten til systemet. I tillegg hadde det vore interessant å samanlikne dette anlegget med eit anna, for å sjå kva som er mest energieffektivt. Spesielt intersant om samanlikninga er med eit anlegg som har sentralisert varmepumpe og sirkulering av vatn med høgare temperatur til brukarane, og liknar dermed på eit tradisjonelt fjernvarmeanlegg.

Referansar

- Bolk, K. & Nieuwlaar, E. (2017). *Intriduction to energy analysis* 2. utg. Abingdon ; New York: Routledge.
- Buffa, S., Cozzini, M., D'Antoni, M., Baratieri, M. & Fedrizzi, R. (2019). 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. *Renewable & sustainable energy reviews*, 104: 504-522. doi: 10.1016/j.rser.2018.12.059.
- Bøhren, Ø. & Gjærum, P. I. (2016). *Finans: Innføring i investering og finansiering*. . Bergen: Fagbokforlaget.
- Commission, E. (2019). *Energy efficiency directive* Tilgjengelig fra: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en (lest 22.05.2021).
- Ericson, T., Fidje, A., Fonnøløp, J. E., Langseth, B., Magnussen, I. H., W.W, R. & Saugen, B. (2016). *Varmepumper i energisystemet* Rapport frå NVE nr 60-2016. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_60.pdf (lest 12.05.2021).
- Fjernvarme, N. (u.å.-a). Tilgjengelig fra: <https://www.fjernkontrollen.no/>.
- Fjernvarme, N. (u.å.-b). *Om Fjernkontrollen.no*. Tilgjengelig fra: <https://www.fjernkontrollen.no/content/om-fjernkontrollen/>.
- Fjernvarme, N. (u.å.-c). *Statistikk* Tilgjengelig fra: <https://www.fjernvarme.no/fakta/statistikk>.
- FjordvarmeAS. (u.å). *Stad Fjordvarme*. Tilgjengelig fra: <https://www.fjordvarme.no/stad-fjordvarme/> (lest 10.02.2021).
- FjordvarmeAS. (u.å). *Fjordvarmeanlegget på Nordfjordeid - utbygging* Tilgjengelig fra: https://www.fjordvarme.no/referansar/fjordvarmeanlegget-pa-nordfjordeid---utbygging/?project_type=18 (lest 15.01.21).
- Idsø, J. (2013). *Lønnsomhetsvurdering av fjordvarmeanlegget på Nordfjordeid*. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/11250/149493>.
- Idsø, J. & Årethun, T. (2017). Water-Thermal Energy Production System: A Case Study from Norway. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 9 (9): 1665. doi: 10.3390/su9091665.
- Norway, E. f. (2021). *EU Energy policy*. Tilgjengelig fra: <https://energifaktanorge.no/en/eu-lovgivning/eus-energi-og-klimapolitikk/> (lest 25.05.21).
- NVE. (2020a). *Energibruk i bygg* Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energibruk/energibruk-i-bygg/?ref=mainmenu>.
- NVE. (2020b). *Varme*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/energiforsyning/varme/?ref=mainmenu> (lest 23.01.2021).
- Regjeringen.no. (2020). *EUs klimaplan for 2030* Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2020/okt/eus-klimaplan-for-2030-/id2783480/> (lest 13.01.2021).
- Shu, H., Lin, D., Xiangli, L. & Yingxin, Z. (2010). Energy-saving judgment of electric-driven seawater source heat pump district heating system over boiler house district heating system. *Energy and buildings*, 42 (6): 889-895. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.01.001.
- Shu, H., Lin, D., Jing, S., Xin, J., Zhiyong, R. & Haiyang, Y. (2015). Field measurement and energy efficiency enhancement potential of a seawater source heat pump district heating system. *Energy and buildings*, 105: 352-357. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.07.069.
- Smebye, H., Midttømme, K. & Stene, J. (2011). *Energi fra overflatevann i Norge - kartlegging av økonomisk potensial* Oppdragsrapport fra NVE til NGI nr 9/2011. Tilgjengelig fra: https://publikasjoner.nve.no/oppdragsrapportA/2011/oppdragsrapportA2011_09.pdf (lest 12.05.21).

- Snl.no. (2018). *Oppvarming av hus* Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/oppvarming_av_hus.
- Tryggestad, H. (2021). *Besøk hjå Fjordvarme AS, Nordfjordeid* (03.02.2021).
- Zhen, L., Lin, D. M., Shu, H. W., Jiang, S. & Zhu, Y. X. (2007). District cooling and heating with seawater as heat source and sink in Dalian, China. *Renewable energy*, 32 (15): 2603-2616. doi: 10.1016/j.renene.2006.12.015.
- Zheng, W., Ye, T., You, S. & Zhang, H. (2015). The thermal performance of seawater-source heat pump systems in areas of severe cold during winter. *Energy conversion and management*, 90: 166-174. doi: 10.1016/j.enconman.2014.10.050.
- Åbrekk, H. (2021). *Samtale med driftsansvarleg for kjøling og oppvarming hjå Eid vidaregåande skule*. Nordfjordeid (24.02.2021).



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway