

Mathias Myklebust

# Fornybar energi til Halten fyrstasjon

Bacheloroppgave i Ingeniørfag - Fornybar energi

Veileder: Førsteamanuensis, Shiplu Sarker

Mai 2020



Mathias Myklebust

# Fornybar energi til Halten fyrstasjon

Bacheloroppgave i Ingeniørfag - Fornybar energi  
Veileder: Førsteamanuensis, Shiplu Sarker  
Mai 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



**NTNU**

Kunnskap for en bedre verden



Oppgavens tittel:  Fornybar energi til Halten fyrstasjon	Dato: 20.05.2020		
	Antall sider: 36		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn:  Mathias Myklebust			
Veileder:  Førsteamanuensis, Shiplu Sarker			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere:  Kystverket v/Stein Ivar Hansen			

Sammendrag:

Denne bacheloroppgaven handler om energiforsyningen til Halten fyrstasjon der Kystverket er oppdragsgiver. Problemstillingen er å «Vurdere løsninger som dekker energibehovet til Halten fyrstasjon, ved å ta hensyn til CO<sub>2</sub>-utslipp, økonomi, estetikk og driftssikkerhet.». I dag blir energien til Halten fyrstasjon produsert av to diesellaggregat. Målet med oppgaven er å finne en energikilde som oppfyller problemstillingen der blant annet mulighetene for solceller og en vindmølle er undersøkt. Disse variable energikildene krever energilagring der det er undersøkt mulighetene for batteri eller hydrogen. Til denne bacheloroppgaven finnes det lite data å bygge beregningene på. Det ble derfor først laget en oversikt over energibehovet for hver dag gjennom året ved bruk av Excel der det er antatt at behovet varierer som en sinuskurve. Det er videre gjort beregninger for hvor mye energi solceller kan produsere ved bruk av en sinuskurve og hvor mye energi vindmøllen R9000 kan produsere basert på vindmålinger. Til slutt er det utarbeidet to realistiske alternativ med styrker og svakheter, men der begge er i henhold til problemstillingen. Alternativ 1 kombinerer vindmøllen R9000 og solcellepanel med batteri, alternativ 2 har vindmøllen R9000 og diesellaggregat sammen med batteri. Begge alternativene reduserer CO<sub>2</sub>- utslippet drastisk i forhold til dagens situasjon, samtidig som driftssikkerheten fortsatt er høy. Alternativ 2 har lavest investeringskostnad og kommer best ut på estetikk siden det kun er en vindmølle som er installert. Alternativ 1 kutter CO<sub>2</sub>- utslippene mest.

Stikkord:

Halten fyrstasjon
Fornybar energi
Energilagring

*Mathias Myklebust*

Mathias Myklebust

## Abstract

This bachelor thesis is about the energy supply to Halten Lighthouse where the The Norwegian Coastal Administration is the contracting authority. The issue is to “*Evaluate solutions that meet the energy demand to Halten Lighthouse, by consider CO<sub>2</sub> emissions, economy, aesthetics and operational reliability*”. Today the energy to Halten Lighthouse is produced by two diesel generators. The goal to this assignment is to find an energy source that fulfil the issue. The opportunity of solar cells and a windmill is investigated. These variable energy sources require energy storage where the possibilities of battery or hydrogen have been investigated. For this bachelor thesis there is little data to base the calculations on. It was therefore first made an overview of the energy needs for each day throughout the year using Excel where it is assumed that the demand varies as a sine wave. It is further made calculations for energy solar cells can produce using a sine wave, and how much energy the windmill R9000 can produce based on wind measurements. Finally, it is prepared two realistic options where both are in accordance with the issue, and with strengths and weaknesses. Option 1 combines the wind turbine R9000 and solar panel with battery, option 2 has the wind turbine R9000 and a diesel generator together with battery. Both options drastically reduce CO<sub>2</sub> emissions compared to today's situation, while still maintaining high operational reliability. Option 2 has the lowest investment cost and comes out best on aesthetics since only one wind turbine is installed. Option 1 cuts CO<sub>2</sub> emissions most.

## Forord

Dette er en bacheloroppgave som avslutter det treårige bachelorstudiet ingeniørfag, fornybar energi ved NTNU Gjøvik. Kystverket er oppdragsgiver til denne bacheloroppgaven som handler om energiforsyningen til Halten fyrstasjon.

Bacheloroppgaven ble til i tett samarbeid med Kystverket etter at jeg møtte en representant fra Kystverket på jobbmessen «Sjekk inn» i Ålesund. Målet mitt med oppgaven er at Kystverket kan bruke informasjonen i denne oppgaven til å forbedre og kutte CO<sub>2</sub>-utslipp med energiforsyningen til Halten fyrstasjon. I tillegg at løsningen må være økonomisk forsvarlig, tar hensyn til estetikk og har svært høy driftssikkerhet.

I løpet av dette vårsemesteret jeg har jobbet med denne oppgaven har jeg lært svært mye med å arbeide med ett stort prosjekt, arbeide selvstendig, samle informasjon og data, gjøre beregninger og skrive selve rapporten.

Jeg vil spesielt takke veilederen min Shiplu Sarker ved NTUN Gjøvik og kontaktpersonen i Kystverket Stein Ivar Hansen. Videre vil jeg takke en rekke personer for gode innspill og nødvendig informasjon til oppgaven. Hele familien må også takkes, da mye av oppgaven er gjort hjemmefra på grunn av koronapandemien.



## Innholdsfortegnelse

Abstract .....	iii
Forord .....	iv
Figurliste.....	viii
Tabeller.....	ix
1. Innledning.....	1
1.1. Problemstilling.....	3
1.2. Begrepsavklaring .....	3
2. Nåtidens energisituasjon .....	5
2.1 Dagens situasjon med diesellaggregat .....	5
2.1.1 CO <sub>2</sub> - utslipp.....	5
2.2 Energi og effektbehov til bruk videre i oppgaven .....	5
3. Energisparing og effektivisering .....	9
4. Nettilkobling.....	10
4.1 Kort vurdering av mulighetene.....	10
4.2 CO <sub>2</sub> - utslipp ved nettilkobling.....	10
5. Solceller.....	12
5.1 Muligheter for solcelledrift ved Halten fyrstasjon .....	12
5.2 Utrengninger.....	12
5.2.1 Økt installasjonen av solceller, mindre lagringsbehov.....	14
5.2.2 Dobbel installasjonen av solceller.....	14

5.3	Kostnader med solceller .....	15
5.4	Påvirkninger på nærmiljøet .....	15
6.	Vindenergi.....	16
6.1	Mulighet for vindenergi på Halten .....	16
6.2	Utrekninger med vindmøllen R9000 .....	17
6.3	Kostnader med vindmøllen R9000 .....	20
6.4	Påvirkninger på nærmiljøet .....	20
7.	Batteri .....	22
7.1	Nikkel-kadmiumbatteri.....	22
7.2	Kapasitet på batteriene.....	22
7.3	Kostnader ved batteri.....	22
8.	Hydrogen.....	23
8.1	Produksjon av hydrogen .....	23
8.2	Bruk av hydrogen som energilagring på Halten fyrstasjon .....	24
9.	Diskusjon.....	25
9.1	Oversikt over CO <sub>2</sub> - utslipp.....	25
9.2	Oversikt over kostnader.....	25
9.3	Aktuelle muligheter i henhold til problemstillingen.....	26
9.3.1	Alternativ 1: Kombinere sol- og vindenergi med batteri .....	27
9.3.2	Alternativ 2: Kombinere vindenergi, dieselaggregat og batteri .....	29
10.	Konklusjon .....	31

11. Videre arbeid og aspekt som må vurderes nærmere.....	32
Referanser.....	33
Vedlegg .....	37

## Figurliste

Figur 1: Oversiktskart.....	1
Figur 2: Flyfoto av Halten fyrstasjon .....	2
Figur 3: Kart over øygruppen Halten .....	2
Figur 4: Energiforbruket til Halten fyrstasjon per døgn gjennom året.....	7
Figur 5: Effektkurver av forbruket til Halten fyrstasjon gjennom året. ....	8
Figur 6: Avstander fra Halten.....	10
Figur 7: Solgraf for Halten (Time and date, u.d.). ....	12
Figur 8: Viser energikurve gjennom året, inkludert produksjon med solceller.....	13
Figur 9: Oversikt som visere behov for energilagring. ....	14
Figur 10: Oversikt over lagringsbehov ved dobling av solcelleinstallasjon. ....	15
Figur 11: Vindhastighet ved Halten fyr i januar og juli .....	17
Figur 12: Effektkurve for vindmølle (Anon., 2008).....	18
Figur 13: Oversikt over energiforbruket og produksjon fra vindmølle.....	19
Figur 14: Støynivå fra vindmøllen R9000 i forhold til avstand og vindhastighet (Anon., 2008). .....	21

## Tabeller

Tabell 1: Oversikt over effekt og energiforbruket per døgn .....	6
Tabell 2: Beaufort vindskala (Statens karverk sjø, 2008). .....	16
Tabell 3: Månedsvise energiproduksjon fra vindmøllen. (Anon., 2008) .....	19
Tabell 4: Oversikt over CO <sub>2</sub> -utslippene .....	25
Tabell 5: Oversikt over kostnader ved forskjellige alternativ .....	26

## 1. Innledning

Denne bacheloroppgaven handler om energiforsyningen til Halten fyrstasjon som ligger på det gamle og fraflyttede fiskeværet Halten i Trøndelag. Halten er en gruppe med øyer, holmer og skjær ut i havet som tilhører Frøya kommune, der båt er eneste transportmiddel.



Figur 1: Oversiktskart

Selve fyret med tilhørende driftsbygning ligger på Store Reinsøy. Fyrstasjonen ble etablert i 1875, der selve fyret er ett steintårn som er 29,5 meter høyt, og lyshøyden er 39 meter over havet. Steintårnet kommer opprinnelig fra Lista fyr på Sørlandet, men ble flyttet til Halten fyr. På Lista fyrstasjon stod det 3 like fyr, men den teknologiske utviklingen med lyskilden gjorde at det er nok med ett fyrlys. Halten fyrstasjon ble avbemannet og fullt automatisert i 2005. (Lauritzen, 2009) og (Stiftelsen Halten, u.d.)



Figur 2: Flyfoto av Halten fyrstasjon



Figur 3: Kart over øygruppen Halten

Figur 2 viser ett flyfoto av Halten fyrstasjon, mens figur 3 viser ett kart over øygruppen, der Halten fyrstasjon er i midten.

## 1.1. Problemstilling

I dag drives fyrstasjonen av to dieselaggregat. Målet med denne bacheloroppgaven er å finne gode alternative energikilder med tilhørende måte å lagre energien på til fyrstasjonen.

Problemstillingen som denne bacheloroppgaven skal se på er følgende:

*«Vurdere løsninger som dekker energibehovet til Halten fyrstasjon, ved å ta hensyn til CO<sub>2</sub>-utslipp, økonomi, estetikk og driftssikkerhet.»*

Problemstillingen er utarbeidet med bakgrunn i de viktigste kravene Kystverket har til en alternativ energikilde. Den nye energiløsningen må være svært pålitelig med høy driftssikkerhet. På grunn av den avsides beliggenheten er vedlikehold dyrt å gjennomføre og løsningen må derfor kreve minst mulig vedlikehold og tilsyn. I tillegg må den oppfylle strenge miljøkrav. Siden Halten fyr er fredet, må alt dette også bli godkjent av riksantikvaren.

## 1.2. Begrepsavklaring

Elektrisk energi	Er en energiform som skyldes elektriske krefter. Elektrisk energi må brukes samtidig som den produseres, men den kan lagres ved å gjøre om den elektriske energien til for eksempel kjemisk energi i ett batteri eller til hydrogen. Enheten er [Wh], men oftest er [kWh] brukt (Hofstad, 2017).
Elektrisk effekt	Er ett mål på hvor mye elektrisk energi som er avgitt eller mottatt per tidsenhet. Enheten er [W] men [kW] brukes ofte (Hofstad, 2020).
Fyrstasjon	En fyrstasjon har historisk vært ett bemannet fyr med tilhørende driftsbygninger og bolig. I dag er alle fyrstasjonene avbemannet og automatisert. Totalt er det over 100 fyrstasjoner i drift langs Norskekysten som navigasjonsinstallasjoner (Larsen, 2016).
Racon	Forkortet fra det engelske ordet Radarbeacon. Det betyr at det er montert en enhet som svarer på radarsignal fra skip med en identifiserbar kode, slik at navigeringen blir tryggere (Lundheim, 2018).



## Solverv

Det er vintersolverv 21. eller 22 desember som er den dagen i året som har kortest periode med dagslys og lengst periode med nattermørke. (Aksnes, 2019). Sommersolverv er 21. eller 22. juni og er den dagen med lengst periode med dagslys og kortest periode med nattermørke (Aksnes, 2019).

## 2. Nåtidens energisituasjon

Dette kapitlet vil gi en oversikt over hvordan energisituasjonen er i dag.

### 2.1 Dagens situasjon med dieselaggregat

Fyrstasjonen driftes i dag av to dieselaggregat. Disse trenger vedlikehold omtrent 4 ganger i året, og levetiden er rundt 4 år. Det er derfor en svært dyr og ressurskrevende måte å skaffe energien til fyrstasjonen på. Halten fyrstasjonen bruker i dag omtrent 11 000 liter diesel i året (Hansen, 2020).

#### 2.1.1 CO<sub>2</sub>- utslipp

1 liter diesel tilsvarer omtrent 2,7 kg CO<sub>2</sub> (Miljødirektoratet, u.d.). Dermed er CO<sub>2</sub>- utslippet ved dagens driftssituasjon omtrent 29,7 tonn i året. Noe som tilsvarer det gjennomsnittlige års utslippet til 3,6 innbyggere i Norge (Øvrebø, 2019).

I tillegg kommer utslipp i forbindelse med vedlikehold, deler og transport. Dette er utslipp som er vesentlige, men det er ikke tatt med i denne oppgaven. Det vil likevel være viktig å redusere intervallene for vedlikehold da det vil redusere både CO<sub>2</sub>- utslipp og driftskostnader.

### 2.2 Energi og effektbehov til bruk videre i oppgaven

Det finnes i dag ingen eksakte tall på effekt og energiforbruket til Halten fyrstasjonen. Tallene er derfor basert på erfaring som Kystverket har opparbeid gjennom tidene. Ideelt sett burde det derfor vært installert noen effekt- og energimålere gjennom ett år, slik at en kunne arbeide med mer nøyaktige tall. Siden eksakt data fra målere ikke finnes vil denne oppgaven gå ut fra de omtrentlige tallene jeg har fått oppgitt fra Kystverket.

Selve fyrlyset driftes i dag av en glødepære på 1000 W med en spenning på 120V. Kystverket antar at fyrlyset lyser gjennomsnittlig 14 timer i døgnet. Til frostsikring og oppvarming er det en varmpumpe som kontinuerlig bruker omtrent 400 W i gjennomsnitt.

Halten fyrstasjon er et radarfyr (Racon) som vil si at det svarer automatisk på radarsignal. Racon bruker 4 W gjennomsnittlig 12 timer i døgnet.

Det blir også beregnet et energiforbruk til utleie om sommeren. Det finnes i dag ingen informasjon om effekt og energiforbruk på dette. Jeg tar derfor utgangspunkt i at det ved

utleie er en effekt på 5 kW åtte timer i døgnet. Antar videre at det er utleie 2 måneder i året, 60 dager. Effekten og energiforbruket er lite i forhold til en enebolig, men burde være nok til utleie om sommeren når behovet til oppvarming er minst.

Tabell 1:

Oversikt over effekt og energiforbruket per døgn

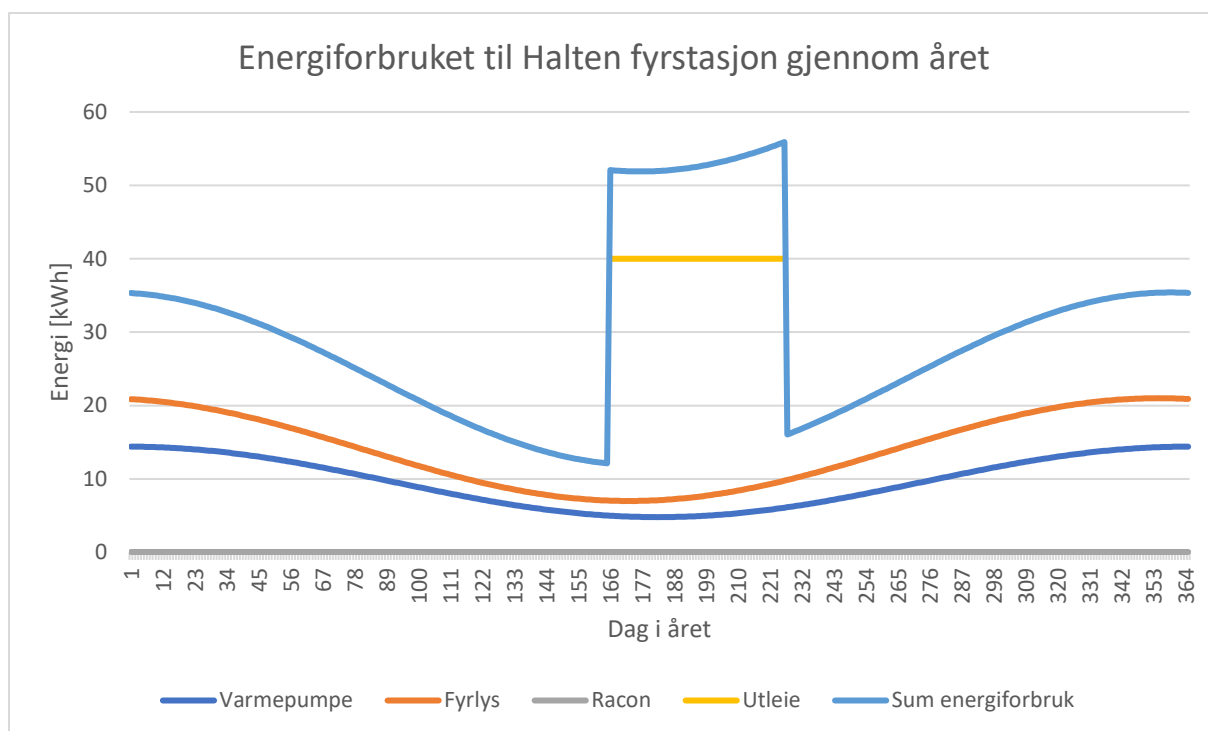
	Effekt [W]	Gjennomsnittlig antall timer	Gjennomsnittlig energiforbruk [kWh]
<i>Fyrlyset</i>	1000	14	14
<i>Varmepumpe</i>	400	24	9,6
<i>Racon</i>	4	12	0,048
<i>Leietakere</i>	5000	8	40
<b>Totalt</b>	<b>6404</b>		<b>63,65</b>

Ved fyrstasjonen er det også en værstasjon, men denne driftes separat med egen energiforsyning, og er ikke med i denne oppgaven.

I dag er det også en dGPS, det er en enhet som skal korrigere GPS signalene. Denne trekker rundt 1 kW kontinuerlig. Enheten er planlagt flyttet, og energiforbruket til dGPS er derfor ikke med i beregningene til denne bacheloroppgaven.

Gjør to forenklinger og forutsetninger til beregningene videre:

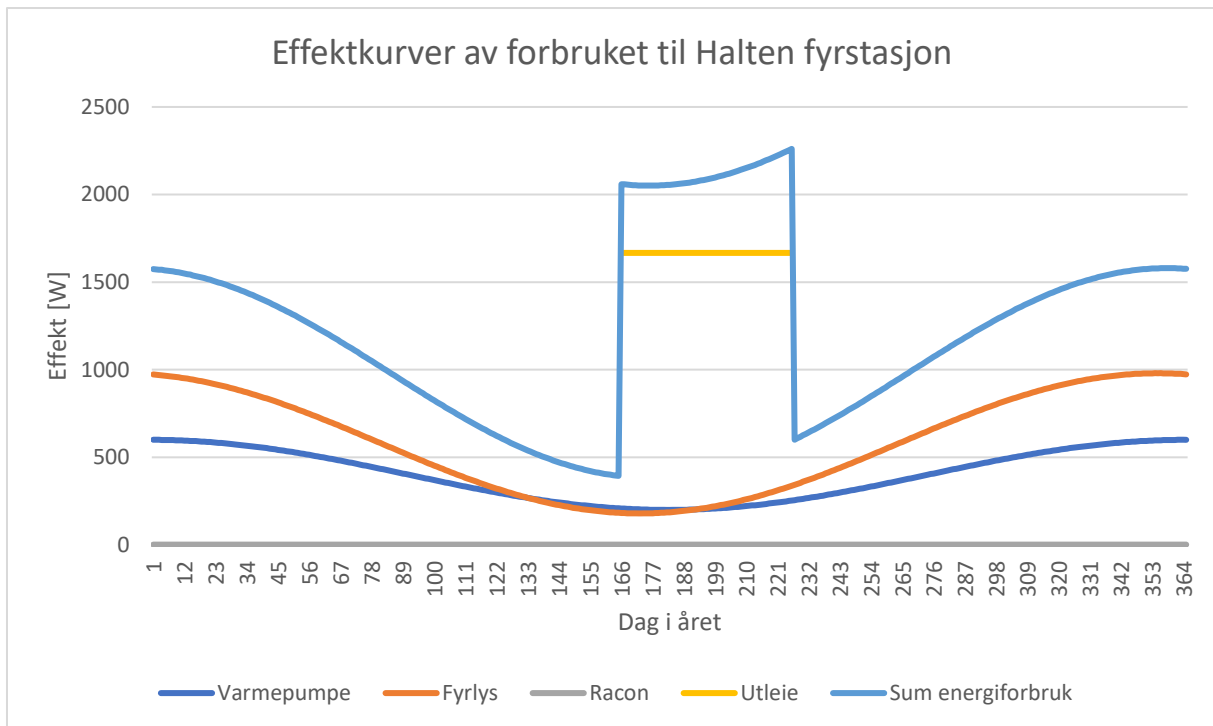
1. Utleie skjer på sommeren i 60 dager, fra 15. juni til og med 14. august.
2. Antar at forbruket fra både varmpumpe og fyrlys følger en sinuskurve gjennom året. Kurven til varmpumpen har toppunkt ved nyttår, mens kurven til fyrlyset har toppunkt ved vintersolverv, den 21. desember.



Figur 4: Energiforbruket til Halten fyrstasjon per døgn gjennom året.

Figur 4 viser energiforbruket til Halten fyrstasjon per døgn gjennom året. Totalt årlig energiforbruk er beregnet til 11 072 kWh. Til sammenligning bruker en gjennomsnittlig norsk husholdning 16 000 kWh elektrisk energi i året (Fredriksen, 2018).

Figur 5 viser effektkurven gjennom året. Fyrlyset bruker 1000W når det er tent, men jeg har her antatt at det følger en sinuskurve. For å kunne sammenligne effekten fra fyrlyset med resten har jeg regnet om til en gjennomsnittlig effekt gjennom hele døgnet. Selv om virkeligheten er at fyrlyset bruker 1000 W når det lyser, og ingenting når det er avslått. Det samme prinsippet gjelder varmepumpen. Der har jeg brukt en gjennomsnittlig effekt på 400 W gjennom døgnet, men i virkeligheten vil den koble seg inn og ut flere ganger i døgnet og effekten vil variere gjennom døgnet.



Figur 5: Effektkurver av forbruket til Halten fyrstasjon gjennom året.

### 3. Energisparing og effektivisering

Energisparing er et viktig, og kan være ett relativt enkelt og billig tiltak for å redusere energiforbruket. Det vil også gjøre det billigere og enklere å dimensjonere en alternativ og fornybar energikilde.

Siden selve fyrlykten drives av en glødepære på 1000W, vil det være svært energibesparende å bytte til en moderne LED-pære. Dette vil redusere både effekten og energibehovet svært mye, siden LED- pærer har ett mye større lysutbytte (Hofstad, 2019). Å bytte ut glødepærene med LED-pærer er noe Kystverket har prøvd tidligere på noen andre fyrstasjoner, men Kystverket har per i dag ikke gode nok erfaringer til at de ønsker å bruke dette enda.

Dersom det i fremtiden blir mulig for Kystverket å bytte til en LED-pære vil det være betydelig enklere å drifte fyrstasjonen med en alternativ og fornybar energikilde. En kan dimensjonere både energikilden og energilagringen vesentlig mindre, med lavere investeringskostnader og med mindre naturinngrep.

Utover å bytte ut fyrlyset til LED-pærer er det ikke sett på andre tiltak til energisparing i denne oppgaven. Jeg vurderer dessuten andre tiltak til å ha ett begrenset potensial da fyrlyset er den største energikilden gjennom året, og varmepumpe er allerede installert.

## 4. Nettilkobling

Dette kapitlet vil se på mulighetene for nettilkobling via sjøkabel.

### 4.1 Kort vurdering av mulighetene

Til nærmeste nettilkobling på Froan er avstanden i luftlinje omtrent 22 km. Til fastlandet er nærmeste punkt med nettilkobling omtrent 27 km i luftlinje.



Figur 6: Avstander fra Halten

Sannsynligvis kunne flere av øyene brukt energi fra land om det ble lagt en sjøkabel. Likevel vil investeringskostnaden bli svært høy. Ut fra en annen sjøkabel med ett spenningsnivå på 22 kV er prisen beregnet til 2,4 millioner per km, noe som i dette tilfellet vil gi en pris på mellom 50 og 70 millioner kroner (Mørenett, 2019). I tillegg kommer investering til nettstasjon og andre tilhørende komponenter.

### 4.2 CO<sub>2</sub>- utslipp ved nettilkobling

Fra varedeklarasjonen fra NVE 2018, blir det oppgitt at norsk kraft produksjon har ett CO<sub>2</sub> utslipp på 18,9 g/kWh (Eliston, 2019). Dersom det hadde vært mulig å koble Halten fyr til det ordinære nettet hadde det betydd ett årlig utslipp på:

$$11\,072\text{kWh} * 18,9\text{g CO}_2/\text{kWh} = 209,3\text{ kg CO}_2$$

Noe som bare er 7% av dagens CO<sub>2</sub>- utslipp ved bruk av dieselaggregat.

Dersom en tar hensyn til opprinnelsesgarantiene som blir solgt, hovedsakelig til utlandet er CO<sub>2</sub> -utslippet per kWh 520g (Eliston, 2019). Dette vil si at utslippene for Halten fyrstasjon hadde blitt:

$$11\,072\text{kWh} * 520\text{g CO}_2/\text{kWh} = 5\,757,4\text{ kg CO}_2$$

Noe som er 19,4% av CO<sub>2</sub>- utslippet ved dagens bruk av dieselaggregat.



## 5. Solceller

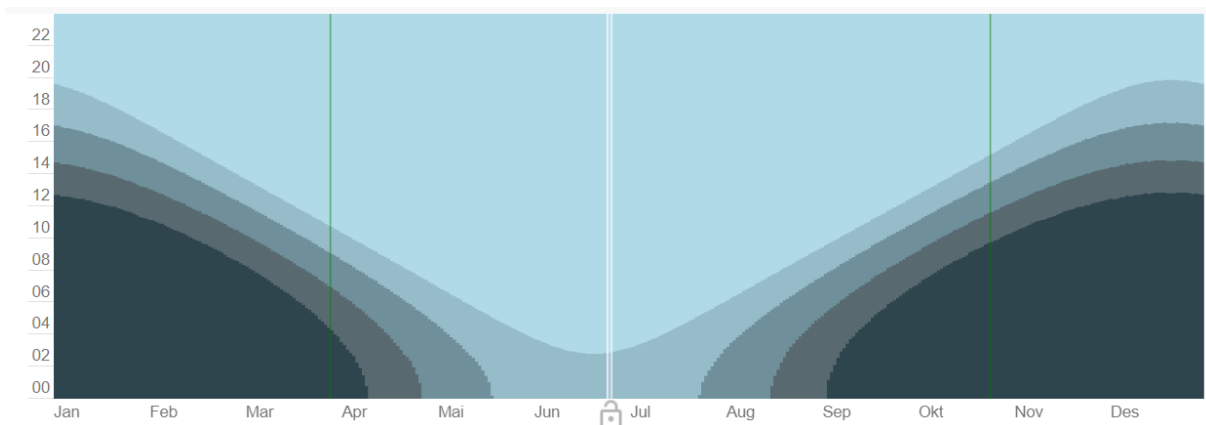
Dette kapittelet vil omhandle hvordan en kan benytte solenergi som ved hjelp av solceller omdanner energien i sollyset til elektrisk energi.

### 5.1 Muligheter for solcelledrift ved Halten fyrstasjon

En stor fordel ved solceller er at det krever lite vedlikehold, da det ikke finnes bevegelige deler. Er solcellene montert solid vil solcellene kunne gi elektrisk energi over mange år.

Hovedutfordringene er at det kreves dagslys for at solcellene skal gi elektrisk energi. På grunn av den geografiske beliggenheten relativt langt nord er det store variasjoner gjennom året.

Ved vintersolverv er det bare 4 timer og 6 minutt fra solen står opp til den går ned på Halten fyr. Det er også denne årstiden energibehovet er størst. Ved sommarsolverv når energibehovet er minst er det dagslys i over 21 timer i døgnet (Time and date, u.d.).



Figur 7: Solgraf for Halten (Time and date, u.d.).

Av figur 7 ser en at det er store forskjeller med lysforholdene gjennom året. Lyseblått er dagslys, mens i de mørke feltene er det mørkt.

En annen utfordring kan være å holde solcellene mest mulig rene. Det vil i perioder komme mye salt på solcellene. Samtidig vil det relativt ofte regne, og regnet vil vaske vekk det verste av saltet.

### 5.2 Utregninger

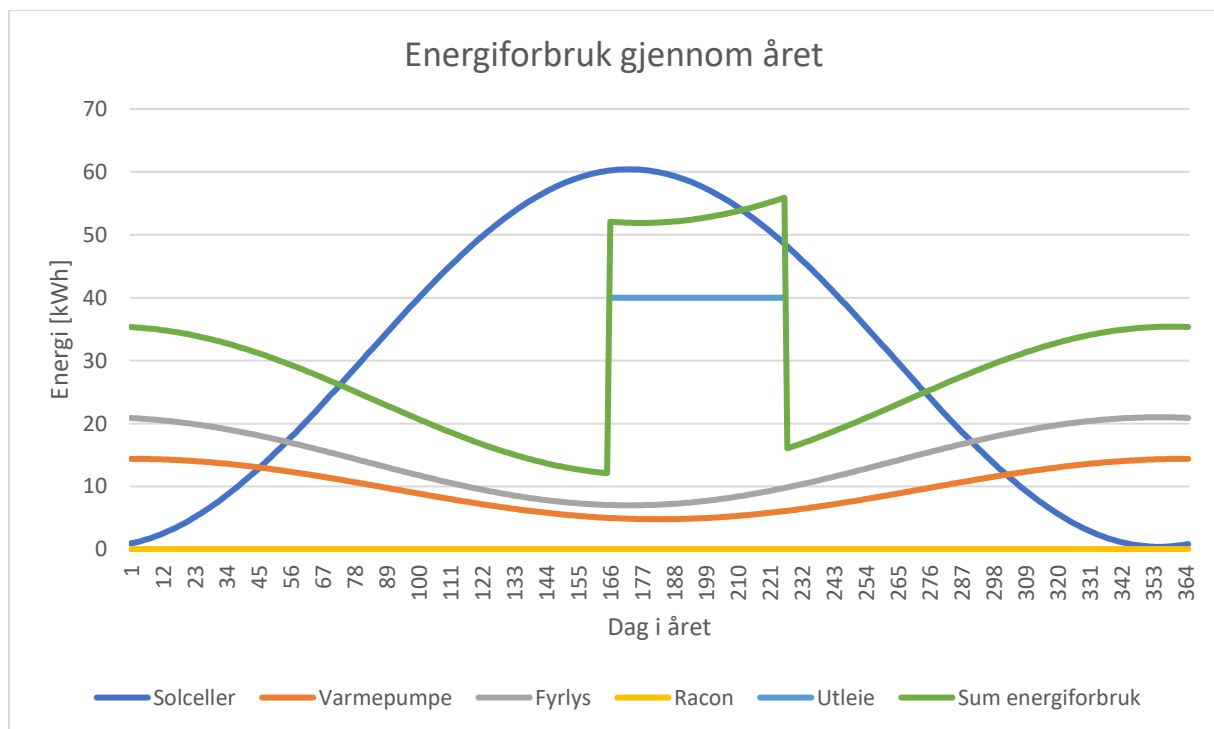
Antar at solcellene kan gi årlig  $100 \text{ kWh/m}^2$  (Norsk solenergiforening, u.d.). Det betyr at det må være ett relativt stort areal for å dekke energibehovet til Halten fyrstasjon. Siden det er svært begrenset med sollys på den mørkeste årstiden, må det også være stor lagringskapasitet. Det vil si at arealet må være:

$$\frac{11\,072\text{ kWh}}{100\text{ kWh/m}^2} = 111\text{ m}^2$$

Men dette alternativet krever svært stor lagringskapasitet, da det blir produsert lite elektrisk energi i den mørke tida på året. Det vil derfor være naturlig å installere ett større areal med solceller, for å ha noe å gå på og for å redusere behovet for energilagring.

Antar videre at solcellene produserer årlig 700 kWh per kWp installert (Hole, 2020). kWp står for kW-peak, som er merkeeffekten, den effekten solcellene gir ved standart testforhold. Noe som vil si at installert effekt er:

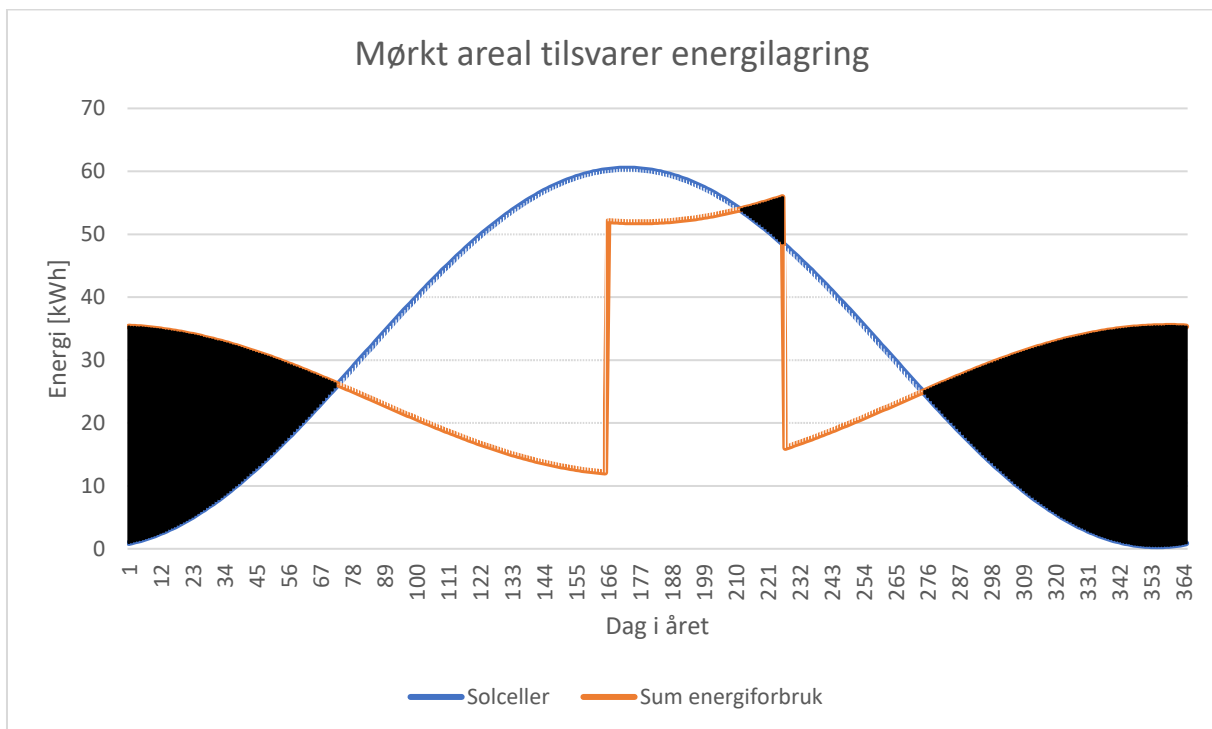
$$\frac{11\,072\text{ kWh}}{700\text{ kWh/kWp}} = 16\text{ kWp}$$



Figur 8: Viser energikurve gjennom året, inkludert produksjon med solceller.

Figur 8 viser energikurvene gjennom året, inkludert energiproduksjonen fra solcellene. Den er regnet ut ved å finne gjennomsnittlig døgnproduksjonen, og deretter lage en passende sinuskurve. Sinuskurven har bunnpunkt ved vintersolverv 21. desember. Fra figuren blir arealet mellom solcelleproduksjonen og sum energiforbruk det totale energilagringskapasiteten som må være på plass. Dette vises ekstra tydelig i figur 9. Det vil derfor være naturlig å enten investere i flere solceller, eller se på kombinasjonsmuligheter slik

at energiproduksjonen kan økes vinterhalvåret, og lagringsbehovet reduseres tilsvarende. I dette tilfellet må lagringskapasiteten være svært stor, 3 679 kWh.



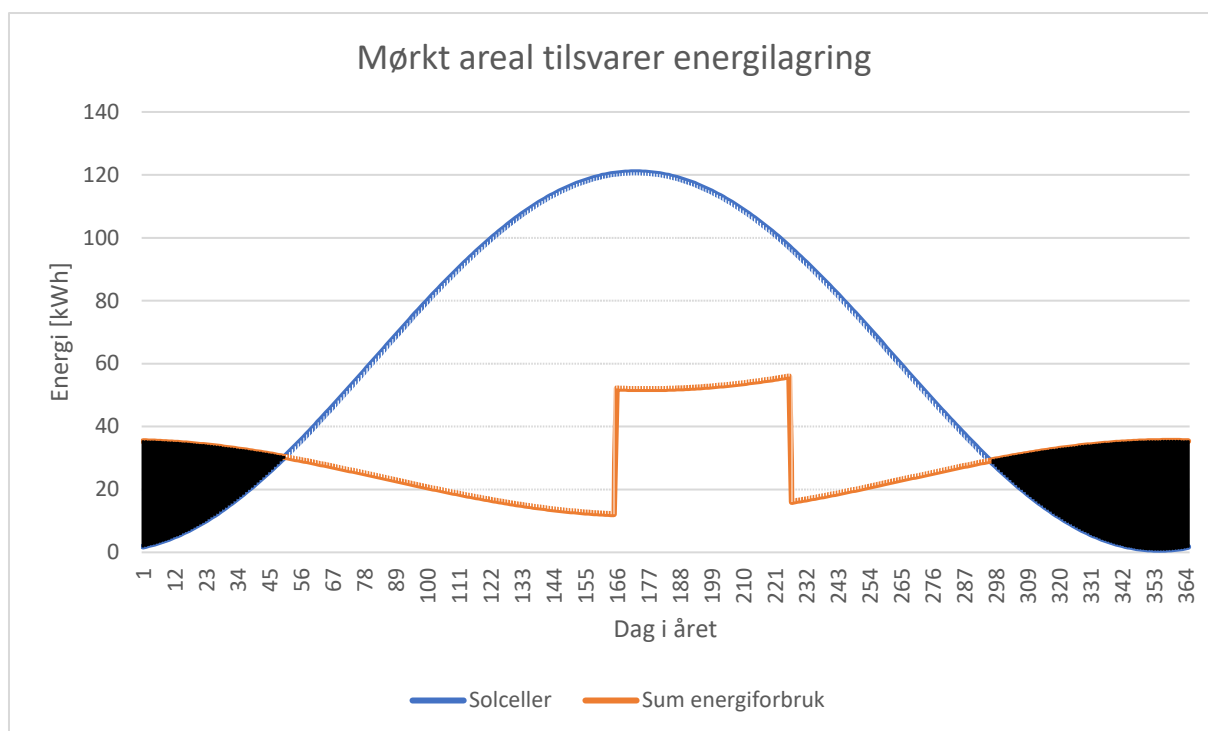
Figur 9: Oversikt som visere behov for energilagring.

#### 5.2.1 Økt installasjonen av solceller, mindre lagringsbehov

Dersom en installerer ett større areal med solceller, vil lagringsbehovet bli mindre. Likevel vil energiproduksjonen fra solceller følge samme sinuskurven, og en vil få ett stort energioverskudd på sommeren som en ikke får utnyttet. Fordelen er at lagringsbehovet blir mindre.

#### 5.2.2 Dobbel installasjonen av solceller

I figur 10 vises en oversikt over lagringsbehovet dersom en dobler installasjonen av solceller til 32 kWp. Lagringsbehovet blir nå 2 697 kWh, som er 26,7% mindre enn minste solcelle installasjon.



Figur 10: Oversikt over lagringsbehov ved dobling av solcelleinstallasjon.

### 5.3 Kostnader med solceller

Solcellene er oppgitt til å koste 9 kr per Wp installert med komplett pakke med inverter og kabler, men uten monteringskostnader og moms (Tafjord, 2020). Gitt en solcelle installasjon på 16kWp blir investeringskostnaden eks moms og montering beregnet til:

$$16kWp * 9kr/Wp = 144\ 000\ kr$$

Ved en dobling av solcelleinstallasjonen blir investeringskostnaden på 288 000 kr eks moms og montering.

### 5.4 Påvirkninger på nærmiljøet

Store areal med solceller vil vise godt igjen i naturen på Halten. Dette vil bli en stor visuell forurensning i forhold til hvordan området ser ut i dag, og historisk har vært. Det vil også kunne gi refleksjoner som må vurderes, dette kan gi forstyrrelser til både besøkende på øygruppen og skipstrafikken. Halten fyr er i dag fredet og er underlagt strenge begrensninger, så dette er noe som må vurderes nærmere i videre arbeid.

## 6. Vindenergi

Dette kapitlet vil handle om mulighetene for å benytte energien i vinden som energikilde til Halten fyrstasjon. Vind er luftmasser i bevegelse og er dermed en form for kinetisk energi som en vindmølle kan utnytte, og via en generator kan produsere elektrisk energi.

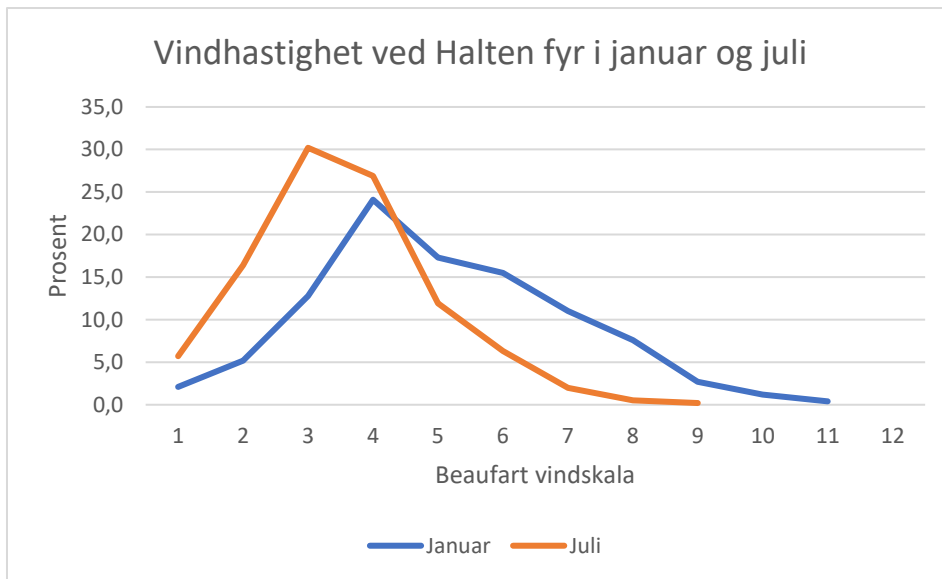
### 6.1 Mulighet for vindenergi på Halten

Tabell 2:

*Beaufort vindskala (Statens karverk sjø, 2008).*

<b>BEAUFORT VINDSKALA</b>	<b>VINDHASTIGHET[M/S]</b>
<b>0</b>	0,0-0,2
<b>1</b>	0,3-1,5
<b>2</b>	1,6-3,3
<b>3</b>	3,4-5,4
<b>4</b>	5,5-7,9
<b>5</b>	8,0-10,7
<b>6</b>	10,8-13,8
<b>7</b>	13,9-17,1
<b>8</b>	17,2-20,7
<b>9</b>	20,8-24,4
<b>10</b>	24,5-28,4
<b>11</b>	28,5-32,6
<b>12</b>	Over 32,6

Målestasjonen på Halten er 16moh, og det er den høyden vinddataen kommer fra (Yr.no, 2020). I figuren nedenfor vises vinddata fra boken Den Norske los som bruker data fra 1971-2000 (Statens karverk sjø, 2008). Vindstyrken er gjengitt i beaufort vindskala som er vanlig å bruke til sjøs, i tabell 2 vises sammenhengen mellom beaufort vindskala og vindhastigheten i meter per sekund. I figur 11 viser tydelig at det gjennomsnittlig er betydelig sterkere vind i januar enn i juli. Dette passer bra, siden det er vinterhalvåret energibehovet er størst.



Figur 11: Vindhastighet ved Halten fyr i januar og juli

## 6.2 Utrekninger med vindmøllen R9000

Fordelen med vindenergi er at det gir mer energi i vinterhalvåret enn solceller. Det er likevel en energikilde som er avhengig av vinden, og dermed variabel.

En aktuell vindmølle å bruke er R9000. Det er en forholdsvis liten vindmølle med en rotordiameter på 5,5 meter som har en nominell effekt på 5 kW. Tårnhøyden er valgfri i 12, 15 og 18,3 meters høyde (Britwind, u.d.).

Vindmøllen skal trenge lite vedlikehold og det skal være enkelt siden vindmøllen kan legges ned til bakken (Britwind, u.d.). Dette er viktig for Kystverket, da vedlikehold er dyrt på grunn av beliggenheten til Halten fyrstasjon.

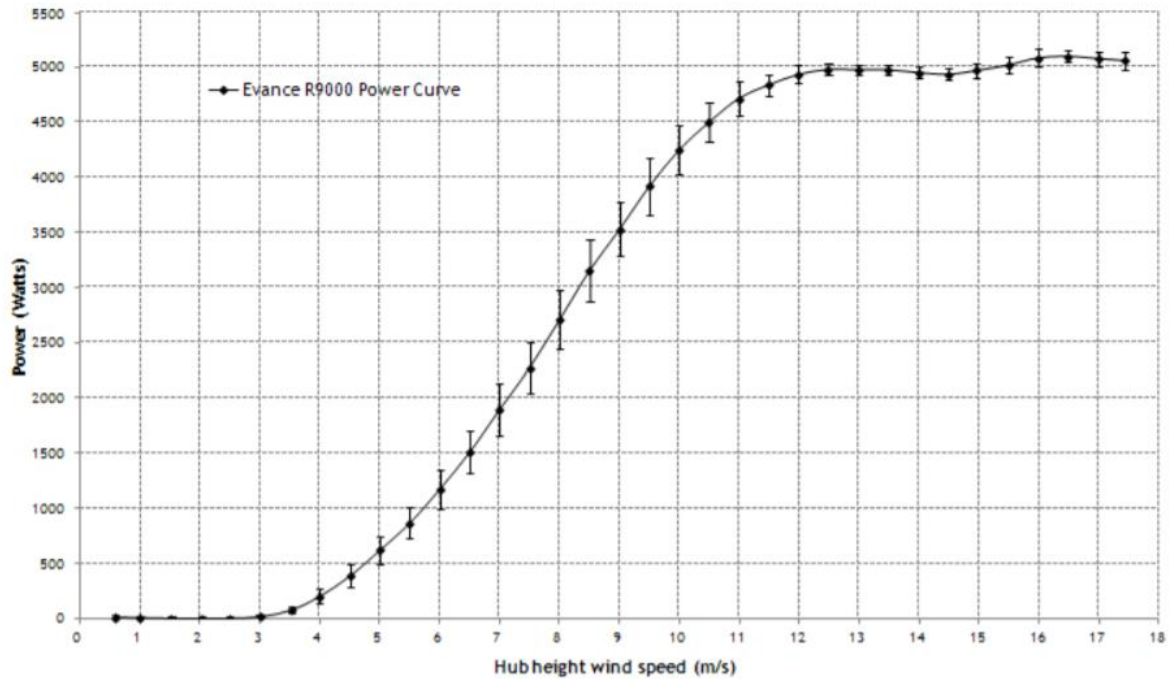


FIGURE 1 - POWER CURVE AND COMBINED STANDARD UNCERTAINTY AT SEA LEVEL AIR DENSITY, 1.225kg/m<sup>3</sup>

Figur 12: Effektkurve for vindmølle (Anon., 2008).

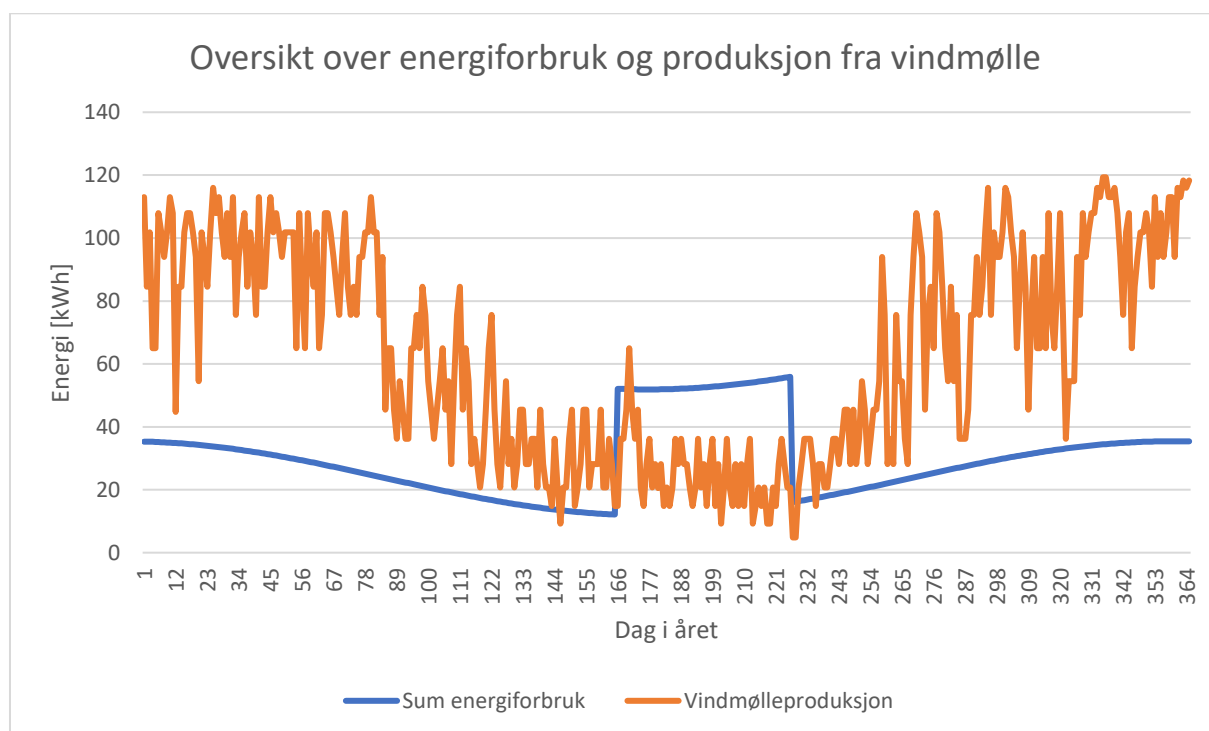
I figur 12 vises effektkurven for vindmøllen. Av kurven ser vi at cut-in speeden er 3 m/s og fra og med omtrent 12 m/s produserer vindmøllen 5 kW. Den tåler vindkast opp til 60 m/s (Britwind, u.d.). Jeg har sett på data fra Norsk klimasenter over kraftigste vindkast i en tidsperiode på 10 minutter for de siste ti årene. Der er det ingen vindkast i en tidsperiode på 10 minutter som er over 40 m/s på Halten fyrstasjon (Norsk klimasenter, 2020). Dette er betryggende, men det trengs nærmere undersøkelser for å vite hvor ofte en kan forvente vindkast over 60 m/s. En tidsperiode på 10 minutter er dessuten relativt lenge for ett vindkast, men dette var den minste tidsperioden det finnes data for.

Den gjennomsnittlige vindstyrken de siste 5 årene på Halten fyrstasjon er 7,9 m/s. Denne vindmøllen gir ved 8,0 m/s 20 654 kWh. Noe som skal være mer enn nok for Halten fyrstasjon, også i år med mindre vind enn et normalår. Vindmøllen vil for eksempel gi 17 586 kWh ved 7,0 m/s (Anon., 2008). Det er stor variasjon i vinden, og det må derfor være en relativt stor lagringskapasitet.

Tabell 3:

Månedsvis energiproduksjon fra vindmøllen gitt vindstyrke fra 2019. (Anon., 2008)

Måned	Vindstyrke [m/s]	Effekt	Totalt timer	Energi [kWh]
Januar	10,4	4496	744	3345
Februar	9,8	4244	672	2852
Mars	9,5	3918	744	2915
April	6	1174	720	845
Mai	6,3	1508	744	1122
Juni	5,9	1174	720	845
Juli	5,3	864	744	643
August	5,4	864	744	643
September	8	2710	720	1951
oktober	7,1	1894	744	1409
November	6,1	1174	720	845
Desember	9,6	3918	744	2915
<b>Totalt</b>			<b>8760</b>	<b>20 331</b>



Figur 13: Oversikt over energiforbruket og produksjon fra vindmølle

Figur 13 viser en oversikt over det samla energiforbruket på Halten fyrstasjon og en gjennomsnittlig forventet vindmølleproduksjon. Enerkiproduksjonen fra vindmøllen er utregnet med bakgrunn i vinddata per døgn fra årene 2010 til 2019 (Norsk klimasenter, 2020).



Det er brukt produktsertifisering til den aktuelle vindmøllen R9000 for å finne energiproduksjon til hver vindstyrke.

Fra figuren ser en at en trenger energilagring om sommeren, mens utleieperioden pågår. Behovet for energilagring er da 1 701 kWh basert på gjennomsnittlig vinddata for de siste 10 årene. Det er derimot mye energi å ta av da energiproduksjonen gjennom året er omtrent ni tusen kilowattimer mer enn energiforbruket.

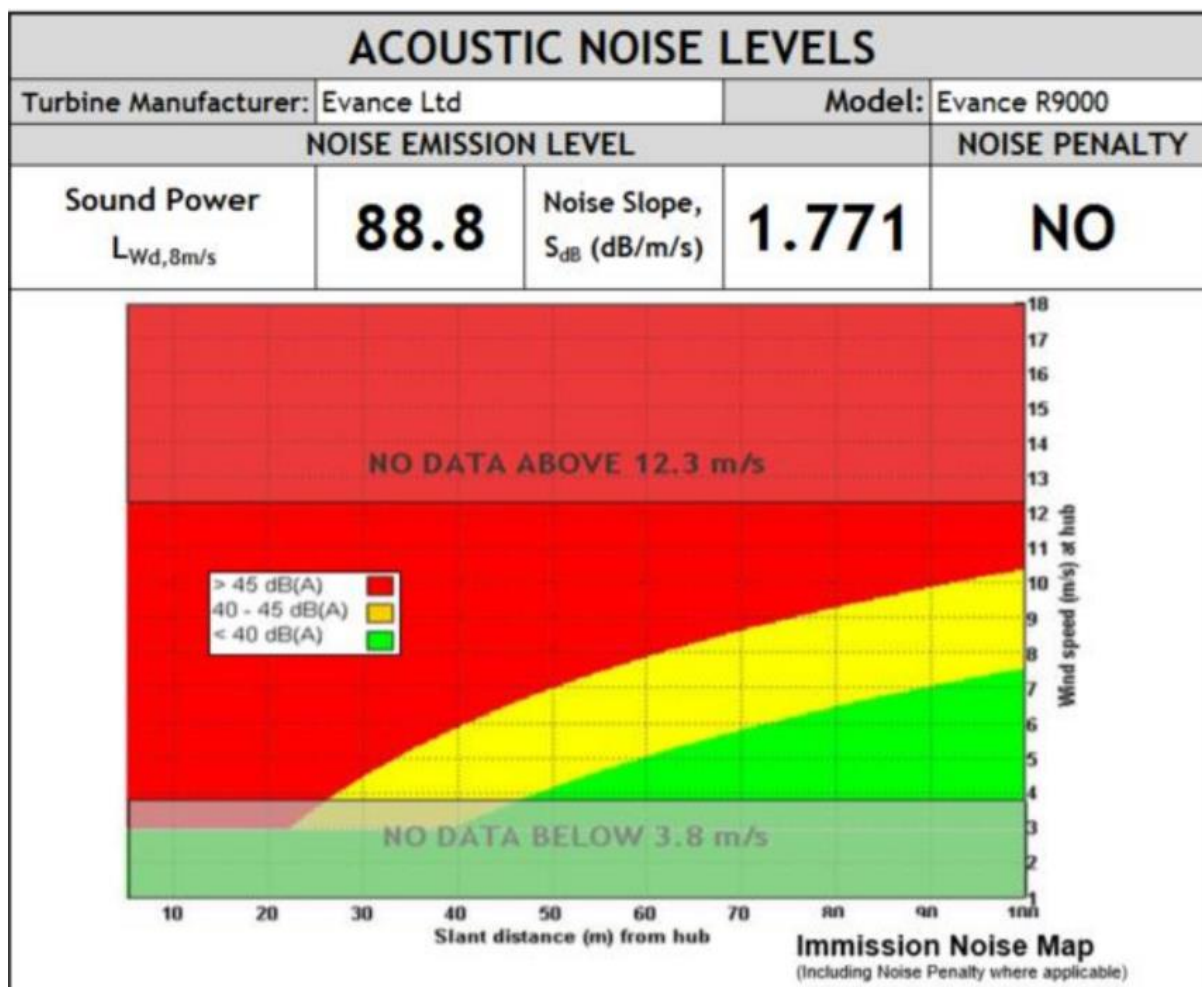
### 6.3 Kostnader med vindmøllen R9000

Vindmøllen R9000 er beregnet til å koste omtrent 300 000 kr i investering eks montering og omtrent 5000kr per år i service og vedlikehold (Wergeland, 2016).

### 6.4 Påvirkninger på nærmiljøet

Ei vindmølle vil vise svært godt igjen i terrenget på Halten. Området består av lave holmer og skjær uten særlig vegetasjon. Dette gjør at mange vil kunne oppleve en vindmølle som sjenerende om sommerhalvåret når øygruppen Halten har mange besøkende. Vindmøllen R9000 har en vingediameter på 5,5 meter, og en høyde på tårnet fra 12 til 18 meter (Britwind, u.d.). Til sammenligning er tårnhøyden til fyrtårnet 29,5 meter (Lauritzen, 2009). Dette betyr at vindmøllen vil være liten i forhold til fyrtårnet, og fyrtårnet vil også gi turbulens med påfølgende lavere produksjon ved enkelte vindretninger.

Vindmøller lager også en del støy. Siden vindmøllen vil bli plassert på samme øy som fyret, vil det bli lite forstyrrelser for bebyggelse på andre holmer og øyer på Halten. Utfordringen ligger i når fyrstasjonen blir brukt til utleie, vindmøllen vil da forstyrre. Dette er noe som bør bli nærmere undersøkt. Det er verdt å merke seg at dagens energiproduksjon ved bruk av dieselaggregat heller ikke er lydløs, selv om disse er plassert innendørs.



Figur 14: Støynivå fra vindmøllen R9000 i forhold til avstand og vindhastighet (Anon., 2008).

En vanlig problemstilling for vindmøller er at fugler kan bli skadet eller drept i kollisjoner med rotoren. Nå er denne vindmøllen forholdsvis liten med en diameter på 5,5 meter, men det er naturlig å anta at det likevel vil få konsekvenser for fugler. Halten ligger i ett område med rikt dyre og fugleliv og grenser til Froan naturreservat (Helstad, 2019).

## 7. Batteri

Batteri er en godt utviklet teknologi til energilagring, der en lagrer den elektriske energien som kjemisk energi.

### 7.1 Nikkel-kadmiumbatteri

Kystverket bruker i dag nikkel-kadmiumbatteri (NiCd) fra «Saft» (Hansen, 2020). Saft er en stor internasjonal batteriprodusent (Saft, u.d.). Dette er et oppladbart batteri som «tåler» mye og varer i godt over 20 år med Kystverkets bruk. Batteriet tåler å bli utladet og lagret utladet over lenger tid. Med bakgrunn i disse egenskapene er Kystverket godt fornøyd med disse NiCd batteriene (UiO ved Kjemisk institutt, 2010).

En ulempe er at batteriet inneholder mye kadmium, noe som er svært giftig. Derfor ser mange etter alternativ til NiCd batterier.

### 7.2 Kapasitet på batteriene

Batteriene må være store nok til å kunne lagre den nødvendige energien i forhold til energiløsningen som blir valgt.

### 7.3 Kostnader ved batteri

Batteriene har en kostnad på ca. 5500kr per kWh beregnet med bakgrunn i Powerwall batteriene til Tesla. Disse batteriene inneholder omformer som konverter strømmen fra likestrøm til vekselstrøm. Batteriene kan i tillegg monteres utvendig, men på grunn av beliggenheten til Halten fyrstasjon vil nok innendørs være å anbefale (Tesla, 2020). En kan anta at prisene på batteri vil gå ytterlig ned de neste årene, som vil redusere investeringskostnaden til energilagring vesentlig (Henze, 2019).

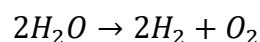
## 8. Hydrogen

Hydrogen er ett av de vanligste grunnstoffene i naturen, men finnes nesten ikke i ren og naturlig form i naturen. Hydrogen må derfor fremstilles, og kan da lagres i tanker under høyt trykk slik at det er en energibærer (Pedersen, 2019)

### 8.1 Produksjon av hydrogen

Hydrogen kan produseres fra naturgass som er den mest vanlige metoden i industrien, men denne prosessen slipper ut CO<sub>2</sub>, uten fungerende CO<sub>2</sub>- lagring kan denne prosessen ikke kalles bærekraftig.

Hydrogen kan også produseres med elektrolyse, som er en kjemisk prosess der en spalter vannmolekylene (H<sub>2</sub>O) til produktene hydrogen og oksygen. Dersom energikilden til elektrolysen er bærekraftig, vil også hydrogenet vi får ut være både bærekraftig og klimavennlig. Reaksjonsligningen er vist nedenfor:



Ved bruk av hydrogengass i en brenselcelle for å danne elektrisk energi går reaksjonen i motsatt retning.

Ved produksjon med hydrogen kan en lagre overskuddsenergi i perioder med stor energiproduksjon og bruke denne i perioder med lav eller ingen energiproduksjon. Hydrogengassen kan deretter lagres på tanker under høyt trykk. Den store fordel er at en slipper batteri, men det er også et betydelig ekstra energitap ved å bruke elektrisk energi til å produsere hydrogen, for deretter å bruke den lagrede hydrogengassen til å produsere elektrisk energi (Pedersen, 2019).

Hydrogen vil derfor sannsynligvis bli en viktig energibærer i det fornybare samfunnet der en stor del av kraftproduksjonen kommer fra energikilder som varierer med været. Per i dag er hydrogen lite brukt, og er ansett for å være en ny og umoden teknologi.

## 8.2 Bruk av hydrogen som energilagring på Halten fyrstasjon

Bruk av hydrogen som energilagring har fordeler på Halten fyrstasjon. En unngår store batteriinvesteringer og det gir muligheter til å lagre mye energi over lang tid. Samtidig må en investere i tre hovedkomponenter for å benytte hydrogen som energibærer. En trenger elektrolyserør til elektrolysen som produserer hydrogengassen fra overskudd av elektrisk energi, tank til lagring, og en brenselcelle for å omdanne hydrogengassen til elektrisk energi. Den totale virkningsgraden er vesentlig lavere enn ved bruk av batteri til energilagring (Ursu´a, et al., 2013).

På grunn av at hydrogen som energilagring ennå er en ny og umoden teknologi vil det være utfordrende å bruke denne teknologien på Halten fyrstasjon. Dette på grunn av stor usikkerhet i kostnader, driftssikkerhet og krav til vedlikehold. Halten fyrstasjon trenger et system med svært høy driftssikkerhet og på grunn av beliggenheten er det viktig å redusere intervallene for vedlikehold for at prosjektet kan realiseres.

Det har vært vanskelig å finne god informasjon om hydrogen som energilagring til ett prosjekt som Halten fyrstasjon, og det vil derfor bli anbefalt å ikke bruke hydrogen. Dette kan endres om relativt få år. Det er vanskelig å spå hvordan teknologien utvikler seg.

## 9. Diskusjon

### 9.1 Oversikt over CO<sub>2</sub>- utslipp

Dagens CO<sub>2</sub>- utslipp med dieselaggregat er på rundt 29,7 tonn CO<sub>2</sub> noe som er meget høyt i forhold til de alternative løsningene som er presentert i denne oppgaven. Selv om energiforbruket er høyere i dag enn det som er utgangspunktet for denne oppgaven, blant annet er dGPS planlagt fjernet.

I tabell 4 vises en oversikt over CO<sub>2</sub>- utslippene for de ulike alternativene. Faktoren for nettilkobling og vindkraft er funnet fra norsk varedeklarasjonen hos NVE (Eliston, 2019), mens faktoren for solcellene er funnet fra en artikkel (Louwen, et al., 2016).

Tabell 4:

Oversikt over CO<sub>2</sub>-utslippene

	Energi [kWh]	Faktor [g/kWh]	CO <sub>2</sub> -utslipp [kg]
<i>Dagens situasjon med dieselaggregat</i>			29 700
<i>Nettilkobling gitt norsk kraftproduksjon</i>	11 072	18,9	209
<i>Nettilkobling medberegnet opprinnelsesgarantier</i>	11 072	520	5 757
<i>Solcelle minste installasjon</i>	11 072	20	221
<i>Solcelle dobbel installasjon</i>	22 144	20	443
<i>Vindmølle</i>	20 331	20	407
<i>Kombinasjon av vindmølle og solcelle</i>	31 403	20	628

### 9.2 Oversikt over kostnader

I tabell 5 vises en oversikt over investeringskostnadene for de forskjellige alternativene.

Tabell 5:

Oversikt over kostnader ved forskjellige alternativ

Alternativ	Kostnad per enhet	Antall enheter	Total investeringskostnad
Nettilkobling	Ca. 2,4mill/km	22-27km	kr 50-70 millioner
Solcelle minste installasjon	9kr/Wp	16kWp	kr 144 000
Solcelle dobbel installasjon	9kr/Wp	32kWp	kr 288 000
Vindmølle	300 000kr	1	kr 300 000
Batteri til vindmølle	5500kr/kWh	1701kWh	kr 9 355 500
Batteri til dobbel solcelle installasjon	5500kr/kWh	2697kWh	kr 14 833 500

Dersom en kombinerer minste installasjon av solceller og en vindmølle blir prisen 444 000kr. I tillegg kommer behov for lagringskapasitet, og ett dieselaggregat i beredskap.

En ser av tabell 5 at det er batterier som utgjør den største investeringskostnaden, selv om prisen for batteri per kWh går videre nedover, vil storparten av investeringskostnaden være batteriene.

### 9.3 Aktuelle muligheter i henhold til problemstillingen

Det første som er vurdert i denne oppgaven er energisparing ved å bytte ut glødepæren i fyrlyset med ett LED-lys. Med bakgrunn i tilbakemeldingen fra Kystverket er denne oppgaven basert på at fyrlyset er en glødepære på 1000W. Jeg vil likevel anbefale at Kystverket vurderer LED-pærer på nytt da det er ett viktig energibesparende tiltak, og dermed kan være spesielt gunstig der en skal erstatte energiproduksjonen fra dieselaggregat med en fornybar energikilde.

Videre er det sett på muligheter for nettilkobling via en sjøkabel. Det er svært stor usikkerhet i hva dette vil koste, men investeringskostnaden er uansett så høy at nettilkobling er utelukket.

Sol- og vindenergi er aktuelle fornybare energikilder som er vurdert. Begge er variable energikilder som er avhengig av været slik at det trengs stor lagringskapasitet. Solceller har fordelen med ingen bevegelige deler, men vil produsere lite energi på den mørkeste årstiden. Vindmøllen vil produsere mer energi vinterhalvåret, men har samtidig kanskje større påvirkninger på nærmiljøet med tanke på estetikk, støy og for fugler.

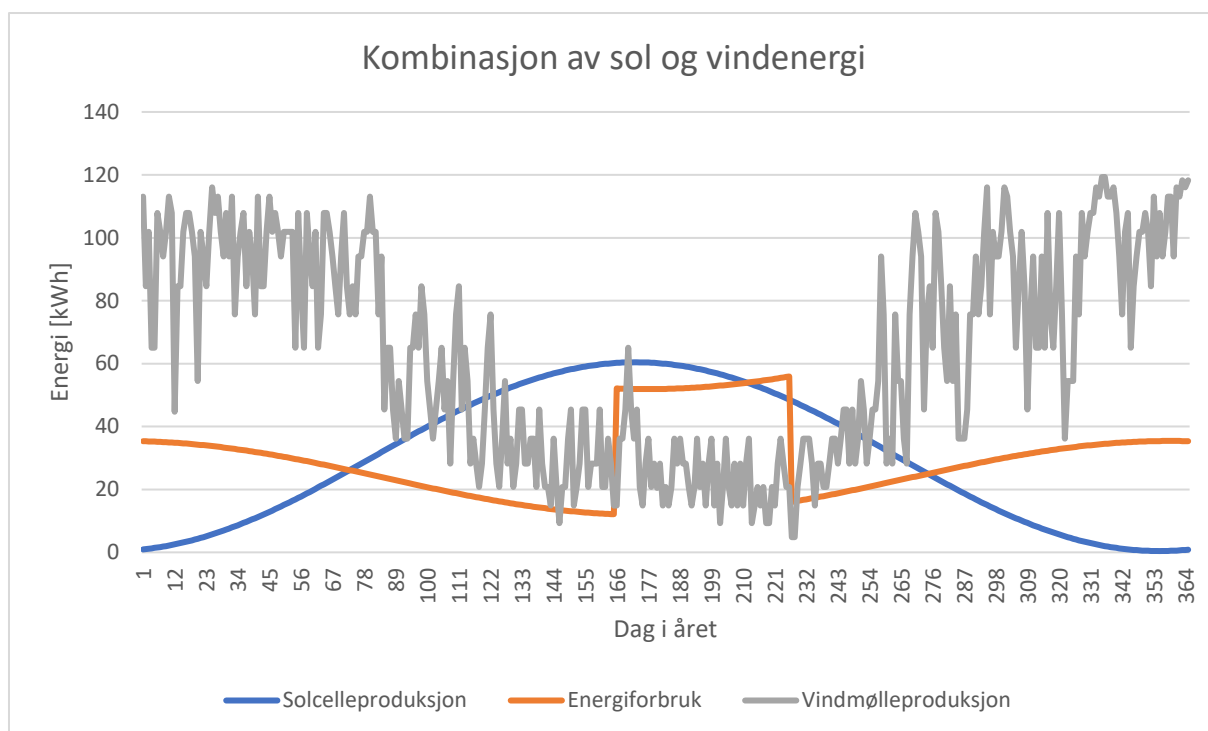
Både batteri og hydrogen er vurdert som energilagring. Hydrogen blir vurdert som uaktuelt med grunn i at teknologien ennå er lite utprøvd. Det vil derfor være teknologisk utfordrende og kostnadmessig svært usikkert å satse på hydrogen ved Halten fyrstasjon. Beliggenheten gjør at vedlikehold og kontrollrutiner må være på ett minimum, og hydrogen er derfor en usikker teknologi å bruke i dag. Batteri er en velkjent teknologi, men å lagre store mengder energi i batteri er relativt dyrt. Denne oppgaven har ikke sett på hvilke batterier en bør velge til Halten fyrstasjon. Det har vært flere mediasaker der det er brukt barnearbeid i gruver for å utvinne for eksempel kobolt som skal bli brukt i batteri. Det er derfor viktig å sikre seg at batteriene en velger å bruke på Halten fyrstasjon er produsert på en etisk og rettferdig måte gjennom hele verdikjeden.

En gjenstår da med følgende teknologier som er ansett som mulig: vind eller solenergi eller en kombinasjon av disse der en benytter batteri til energilagring. Med bakgrunn i dette er det utarbeidet to realistiske alternativ i henhold til problemstillingen.

#### 9.3.1 Alternativ 1: Kombinere sol- og vindenergi med batteri

Alternativ 1 er å kombinere minste installasjon med solceller, 16 kWp, sammen med vindmøllen R9000. Dette alternativet fører til at en produserer nesten tre ganger så mye energi som nødvendig. Den store fordelen er at lagringskapasiteten og dermed investeringskostnaden kan bli mindre.





Figur 15: Kombinasjon av solcelle og vindmølle

Som vist i figur 15 vil en kombinasjon av solcelle og vindmølle føre til stor overproduksjon av energi, men kostnadene til energilagring blir vesentlig mindre. Gitt den gjennomsnittlige energiproduksjonen fra vind de siste 10 årene og den tilnærmede solcelleproduksjonen vil det ikke være nødvendig med energilagring. Likevel er det behov for noe energilagring da vindstille og overskyede dager kan inntreffe samtidig over lenger tid. Spørsmålet blir da hvor stor energilagring som er nødvendig for å opprettholde driftssikkerheten? Jeg regner inn 10 Powerwall batteri fra Tesla som gir en lagringskapasitet på 135kWh. Dette vil gi lagringskapasitet til energi i nesten 4 døgn ved den mørkeste årstiden. Det vil likevel være nødvendig å ha ett dieselaggregat i beredskap som kan kobles inn ved behov enten på grunn av langvarig ugunstig vær eller driftsstans på vindmøllen eller solcellen. Dette fordi fyrstasjoner krev meget høy driftssikkerhet. En kunne økt lagringskapasiteten vesentlig for å unngå dieselaggregatet i beredskap, men dette ville økt investeringskostnaden så mye at det økonomisk ikke ville oppfylt problemstillingen.

Investeringskostnaden til alternativ 1 uten dieselaggregat er beregnet til:

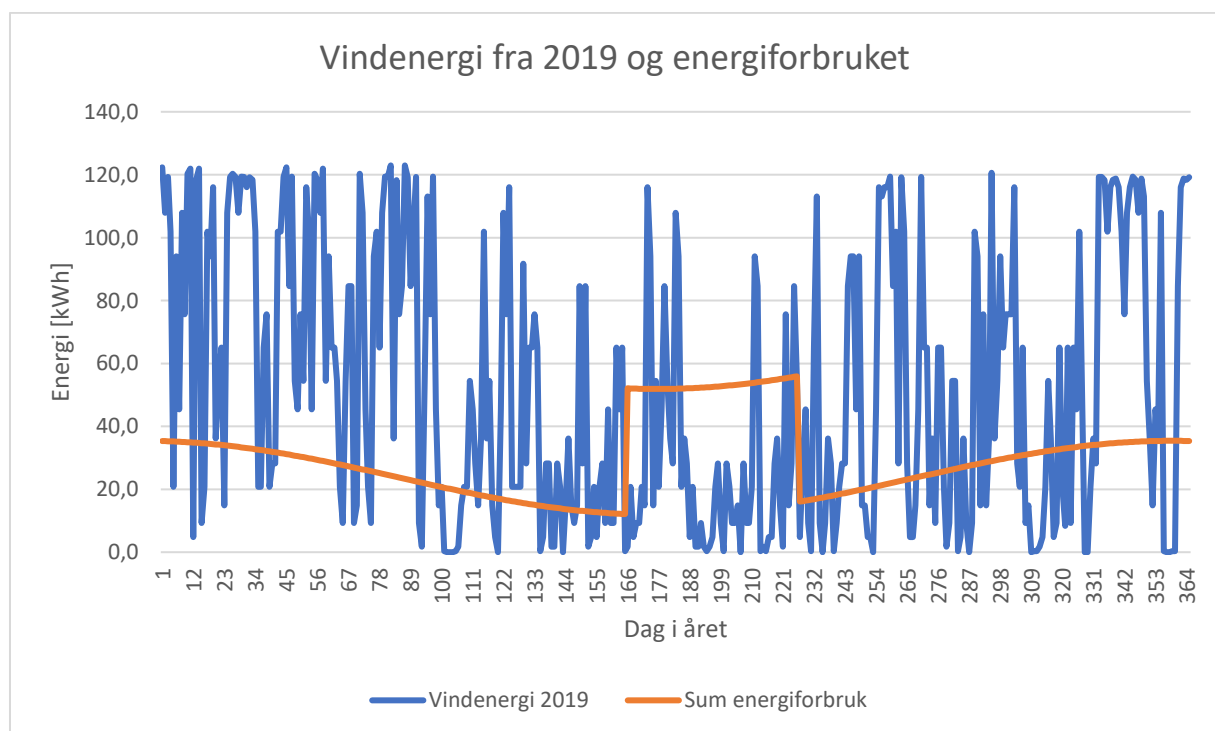
$$444\ 000kr + 5500kr/kWh * 135kWh = 1\ 186\ 500kr$$

CO<sub>2</sub>- utslippet vil være på 628kg CO<sub>2</sub> fra vindmøllen og solcellene. I tillegg vil dieselaggregatet måtte gå seg varm innimellom for å vite at det fungerer og ikke ruste fast. Dersom dieselaggregatet bruker 2 liter i timen 4 timer i måneden betyr det ett forbruk på 96 liter i året som gir ett CO<sub>2</sub>- utslipp på 259kg CO<sub>2</sub>. Det totale CO<sub>2</sub>- utslippet blir med alternativ 1 beregnet til omtrent 887kg CO<sub>2</sub>.

### 9.3.2 Alternativ 2: Kombinere vindenergi, dieselaggregat og batteri

Alternativ 2 er å installere vindmøllen R9000 til energikilde sammen med et dieselaggregat.

Batteri vil bli brukt som energilagring. Der velger jeg å installere samme batterimengde som i alternativ 1, nemlig 10 Powerwall batteri fra Tesla som gir en lagringskapasitet på 135kWh. Begrunnelsen er at batteri er svært dyrt og det vil være vanskelig å argumentere for å bruke mer penger på batteri.



Figur 16: Vindenergi per døgn i 2019

Figur 16 viser vindenergien som vindmøllen R9000 gir per døgn ved vinddata fra 2019. Det vises tydelig at denne varierer svært mye. Med en batterikapasitet på 135kWh trengs ett dieselaggregat som kan gå ved behov. Med bakgrunn i vinden for 2019 og den gitte batterikapasiteten på 135kWh ville dieselaggregatet måtte produsere 1591,1kWh.

Dieselaggregatet må gå mest under leieperioden, og tallet kan derfor være noe lavere dersom fyrstasjonen ikke er til utleie 60 dager kontinuerlig som det er forutsatt i denne oppgaven. Noe som betyr at en trenger ca. 530 liter med diesel. Det vil gi ett CO<sub>2</sub>- utslipp på omtrent:

$$530\text{liter} * 2,7\text{kg CO}_2/\text{liter} + 407\text{kg CO}_2 = 1838\text{ kg CO}_2$$

CO<sub>2</sub>- utslippet i alternativ 2 er dobbelt så stort som i alternativ 1. Alternativ 2 har likevel en svært stor reduksjon i CO<sub>2</sub>- utslippet i forhold til at all energi skal komme fra dieselaggregat.

Investeringskostnaden til alternativ 2 uten dieselaggregat er på:

$$300\ 000\text{kr} + 5500\text{kr}/\text{kWh} * 135\text{kWh} = 1\ 042\ 500\text{kr}$$

## 10. Konklusjon

Denne bacheloroppgaven skal svare på problemstillingen som er å «*Vurdere løsninger som dekker energibehovet til Halten fyrstasjon, ved å ta hensyn til CO<sub>2</sub>-utslipp, økonomi, estetikk og driftssikkerhet.*»

Med bakgrunn i arbeidet som er gjort i denne bacheloroppgaven er det utarbeidet to realistiske alternativ som svarer på problemstillingen. Begge alternativene har styrker og svakheter.

Alternativ 1 kommer energiproduksjonen fra vind- og solenergi og alternativet vil ha lavest CO<sub>2</sub>- utslipp. Alternativet har noe høyere investeringskostnad, og det krever utbygging av vind- og solenergi som tilsvarer nesten tre ganger energibehovet til Halten fyrstasjon. Den store utbyggingen vil naturlig nok endre estetikken ved fyrstasjonen vesentlig.

Driftssikkerheten er høy da det er ett dieselaggregat i beredskap.

Alternativ 2 har vindenergi som primær energikilde og et dieselaggregat som sekundær energikilde Dette gjør at alternativet skårer lavere på CO<sub>2</sub>- utslipp, men kommer best ut med tanke på investeringskostnad og estetikk. Driftssikkerheten er høy i dette alternativet også på grunn av dieselaggregatet.

Selv med stor usikkerhet i mange av parameterne som nevnt tidligere i oppgaven er konklusjonen at det er mulig å finne en alternativ fornybar energikilde til Halten fyrstasjon. Konklusjonen er at uansett løsning trenger en vindkraft da energilagringen gjør det for dyrt å basere seg på solenergi alene.

Til slutt bør det nevnes at en trinnvis utbygging kan være aktuell. Der en monterer vindmøllen og får noe erfaring fra den før en installerer videre.

## 11. Videre arbeid og aspekt som må vurderes nærmere

I denne bacheloroppgaven er det gjort en vurdering av energiforsyningen til Halten fyrstasjon. Det er likevel mye arbeid som både bør og kan gjøres videre.

For det første vil jeg anbefale Kystverket at de vurderer tiltak for energisparing, spesielt i fyrlyset, da dette vil redusere både energiforbruket og investeringskostnadene vesentlig.

Det vil være lurt å installere noen målere slik at datagrunnlaget til beregningene blir mer nøyaktige. God informasjon om energiforbruket og solinnstråling gjennom ett par år hadde gjort beregningene mer nøyaktige, og til å stole på. I denne oppgaven er det i stor grad brukt antakelser ved sinuskurver over hvordan energiforbruket fordeler seg gjennom året og det er bare vindmålinger som eksisterer.

Videre bør prosjektet optimaliseres, detaljprosjekteres og kvalitetssikres av noen med større faglig erfaring enn meg. Det må avklares bestemmelser for fredning, nøyaktig plassering av vindmølle og/eller solceller. I den forbindelse må konsekvenser for nærmiljøet i forbindelse med støy, estetikk og dyrelivet vurderes nærmere.

Det er verdt å understreke at kostnadene spesielt for batteri sannsynligvis vil fortsette å falle de neste årene. I tillegg vil den teknologiske utviklingen gi andre muligheter enn de som er anbefalt i denne oppgaven, for eksempel hydrogen som energibærer.

## Referanser

Aksnes, K., 2019. *Sommersolverv*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://snl.no/sommersolverv>

[Funnet 01 05 2020].

Aksnes, K., 2019. *Vintersolverv*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://snl.no/vintersolverv>

[Funnet 01 05 2020].

Anon., 2008. *Product Certification- Evance R9000 UK MCS Certification Summary*, s.l.: s.n.

Britwind, u.d. *R9000*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.britwind.co.uk/our-windmills/the-r9000>

[Funnet 21 04 2020].

Eliston, A., 2019. *Nasjonal vardeklarasjon 2018*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/energiforsyning/varedeklarasjon/nasjonal-varedeklarasjon-2018/>

[Funnet 21 04 2020].

Fredriksen, K., 2018. *Vi bruker mindre strøm hjemme*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/vi-bruker-mindre-strom-hjemme>

[Funnet 01 05 2020].

Hansen, S. I., 2020. *Informasjon fra Kystverket*. Ålesund: Epost, vedlegg 1.

Helstad, Ø., 2019. *Froan naturreservat, landskapsvernområde og dyrelivsfredning*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.froya.kommune.no/tjenester/teknisk/natur-og-miljo/verneomrader/froan-naturreservat-landskapsvernomrade-og-dyrelivsfredning/>

[Funnet 03 05 2020].

Henze, V., 2019. *Energy Storage Investments Boom As Battery Costs Halve in the Next Decade*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://about.bnef.com/blog/energy-storage-investments-boom-battery-costs->

halve-next-decade/

[Funnet 30 04 2020].

Hofstad, K., 2017. *Elektrisk energi*. [Internett]

Tilgjengelig fra: [https://snl.no/elektrisk\\_energi](https://snl.no/elektrisk_energi)

[Funnet 15 04 2020].

Hofstad, K., 2019. *Lumen - enhet for lysstrøm*. [Internett]

Tilgjengelig fra: [https://snl.no/lumen - enhet for lysstr%C3%B8m](https://snl.no/lumen_-_enhet_for_lysstr%C3%B8m)

[Funnet 07 05 2020].

Hofstad, K., 2020. *Elektrisk effekt*. [Internett]

Tilgjengelig fra: [https://snl.no/elektrisk\\_effekt](https://snl.no/elektrisk_effekt)

[Funnet 15 04 2020].

Hole, J., 2020. *Solkraft vokser raskt, også i Norge*. [Internett]

Tilgjengelig fra:

<https://www.nve.no/energiforsyning/kraftproduksjon/solkraft/?ref=mainmenu>

[Funnet 21 04 2020].

Larsen, L. A., 2016. *Fyrstasjoner*. [Internett]

Tilgjengelig fra: [https://www.kystverket.no/Maritim-infrastruktur/Fyr-og-merker-  
/Fyrstasjoner/](https://www.kystverket.no/Maritim-infrastruktur/Fyr-og-merker-/Fyrstasjoner/)

[Funnet 15 04 2020].

Lauritzen, P. R., 2009. *Halten fyr*. [Internett]

Tilgjengelig fra: [https://snl.no/Halten\\_fyr](https://snl.no/Halten_fyr)

[Funnet 21 04 2020].

Louwen, A., Sark, . W. G. J. H. M. v., Faaij, A. P. C. & Schropp , R. E. I., 2016. *Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.nature.com/articles/ncomms13728#Sec2>

[Funnet 27 04 2020].

Lundheim, L., 2018. *Radarfyr*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://snl.no/radarfyr>

[Funnet 15 04 2020].

Miljødirektoratet, u.d. *Tabeller for omregning fra energivare til kWh*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/klimaarbeid/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabeller-for-omregning-fra-energivarer-til-kwh/>

[Funnet 29 04 2020].

Mørenett, 2019. *NVE*. [Internett]

Tilgjengelig fra:

<http://webfileservice.nve.no/API/PublishedFiles/Download/201903427/2729601>

[Funnet 21 04 2020].

Norsk klimasenter, 2020. *Observasjoner og værstatistikk*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://klimaservicesenter.no/observations/>

[Funnet 30 03 2020].

Norsk solenergiforening, u.d. *Solceller*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.solenergi.no/solstrm>

[Funnet 21 04 2020].

Pedersen, B., 2019. *Hydrogen*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://snl.no/hydrogen>

[Funnet 28 04 2020].

Saft, u.d. *Who is Saft*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.saftbatteries.com/about-us/who-saft>

[Funnet 07 05 2020].

Statens karverk sjø, 2008. Den norske los. I: *Farvannsbeskrivelse Stad-Rørvik*. Stavanger:

Statens kartverk sjø, p. 37 til 61.

Stiftelsen Halten, u.d. *Halten fyr*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.stiftelsenhalten.no/index.php/natur-og-kultur/halten-fyr>

[Funnet 21 04 2020].



Tafjord, R. M., 2020. *Informasjon om solceller*. Ålesund: Epost, vedlegg 2.

Tesla, 2020. *Powerwall*. [Internett]

Tilgjengelig fra: [https://www.tesla.com/no\\_NO/powerwall](https://www.tesla.com/no_NO/powerwall)

[Funnet 22 04 2020].

Time and date, u.d. *Solgraf for Halten*. [Internett]

Tilgjengelig fra:

<https://www.timeanddate.no/astronomi/sol/@3154108?month=6&year=2020>

[Funnet 02 04 2020].

UiO ved Kjemisk institutt, 2010. *NiCd - lettere*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.mn.uio.no/kjemi/forskning/tema/batterier/artikler/ni-cd-lettere.html>

[Funnet 28 04 2020].

Ursu´a, A., Marroyo, L. & Sanchis, P., 2013. Electric Conditioning and Efficiency of Hydrogen Production Systems and Their Integration with Renewable Energies. I: L. M. Gandia, G. Arzamedi & P. M. Dieguez, red. *Renewable Hydrogen Technologies*. s.l.:Newnes, pp. 333-358.

Wergeland, S., 2016. *Småskala vindkraft på Flø*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://nves.no/site/wp-content/uploads/2019/06/Semesteroppgave-FORN300-Stella-Wergeland.pdf>

[Funnet 24 04 2020].

Yr.no, 2020. *Halten fyr*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.yr.no/nb/historikk/graf/5-71850/Norge/Tr%C3%B8ndelag/Fr%C3%B8ya/Halten%20fyr>

[Funnet 01 05 2020].

Øvrebø, O. A., 2019. *Utslippsfordelingen*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://energiogklima.no/klimavakten/utslipp-per-innbygger/>

[Funnet 29 04 2020].

## Vedlegg

Vedlegg 1: Informasjon fra Kystverket

Vedlegg 2: Informasjon om solceller

# Vedlegg 1: Informasjon fra Kystverket

Informasjon mottatt på epost fra Kystverket ved Stein Ivar Hansen om dagens dieselforbruk fra dieselgeneratorene.



**Hansen, Stein Ivar**

til meg ▾

Har nok tenkt litt feil her. Måtte lese hva jeg har skrevet ett par ganger.

Tankene var fulle 20.07.2018 og fulle igjen 11.07.2010

Det er 365-9 dager =356 dager mellom fyllingene.

I perioden ble det forbrukt 11.000 liter.

$11.000/356 = \text{ca } 31 \text{ liter pr dag.}$

Ser ut som du har helt rett. 😊



Stein Ivar

Informasjon om NiCd batteriene som Kystverket bruker i dag.



**Hansen, Stein Ivar**

til meg ▾

ons. 15. apr., 13:33

Ja, vi bruker NiCd batterier fra Saft.  
De tåler «alt» og varer i godt over 20 år med vårt bruk.  
Se vedlegg.

Mvh

Stein Ivar



## 4 vedlegg



## Vedlegg 2: Informasjon om solceller

Informasjon om solceller brukt i oppgaven som er mottatt på epost fra Ragnar Moe Tafjord i bedriften Klar Energy.



**Ragnar Tafjord** <rt@klarenergy.no>

til meg ▾

tir. 7. apr., 11:25 ☆ ↶ ⋮

Hei Mathias,

Du kan laste ned appen [solarwatt.com/experience](https://solarwatt.com/experience) til Pc. Finnes også i App store. Der kan du finne alle datablader og mye annen relevant informasjon.

Vi arbeider med to forskjellige kvaliteter. Glass/ glass som er vår anbefalte kvalitet med 30 års produktgaranti og svært mye bedre egenskaper i kystnære områder, med høy vindlast og salt i luften.

Det vi kaller alternativ kvalitet er glass/folie paneler (det som de aller fleste leverandørene leverer) Sistnevnte paneler er mye mer utsatt for microcracks og har helt annen kvalitet og garantitiden er 12 år på produktet. Vi mener disse er mindre egnet i norsk klima med høye snø- og vindlaster, og som nevnt ovenfor salttåke som vi har i kystnære områder.

Systempriser som du kan legge til grunn- komplett produktpakke inkl. invertere, kabling og connectorer (pris pr.Wp ex.mva og ex. Montering) er 9 kr. på Wp for glass/glass og ca. 8 kr. pr Wp for glass/ folie. Prisene for øyeblikket er litt ute av normalen, som følge av svak norsk krone. Vær også oppmerksom på at europeisk produkter er produsert med europeisk lovgivning mht. arbeidsmiljø og lønninger samt europeisk miljølovgivning. Dette kan være uklart med produksjon andre steder i verden.

Med vennlig hilsen / Best regards:

**RAGNAR MOE TAFJORD**

Daglig leder/ Managing director

Mobile: +47 922 64 077

Email: [rt@klarenergy.no](mailto:rt@klarenergy.no)

**KLAR**®

Raffelneset 6

N-6060 Hareid

[www.klarenergy.no](http://www.klarenergy.no)

