

Andreas Skåren  
Brag Holte  
Magnus Nideng

## Elektrifisering av landbruket II

Egenutnyttelse av elektrisk energi fra  
gårdsbiogassanlegg

Bacheloroppgave i Elkraft og bærekraftig energi  
Veileder: Magnus Korpås og Aurora Fosli Flataker  
Mai 2022



Andreas Skåren  
Brag Holte  
Magnus Nideng

## **Elektrifisering av landbruket II**

Egenutnyttelse av elektrisk energi fra  
gårdsbiogassanlegg

Bacheloroppgave i Elkraft og bærekraftig energi  
Veileder: Magnus Korpås og Aurora Fosli Flataker  
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk  
Institutt for elkraftteknikk



Kunnskap for en bedre verden



## Tittelside Bacheloroppgave BIELEKTRO

<b>Oppgavetittel (norsk og engelsk):</b> Elektrifisering av landbruket II – estimere muligheter og behov	
<b>Forfattere:</b> Andreas Skåren Brage Holte Magnus Nideng	<b>Prosjektnummer:</b> E2232
	<b>Innleveringsdato:</b> 20.05.2022
	<b>Gradering:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Åpen <input type="checkbox"/> Lukket
<b>Studium:</b>	Elektroingeniør – BIELEKTRO
<b>Studieretning:</b>	Elkraft og bærekraftig energi
<b>Veileder internt:</b> <b>Institutt:</b>	Aurora Fosli Flataker og Magnus Korpås Institutt for teknisk kybernetikk
<b>Oppdragsgiver:</b> <b>Kontaktperson:</b>	NORSØK – Norsk senter for økologisk landbruk Ingvar Kvande, <a href="mailto:ingvar.kvande@norsok.no">ingvar.kvande@norsok.no</a>
<b>Stikkord norsk:</b> Batteri, biogass, bærekraft, elkraft, energilagring, hydrogen, kraftproduksjon, landbruk, metangass, solceller	<b>Stikkord engelsk:</b> Agriculture, battery, biogas, electric power, energy storage, hydrogen, methane, power generation, solar cells, sustainability

## Forord

Denne rapporten er resultatet av en bacheloroppgave i ingeniørfag, elektro, studieretning elkraft og bærekraftig energi, ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet våren 2022. Rapporten er skrevet for institutt for elkraftteknikk (IEL), fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk (IE). Bacheloroppgavens omfang er 20 studiepoeng under fagkoden IELET2910, og er utarbeidet i løpet av 19 uker.

Gjennom denne rapporten har vi tilegnet oss ny kunnskap. Det har vært interessant å lære om biogassanlegg og energilagringssystemer. Vi er svært fornøyde med egne prestasjoner og ferdig resultat. Vi ser tilbake på oppgaveløsningen som en god erfaring.

Vi vil rette en takk til våre veiledere fra NTNU, Magnus Korpås og Aurora Fosli Flataker. Takk også til Lovise Sæter og Ingvar Kvande fra NORSØK. God kommunikasjon, verdifulle tilbakemeldinger og faglig hjelp gjennom hele prosessen, har vært til stor hjelp. Vi takker også Inge Hoemsnes for tilgang til datagrunnlag og gjestfriheten.

Trondheim, mai 2022

*Andreas Skåren*

Andreas Skåren

*Brage Holte*

Brage Holte

*Magnus Nideng*

Magnus Nideng

## Sammendrag

Hensikten med denne rapporten har vært å fremstille løsninger for å utnytte elektrisiteten fra et biogassanlegg, på en gård utenfor Molde. Underveis har vi vektlagt hva som er praktisk gjennomførbart, økonomiske forhold og hva som er best for klima og miljø.

Oppgaven er basert på Hoemsnes gård, som driver melkeproduksjon med en melkekvote på 550 000 liter. Gården driver også med kombinert griseproduksjon opp mot konsesjonsgrensen. Dette gir grunnlag for en stor mengde gjødsel som kan brukes til å drifte et biogassanlegg. Anlegget ble i 2019 satt i drift med en reaktor. Gassgrunnlaget er nok til å produsere 30 kW annenhver time. Det er planlagt utvidelse av biogassanlegget med en ekstra reaktor. Disse reaktorene skal gi gassgrunnlag til å produsere 30 kW kontinuerlig.

For å utnytte den elektriske energien maksimalt, har vi gjennom oppgaven sett på ulike løsninger. Løsning 1 beskriver anlegget som planlagt med en kontinuerlig produksjon på 30 kW. Store deler av energibehovet vil dekkes, men høye effekttopper fører til at det kjøpes energi fra kraftnettet. Videre ble det presentert tre alternative løsninger for å utnytte den elektriske energien maksimalt:

- Løsning 2 kan ved hjelp av styringssystemer variere produksjonen etter forbruk. Styring av generator vil gi fleksibilitet til å dekke høyere effekttopper.
- Løsning 3 kjører generator likt som i løsning 1, men setter inn batteri som et energilager. Batteriet fungerer som et supplement for å håndtere høye effekttopper.
- Løsning 4 kjører generator likt som i løsning 1, men ser på muligheten til å produsere hydrogen av overskuddsenergi. Hydrogenanlegg er energikrevende, og hydrogenanlegg vil være trolig ikke være aktuelt på Hoemsnes gård.

Hovedfokuset i rapporten har vært å dekke dagens energibehov, men oppgaven ser også på fornybar drift av kjøretøy. Noen av løsningene har lite overskuddsenergi til drift av kjøretøy. Ved disse løsningene er det aktuelt å kjøpe energi fra strømmettet.

Både løsning 2 og 3 vil trolig egne seg for energilagring på gården. Likevel har løsning 1 en optimalisert produksjon, sammenlignet med forbruket. Basert på funksjonelle, økonomiske, samfunns- og klima perspektiv, ser det ut til at løsning 1 er den mest aktuelle løsningen.

## Abstract

The purpose of this report has been to produce solutions to exploit the energy from a biogas plant on a farm next to Molde. This energy is in form as electricity, and the report focuses on the production and consumption of electricity. Important points in the job were to compare practical, economical, environmental and climate conditions. The task focuses on covering the energy needed on the farm.

The task is based on a farm which produces about 550.000 liters of milk every year. There is also large-scale production of pigs. A large amount of organic material means that there is a possibility on operating a biogas plant. The facility was applied in 2019 using one reactor. One reactor gives possibilities of producing 30 kW for an hour, before there is a need of 1 hour break to extract enough gas. There is a plan to expand with one more reactor in the autumn of 2022. This makes it possible to produce 30 kW continuously.

To utilize the electricity to the maximum the focus has been to discover solutions. The first solution is that the facility stays as planned with a continuously run at 30 kW. A large amount of the energy needed, is met by the production. There is still a need of buying electricity since the need of power is higher than 30 kW in periods. The following solutions were presented for utilizing the electrical energy to the maximum:

- The second solution makes opportunities varying the production compared to the needs. Varying the production means flexibility to cover power peaks.
- The third solution generates the same amount of energy as the first. Differences between the first and the third solutions is the battery. A battery makes it possible to supply power when needed, but it needs charging when the battery power is low.
- The fourth solution also runs the generator in the same way as the first solution. The difference is producing hydrogen when the amount of power is higher than the consumption. A facility to produce hydrogen uses a large amount of energy. Hydrogen storage is a way of storing energy in longer periods of time.

The focus in the report is to cover existing needs of energy, but a part of the task is about supplying vehicles with renewable energy. Some of the solutions has small excess of energy, which makes it necessary to buy the energy. This is also discussed in the report.

Both the second and third solution will probably be suitable for energy storage. Nevertheless, the first solution has an optimized production, compared to consumption. Based on functionality, economics and environment and society perspectives, it seems like solution number one is the most relevant solution.



## Innholdsfortegnelse

Forord.....	ii
Sammendrag.....	iii
Abstract.....	iv
Figurliste.....	viii
Tabelliste.....	ix
Formelliste.....	x
Forkortelser.....	x
Definisjoner.....	x
1 Innledning.....	1
1.1 Hovedmål og motivasjon.....	1
1.2 Problemstilling.....	1
1.3 Avgrensninger og tilnærminger.....	1
1.4 Rapportens oppbygning.....	2
2 Bakgrunnsinformasjon.....	3
2.1 Hoemsnes Gård.....	3
3 Teori – Energilagring, forbruk og kjøretøy.....	4
3.1 Energilagring og produksjon.....	4
3.1.1 Biogassanlegg.....	4
3.1.2 Solcelleproduksjon.....	4
3.1.3 Batterilagring.....	6
3.1.4 Hydrogenlagring.....	7
3.1.5 Nettstyrke og leveringskvalitet.....	10
3.2 Kjøretøy med alternative drivstoff.....	11
3.2.1 Elektriske kjøretøy.....	11
3.2.2 Hydrogen som drivstoff.....	12
3.2.3 Biogass som drivstoff.....	12
3.3 Økonomiske støtteordninger.....	14
3.3.1 Enova.....	14
3.3.2 Innovasjon Norge.....	14
4 Metode.....	15
4.1 Litteraturstudie.....	15
4.2 Måling.....	15
4.2.1 AMS-måledata.....	15
4.2.2 Datalogger og måleutstyr.....	16

4.2.3	Tidspunkt for målingene i storfe fjøset 2022.....	17
4.2.4	Analyse av målingene i storfe fjøset 2022 .....	17
4.3	Tidspunkt brukt til beregninger av måledata.....	17
4.4	Analysemetode og beregninger av måledata .....	18
4.5	Beregning av forbruk .....	18
4.6	Beregning av gjennomsnittlig effekt i umålte laster .....	19
4.7	Omregninger for diesel .....	20
4.8	Omregninger for hydrogen .....	20
4.9	Netto-nåverdimetoden (NNV) .....	21
4.10	Sensitivitetsanalyse.....	21
5	Resultater - energiproduksjon og forbruk på gården .....	22
5.1.1	Bruksmønster, energiforbruk og drift på gården.....	22
5.1.2	Nettleie og strømpris .....	22
5.2	Dagens og framtidens forbruk og produksjon av energi .....	24
5.2.1	Dagens effekt- og energiforbruk.....	24
5.2.2	Dagens energiproduksjon .....	28
5.2.3	Framtidens energiproduksjon.....	28
6	Løsningsmuligheter.....	32
6.1	Løsning 1 – Ingen energilager .....	32
6.1.1	Elektriske kjøretøy ladet med overskuddsenergi.....	34
6.2	Løsning 2 – Variabel generator drift .....	35
6.2.1	Elektriske kjøretøy ladet med tilpasset produksjon .....	37
6.3	Løsning 3 – Energilagring med batteri .....	38
6.3.1	Elektriske kjøretøy ladet med batteribank. ....	40
6.4	Løsning 4 – Energilagring med hydrogen.....	41
6.4.1	Hydrogen som drivstoff .....	43
7	Økonomi.....	45
7.1	Bidrag til nettleverandørens leveringssikkerhet.....	45
7.2	Støtteordninger.....	46
7.3	NNV .....	47
7.3.1	Beregninger NNV .....	47
7.4	Sensitivitetsanalyse NNV .....	49
7.4.1	Økte strømpriser .....	49
7.4.2	Økt nettleie .....	50
7.4.3	Ingen investeringsstøtte .....	50

8	Totalvurdering av løsningene .....	52
8.1	Sammenligning av løsningene .....	52
8.2	Sammenligning av fornybar drift ut ifra løsningene .....	57
8.3	Fordeler og ulemper .....	59
8.4	Spenningsfall i installasjonen .....	60
9	Konklusjon.....	61
10	Feilkilder.....	63
11	Videre arbeid.....	63
12	Referanseliste .....	64
13	Vedlegg .....	68

## Figurliste

Figur 1: Oversiktsbilde av takflater som er egnet til solceller på Hoemsnes gård. Figur hentet fra solkart.no. ....	5
Figur 2: Illustrasjon av energieffektivitet med strøm på et hydrogenlagringsanlegg (Valmot, 2019)....	8
Figur 3: Ostermeier hydrogen løsning, elektrolyse rammemodul for bolig og industri (Bellini, 2022)..	9
Figur 4: Effekt og spenning som funksjon av tiden. Dataene til dette plottet kommer fra målinger gjort av en datalogger.....	24
Figur 5: Energimengde kjøpt fra nettet gjennom et døgn.....	26
Figur 6: Kjøpt energi fra nettet (kWh) i 2021 Merk at toppen i starten av desember stammer fra driftsstans på biogassanlegget.....	27
Figur 7: Solgt energi til nettet (kWh) i 2021. Se at driftsstansen på biogassanlegget tidlig i desember gjør at det er dager med ingen solgt strøm. ....	27
Figur 8: Punktdiagram som viser spenningsmålinger gjennom et helt døgn. X-aksen viser tiden etter kl. 00.00 på natten. ....	28
Figur 9: Takflaten innenfor blå firkant vil gi en estimert årsproduksjon på 47 505 kWh. Andre røde takflater er også svært egnet.....	29
Figur 10: Data med estimert produksjon (solkart, 2022).....	29
Figur 11: Sammenheng mellom forbruk, kjøp og salg etter planlagt økt produksjon.....	33
Figur 12: Effekttopper og variabel drift av generatoren. Målinger 29.01.2022. ....	35
Figur 13: Målt energi fra AMS-måler i dager der all strøm ble importert fra nettet.....	38
Figur 14: Grafisk fremstilling av fordeling av over- og underskudsenergi. Ladestatus batteri på venstre akse, målt i energimengde. Kjøp & salg på høyre akse, målt i effekt.....	39

## Tabelliste

Tabell 1: Informasjon om biogassanlegget, gården og drift. ....	3
Tabell 2: Generell data fra PowerShaper 30 kW / 65 kWh fra Pixii (Pixii, 2019a). ....	7
Tabell 3: Investerings- og vedlikeholdskostnader for de enkelte komponentene i en sesongbasert lagringsløsning (Ostermeier hydrogen solutions, 2022, s.7). ....	9
Tabell 4: Kriterier tjenesten Biogass-, biokull, kraft/varmeanlegg, samt utprøving av nye teknologier i landbruket (Innovasjon Norge, 2022). ....	14
Tabell 5: Oversikt av måleutstyr for å gjennomføre selvstendige målinger. ....	16
Tabell 6: Drivstoff spesifikasjoner (Greiner, 2004, vedlegg.9). ....	20
Tabell 7: Drivstoff spesifikasjoner for hydrogen (Greiner, 2004, vedlegg.9). ....	20
Tabell 8: Prissatser som brukes til å beregne nettleie. ....	22
Tabell 9: Nettleie for løsning 1. Nettleien ble regnet ut på samme måte i de andre løsningene. ....	23
Tabell 10: Prissatser som bruke til å beregne strømpris. ....	23
Tabell 11: Gjennomsnittlig forbruk fra 07. og 08. desember 2021. ....	25
Tabell 12: Oversikt over energimengder kjøpt og solgt, samt energiledd for alle løsningene. ....	26
Tabell 13: Forbruk av diesel ....	30
Tabell 14: Faktisk energi til motor og elektrisk system. ....	30
Tabell 15: Maksimalt forbruk av diesel på en dag. ....	30
Tabell 16: Faktisk energi til motor og elektrisk system på en dag med maksimalt forbruk. ....	31
Tabell 17: Totalvurdering av løsning 1. ....	32
Tabell 18: Kjøpt og solgt strøm på 7. og 8 desember 2021. Tabellen viser fremtidig kjøp og salg for disse dagene basert på forbruket disse dagene. Den viser også gjennomsnittlig kjøp og salg for to dager før biogassproduksjonen ble utvidet. ....	32
Tabell 19: Verdier brukt til utregning av strømkostnadene ....	33
Tabell 20: Totalvurdering av løsning 2. ....	35
Tabell 21: Effekt på generator sammenlignet med forbruk ....	36
Tabell 22: Verdier brukt til utregning av strømkostnadene ....	37
Tabell 23: Totalvurdering av løsning 3. ....	38
Tabell 24: Verdier brukt til utregning av strømkostnadene for et år. ....	39
Tabell 25: Totalvurdering av løsning 4. ....	41
Tabell 26: Levetid på et hydrogenanlegg med daglig drift. ....	41
Tabell 27: Tilgjengelig energi i løpet av et døgn og hvor mye hydrogen dette gir i løpet av et døgn. ....	42
Tabell 28: Verdier brukt til utregning av strømkostnadene ....	42
Tabell 29: Omregning av 15 Nm <sup>3</sup> hydrogen. ....	43
Tabell 30: Tilgjengelig energi i løpet av et døgn og hvor mye hydrogen dette gir i løpet av et døgn, når man legger til solcelleproduksjon på 130 kWh i løpet av et døgn. ....	43
Tabell 31: Omregning av 41,71 Nm <sup>3</sup> hydrogen. ....	43
Tabell 32: Netto-nåverdi beregnet ut fra de kostnadene som er presentert i kapittel 6. Tabellen viser utregning med kalkulasjonsrente på 4 og 6 %. ....	48
Tabell 33: Oversikt over mengde kjøpt og solgt energi og effektledd. ....	49
Tabell 34: NNV etter firedobling av strømpris. ....	49
Tabell 35: Oversikt over strømpris som gir økonomisk avkastning ....	50
Tabell 36: Endring i NNV ved dobling i nettleie. ....	50
Tabell 37: NNV hvis investeringsstøtten fjernes. ....	51
Tabell 38: Fordeler og ulemper av løsningene. ....	59

## Formelliste

Formel 1: Effekt enfase .....	18
Formel 2: Effekt trefase .....	18
Formel 3: Formel total effekt .....	18
Formel 4: Formel momentan energimengde .....	18
Formel 5: Energimengde forbruket av store laster i kufjøset .....	19
Formel 6: Gjennomsnittlig energibehov på hele gårdsdriften .....	19
Formel 7: Estimert effekt på resten av gården, der det ikke er tatt momentanmålinger .....	19
Formel 8: Netto nåverdi .....	21

## Forkortelser

<b>AMS</b>	Avansert måle- og styringssystemer
<b>NTNU</b>	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
<b>Nm<sup>3</sup></b>	Normalkubikkmeter
<b>kWh</b>	Kilo watt timer
<b>kW</b>	Tusen watt
<b>J</b>	Joule
<b>CO<sub>2</sub></b>	Karbondioksid
<b>CHP</b>	Combined Heat and power. Kraftvarmesystem.
<b>Li-ion</b>	Littium-ionbatteri.
<b>FSE</b>	Forskrift om sikkerhet ved elektriske anlegg.
<b>OSH</b>	Ostermeier Hydrogen Solutions.
<b>Mva</b>	Merverdiavgift

## Definisjoner

<b>Effekttopp</b>	Det høyeste effektuttaket innenfor en gitt tidsperiode.
<b>Momentanverdi</b>	Øyeblikksverdien som avleses når målingen er gjennomført.
<b>PV-anlegg</b>	Solcelleanlegg.
<b>Spenningsfall</b>	Lavere spenning enn nominelt spenningsnivå.

## 1 Innledning

Det norske landbruket har gode forutsetninger og et godt ressursgrunnlag for å produsere fornybar energi. I 2009 la Landbruks- og matdepartementet frem en stortingsmelding, hvor de stadfestet at landbruket har ulike løsninger som kan være med på å redusere klimautfordringene (Meld. St. 39: 2008-2009). Her så de blant annet at det å etablere biogassanlegg for husdyrgjødsel, kan gi en dobbel klimaeffekt. Ved å bearbeide husdyrgjødselen før lagring, kan man redusere utslipp av klimagassene metan og lystgass. Samtidig fører etableringen av biogassanlegg til at det produseres klimanøytral energi (Meld. St. 39 (2008-2009), s. 100). Derfor er det viktig å utnytte energien fra biogassanlegg best mulig.

### 1.1 Hovedmål og motivasjon

Hovedmålet med rapporten er å fremstille ulike løsninger for å utnytte overskuddselektrisiteten fra biogassanlegget på en gård i Hustadvika kommune. Motivasjon for oppgaven er hvordan landbruket kan bruke sine ressurser for å produsere egen energi.

Det er viktig å ha en problemstilling som er faglig relevant for elkraft og bærekraftig energi, samtidig som vi ønsker å svare på oppgaven fra oppdragsgiver. Gjennom dialog med NORSØK og gårdbruker Inge Hoemsnes er framtidige behov på gården drøftet. NTNUs interne veiledere var til stor hjelp med gode innspill til hva som ville være interessant å se på. Dagens kraftpriser, avgiftssystem og kraftbransjens utfordringer med energiforsyning, taler for at vi burde se på muligheter for energilagring.

### 1.2 Problemstilling

Problemstillingen er som følger:

*Hvilke løsninger kan være aktuelle for å øke utnyttelsesgraden av egen strømproduksjon på Hoemsnes gård? Ut fra kostnadsberegninger, hvilke løsninger er økonomisk gunstige? Hvilke løsninger er fordelaktig sett i samfunns- og klimaperspektiv? Egner noen tiltak seg til drift av kjøretøy fornybart?*

### 1.3 Avgrensninger og tilnærminger

Oppgaven begrenser seg til at nåværende og fremtidens energiforbruk og -produksjon kartlegges. Oppgaven ser på muligheter for fornybar drift av kjøretøy i fremtiden. Kjøretøy med alternative drivstoff presenteres, men videre beregninger begrenses til elektriske kjøretøy og hydrogentraktor. For å besvare problemstillingen sammenlignes dagens driftsløsning opp imot tre forskjellige løsninger, omlegging av energiforbruk og -produksjon, energilagring i batteri og energilagring i hydrogen.

Teori om biogassproduksjon og biogassforbruk er ikke utredet, da rapporten setter søkelys på forbruk av elektrisk energi. Det går ikke i dybden på funksjonalitet, men vi skal utrede forskjellige løsninger som kan passe inn på det aktuelle gårdsbruk.

Døgnproduksjonen av elektrisk energi fra biogassanlegget er antatt til å være 720 kWh. Produksjonen er basert på den pågående utbyggingen av biogassanlegget som skal gi økt

gassproduksjon går som planlagt. CHP-anlegget produserer både elektrisitet og varme. Oppgaven ser på den elektriske utnyttelsen av biogassanlegget.

#### 1.4 Rapportens oppbygning

I første del av rapporten presenteres bakgrunnsinformasjon om Hoemsnes gård. Dette innebærer informasjon om driften på gården og hvor mye elektrisitet biogassanlegget produserer.

I kapittel 3 forankres teorien som er relevant for å besvare problemstillingen. Dette innebærer nærmere informasjon om biogassanlegg, solcelleproduksjon, hydrogenlagring og nettstyrke. Fornybar drift av kjøretøy med elektrisitet, hydrogen og biogass som drivstoff blir også belyst. Avslutningsvis har vi skrevet om ulike former for offentlige støtteordninger som kan benyttes dersom løsningene skal iverksettes.

I kapittel 4 beskrives metodene som er brukt for å innhente relevant teori. Videre forklares hvilke måledata som er brukt, i tillegg til hvor de kommer fra. Andre presenterte beregningsmetoder er knyttet til økonomi og omregningsformler mellom forskjellige energibærere. Alle nevnte punkter er viktig for å vurdere kvaliteten og relevansen i de ulike løsningene.

Kapittel 5 starter med å forklare bruksmønsteret på gården i forhold til effektforbruk, foranliggende strømnnett og transformator, og kort om nettleien. Den største delen av kapitlet omhandler energiproduksjon og -forbruk på gården slik det er i dag, men også framtidig energiproduksjon og forbruk med tanke på fornybar drift på gården.

Løsningene presenteres i kapittel 6, for å se på hvordan man kan optimalisere utnyttelsen av elektrisiteten som blir produsert fra biogassanlegget. I kapittel 7 sammenlignes løsningene ut ifra kostnadsberegninger. I kapittel 8 diskuteres alle løsningene rundt problemstillingen. I kapittel 9 presenteres en kort konklusjon. Feilkilder og videre arbeid presenteres kort i kapittel 10 og 11.



## 2 Bakgrunnsinformasjon

I dette kapittelet presenteres gården oppgaven tar utgangspunkt i. Dette for å skaffe en oversikt over driftsgrunnlaget på gården.

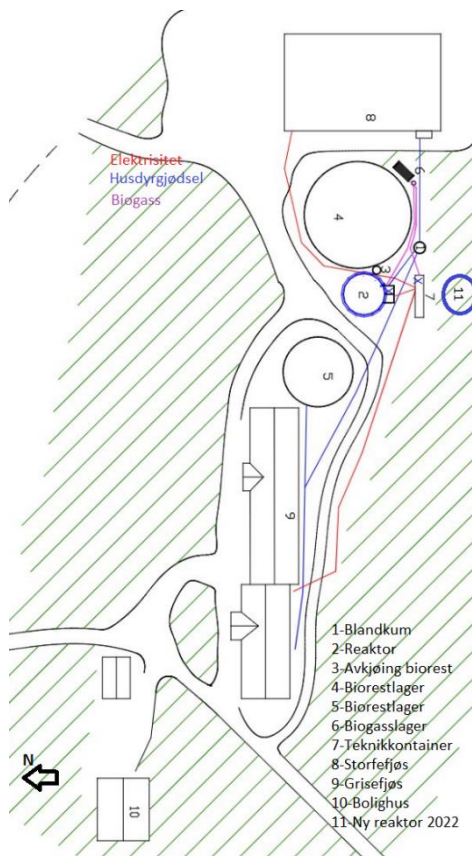
### 2.1 Hoemsnes Gård

Hoemsnes Gård ligger ved Aurosen i Hustadvika kommune, like utenfor Molde. Eiere og drivere av gården er Rita og Inge Hoemsnes. Gården driver med melkeproduksjon i et moderne løsdriftsfjøs satt i drift i 2017. I tillegg er det kombinert produksjon på gris opp mot konsesjonsgrensen. Dette innebærer både oppdrett av smågris og oppføring av slaktegris. Grisene har et våtforingsanlegg, mens kyrne føres med en fullfôrmikser med automatisk fôringsbånd.

På gården er det installert et biogassanlegg med én reaktor, og en gasstank. Husdyrgjødsel fra gården, samt fra en nabogård gir nok metangass til å produsere varme og elektrisitet, annen hver time gjennom døgnet. Det pågår en utvidelse av anlegget med enda en reaktor, der det skal tilsettes fiskeslam som substrat for å øke gassproduksjonen. Målet er at generatoren kan produsere energi kontinuerlig gjennom døgnet. Generatoren er dimensjonert for å kunne produsere inntil 50 kW, men driftes i dag på 30 kW (I.Kvande, personlig kommunikasjon, 04. mai 2022). Ifølge Hoemsnes selv hadde han før opparbeidelsen av biogassanlegget et årsforbruk på ca. 250 000 kWh (I.Hoemsnes, personlig kommunikasjon, 27. januar 2022).

Hoemsnes driver jorden og presser rundballene selv, noe som gir et vesentlig dieselforbruk. I tillegg til gårdsdriften driver Hoemsnes et anleggsfirma med tilhørende knuseverk. Derfor er det også store dieselutgifter og miljøutfordringer tilknyttet fossilt drevne lastebiler og anleggsmaskiner.

Utklipp 1: Oversiktsskisse Hoemsnes gård  
(Rangul et al., 2020, s.15).



Tabell 1: Informasjon om biogassanlegget, gården og drift.

Beskrivelse	Antall	Benevning
Gasskonteiner	20	m <sup>2</sup>
Generator - normal effekt	30	kW
Generator - maksimal effekt	50	kW
Driftstimer	12	t
Driftstimer - utvidelse*	24	t
Melkekvote	550 000	l
Storfe	180	stk
Griser	700	stk
Årlig dieselforbruk	8 500	l
Årlig driftstimer - traktor	1 200	t

### 3 Teori – Energilagring, forbruk og kjøretøy

I dette kapitlet presenteres teorien om forbruk, produksjon og energilagring av strøm. Biogassanlegg og solceller produserer energi, mens energien kan lagres med batteri, som hydrogen eller som biogass. Det blir også presentert fornybare kjøretøy og til slutt økonomiske støtteordninger. Den presenterte teorien er svært viktig for å danne grunnlaget om hvilke løsninger som kan være aktuelle, i tillegg til hvordan de fungerer.

#### 3.1 Energilagring og produksjon

##### 3.1.1 Biogassanlegg

Biogassanlegg er også kalt for CHP-anlegg, Combined Heat and Power, siden forbrenningsprosessen produserer både elektrisitet og varme. Biogass er en gassblanding som hovedsakelig består av metan og karbondioksid. Gassblandingen dannes når organisk materiale brytes ned av mikroorganismer, i et oksygenfritt miljø (Rosvold, 2020a). Følgelig kan drivstoff basert på biogass være et klimavennlig alternativ da det produseres av restprodukter. I motsetning til fossile drivstoff, er allerede restproduktet i kretsløpet og det tilføres dermed ikke ny CO<sub>2</sub> (Miljødirektoratet, 2021a).

Restproduktet man sitter igjen med etter gassproduksjonen, kalles for biorest. Innholdet av organisk materiale er halvert etter biogassproduksjon, men innholdet av næringsstoffer er bevart. Derfor er det gunstig å bruke som gjødsel til planter og jordbruk. Bioresten er også veldig lik i konsistens som vanlig husdyrgjødsel og kan derfor biorest brukes og fordeles på samme måte som husdyrgjødsel (NIBIO, 2017).

Før forbrenningen, må gassen gjennom et filter av Jernoksid-pellets. Her fileteres hydrogensulfid ut fra gassblandingen for å unngå korrosjon i motoren. Filteret mettes etter en viss tid, og må skiftes 3-4 ganger i året. Et alternativt filter er å bruke aktivt kull (I.Kvande, personlig kommunikasjon, 10.mai 2022). Motoren er en forbrenningsmotor som driver en generator som produserer strøm, i tillegg til at motoren avgir varmeenergi som utnyttes til oppvarming av gården.

##### 3.1.1.1 Biogasslagring

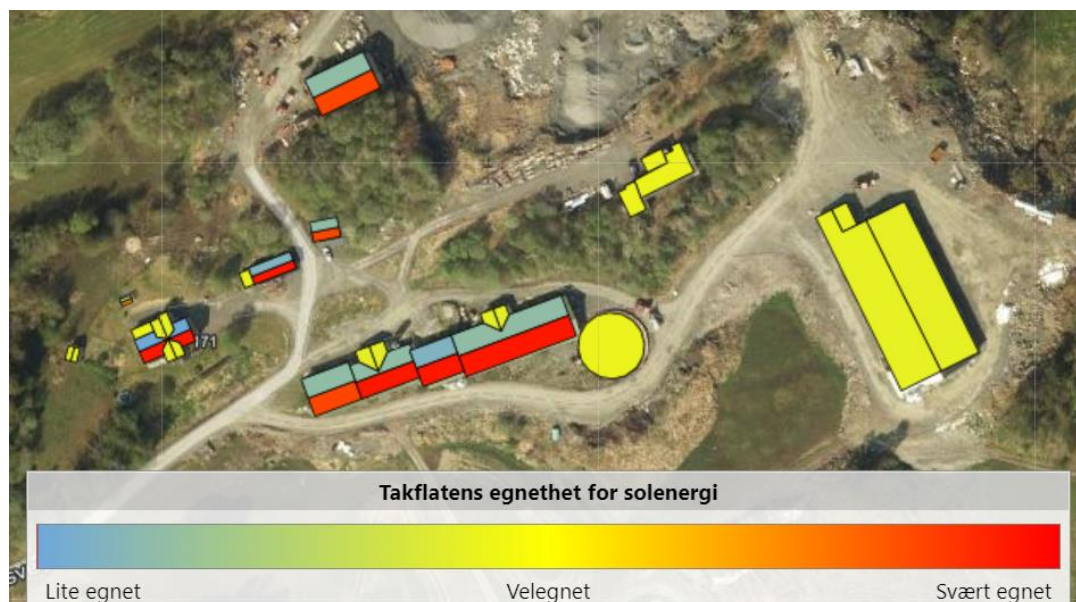
For å kunne ha stabil motordrift når motoren kjøres, lagres produsert biogass i en gasskonteiner før det pumpes inn til motoren. I dag står det en 20 m<sup>2</sup> konteiner på gården. Motoren starter når mengden gass i konteiner er 85 %, og går til det er igjen 40 %. Den går kun ned til 40 %, da det er viktig at plastikkposen i konteineren holder fasongen sin med tanke på måling av gassmengde. Det er en IR-sensor som lyser på denne plastposen som sier hvor høyt nivået er. For å øke gasskapasiteten på anlegget, kan det være aktuelt å installere en ekstra konteiner i parallell. En ny konteiner koster ifølge NORSØK per dags dato fra 50 000 kr til 100 000 kr (I. Kvande, personlig kommunikasjon, 31. mars 2022).

##### 3.1.2 Solcelleproduksjon

Solceller er lysfølsomme halvlederdiodes som utnytter solstråler til å produsere elektrisk energi. Virkemåten til solceller er at cellene baseres på fotovoltaisk effekt (fotoemisjon), og blir derfor kalt for PV-anlegg etter det engelske uttrykket Photo Voltaics. Materialet som er brukt i en solcelle er halvledermaterialer, og det vanligste materialet er silisium. En solcelle består to silisiumhalvledere, mellom to elektroder (ledere). Det er positive ladninger på den ene halvlederen og negative på den

andre. Når lys treffer overgangen mellom positiv- og negativ halvleder, vil dette erstatte elektronene på positiv halvleder, og da oppstår elektrisk strøm (Rosvold, 2020b).

Solcellepanel er sammensatt av flere solceller, og et solcelleanlegg er flere solcellepanel koblet sammen. Panelene er ofte plassert på tak eller vegger som er sør-vendt for å få mest utnytte av solenergien (Norsk solenergiforening, u.å.).



Figur 1: Oversiktsbilde av takflater som er egnet til solceller på Hoemsnes gård. Figur hentet fra solkart.no.

Hvor mye strøm som produseres fra et solcellepanel er avhengig av styrken på sollyset. Solstyrken er varierende fra når på døgnet solen er fremme og årstidene. Derfor er det viktig å plassere solcellene slik at de er mest effektive i forhold til solstyrken. Både himmelretning og vinkelen på solcellepanelene har betydning for hvor mye solcellene produserer av energi. Sørvendt solcellepanel vil produsere mest på sommeren, men også mest midt på dagen. Det er også den løsningen som gir mest energi totalt sett gjennom året. Solcellepanel som er vendt øst/vest, vil produsere litt mindre energimengde i løpet av året. Produksjonen vil også forflyttes i tid. Vendes solcellepanel mot øst, vil det produsere mer energi på kvelden. I motsetning til vest-vendt solcellepanel som produserer mest energi på morgenen (dsisolar, 2019).

Figur 1 er et oversiktsbilde av Hoemsnes gård hentet fra solkart.no, som viser takflatenes egnethet for solenergi på Hoemsnes gård. Takflatens egnethet for solenergi går fra blå: lite egnet, gul: velegnet til rød: svært egnet (Strømberg, u.å.). Her kan vi se at grisefjøsset i midten av bildet med røde takflater er det bygget på gården som er mest egnet for solcellepanel. Det er også flere takflater som er svært egnet, men som ikke har samme arealet som grisefjøsset. Bygget vist til høyre på figuren med gul takflate er storfe fjøsset. Det er også er velegnet for solenergi.

### 3.1.3 Batterilagring

Det er økende interesse for integrering av batterier koblet til distribusjonsnettet, eller for lagring av energi i kortere perioder. Integrasjon av batterier i energisystemer er også gunstig for distribusjonsnettet, da det vil hjelpe til å redusere belastningen. Med å innlemme batterier i energisystemer, kan energibruk flyttes. Det fører til at effekttoppene som belastes på nettet kan reduseres (Sintef, 2021).

Det er flere former for batteri som er tilkoblet distribusjonsnettet. Et batteri som er godt egnet til energilagring er Litium-ion-batteri, også kalt li-ion-batteri. Dette batteriet har både svært høy celledensitet og energitetthet. I tillegg tåler det små opp- og utladninger godt. Det kan i det ene øyeblikket motta effekt, men litt senere gi effekt.

Li-ion-batterier inneholder kobolt, som er et metall det er lite av i verden. Mesteparten av råvaren kommer fra Kongo, og det er store etiske problemstillinger knyttet til gruvedriften. Amnesty rapporterer om barnarbeid og usikre arbeidsforhold. Med å øke levetiden på batterier eller øke gjenvinningsgraden av kobolt, reduseres behovet for ny utvinning av råvarene (Norsirk, u.å.).

Batteriprisene har mellom 2010 og 2021 falt med 89 %, og snittprisen i 2021 var \$132/kWh. Prisene er innhentet av BloombergNEF og er en snittpris på forskjellige Li-ionbatteripakker. Effektivitet i produksjonslinjer og bedre kunnskap er med å senke prisene. Blant annet brukes det i økende grad litium-jernfosfat (LFP) istedenfor kobolt i katoden. LFP er nærmere 30 % billigere enn kobolt, men også prisene på dette har økt med 10-20 % i forbindelse med prisøkningen på råvarer og transport i 2021. Likevel spår BloombergNEF at prisen faller under \$100/kWh i 2024 (BloombergNEF, 2021).

#### 3.1.3.1 Batteriløsning fra Chainpro Energy

Chainpro Energy AS er et Trondheimsfirma som produserer batteri-pakker og systemer. De leverer litium-ion batteriløsninger med brukte battericeller fra elbiler, eller med helt nye celler. (Chainpro, u.å.(a)). De leverer både skreddersydde og standard løsninger. En av systemene er ReGRID 40 v5-3 til 167 160,- eks. mva. Denne leveres med et nytt batteri på 40 kWh, og med en omformer som kan levere 15 kVA. Med en omgivelsestemperatur på 25 °C tilsvarer det 12 kW. Plasseringen av systemet er viktig da høyere temperaturer vil gi lavere virkningsgrad. Omformeren kan i en kort tid ha en makseffekt på 27 kW.

Vi kontaktet Thomas Key Kristiansen i Chainpro Energy AS for å få mer info om produktene deres. Han forteller at makseffekten bare kan trekkes i noen sekunder, så hvis det er behov for en større omformer må dette spesialbestilles. På Hoemsnes gård er det 230 V IT-nett. Dette skaper problemer for Chainpro sin inverterer da den i utgangspunktet leverer 400 V, og bare kan levere 230 V 1-fase.

Kristiansen forteller at de jobber med løsninger for dette, men foreløpig har de to alternativ. Alternativ en er å installere en 400/230 V transformator. Den vil redusere effektiviteten da den har et konstant tap i seg. I tillegg vil den gi økte kostnader. Alternativ to er at batteriet mater 1-fase 230 V på nettet og bare forsyner 1-fase. Det må utredes videre hvilken løsning som er best på den aktuelle gården, men aktuell gårdeier hadde ikke mulighet til å fremskaffe detaljerte koblingskjemaer i denne omgang.

Kristiansen avslutter med å fortelle at de brukte battericellene har en forventet levetid på 10-15 år, mens på nye forventes 15-20 år. Krafterelektronikken de leverer har en forventet levetid på 15-20 år. Han legger også til at batteriet ikke bør lades ut til under 10 %, da dette kan redusere levetiden av batteriet (T.K. Kristiansen, Personlig kommunikasjon, 2022).

### 3.1.3.2 Batteriløsning fra Pixii

For å få oversikt over hva som trenges i et energilagringssystem med batterier ble Ole Jacob Sjørdalen, Chief Innovation Officer i Pixii, kontaktet. Han forteller at Pixii er en leverandør av kraftelektronikken til blant annet batteriløsninger, og har et samarbeid med en leverandør av selve batteriene. Løsningen deres kommer i moduler så både innholdet i skapet og antall skap kan tilpasses kundens behov. En omformer kan transformere 3,3kW AC/DC, men flere kan sammenkobles for å øke kapasiteten til overført energi (Pixii, 2019a).

Pixii leverer standardproduktet: PowerShaper 30 kW / 65 kWh. Det er en modul som kan gi ut eller ta imot 30 kW, i tillegg har den en kapasitet på 65 kWh. Systemet kan tilpasses med et større eller mindre batteri. Se Tabell 2 for spesifikasjoner på PowerShaper. Modulen er designet både for 1- og 3fasesystem (Pixii, 2019b).

Tabell 2: Generell data fra PowerShaper 30 kW / 65 kWh fra Pixii (Pixii, 2019a).

General data			
Max power (bi-directional)	30 kW	Maximum operating temperature	50 °C
Nominal AC voltage	230/400 Vac	Minimum operating temperature	-20 °C
Frequency	50 or 60 Hz	Dimensions (w x d x h)	710 x 884 x 2109 mm
Max AC current (fully equipped)	51 A	Weight (fully equipped) kg	550 kg
Nominal DC voltage	48 Vdc	Cabinet protection class	IP 55
Max DC current (fully equipped)	675 A	Max. Energy storage capacity	65 kWh

### 3.1.4 Hydrogenlagring

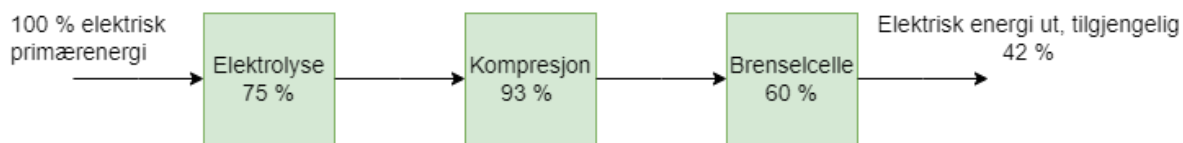
Hydrogen er et grunnstoff som i hovedsak er kjemisk bundet til vann. Et nøytralt hydrogenatom har ett elektron og atomkjernen har ett proton. Med bare ett proton er hydrogen det minste og enkleste grunnstoffet vi kan bruke i til bæring av energi (Kofsad & Pedersen, 2022).

Hydrogen er i aggregattilstand gass under atmosfærisk trykk og romtemperatur, men kan lagres som komprimert gass eller kjøles ned til flytende form. Overskuddsenergi som produseres fra kraftverk, kan utnytte hydrogenlagring for å benytte energien senere. Lagret hydrogen kan brukes i ettertid som en energibærer, altså en kjemisk reaksjon som produserer energi for å utnytte den senere (Rosvold, 2021). Hydrogen produseres først og fremst ved reformering av naturgass, men vannelektrolyse er også en metode som er brukt. Vannelektrolyse er en prosess som bruker elektrisitet til å spalte vann om til hydrogen og oksygen (Benjaminsen, 2019).

Virkningsgraden på et hydrogenlagringsanlegg er viktig å bemerke. Figur 2 viser energieffektiviteten til et hydrogenlagringsanlegg, hvor man sitter igjen med 42 % elektrisitet som kan utnyttets.

#### Energieffektivitet med **strøm** som utgangspunkt

##### Brenselceller



Figur 2: Illustrasjon av energieffektivitet med strøm på et hydrogenlagringsanlegg (Valmot, 2019).

Tallgrunnlag for investering av hydrogenanlegg er informasjon som ikke er lett tilgjengelig. Vi kontaktet derfor daglig leder i Liquiline AS. Knut Førland påpekte i e-post, at den minste elektrolysøren de leverer krever en investering for flere millioner kroner. Han forteller videre at det derfor er veldig store investeringskostnader knyttet til et komplett hydrogenanlegg og det ødelegger for lønnsomheten for å velge et slikt anlegg som energilagring i liten skala (K. Førland personlig kommunikasjon, 08. april 2022).

#### 3.1.4.1 Hydrogenløsning fra Ostermeier Hydrogen Solutions (OHS)

Ostermeier Hydrogen Solutions (OHS) er et firma som har laget et system som fungerer med vannet fra springen for å produsere hydrogen. Hydrogenet blir lagret i gassflasker, og anlegget kan monteres med en brenselcelle eller en wankelmotor for å produsere elektrisitet. Systemet har en kapasitet som varierer fra 1 kW til 100 kW, og tilsvarer hydrogenproduksjon mellom 0,2 – 20 Nm<sup>3</sup>/t (Bellini, 2022).

Systemet kommer i en rammemodul som kan bli brukt både i bolig og i industri. Solcellepanel i kombinasjon med batteri er gunstig for den systemløsningen som OHS konstruerer. Sesonglagringssystemet, vil kunne lagre energi fra sommeren til vinteren og prisen starter på 160.000 €. Kostnaden vil variere ut fra hvilke komponenter man velger.. Strømforsyningen kan velges mellom AC/DC-strømforsyning med 400 V AC – trefase tilkobling eller DC/DC- strømforsyning med 48 V DC tilkobling. Lønnsomheten til systemet som OHS leverer er beregnet til å produsere grønt hydrogen som koster 12 € per kg, gitt at strømprisen som forsyner systemet er på 10€/ MWh (Bellini, 2022).



Figur 3: Ostermeier hydrogen løsning, elektrolyse rammemodul for bolig og industri (Bellini, 2022).

Kapasiteten på anlegget med en brenselcelle vil kunne levere maksimalt 8,4 kW, men med wankelmotoren kan man levere 10 kW. Nedenfor vises en tabell for investering- og vedlikeholdskostnader for et komplett hydrogenanlegg levert av OSH. Et anlegg med brenselcelle for å produsere elektrisitet har totalt investeringskostnad på 160.000 € og med årlig vedlikeholdskostnader på 1.080 €. Alternativt kan brenselcellen erstattes med en wankelmotor som produserer elektrisitet, da blir investeringskostnaden lavere med 175.000 € og vedlikeholdskostnader hvert år på 1.030 €.

Tabell 3: Investerings- og vedlikeholdskostnader for de enkelte komponentene i en sesongbasert lagringsløsning (Ostermeier hydrogen solutions, 2022, s.7).

Komponent	Den viktigste egenskapen	Investeringskostnader (nett)	%-Del	Nedbetalingstid	Årlig Vedlikeholdskostnader
<b>Elektrolyse</b>	10 kW,el & 1 kW,varme @ 50° C	80.000 €	18 %	20 år	500 €
<b>H2-ND-Lagring</b>	16 flasker	10.000 €	2 %	20 år	80 €
<b>H2-Kompressor</b>	2 Nm <sup>3</sup> /t leveringsvolum	40.000 €	9 %	20 år	200 €
<b>H2-Brenselcelle</b>	1,6-8,4 kW,el & 4 kW,varme @ 50° C	45.000 €	10 %	20 år	200 €
<b>Alternativt: H2-Wankelmotor</b>	2-10 kW,el & 20 kW,varme @ 90° C	30.000 €	7 %	20 år	150 €
<b>Installasjon</b>		5.000 €	1 %	20 år	100 €
<b>SUM m/ brenselcelle</b>		<b>175.000 €</b>			<b>1.080 €</b>
<b>SUM m/ wankelmotor</b>		<b>160.000 €</b>			<b>1.030 €</b>

### 3.1.5 Nettstyrke og leveringskvalitet

For å få informasjon om det foranliggende nettet for gården ble Even Holmgren kontaktet. Han er seksjonsleder plan i Elinett, og bidro med informasjon om det foranliggende nettet knyttet til Hoemsnes gård. Andre personer som vi har hatt kontakt med i Elinett er Malin Titlestad. Dette gjennom e-post. Nettet som ligger foran gården til Inge anses som et relativt sterkt nett. Trafoens kapasitet er 200 kVA. Den er i tillegg til gården tilkoblet 20 hytter, samt at det er 5 hyttetomter som ikke er påkoblet enda. De fleste av disse hyttene har overbelastningsvern mellom 50 og 63 A. Gårdsbruket har overbelastningsvern på 160 A, som fører til at det kan leveres en effekt på 63,7 kW til gården. Transformatoren hadde den 06. april 2022 en belastning på ca. 70 %. På sommerstid ligger denne belastningen på ca. 30 % (E. Holmgren, personlig kommunikasjon, 06. april 2022). Trafoen har tilgjengelig kapasitet til eventuelt fremtidig økt forbruk på gården.

Kabelen som er lagt inn til gården er en TFXP-O 4x240 AL (E.Holmgren, personlig kommunikasjon, 06. april 2022). Denne kabelen er opplyst til å ha en ledningsevne på 435 A forlagt i jord (M.Titlestad, personlig kommunikasjon, 20. april 2022), og har dermed mye å gå på når det gjelder belastningen. Traføytelse og selektivitet på vern antas å være begrensende for å øke størrelsen på vernet. Hvis effektbehovet hadde vært svært stort på sommeren hadde det ikke vært noe problem med tanke på ytelse på transformator. Det er heller ingen særlig begrensning på høyspentsiden av trafoen, og disse faktorene tilsier at det ikke skal være utfordringer til leveringskvaliteten på gården.

Elektrifiseringen av samfunnet skaper utfordringer i kraftproduksjonen og kraftnettet. I rapporten *LANGSIKTIG KRAFTMARKEDSANALYSE 2021–2040*, presenterer NVE flere problemstillinger rundt tematikken. Det trengs vesentlige investeringer i kraftnett og variable produksjonsanlegg. Strøm og nettleiekostnadene forventes å stige frem mot 2030 (Birkelund, 2021).

Styrken til nettet foran gårdene har mye å si for leveringskvaliteten til gården. Leveringskvalitet omhandler viktige punkter som frekvens og spenning. I tillegg er det viktig med kortslutningsstrømmer som er store nok til at vernene detekterer disse strømmene. Det er også krav om spenningskvalitet, som spenningsvariasjoner. «Langsomme variasjoner i spenningens effektivverdi skal være innenfor et intervall på  $\pm 10\%$  av nominell spenning, målt som gjennomsnitt over ett minutt» (NVE, 2021a). Derfor må et nett med nominell spenning på 230 V, være mellom 207 og 253 V for å være i tråd med forskrift for leveringskvalitet.



## 3.2 Kjøretøy med alternative drivstoff

### 3.2.1 Elektriske kjøretøy

#### 3.2.1.1 Traktor

Det er lite elektriske traktorer å finne på det norske markedet, men EOX 175 er en ny traktor som kom på det nederlandske markedet i 2021. Den leveres i dag som elektrisk eller som hybrid med en Euro6 dieselmotor som gir økt rekkevidde ved å lade batteriene. Den leveres med Li-Ion batterier på 35 kWh per batteri og inntil 160 kW, og ladetiden er oppgitt til tre timer (H2Trac, u.å, s.6). Med flere batteripakker kan den ha en brukstid på 4-8 timer og 240-360 kWh kapasitet (EOX, u.å.).

I tillegg har John Deere en elektrisk konsepttraktor ved navn Sesam. Den er basert på serien 6R og har en batterikapasitet på 130 kWh. Det er to stykk separate 150 kW (402 hk) motorer som kan brukes til fremdrift, eller en kan samtidig brukes til å drive hydraulikk eller kraftuttak. Det er oppgitt at den har en ladetid på 3 timer og kan da driftes i fire timer ved vanlige operasjoner, eller ca. 55 km ved transport etter vei (Alabama Living Magazine, 2018).

#### 3.2.1.2 Minilaster - Avant e6

Elektriske minilastere finnes i flere varianter og merker på markedet. En av dem er Avant e6 som har en løfteevne på 1400 kg, som er tilstrekkelig for å løfte en våt rundball. Den er også utstyrt med lithium-ion batteri på 14,5 kWh. Den har en teoretisk ladetid på en time, og driftstid på 2-6 timer avhengig av belastning (Felleskjøpet, 2016).

#### 3.2.1.3 Lastebil - Volvo FE Electric

Det finnes flere leverandører av elektriske lastebiler. En av dem er Volvo, med blant annet FE Electric. Det er en helelektrisk lastebil med ytelse på 225 kW (300 hk) kontinuerlig effekt, batterikapasiteten er på opptil 265 kWh og det gir en rekkevidde opptil 200 km. Ladetiden er 11 timer med 22 kW AC-lading og 2 timer med 150 kW DC-lading (Volvo, u.å.).

For å veie opp for den ekstra vekten fra batteriene kan det velges løsninger for å redusere totalvekten. For eksempel et lett tipp-påbygg og aluminiumsfelger som bidrar til lettere lastebil og dermed større nyttelast. En tre-akslet anleggslastebil har normalt en tillatt totalvekt på 26 tonn, men siden dette er en nullutslipps lastebil så er det tillatt med et tonn ekstra. Dermed kan denne modellen ha totalvekt opp til 27 tonn (Førde, 2021).

### 3.2.2 Hydrogen som drivstoff

#### 3.2.2.1 Traktor med hydrogen som brennstoff

Det ser ut til at det foreløpig finnes en traktor som bruker hydrogen som drivstoff. Det er New Holland T5.140 Auto Command H2 Dual Power. Den har en 4,5 l firesylindret motor med 140 hk. Den går på en kombinasjon av H<sub>2</sub> og diesel. Hydrogen suges inn i sylindrene sammen med oksygen, og under komprimeringen blandes disse gassene til en homogen blanding. Det sprøytes inn en liten andel diesel for å antenne reaksjonen slik som i en vanlig diesel/luft motor, men her er det en diesel/hydrogen/luft blanding.

Blandingsforholdet av drivstoff varierer ut fra belastningen på maskinen, men det kan maksimum være 65 % hydrogen. Desto tyngre arbeid, desto større andel diesel. Traktoren skal kunne gå på hydrogen i inntil 8 timer. I tillegg kan motoren gå på bare diesel, hvis man skulle gå tom for hydrogen underveis i arbeidet (Vale, 2020). Motoren som brukes i maskinen fungerer altså likt som en dieselmotor, og avgass-systemet er det samme. Derfor trengs det kun mindre modifikasjoner for å få en dual-fuel motor, noe som gir lave tilleggskostnader (Blue Fuel Solutions, u.å.).

Hydrogentankene består av 5 separate tanker som inneholder 11,5 kg H<sub>2</sub> med et trykk på 350 bar. Tankene er plassert på taket av traktoren, angivelig for å ikke redusere funksjonaliteten til traktoren, samtidig som ulykkesrisikoen minsker (Blue Fuel Solutions, u.å.). Traktoren ble først lansert i 2010, men prosjektet ble lagt på is noen år. I 2019 ble det solgt fire traktorer til den nederlandske entreprenøren Jos Scholman. De påstår at denne motoren gir et redusert utslipp på 50 % sammenlignet med en fossildrevet traktor (Kwacz, 2020).

#### 3.2.2.2 Traktor med fuel cell

EOX 175 er som nevnt i kapittel 3.2.1.1 en traktor som kom på det nederlandske markedet i 2021. I 2022 har produsenten H2Trac BV mål om å lansere en hydrogentraktor som skal kunne levere 120 kW. Videre er det lite kjent informasjon om traktorens driftsdata som kapasitet og forbruk, og vi har heller ikke fått noe respons på våre henvendelser til leverandøren (EOX, u.å.).



Bilde 1: EOX 175 (EOX, u.å.).

### 3.2.3 Biogass som drivstoff

Biodrivstoff kan fremstilles fra flere kilder, som blant annet trevirke, matavfall, dyregjødsel og naturgass. Det er med biogass i en forbrenningsmotor at Inge Homesnes produserer energi i dag, men gassen har et stort innhold av CO<sub>2</sub> som ikke er fjernet. Denne biogassen er kjent som rågass og består av omtrent 60 % metan og 40 % CO<sub>2</sub>. Gassen burde renses til omkring 97 % metan før den skal brukes på kjøretøy for å få bedre utnyttelse av gassen (Miljødirektoratet, 2021b). Ren metan er mer effektiv, samt at CO<sub>2</sub>-gassen okkuperer kritisk lagringskapasitet i gasstanken. Rapporten *Kostnadsanalyse av komprimering og transport av rå biogass* fra SINTEF konkluderer med at for at rensing av gass skal være lønnsomt, burde man ha et anlegg som produserer 100 Nm<sup>3</sup> biogassgass i timen (Eldrup et al., 2022, s.4). Dagens anlegg hos Homesnes produserer omtrent 10 Nm<sup>3</sup> biogass i timen. Etter utvidelsen, og hvis innblanding av fiskeslam blir en suksess kan det være mulig å nære seg 50 Nm<sup>3</sup>.

### 3.2.3.1 Traktor - New Holland T6.180 Methane power

I 2013 lanserte traktormerket New Holland en traktor som har erstattet diesel med biogass. Foreløpig har de kun en traktor i denne serien, en T6.180 Methane power med 175 hk. I 2020 ble den satt i serieproduksjon og er solgt til kunder både i Storbritannia og Danmark. Motorteknologien er utviklet av FPT Industrial, som har over 20 års erfaring med naturgassmotorer. New Holland Agriculture påstår at denne traktoren gir opptil 30 % lavere



driftskostnader, 99 % mindre svevestøv, reduserte CO<sub>2</sub> utslipp med 10 % og et redusert totalt utslipp med 80 % (New Holland Brand Communications, 2021).

*Bilde 2: New Holland T6.180 Methane power med tanker på hytta. Det verserer flere bilder med tanker på forskjellige steder på traktoren, så det antas at dette bare er en av løsningene. (New Holland Brand Communications, 2021).*

Databladene som finnes, er ikke særlig informative. Derfor ble Hans Espen Lodding kontaktet. Han er Teknisk spesialist hos A-K maskiner, importør av New Holland i Norge. Lodding kan fortelle at traktoren er bygd på en standard dieseltraktor der motorblokka er den samme, men med en annen topp, annet innsprøytningssystem og mindre utstyr på eksos og avgasser. Blant annet er det ikke AdBlue og egr-ventil på denne motoren, det er bare en liten katalysator. Det at traktoren er bygd på kjente systemer med enkle modifikasjoner gjør at det er mindre feil og usikkerheter med denne nye teknologien. Loddingen forteller at det ikke har vært noen store problemer med denne traktoren og det er lett tenkelig at teknologien kan overføres til andre større eller mindre traktorer.

Rekkevidde og kjøretid er noen av de største problemene med alternative drivstoff. Standarden på denne traktoren er 3-4 timers arbeidstid, med 185 l biogass. Gassen er lagret i 7 tanker rundt omkring på maskinen med et trykk på 200 bar. Traktoren kan også leveres med en fastmontert gasstank i fronten eller også gasshenger. Fronttanken består av tre tanker som totalt gir 90 l biogass som gir en samlet driftstid på 8-12 timer. Fronttanken er det i dag krav om at skal være fastmontert i ramma, men Lodding forteller at det arbeides med å få endret regelverket slik at denne kan festes i fronthydraulikken, og dermed kunne tas av og på etter behov (H.E. Lodding, personlig kommunikasjon, 01.03.2022).

### 3.3 Økonomiske støtteordninger

For å gjøre det mer attraktivt å drive med utvikling av næringsutvikling og bærekraftig energi, finnes det flere statlige støtteordninger. Disse er sentralt å belyse med tanke på økonomiperspektivet for de ulike løsningene.

#### 3.3.1 Enova

Enova bidrar med økonomisk støtte til privatpersoner og bedrifter som ønsker å ta i bruk klimavennlig teknologi. Enova dekker noe av merkostnadene til energi- og klimavennlige løsninger. Bedrifter får støtte fra Enova om det er behov for pengehjelp for å utføre prosjektet, derfor er det kun nye prosjekter som pengestøtte (Enova, u.å.(a)). Hos Enova kan man søke i mange støtteprogrammer. Blant annet *Innovasjon og teknologi*, som kan støtte investeringer som realiserer fullskala energi- og klimateknologi. Innen kjøretøyssektoren kan det blant annet søkes spesifikk støtte til tunge elektriske kjøretøy. Her kan man få inntil til 40 % støtte av merkostnaden av elektriske kjøretøy, kontra fossilbiler (Enova, 2021).

#### 3.3.2 Innovasjon Norge

Innovasjon Norge er eid av staten igjennom Nærings- og fiskeridepartementet og av fylkeskommunene (Garvik, 2020). Hvilke produkter og prosjekter man kan få støtte for varierer noe mellom avdelingene, og kalles tjenester. I Møre og Romsdal kan det blant annet søkes støtte innen tjenestene landbruk eller finansiering (Innovasjon Norge, u.å.(a)). Videre kan underområdene, *grønt investeringstilskudd i distriktene, tilskudd til miljøteknologi, grønt vekstlån* (Innovasjon Norge, u.å.(b)) og *Fornybar energi i landbruket* (Innovasjon Norge, u.å.(c)), nevnes som tjenester det kan være verdt å se på for eventuell støtte. Man kan bare få støtte fra en tjeneste i gangen, så en god dialog med Innovasjon Norge og eventuelt søknader innen flere områder vil øke muligheten til å få støtte.

De forskjellige tjenester har visse kriterier som må oppfylles for å få støtte. For *Fornybar energi i landbruket* er et mulig område å få støtte til *Biogass-, biokull, kraft/varmeanlegg, samt utprøving av nye teknologier i landbruket*. Her står det videre at blant annet bønder eller teknologileverandører kan søke støtte til blant annet kraft/varmeanlegg eller utstyr for produksjon av varme, elkraft og biodrivstoff. Det kan søkes om inntil 45 % og maksimalt 8 000 000 kr.

I tillegg kan det gis 50 % støtte til forstudier eller forprosjekter med henholdsvis maksimalsum 50 000 kr og 150 000 kr. Det stilles krav om at det er enkeltpersoner eller landbruksforetak som skal etablere anlegget og søknaden vurderes ut fra miljøgevinst og bruksplaner for energien. Søknaden vurderes ut fra kriteriene i tabellen til høyre (Innovasjon Norge, 2022).

Tabell 4: Kriterier tjenesten *Biogass-, biokull, kraft/varmeanlegg, samt utprøving av nye teknologier i landbruket* (Innovasjon Norge, 2022).

- Prosjektet skal bidra til økt verdiskaping og sysselsetting i Norge.
- Prosjektet skal bidra til økt lønnsomhet for bedriften.
- Prosjektet må kunne vise til klar reduksjon i utslipp av klimagass.
- Eierandel og ringvirkninger innenfor skog- og landbruk, herunder utnyttelse av lokale ressurser fra skog eller kulturlandskap.
- Forutsetninger, planer og budsjetter skal være realistiske.

## 4 Metode

I dette kapitlet beskrives metodene som er brukt for å innhente relevant teori. Videre forklares hvilke måledata som er brukt, i tillegg til hvor de kommer fra. Andre presenterte beregningsmetoder er knyttet til økonomi og omregningsformler mellom forskjellige energibærere. Alle nevnte punkter er viktig for å vurdere kvaliteten og relevansen i de ulike løsningene.

### 4.1 Litteraturstudie

Litteraturstudie er en metode som sorterer og analyserer teori, som allerede er utgitt. Teknisk informasjon er hentet fra digitale leksikon og relevante nettsider. Det er brukt forskningsartikler, nyheter, salgsbrosjyrer og andre fritt tilgjengelige oppslagsverk. Kildene som er brukt er kontrollert opp mot flere kilder for å sikre kvalitet og riktig informasjon. Det er også brukt en god del informasjon fra leverandører

Gjennom rapporten har det vært noe utfordrende å finne nyttig informasjon. Mange av leverandørene var flinke til å svare på spørsmål og dele informasjon, men det var delvis lite utdypende. Tekniske data til kjøretøy var ofte mangelfulle. Mange var oppgitt med driftstid og ladetid, men manglet med effekter og energimengder.

Informasjonen danner grunnlaget for teoridelen i rapporten. En sentral del av arbeidet var å velge ut den informasjonene som var relevant for rapporten. For å se på elektrisk lading av store kjøretøy ble det naturlig å bruke ett kjøretøy som referanse. Det nemlig effekt og energimengder som er relevant å se på, ikke mange forskjellige kjøretøy.

### 4.2 Måling

#### 4.2.1 AMS-måledata

AMS-måledata (Avansert måle- og styringssystemer) er brukt for å kartlegge forbruk på gården. Alle strømkunder i Norge har smarte målere som registrerer strømforbruk (NVE, 2021). Datagrunnlaget som ble brukt inneholder alle timesverdiene for 2021, som vi fikk tilsendt fra Inge Hoemsnes. Måleren står i grensesnittet mellom e-verkets kabel og inntaket til gårdbrukeren. Generatoren er tilkoblet etter dette, så måledataene viser kjøpt og solgt energi hos e-verket, men ikke hva selve forbruket er. Dermed var det vanskelig å vite eksakt energibehov ved gården.

Måleren registrerer energimålinger for hver time, og disse målingene kan settes inn i Excel. Grafer som ble laget i Excel, er kjøpt og solgt energi basert på døgnverdier gjennom hele året, i tillegg til utvalgte døgn med timesverdier. Fra 6. til 9. desember var det driftsstans på anlegget og gårdbrukeren måtte kjøpe all energien sin. Disse dataene ble mye brukt for å se energibehovet, og det var også mulig å legge på den estimerte produksjonen på 30 kW. Årsaken til at vi ikke kunne basere oss på kun AMS-måling er fordi alle effektopper over korte tidsintervall ikke synes. Et effekttrekk på 60 kW i 10 minutter trenger ikke å vises i en hel timesverdi, men utgjør en betydelig del energi.

#### 4.2.2 Datalogger og måleutstyr

Måleutstyret som ble benyttet på storfe fjøset er listet opp i tabellen under, med beskrivelse og bilde. Fluke i1000s og i200s måler strøm. Tektronix P5200 måler spenning. Agilent 34972A loggfører dataen. Fluke 33 måler også strøm.

Tabell 5: Oversikt av måleutstyr for å gjennomføre selvstendige målinger.

Beskrivelse	Bilde
Datalogger: Agilent 34972A (Elfadistelec, 2022).	
Strømtang: Fluke i1000s (Fluke, ((u.å.)a). - 10/100/1000A	
Strømtang: Fluke i200s (Fluke, ((u.å.)b). - Strømtang 20 – 200A	
Måleprobe: Tektronix P5200 (Testequality, u.å.). - Måleproe 1kV 25MHz, peak 1,3kV	
Strømtang: Fluke 33 (Cole-Parmer, u.å.). - 100mA – 1000A-RMS	

#### Framgangsmåte

Dataloggeren ble brukt til å måle det mest effektkrevende utstyret i storfe fjøset. Slik fikk vi målinger med høye effekttopper, som er gunstig for videre beregninger av energiforbruk. I tillegg ble spenningen i fjøset målt for å se hvordan spenningskvaliteten påvirkes av forbruket.

Målingene er gjort momentant hvert 30. sekund, og er altså ikke en gjennomsnittsmåling eller viser maksverdien over en periode. Derfor kan det være at strømtrekket har vært større eller vart lengre enn det som er fanget opp av målingene, men dataene gir fortsatt et godt bilde på hvilke effekter et energilagringssystem må kunne gi ut over korte perioder.

Spenningen ble målt med voltmetret Tektronix P5200 og strømmen ble målt med amperetengene Fluke i1000s og Fluke i200s. Amperetengene er justerbare for å få nøyaktige målinger, og den digitale amperetangen Fluke 33 ble brukt for å kontrollere strømstyrrelsen før igangsetting for at riktig nivå skulle settes på hver tang.

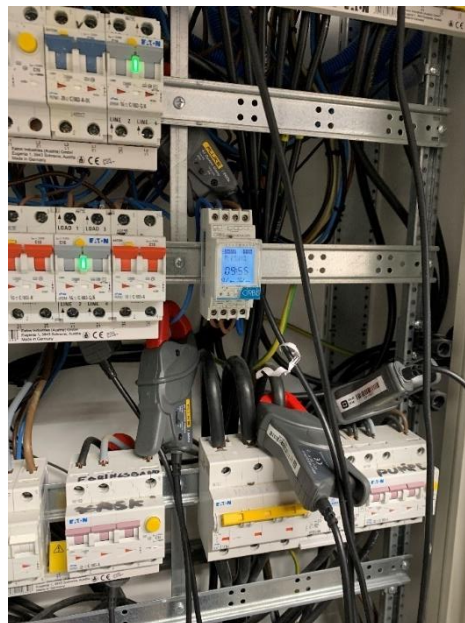
En elektriker monterte utstyret i sikringsskapet. Strømtengene ble montert på en fase til hver enkelt last. Dette ble likevel gjort for enklere og mer oversiktlig måling. Siden det kun ble målt på en fase av lastene, har vi ikke grunnlag nok til å analysere skjevlast på 3-fasekursene. For å utelukke skjevlast ble alle fasene kontrollert med Fluke 33. Kursene som er målt er i hovedsak tilkoblet ett utstyr, og det er lite muligheter for skjevlast.

#### 4.2.3 Tidspunkt for målingene i storfe fjøset 2022

De tidspunktene hvor det ble gjennomført målinger i storfe fjøset var fra klokken 12, 27. januar 2022 til klokken 9, 31. januar 2022.

#### 4.2.4 Analyse av målingene i storfe fjøset 2022

Datamålingene viser bruksmønstre på gården i slutten av januar. Snittet av disse dagene gir et relativt godt bilde av effektbehovet for gården, da rutinene i fjøset er de samme året rundt. Det er noe høyere forbruk i vinterhalvåret sammenlignet med sommerhalvåret, og dermed kan de sees på som en fordel at målingene ble gjort i en vintermåned for å få frem de største effekttoppene. Dagene var relativt like i forbruket, derfor blir 29.01 brukt i de beregningene der det simuleres eller bergenes for bare en dag.



Bilde 3: Strømmålinger i storfe fjøset  
[Foto: Skåren, A.]

### 4.3 Tidspunkt brukt til beregninger av måledata

Her presenteres de tidspunktene som blir brukt til beregninger. I løpet av 2021 hadde biogassanlegget driftsstans en kort periode, på grunn av en feil. Anlegget var ute av drift fra klokken 13.00, 6. desember til klokken 08.00, 9. desember. I denne perioden ble hele strømforbruket importert fra kraftnettet. Måledataene gjør det mulig å beregne gjennomsnittlig dagsforbruk på gården. De dagene som ble brukt var 7. og 8. desember.

Gjennomsnittlig dagsforbruk ble sammenlignet opp imot to tilfældige dager fra 2021. Det ble valgt 24. og 25. november 2021, sitt estimerte forbruk og produksjon fra AMS-målingene. I tillegg sammenlignes dagsforbruket med Hoemsnes oppgitte forbruk før biogassanlegget ble satt i drift.

Strømmålingene som ble gjennomført på lastene i storfe fjøset fra klokken 12, 27. januar 2022 til klokken 09, 31. januar 2022. Disse dagene ble brukt til å beregne gjennomsnittlig forbruk og effekttopper. Der det har vært behov for å sammenligne data fra et døgn, er dagen 29. januar 2022 brukt.

#### 4.4 Analysemetode og beregninger av måledata

AMS-dataene ble overført til Excel hvor de ble analysert med innebygde Excel-funksjoner som gjennomsnitt og største verdi. Noen kalkuleringer måtte gjøres med manuelle formler. Effekten er funnet med å multiplisere målt strøm, målt spenning og cosinusfaktoren som er antatt til 0,9. For trefase laster må man også huske å gange med  $\sqrt{3}$  og derfor ble enfase og trefaseeffekter funnet hver for seg før de ble summert sammen til den totale momentaneffekten.

*Formel 1: Effekt enfase*

$$P_{1fase} = U * \sum I_{1fase}$$

*Formel 2: Effekt trefase*

$$P_{3fase} = \sqrt{3} * U * \sum I_{3fase}$$

#### 4.5 Beregning av forbruk

AMS-dataene viser forbruket igjennom hver time, mens momentanmålingene er omregnet til å vise effekten hvert 30. sekund. Effektforbruket vil variere kontinuerlig, mens i våre beregninger antas det at effekten er konstant og bare endres på hver måling.

Effektleddene for de forskjellige løsningene er vist i Tabell 12. Videre er 29. januar brukt til å finne mengden kjøpt og solgt elektrisk effekt. Dette gjøres ved å finne det totale effektforbruket i en måling, som er summen av momentaneffekten og den konstant effekt på gården. Metode for konstanteffekten vises i 4.6. Videre tar man totalt effektforbruk for målingen og trekker fra aktuell produksjon for løsningen.

*Formel 3: Formel total effekt*

$$P_{Total} [W] = P_{Momentanmålinger} + P_{Ikke målte kurser}$$

Resultatet her er fortsatt målt i kW, men det er ønskelig å arbeide med energimengde, kWh. Det ble foretatt en måling hvert 30 sekund, som vil 120 målinger i timen. Derfor blir effekten multiplisert med 1/120 Effekttoppen som brukes til nettleieberegning beregnes også her. Dette gjøres ved at man ser på den totale energien importert fra nettet i løpet av én time mellom klokken 7-16, den 29.01. Den timen med høyest verdi brukes til å regne ut effektleddet.

*Formel 4: Formel momentan energimengde*

$$E_{Total} [kWh] = \frac{P_{Total}}{120}$$



#### 4.6 Beregning av gjennomsnittlig effekt i umålte laster

Det er bare på noen kurser i storfejøset det finnes effektmålinger. På resten av gården må disse beregnes. Det totale effektbehovet på gården endres hele tiden, og vi er avhengig av å kjenne til effekttoppen og kontinuerlig effektbehov.

Først finnes gjennomsnittlig effekt fra momentanmålingene, og multipliserer dette med 24 timer for å finne energiforbruket i et døgn. Fra 7. og 8. desember (4.4) finnes gjennomsnittlig energibehov for hele gården. Videre subtraheres energien i momentanmålingene fra gårdens energibehov. Dermed står man igjen med energibehovet på hele gården, som igjen deles på 24 timer for å finne gjennomsnittlig effektforbruk per time. Denne beregningen tar utgangspunkt i at resten av gården er jevnt belastet.

*Formel 5: Energimengde forbruket av store laster i kufjøset.*

$$\frac{\sum P_{\text{Momentanmålinger}}}{n_{\text{Momentanmålinger}}} * 24t = E_{\text{døgnmomentanmålinger}} \text{ [kWh]}$$

*Formel 6: Gjennomsnittlig energibehov på hele gårdsdriften.*

$$\frac{E_{7.des} + E_{8.des}}{48t} = E_{\text{Total gårdsbruk}} \text{ [kWh]}$$

*Formel 7: Estimert effekt på resten av gården, der det ikke er tatt momentanmålinger.*

$$\frac{E_{\text{Total gårdsbruk}} - E_{\text{døgnmomentanmålinger}}}{24t} = P_{\text{Ikke målte kurser}} \text{ [kW]}$$

#### 4.7 Omregninger for diesel

Tabell 6 viser drivstoffspesifikasjon hentet fra masteroppgaven til Christopher Johan Greiner, «A norwegian case study on the production of hydrogen from wind power» (Greiner, 2004).

Tabell 6: Drivstoff spesifikasjoner (Greiner, 2004, vedlegg.9).

	<b>Diesel</b>
<b>MJ/kg</b>	43,1
<b>kg/Nm<sup>3</sup></b>	840
<b>kWh/kg</b>	11,9722
<b>kg/liter</b>	0,84
<b>MJ/liter</b>	36,204
<b>MJ/Nm<sup>3</sup></b>	36204
<b>karbon%</b>	86,5
<b>CO<sub>2</sub>/kg</b>	3,17
<b>kWh/MJ</b>	0,278

Formel for omregning fra MJ per liter til kWh per liter:

$$36,204 \text{ MJ/L} * 0,278 \text{ kWh/MJ} = 10,057 \text{ kWh/L}$$

Metode for omregning fra energimengde til liter diesel:

$$\frac{\text{energimengde [kWh]}}{\text{effektivitet diesel} * 10,057 \text{ kWh/L}} = \text{Mengde diesel [L]}$$

#### 4.8 Omregninger for hydrogen

Tabell 7 viser drivstoffspesifikasjon for hydrogen, hentet fra Masteroppgaven til Christopher Johan Greiner, «A norwegian case study on the production of hydrogen from wind power» (Greiner, 2004).

Tabell 7: Drivstoff spesifikasjoner for hydrogen (Greiner, 2004, vedlegg.9).

	<b>Hydrogen</b>
<b>MJ/kg</b>	120
<b>kg/Nm<sup>3</sup></b>	0,084
<b>kWh/kg</b>	33,33
<b>kg/liter</b>	0,000084
<b>MJ/liter</b>	0,01008
<b>MJ/Nm<sup>3</sup></b>	10,08
<b>karbon%</b>	0
<b>CO<sub>2</sub>/kg</b>	0

Formel for utregning antall kg hydrogen regnes ut i forhold til normalkubikkmeter med hydrogen:

$$\text{masse [kg]} = 0,084 \text{ [kg/Nm}^3\text{]} * \text{normalkubikkmeter [Nm}^3\text{]}$$

Slik er energimengde i hydrogen beregnet, når massen er kjent:

$$\text{energimengde [kWh]} = 33,33 \text{ [kWh/kg]} * \text{masse [kg]}$$

#### 4.9 Netto-nåverdimetoden (NNV)

For å beregne lønnsomheten til en investering kan man benytte netto-nåverdimetoden. Her diskonterer man fremtidige kontantstrømmer til dagens verdi, ved å sette en diskonteringsrente over et gitt antall år. Man bruker gjerne levetiden til produktet man analyserer. Diskonteringsrenten er avkastningskravet justert for risiko. Ut fra formelen kan man se at renten er svært avgjørende for resultatet av metoden. For høy rente kan gi et dårligere utfall enn realiteten, mens en lavere rente enn realiteten vil gi falskt godt resultat. Ved et valg mellom flere investeringer, bør man normalt velge investeringen med høyest positiv NNV. Er NNV negativ, taper man penger på investeringen. I så fall burde man normalt velge den investeringen som gir minst tap. Formelen som brukes er:

Formel 8: Netto nåverdi

$$NNV = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{K_1}{(1+r)^1} + \dots + \sum_{t=1}^T \frac{K_T}{(1+r)^t}$$

$I_0$  er investeringsbeløpet,  $K$  er kontantstrøm for  $t$  år, og  $r$  er diskonteringsrenten (Birkeland et al, 2020, s.24).

For å beregne nettonåverdien brukes det to forskjellige kalkulasjonsrenter. En samfunnsøkonomisk og en for privat avkastning. Den samfunnsøkonomiske brukes for å se om investeringen kan være lønnsom for samfunnet og miljøet, selv om investeringen nødvendigvis ikke gir privat avkastning. Denne renten er hentet fra Finansdepartementets kalkulasjonsrente for statlige investeringer med levetid på inntil 40 år, og er 4 % (Det kongelige finansdepartement, 2021). For private investeringer brukes det en større kalkulasjonsrente for å ta høyde for større risiko og avkastningskrav. Renten fastsettes individuelt etter hvor stor risiko man er villig til å ta. I denne rapporten har vi valgt å øke med 50 % fra Finansdepartementets føringer, og bruker 6 % kalkulasjonsrente.

#### 4.10 Sensitivitetsanalyse

En sensitivitetsanalyse brukes for å se hvor følsom resultatene er for endring av variablene (Stavseth, 2020). Denne oppgaven bruker sensitivitetsanalyse som en «hva-hvis»-undersøkelse. Vi ser på hvordan økonomien i løsningene påvirkes av endrede variabler som strømpriser, investeringskostnader og energibehov.

## 5 Resultater - energiproduksjon og forbruk på gården

For å få en oversikt over forbruk, presenteres forbruksmønsteret sammen med måleresultater fra gården. Det er også gjort beregninger for å finne ut hva strømmen koster for Hoemsnes. Kapitlet prøver også å få en pekepinn på hvordan forbruket blir i fremtiden. Dette er viktig for å kunne se på fremtidige løsninger rundt energiforsyning.

### 5.1.1 Bruksmønster, energiforbruk og drift på gården

Bygget på gården som trekker mest energi konstant igjennom døgnet er grise fjøset. Ventilasjonsanlegget trekker en del strøm, i tillegg til fôringsanlegget. Fôringsanlegget er et våtfôringsanlegg som pumper fôret inn 16 ganger i døgnet hvor hver utføring er på 45 – 50 minutter. Anlegget driftes av en pumpe på 5 kW, i tillegg til flere mindre pumper på 1 kW (I.Hoemsnes, personlig kommunikasjon, 05. april 2022).

I storfefjøset er det mer varierende laster. Her er det en fullfôrblender for å blande sammen rundballer og evt. kraftfôr. Denne har en installert effekt på ca. 30 kW. I tillegg er det utføringsbånd som transporter grovfôret til spise plassene. Disse lastene utgjør til sammen en betydelig effekt. Annet utstyr som trekker en del effekt er kanalomrørningen for å blande kumøkka. Videre er det mange andre betydningsfulle laster i storfefjøset som melkeroboten av typen Lely A4, lysanlegg, kompressor til melkerobot med flere.

### 5.1.2 Nettleie og strømpris

#### **Nettleiemodell**

For å finne korrekt nettleiemodell er informasjonen på nettsidene til Elinett brukt. Ut fra forbruket ser det ut som Hoemsnes har «Nettariff T3». Denne inneholder et fastbeløp på 8 940 kr/år, et energiledd på 12,9 øre/kWh, reaktiv energi til 22 øre/kVArh, i tillegg til effektledd.

For å beregne nettleien ble fastbeløpet som var oppgitt pr. år omregnet til hver måned. Det samme gjelder effektleddet. Effektleddet er forskjellig fra måned til måned, mens det var oppgitt i år på nettsidene til Elinett. Effektleddet beregnes hos Elinett fra gjennomsnittlig effektledd fra månedene desember, januar og februar. I oppgaven er det forenklet til å kun se på høyeste effekt beregnet 29. januar mellom klokken 7 til 16.

Reaktiv energi må også betales dersom den reaktive energien overstiger 30% av den aktive energien. Kunden vil da bli fakturert for den andelen som er over 30 % (Elinett, u.å.). For å beregne reaktivt forbruk ble det benyttet data fra 2021. Januar og februar hadde dette året svært høyt reaktivt forbruk, og dermed ble gjennomsnittet for resten av året brukt for disse to månedene.

Disse prisene og beregningsmåtene kan være forskjellig hos andre nettleverandører.

Tabell 8: Prissatser som brukes til å beregne nettleie.

Fastbeløp	745	kr/mnd
Energiledd	0,13	kr/kWh
Effektledd (0 - 200 kW)	38,07	kr/kW/mnd
Reaktiv energi	0,22	kr/kVArh

### Nettleieberegning

Nettleien beregnes ved at dataene i Tabell 8 multipliseres med forbruksdataene. I rapporten er det gjort forenklinger med at kjøpt energi er konstant hver måned. Årsforbruket er basert på kalkulert dagsforbruk fra 29.01 og multiplisert med 365 dager. Resultatet er igjen delt på 12 for å få månedsforbruket. Effektleddet ble beregnet ut fra 29.01, mens Reaktiv energi ble beregnet med verdier fra 2021. Den reaktive energien oppgitt i Tabell 9 er den reaktive energien som en faktisk må betale for. Det vil si at 30 % av den aktive energien er trukket fra det reaktive forbruket. Utregning av nettleie for løsning 1 er vist i Tabell 9. Alle løsninger har brukt samme reaktive effekt, mens det er variasjoner i mengede kjøpt energi og størrelsen på effektleddet.

Tabell 9: Nettleie for løsning 1. Nettleien ble regnet ut på samme måte i de andre løsningene.

Måned	Kjøpt energi [kWh]	Effektledd [kW]	Reaktivt [kVArh]	Beregnet nettleie [kr]
Januar	1843,22	15,38	2454,45	2108,22
Februar	1843,22	15,38	2454,45	2108,22
Mars	1843,22	15,38	2533,22	2125,55
April	1843,22	15,38	2249,13	2063,05
Mai	1843,22	15,38	3310,08	2296,46
Juni	1843,22	15,38	3185,45	2269,04
Juli	1843,22	15,38	3354,34	2306,20
August	1843,22	15,38	2850,58	2195,37
September	1843,22	15,38	2230,64	2058,98
Oktober	1843,22	15,38	2043,74	2017,86
November	1843,22	15,38	1684,48	1938,83
Desember	1843,22	15,38	1102,85	1810,87
<b>Total</b>	<b>22 118,64</b>		<b>29 453,41</b>	<b>25 298,64</b>

### Strømpris

Strømprisen er summen av spotpris, elavgift og påslag fra strømselskapet. Spotprisen varierer fra dag til dag, men i beregningene er det tatt utgangspunkt i den gjennomsnittlige prisen i prisregion Midt fra 2021. Elavgiften fastsettes hvert år av Stortinget, og justeres vanligvis ut fra forventet prisvekst. I oppgaven er det tatt utgangspunkt i avgiften per mai 2022 (Energi Norge, u.å.). Påslaget er strømselskapet fortjeneste og hos den lokale strømleverandøren Istadkraft varierer påslaget fra 2,5 øre/kWh til 8,12 øre/kWh, samt at de har et fastgebyr fra 0,- kr til 59,- kr per måned (Istadkraft, u.å.). Basert på dette er det fastgebyret satt lik 0,- og påslaget satt som 4 øre per kWh. Næringskunder kan føre fradrag på merverdiavgiften (Skatteetaten, u.å.). Alle prisene på strømpris og nettleie er derfor beregnet uten mva.

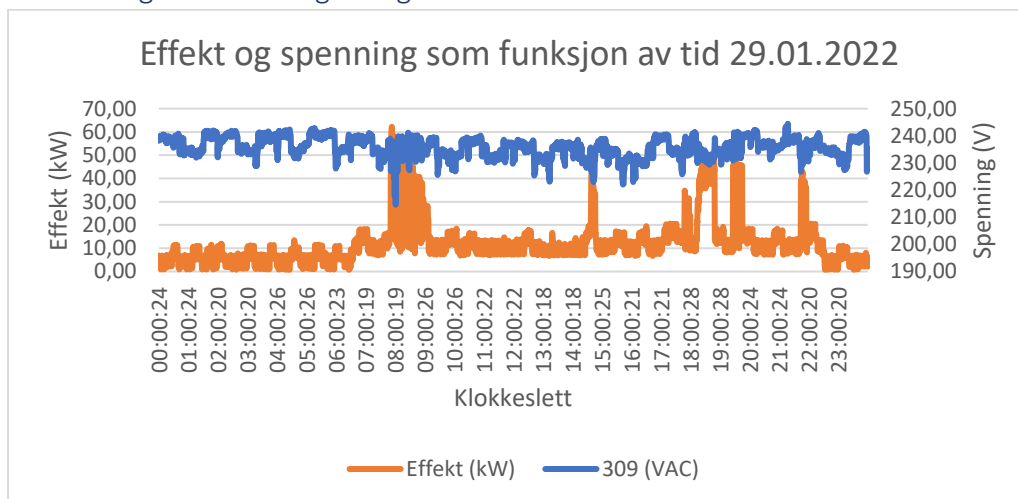
Tabell 10: Prissatser som brukes til å beregne strømpris.

Spotpris (eks. mva)	0,4464	kr/kWh
Elavgift	0,1541	kr/kWh
Påslag	0,0400	kr/kWh
<b>Strømpris</b>	<b>0,6405</b>	<b>kr/kWh</b>

## 5.2 Dagens og framtidens forbruk og produksjon av energi

I dette kapitlet blir data fra forskjellig type målinger bearbeidet for å finne dimensjonerende størrelser. Å vite maksimalt effekttrekk er viktig for å se hvordan forbruk er sammenlignet med produksjon på de verste tidspunktene gjennom døgnet. Samtidig er det viktig å vite hva belastningen er gjennom hele døgnet. Beregningene i dette kapitlet baserer seg både på AMS-data og målinger utført av gruppa. Framtidens energiproduksjon er også dratt inn i dette kapitlet for å se muligheter hvis produksjonen går bedre enn ønsket.

### 5.2.1 Dagens effekt- og energiforbruk



Figur 4: Effekt og spenning som funksjon av tiden. Dataene til dette plottet kommer fra målinger gjort av en datalogger.

Figur 4 viser målt effekt og spenning gjennom hele døgnet, 29. januar 2022. Det er gjort målinger av strøm på de lastene i fjøset som trekker mest effekt, i tillegg til spenning på inntaket til storfjølset. Effektene som er regnet ut tar utgangspunkt i en cosinusfaktor på 0,9.

Ca. kl. 08.00 på morgenen trekker både fullfôrblenderen og fôringsbandet store strømmer. Her har vi et stort spenningsfall helt nede i 214 V. Dette er målinger som er momentanverdier og er tatt hvert halve minutt gjennom døgnet. Den høyest målte effekten er målt til 62,2 kW. Anslagsvis må vi legge til en del effekt som brukes i grisefjøset i tillegg til de mindre lastene i fjøset.

#### **Gjennomsnittseffekt**

Gjennomsnittseffekten av de målte lastene er beregnet ut av drøyt 8000 målinger i Excel og er 11,03 kW. Gjennomsnittseffekten kan brukes til å regne ut total energimengde i de målte lastene gjennom et døgn. Driftstansdagen 7. og 8. desember kan brukes for å finne resterende forbruk. Tallgrunnlaget for disse to dagene kan sees i Tabell 11. Resterende forbruk vil si umålte laster i kufjøset og hele grisefjøset. Grisefjøset har et jevnt høyt forbruk med ventilasjon og fôring, mens kufjøset er den driftsbygningen som står for effekttoppene. Beregningene forutsetter jevn belastning på resterende laster gjennom døgnet.

Tabell 11: Gjennomsnittlig forbruk fra 07. og 08. desember 2021.

Dato	Forbruk [kWh]
07.12.2021	650,99
08.12.2021	666,04
Gjennomsnitt	658,5

$$11,03 \text{ kW} * 24 \text{ h} = 264,7 \text{ kWh}$$

Den er energimengden som målte lastene i fjøset forbruker på et døgn er 264,7 kWh. Basert på AMS-målinger vet vi at den gjennomsnittlige kjøpte energimengden de to dagene i desember med driftsstans er 658,5 kWh. For å finne umålt energimengde kan dette brukes som nedenfor.

$$658,5 \text{ kWh} - 264,72 \text{ kWh} = 393,78 \text{ kWh}$$

Ved å fordele denne energimengden utover hele døgnet, vil en finne gjennomsnittlig effekttrekk.

$$\frac{393,78 \text{ kWh}}{24 \text{ h}} = 16,4 \text{ kW}$$

Det er beregnet et effekttrekk på 16,4 kW. Dette er effekttrekket på alle laster som ikke ble målt med dataloggeren i slutten av januar 2022. Dette kan i praksis være en høyere effekt enn det som trekkes, men det bør tas høyde for at annet utstyr går samtidig.

### **Maksimalt effekttuttak**

Maksimalt effekttuttak er beregnet under, og er den effekten som brukes til dimensjonering når det gjelder effekt. Den kalkuleres med å summere gjennomsnittlig timesforbruk med makseffekten fra 29.01, se Figur 4.

$$16,4 \text{ kW} + 62,2 \text{ kW} = 78,6 \text{ kW}$$

### **Energiforbruk egne målinger**

Effektforbruket endres kontinuerlig. For å finne effekten er det foretatt momentanmålinger med en datalogger. Målingene er tatt hvert 30. sekund, og det er gjort en forenkling med at effektbehovet er konstant imellom målingene. Effekten som ble målt hvert 30. sekund ble dividert på 120 for å finne energimengden over en time. Fra målingene er det hentet maksimaleffekt mellom klokken 7 og 16, fra 29. januar. I beregningene av NNV, effektledd, overskuddsenergi og kjøpt energi er det i hovedsak brukt data fra 29. januar, se Tabell 12.

Tabell 12: Oversikt over energimengder kjøpt og solgt, samt energiledd for alle løsningene.

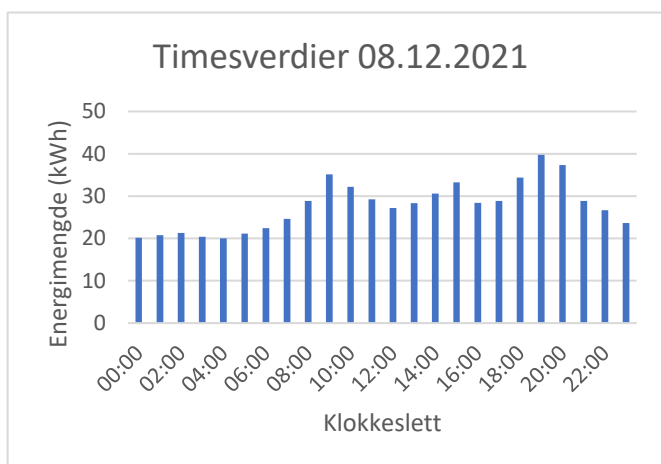
	Kjøpt energi per døgn [kWh]	Kjøpt energi per år [kWh]	Solgt energi per døgn [kWh]	Solgt energi per år [kWh]	Effektledd [kW]
<b>Løsning.1</b> <b>Dagens løsning</b>	60,60	22 118,60	106,10	38 725,02	15,38
<b>Løsning.2</b> <b>Uten energilagring</b>	14,10	5 145,24	96,51	35 226,24	2,71
<b>Løsning.3</b> <b>Batteri</b>	27,81	10 151,21	52,97	19 333,84	3,28
<b>Løsning.4</b> <b>Hydrogen</b>	51,83	18 916,96	27,53	10 047,99	6,91

### Energiforbruk

Ved å se på måleverdiene fra 07. og 08. desember i Tabell 11, kan man få en indikasjon av hvordan energibehovet på Hoemnes gård er Disse dagene har et gjennomsnittlig forbruk på 658,5 kWh. Det var vanskelig å kunne bruke noe annen data, da tallene fra AMS-måleren kun viser kjøpt og solgt energi.

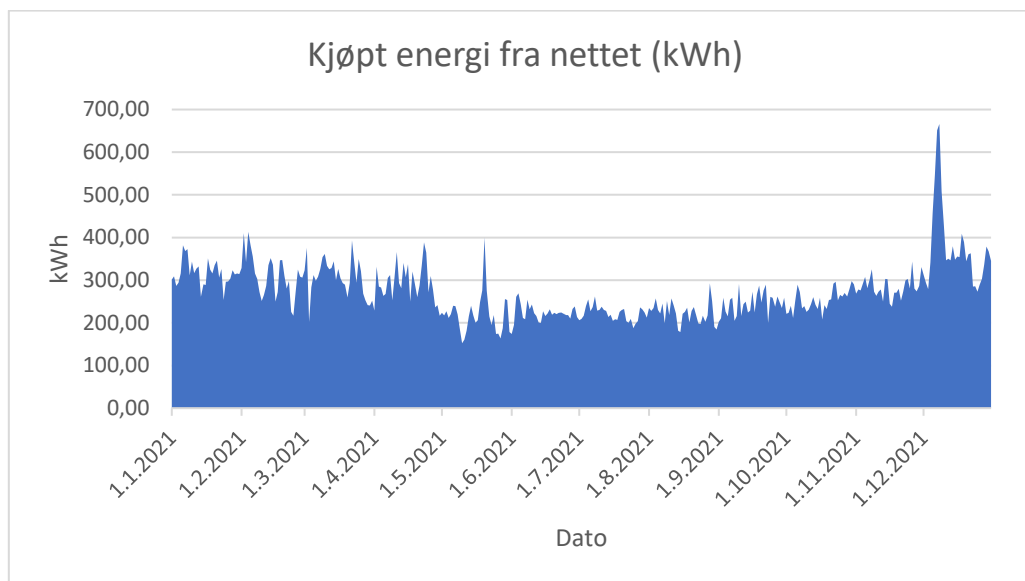
Årsforbruket ble oppgitt til å være 250 000 kWh, basert på forbruket før biogassanlegget ble installert. I 2021 derimot, ble det kjøpt 99 400 kWh og 34 700 kWh ble solgt tilbake til nettet. Disse verdiene kommer fra AMS-måleren som står ved inntaket i kufjøset.

Som nevnt tidligere er det mye energi som blir solgt fra biogassanlegget. Dette er grunnet mye energiproduksjon på timer av døgnet hvor det ikke trengs like mye effekt som det som forbrukes. Samtidig er det andre tidspunkt hvor generatoren ikke produserer nok effekt til å kunne være selvforsynt.

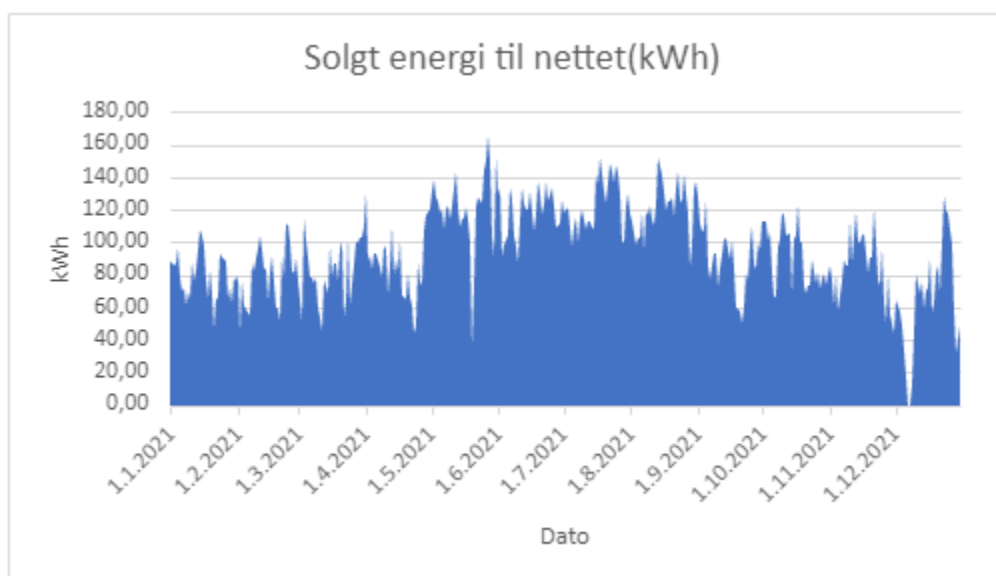


Figur 5: Energimengde kjøpt fra nettet gjennom et døgn.





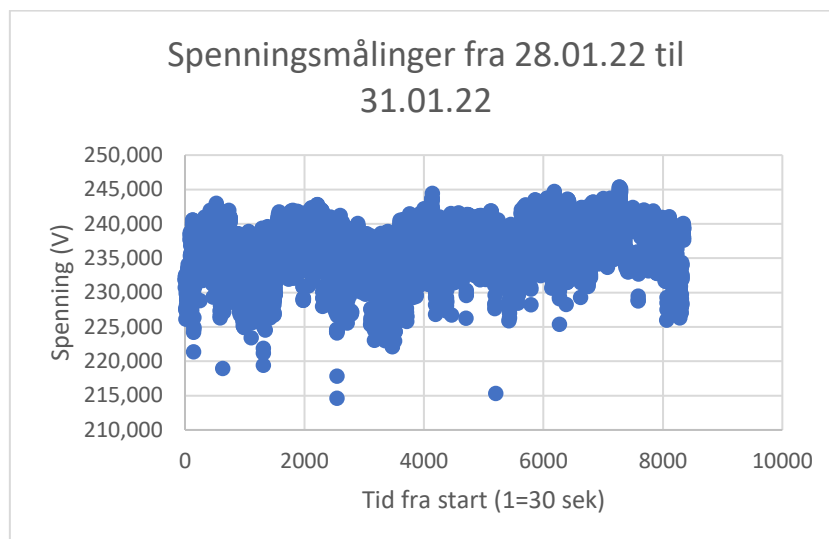
Figur 6: Kjøpt energi fra nettet (kWh) i 2021 Merk at toppen i starten av desember stammer fra driftsstans på biogassanlegget.



Figur 7: Solgt energi til nettet (kWh) i 2021. Se at driftsstansen på biogassanlegget tidlig i desember gjør at det er dager med ingen solgt strøm.

### **Spenningsfall**

Ved svært høyt effekttrekk i installasjonen kan en forvente spenningsfall. Spenningsfall er uønsket i en installasjon, og kan være et tegn på for høy belastning. Figur 8 viser målinger hvert 30 sekund i ca. tre dager. Det er flere målinger som er mellom 215 og 220 Volt ved inntaket. Figuren viser også at spenningene ligger innenfor 207 – 253 V, se kapittel 3.1.5.



Figur 8: Punktdiagram som viser spenningsmålinger gjennom et helt døgn. X-aksen viser tiden etter kl. 00.00 på natten.

### 5.2.2 Dagens energiproduksjon

Biogassanlegget driftes med en effekt på 30 kW. På grunn av manglende gassproduksjon er det ikke mulig å kjøre denne generatoren kontinuerlig, og estimert driftstid er 12 timer hver dag. Det vil si at den går omtrent annenhver time, men blir tvangskjørt ved blanding av grovfôr i storfefjøset. Med dagens produksjon er estimert energimengde gjennom et døgn 360 kWh. Dette vil utgjøre en årlig produksjon på ca. 130 000 kWh. Produksjonsinformasjonen er estimerte verdier, og disse tallene vil variere fra dag til dag og vil også variere mellom de ulike årstidene. Rapporten baserer seg fremtidens energiproduksjon som vist i kapittel 5.2.3.

### 5.2.3 Framtidens energiproduksjon

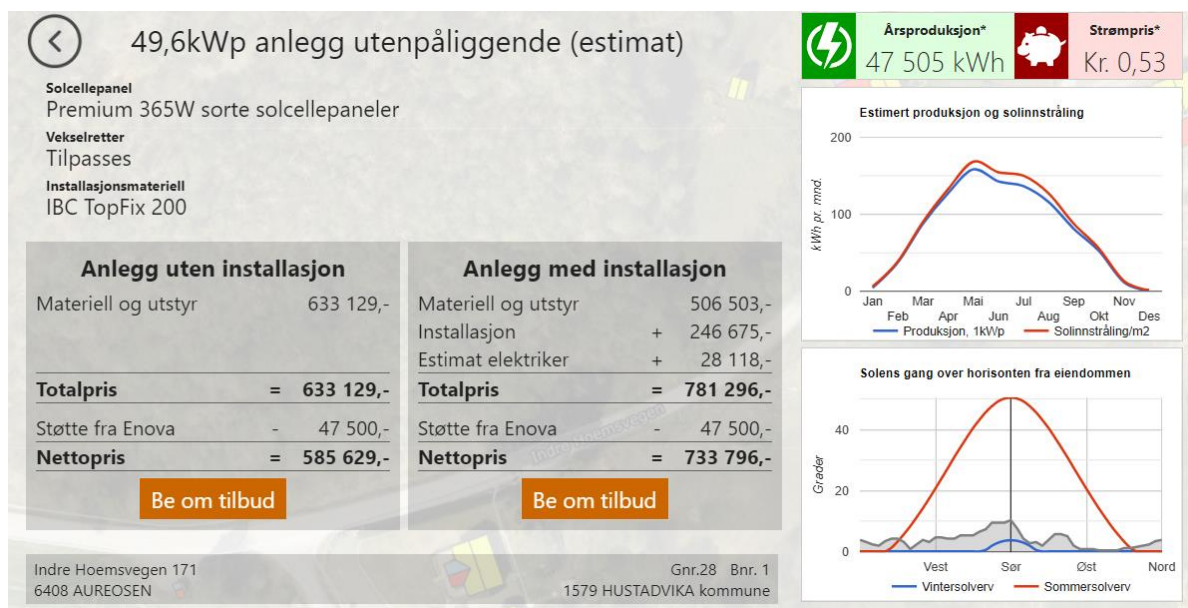
Fremtidig produksjon antas til å være en dobling. Dette grunnet utvidelse av biogassproduksjonen og det skal gjøres forsøk med fiskeslam på en reaktor. Hvis dette er noe som fungerer godt, vil det være mulig å tilsette dette substratet i begge reaktorene. Estimert fremtidig produksjon er at generatoren kan kjøres kontinuerlig på 30 kW. Dette tilsvarer en døgnproduksjon på 720 kWh og en årsproduksjon på ca. 260 000 kWh. Ifølge Inge selv hadde han før opparbeidelsen av biogassanlegget et årsforbruk på ca. 250 000 kWh, slik at dersom vi hadde klart å lagre denne energien frem til forbruk hadde han vært selvforsynt. Dette er likevel ikke mulig i praksis, da det ikke er aktuelt å lagre energien som strøm i lengre perioder, men heller se på dette på døgnbasis. Det kan også anses å være en mulighet å kunne kjøre generatoren på høyere effekt enn 30 kW, avhengig av tilgangen på råmateriale. En effekt på 50 kW tilsvarer en døgnproduksjon på 1200 kWh. Denne energimengden gir gode muligheter når det kommer til å kunne lade elektrisk kjøretøy.

## Solcelleanlegg

For å øke egen strømproduksjon kan det være aktuelt å montere et solcelleanlegg som bidrar sammen med biogassanlegget. Dette er en langsiktig investering, som nødvendigvis ikke er gunstig for Hoemsnes siden selvforsyningsgraden er stor fra før av. Solceller kan være et godt supplement til å lade elektriske kjøretøy i den lyse årstiden. Derimot vil mye av energien resten av året selges inn på nettet. Ved å legge solceller på den delen av grisefjøsset som ligger lengst øst, vil det ifølge solkart.no være mulig å få til en årsproduksjon på 47 505 kWh, se Figur 10. Dette gir et anlegg på 49,6 kWp (solkart, u.å.). Grunnet mye ubrukte takflater er mulighetene for større produksjon absolutt til stede. I Figur 10 ser man at solcellene vil produsere mest i månedene mai – juli, som er av de månedene hvor det forbrukes mest energi til arbeid ute på åkrene.



Figur 9: Takflaten innenfor blå firkant vil gi en estimert årsproduksjon på 47 505 kWh. Andre røde takflater er også svært egnet.



Figur 10: Data med estimert produksjon (solkart, 2022)

### 5.2.3.1 Energiberegninger for elektrisk traktor

Det er ønskelig å drifte gården med fornybar energi. Maskiner som driftes med diesel og bensin, kan eksempelvis erstattes av elektriske alternativer som er like godt egnet.

Som nevnt i Tabell 1 er dieselforbruket på gården 8 500 liter i året. Med et årlig dieselforbruk på 8500 liter, tilsvarer det i underkant et årlig energiforbruk på 85 500 kWh, vist i Tabell 13.

Tabell 13: Forbruk av diesel

liter/år	liter/uka	liter/dag	liter/time
8 500	163,46	23,35	0,97
MJ/år	MJ/uka	MJ/dag	MJ/time
307 734	5 917,96	845,42	35,23
kWh/år	kWh/uka	kWh/dag	kWh
85 481,67	1 643,88	234,84	9,78

Dieselmotorer har mye lavere utnyttelsesgrad enn elektriske motor. Utnyttelsesgraden til en dieselmotor er 38-42 % (Tunmo, 2006). Det er benyttet en utnyttelsesgrad på 40 %, som gir et elektrisk energibehov på litt over 34 000 kWh i året og et daglig forbruk på nesten 94 kWh, vist i Tabell 14. Dette forutsetter at elektriske kjøretøy har 100 % utnyttelse, noe som ikke stemmer i praksis.

Tabell 14: Faktisk energi til motor og elektrisk system

MJ/år	MJ/uka	MJ/dag	MJ/time
123 093,60	2 367,18	338,17	14,09
kWh/år	kWh/uka	kWh/dag	kWh
34 192,67	657,55	93,94	3,91

Hoemsnes hadde ikke oversikt over hvordan dieselforbruket er de dagene han kjører rundballpresse eller annet utstyr som krever mye energi. Rundballepressing er noe av det har høyest dieselforbruk når det kommer til entreprenørvirksomhet i landbruket.

Det ble kontaktet en entreprenør innenfor landbruksmaskiner som delte informasjon rundt dieselforbruk på en normal traktor. Ved rundballepressing, er dieselforbruket på traktoren rundt 30 liter per time (Å. Nymoen, telefonsamtale, 08.februar 2022).

Dermed er 30 liter diesel brukt i videre for å beregne energibehovet til elektrisk traktor. Det er gått ut ifra 12 timer kjøring på en dag. Som tilsvarer daglig dieselforbruk på 360 liter. Dette tilsvarer rett over 3600 kWh per dag, men utnyttelsesgraden til dieselmotoren er 40 %. Energiinnholdet i diesel er i kapittel 4.7 beregnet til 10,057 kWh/L, og dette brukes for å gjøre om drivstoffmengden til elektrisk energi.

Tabell 15: Maksimalt forbruk av diesel på en dag.

liter/dag	360
MJ/dag	13033,44
kWh/dag	3620,4

Tabell 16: Faktisk energi til motor og elektrisk system på en dag med maksimalt forbruk.

<b>MJ/dag</b>	5213,376
<b>kWh/dag</b>	1448,16

Omregnet til elektrisk energi tilsvarer energimengden 1448,16 kWh pr dag for å kunne driftes likt som en vanlig dieseltraktor.

#### 5.2.3.2 Lader fra ABB

Hurtigladeren fra ABB har ladeeffekter opp mot 360 kW (ABB, 2021), vil en kunne lade opp en traktor for å kunne driftes en dag på ca. 4 timer, se utregningen nedenfor.

$$\frac{1448,16 \text{ kWh}}{360 \text{ kW}} = 4,02 \text{ h}$$

Ved å senke ladeeffekten kan denne oppladningen skje mye saktere, og er mer realistisk med tanke på bruken av traktoren i tillegg til levetid på batteriet. Det er også tatt utgangspunkt i et «ideelt» batteri. Et batteri på 1500 kWh vil i praksis bli så tungt at det er utenkelig å implementere dette inn i en traktor med dagens teknologi.

I fremtiden kan det antas at batteriene blir lettere. Om det hadde vært mulig å installere en hurtiglader på 360 kW, ville ladetiden fortsatt vært rundt 4 timer, men disse oppladningene må skje flere ganger om dagen. Det er også viktig å poengtere at en lader på 360 kW ikke lader med denne effekten gjennom hele ladeforløpet. Hvis en sammenligner batterier som finnes på lastebiler med traktor, ser en at en Volvo FE electric har batterikapasitet opptil 265 kWh, se kap. 3.2.1.

## 6 Løsningsmuligheter

I dette kapitlet presenteres det hvordan energiflyten med kjøp og salg vil bli når reaktor nummer to er i drift. Først presenteres løsningen slik anlegget er planlagt driftet i dag. Videre følger tre ulike forslag til løsninger, med et mål om å utnytte mest mulig av egenprodusert elektrisitet fra CHP-anlegget.

### 6.1 Løsning 1 – Ingen energilager

Løsning 1 presenterer driftsmønstret som er planlagt etter at utvidelsen av biogassanlegg. Anlegget kan kjøre kontinuerlig med 30 kW produksjon, uten noe energilager. Resterende løsninger vil bli sammenlignet mot løsning 1.

Tabell 17: Totalvurdering av løsning 1.

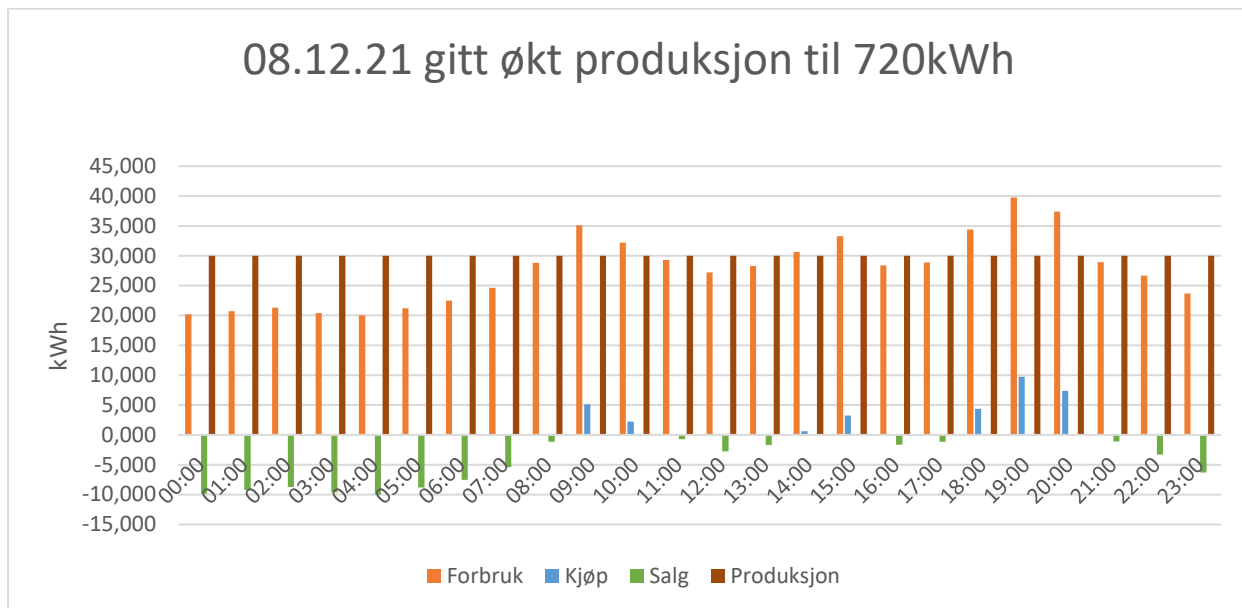
Løsning 1	God	Middel	Dårlig
Funksjonalitet			
Økonomi			
Samfunn og klima			
<b>Totalvurdering</b>			

#### **Fremtidens kjøp og salg basert på AMS-data**

Hvis vi antar at produksjonen ligger på 30 kW døgnet rundt og summerer dette sammen med snittforbruket fra driftstansdagene vil det bli solgt 92,7 kWh, og kjøpt 29,9 kWh. Til sammenligning ser man fra snittforbruket til to tilfeldige dager med dagens produksjonsmodell, at det er solgt 95 kWh og kjøpt 272 kWh pr. dag. Det ser man at det selges omtrent like mye energi før og etter utvidelsen, men det kjøpes 89 % mindre ved kontinuerlig produksjon. Fra Figur 11 kan man se at mesteparten av salget skjer på nattestid. Årsaken til dette er det lave forbruket på nattestid.

Tabell 18: Kjøpt og solgt strøm på 7. og 8. desember 2021. Tabellen viser fremtidig kjøp og salg for disse dagene basert på forbruket disse dagene. Den viser også gjennomsnittlig kjøp og salg for to dager før biogassproduksjonen ble utvidet.

	kWh/døgn	kWh/år
<b>Fremtidig kjøp og salg basert på gjennomsnittlig forbruk fra 7. og 8. desember 2021</b>		
Fremtidig kjøp	29,87	10 902,55
Fremtidig salg	92,656	33 819,44
<b>Målinger fra 24. og 25. november 2021</b>		
Kjøp	272,00	99 280,00
Salg	95,00	34 675,00



Figur 11: Sammenheng mellom forbruk, kjøp og salg etter planlagt økt produksjon.

### **Fremtidens kjøp og salg basert på egne data**

For å få et tallgrunnlag som er sammenlignbart med de andre løsningene har vi brukt målingene gjort av dataloggeren. Målingene utført 29. januar 2022, og måler kun de mest belastede lastene i kufjøset. Kapittel 5.2.1 viser et estimat på 16,4 kW som skal dekke resterende laster på gården. Dermed er det tatt utgangspunkt i et forbruk på 16,4 kW som ligger i tillegg til det forbruket som vi har målt. Med denne måten vil effekttoppene synliggjøres i mye større grad enn ved bruk av kun AMS-data.

Ut fra målingene gjort hvert 30. sekund gjennom et døgn er forbruket beregnet. Dette er sammenlignet med produsert energi som er 30 kW konstant. De ulike tallgrunnlagene som trengs for å finne nettleie og strømpris er vist i Tabell 19. Forskjellen mellom denne måten å fremstille tallgrunnlaget på er at AMS-dataene tar med hele energimengde forbrukt. Det som AMS-dataene derimot ikke får med, er den kjøpte energimengden når forbruket går over produksjonen i korte tidsintervaller.

Målingene fra dataloggeren er dessverre litt upresise, da den måler kun en gang per 30. sekund, og vi antar at denne effekten er konstant frem til neste måling. Et kortere tidsintervall ville gitt mer presise data. For å kunne sammenligne løsningene var det viktig å bruke samme målinger til de ulike løsningene. Ved egne målinger øker både kjøpt energimengde og solgt energimengde. Dette antas fordi det er to forskjellige dager, og det kan være noe variasjoner i forbruk fra dag til dag.

Tabell 19: Verdier brukt til utregning av strømkostnadene

Kjøpt energi [kWh]	Solgt energi [kWh]	Effektledd [kW]	Reaktivt forbruk [kVARh]
22 118,599	38 725,02	15,38	29 453,41

### 6.1.1 Elektriske kjøretøy ladet med overskuddsenergi

#### **Ubrukt energimengde**

Til å sammenligne de ulike løsningene er data fra dataloggeren brukt. For å se på lademuligheter valgte vi å bruke AMS-data. Momentaneffekten til lading ikke har betydning i samme grad som andre laster som må gå kontinuerlig. Det som derimot har betydning, er ledig energimengde over det tidsintervallet ladingen skal foregå. Fra Tabell 19 kan man regne seg til at fremtidig salg er 92,656 kWh/døgn. Denne energien kunne i teorien vært utnyttet av Hoemsnes selv. Samtidig kan man tenke seg at det ønskes å lades kun på natt. Da kan man se på tilgjengelig overskuddsenergi fra AMS-data mellom 7. og 8. desember. Ved å ta utgangspunkt i vanlig drift på generator kan en mellom klokka 20 på kvelden til klokka 6 på morgenen ta ut 79 kWh.

Ved å sammenligne den tilgjengelige energimengden fra Tabell 19 opp mot batterikapasiteten til Volvo FE Electric, kan en se at overskuddet tilsvarer ca. 30%. Ladetiden er opplyst til å være 11 timer på 22 kW. Denne energimengden utgjør dermed 242 kWh. Den energimengden som ikke er produsert selv, må kjøpes fra strømmettet for å kunne lade opp lastebilen. En annen sammenligning som kan gjøres er å se på energimengden til salget gjennom hele døgnet for så å omregne dette til liter diesel. Beregningsmetode for omregning mellom energimengde og liter diesel er som vist i kapittel 4.7.

$$\frac{92,656 \text{ kWh}}{0,4 * 10,057 \text{ kWh/L}} = 23 \text{ L}$$

Overskuddenergien tilsvarer 23 liter med diesel. Ser ut fra kapittel 0 at en traktor med rundballepresse forbruker ca. 30 liter per time, og dermed utgjør denne energimengden ca. 2/3 av en time.

Det finnes flere muligheter til å utnytte overskuddsenergien på. En mulighet er å lade en elektrisk minilaster når det er ledig effekt fra generator. En Avant e6 er oppgitt til å ha et batteri på 14,5 kWh, se kapittel 3.2.1.2. I et klimaperspektiv vil det være en stor fordel å kunne erstattet noe av de fossilt drevne kjøretøyene til elektrisk drift. Dette gjelder spesielt kjøretøy som blir brukt hver dag gjennom hele året.

#### **Lading fra solceller**

Solcelleanlegg kan være en kilde til å øke egen produksjon for å ikke være avhengig av å importere strøm. Det vil produsere mest i sommermånedene, men det er også i disse månedene forbruket knyttet til kjøretøyene er størst. Som tidligere nevnt i Kapittel 5.2.3 kan anlegget som er skissert på et av grise fjøstakene ha en årsproduksjon på 47 505 kWh og 49,6 kWp. Dette er alene mer enn tilstrekkelig for å lade et kjøretøy på gården på dagtid, mens solen skinner. Problemet er at det ofte er da kjøretøyet er i bruk, og man vil ikke få utnyttet hele produksjonen uten noe energilager.

#### **Lading fra nettet**

Den mest stabile energikilden gjennom året er trolig å importere energi fra nettet. Effekten som pr. dags dato kan tas ut her er 64 kW. Det kan ansees som et godt alternativ å bruke overproduksjonen sammen med nettet til lading. Ved lading fra nettet bør ladetidspunkt legges til grunn med tanke på effektledd.



## 6.2 Løsning 2 – Variabel generatordrift

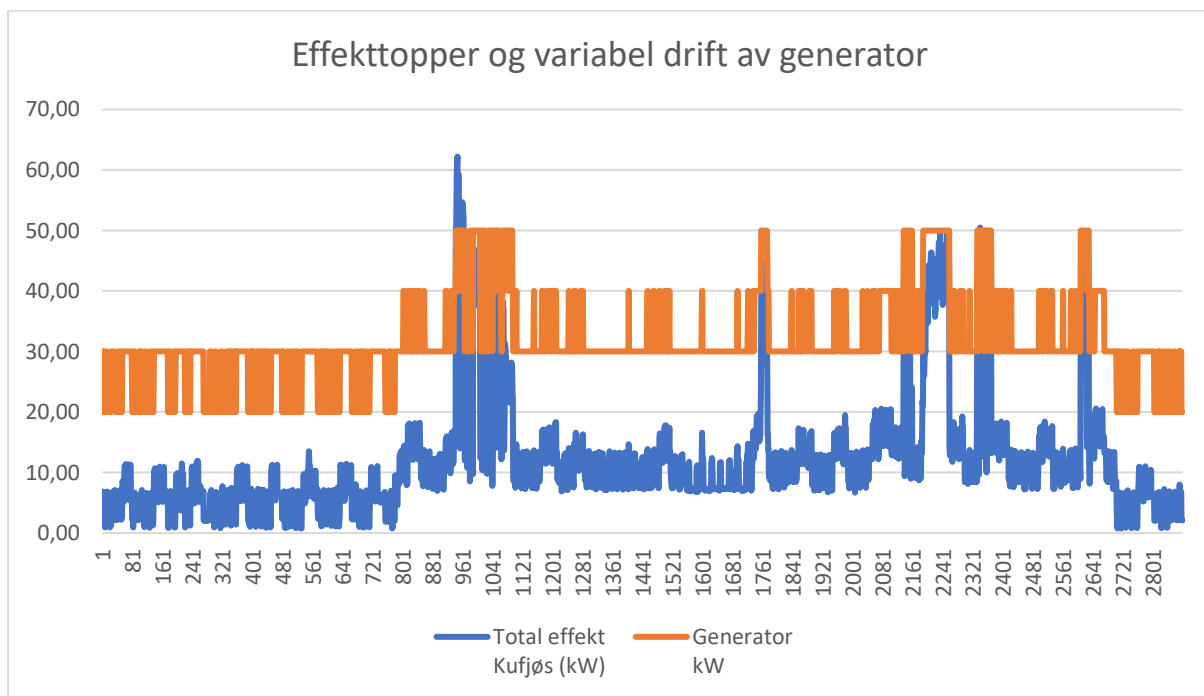
Løsning 2 presenterer en fleksibel måte å produsere strøm på. Med dette menes at effekt på generator bestemmes ut fra forbruket. Ved lavt forbruk kjører generator på lav effekt, og ved høyt forbruk på høy effekt. Dermed må lagringskapasiteten av gass være stor nok til at generator kan kjøre på høy effekt over en viss periode.

Tabell 20: Totalvurdering av løsning 2.

Løsning 2	God	Middel	Dårlig
Funksjonalitet			
Økonomi			
Samfunn og klima			
<b>Totalvurdering</b>			

### Funksjonalitet og praktisk betydning

En mulighet for å redusere kjøp og salg av energi er å styre generatoren i større grad. Ved å kjøre generatoren på forskjellige effekter ut fra behovet ved de ulike tidspunktene. Fra dataene til AMS-måleren ser en i Figur 5 at det er ikke mange ganger i døgnet at forbruket over en time overstiger 30 kWh. Som nevnt i løsning 1, så vet vi at momentaneffekten vil overstige dette, og det vil uansett være en liten energimengde som må kjøpes fra nettet. I 2021 er det mangel på gass som gjør at ikke produksjonen går kontinuerlig. Ved utvidelse kan det være aktuelt å se på større gasslager dersom dagens gasskontainer ikke kan lagre tilstrekkelig med gass. Noe som enkelt kan løses ved å øke volumet på gasslageret.



Figur 12: Effekttopper og variabel drift av generatoren. Målinger 29.01.2022.

Installert effekt er 50 kW, så hvis mengden gass er tilstrekkelig kan generatoren kjøres ved ulike effekter opp til den installerte effekten. En forutsetning er at gasslageret har tilstrekkelig med gass. Et forslag til løsning er vist i Tabell 21. I dag er gasslageret en konteiner på 20m<sup>3</sup>, og om det er nødvendig kan dette lageret utvides ved å sette inn en konteiner til i parallell (I.Kvande, personlig kommunikasjon, 04. mai 2022). Økt størrelse på gasslager gir større fleksibilitet ved variabel drift.

### ***Innstillinger på generator***

Til å beregne kjøp og salg med variabel produksjon, er ble egne målinger fra 29.01.2022 brukt. Momentaneffekt hvert halve minutt ligger til grunne effekten. Generator ble satt til ulike effekter avhengig av forbruket i installasjonen, som vist i Tabell 21. Det er antatt at generatoren kan justere produksjonen momentant, men vi antar at det i praksis vil være en forsinkelse. Differansen mellom belastningen og effekt på generator er det som blir solgt ut på nettet.

*Tabell 21: Effekt på generator sammenlignet med forbruk*

<b>Belastning [kW]</b>	<b>Effekt på generator [kW]</b>
≤ 20	20
20 - 30	30
30 - 40	40
40 - 50	50

### ***Energiberegninger***

For å regne energimengden ble effektmålingene tatt fra de ulike målingene. Tiden mellom hver enkelt måling var 30 sekunder, og det er dette som danner grunnlaget for kjøpt og solgt energimengde ved denne løsningen.

Energimengden ble beregnet i Excel for hver momentanmåling. En slik måling legger til grunn at effekten er konstant i 30 sekunder. Ved hyppigere målinger ville energimengden blir mere korrekt. Ved å summere flere målinger vil energimengden over en lengre periode bli beregnet.

### ***Endring av bruksmønster***

I installasjonene på Hoemsnes gård er det enkelte laster hvor det ikke kan gjøres endringer når det gjelder tidspunkt de trekker effekt, mens andre kan delvis eller i større grad forskyves med tanke på tid. Laster som kan legges til de periodene av døgnet med minst forbruk er hovedvask på melkeroboten. Denne går normalt tre ganger i døgnet og kan legges til tidspunkt som passer. Kanaløreringen for kumøkka kan også styres etter når på døgnet det finnes ledig effekt. Laster som i mindre grad kan styre bruksmønster med tanke på tid er oppvarming av kalvemelk, lys og eventuelt lading av maskiner.

### **Kostnad**

Når det kommer til økonomiske beregninger, er det satt av 100 000,- til innkjøpt av ny gasskonteiner for større lagringskapasitet av gass. Det kan også være ulike styringer til de ulike lastene hvor det kreves innkjøp av noe utstyr, i tillegg til elektrikere for å gjøre denne jobben. Antar at det per dags dato finnes tidsstyring på kanalomrøring slik at denne enkelt kan legges til gunstige tidspunkt. Det samme gjelder båndet som fører ut grovfôr. Det kan også være nødvendig med noe prosjektering eller planlegging fra konsulentfirma, så det bør regnes med noen kostnader der også. Setter en investeringskostnad på 25 000,- for installasjon av styringssystemer. Setter også en årlig kostnad på 2 000,- til uforutsette kostnader/service. Disse kostnadene blir videre brukt for å gjøre økonomiske beregninger i kapittel 7. I tillegg kommer datagrunnlaget når det kommer til strøm og nettleie som vist i Tabell 22. Oppsummert vil denne løsningen ha en total investeringskostnad på 125 000, inkludert gasslager. I tillegg kommer en årlig sum til vedlikehold på 2 000,- kr.

Tabell 22: Verdier brukt til utregning av strømkostnadene

<b>Kjøpt energi [kWh]</b>	<b>Solgt energi [kWh]</b>	<b>Effektledd [kW]</b>	<b>Reaktivt forbruk [kVArh]</b>
5 145,24	35 226,24	2,7	29 453,41

#### 6.2.1 Elektriske kjøretøy ladet med tilpasset produksjon

##### **Ubrukt energimengde**

Elektrisk minilaster er et godt eksempel på hva som kan brukes til å utnytte overskuddsenergien, som nevnt i kapittel 6.1.1. Overskuddsenergien med denne løsning 2 er fortsatt det samme som i løsning 1, men her kan produksjonene styres ut fra når ladingen skal foregå. Et annet aspekt er at det kan være mulig å få ut en større mengde gass enn antatt. Hvis gassproduksjonene er tilsvarende en produksjon på 50 kW konstant, vil den produserte energimengden være 1200 kWh. Hvis forbruket er 660 kWh, vil det være en energimengde på 540 kWh som er tilgjengelig. 540 kWh er en betydningsfull energimengde ved eventuell drift av kjøretøy. Samtidig kan man tenke seg at det ønskes å lades kun på natt. Da kan man se på tilgjengelig overskuddsenergi fra AMS-data mellom 7. og 8. desember. Ved å ta utgangspunkt i vanlig drift på generator kan en mellom klokka 20 på kvelden til klokka 6 på morgenen ta ut 299 kWh. Dette er tilstrekkelig til å lade Volvo FE Electric på 265 kWh over natten. Viktig å bemerke seg at dette krever at laderen alltid har kapasitet til å utnytte all overskuddsenergien i tidsintervallet.

##### **Omregning til diesel**

540 kWh som er den tilgjengelige energimengden omregnet til diesel er vist nedenfor. Dette er gjort slik som vist i kapittel 4.7. Viktig å bemerke seg at dette er ved 50 kW produksjon. Forbruket som er brukt i disse beregningene er AMS måledata fra 7. og 8. desember.

$$\frac{540 \text{ kWh}}{0,4 * 10,057 \text{ kWh/L}} = 134,2 \text{ L}$$

134,2 L diesel tilsvarer nesten 4,5 time med kjøring av rundballepresse, og dermed vil en slik økning i produksjon utgjøre mye om en skal kunne produsere energi til egne kjøretøy. Det er viktig å poengtere at dette regnestykket forutsetter at man klarer å ta ut all overskuddsenergien gjennom et døgn. For å utnytte all energien må dermed kjøretøyet ta imot lading gjennom et helt døgn.

### Supplering med solceller

Andre muligheter når det kommer til supplering av energi, er som i kapittel 6.1.1 å bruke solceller. En fordel med å kombinere solceller med løsning 2, er at gassforbruket kan senkes på dagtid. Gitt at gasslagret er stor nok til å lagre gassen. På denne måten kan man bruke solenergi på dagtid når det er tilstrekkelig, også kan man lagre gass for å lade kjøretøy på natten.

### 6.3 Løsning 3 – Energilagring med batteri

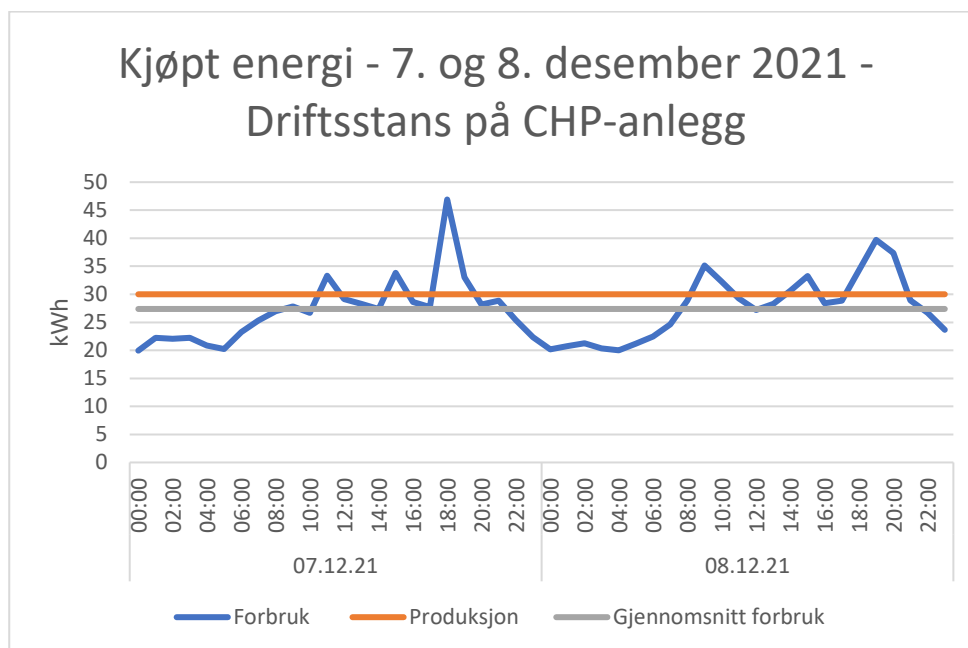
En batteribank kan være en god måte for å dekke en større andel av effektbehovet på et gårdsbruk. Litium- ion-batterier er fleksible og kan i ett øyeblikk motta effekt, mens i det andre øyeblikket levere effekt ut igjen.

Tabell 23: Totalvurdering av løsning 3.

Løsning 3	God	Middel	Dårlig
Funksjonalitet			
Økonomi			
Samfunn og klima			
Totalvurdering			

### Batteristørrelse

Vi antar at CHP-anlegget produserer konstant 30kW. Figur 13 viser at forbruket ligger over 30 kWh i kun 3 timer sammenhengende før det kan lades på nytt. Man ser også at forbruket samlet i løpet av disse tidene ikke er mer enn 25 kWh, og ett batteri med en størrelse på 30 kWh vil da være tilstrekkelig hvis man legger til rette for noe økt forbruk. For lengre levetid på batteriene er det ikke ønskelig at de lades helt ut. Batteriet bør derfor være minimum 33 kWh for at batteriet ikke skal gå under ti prosent.

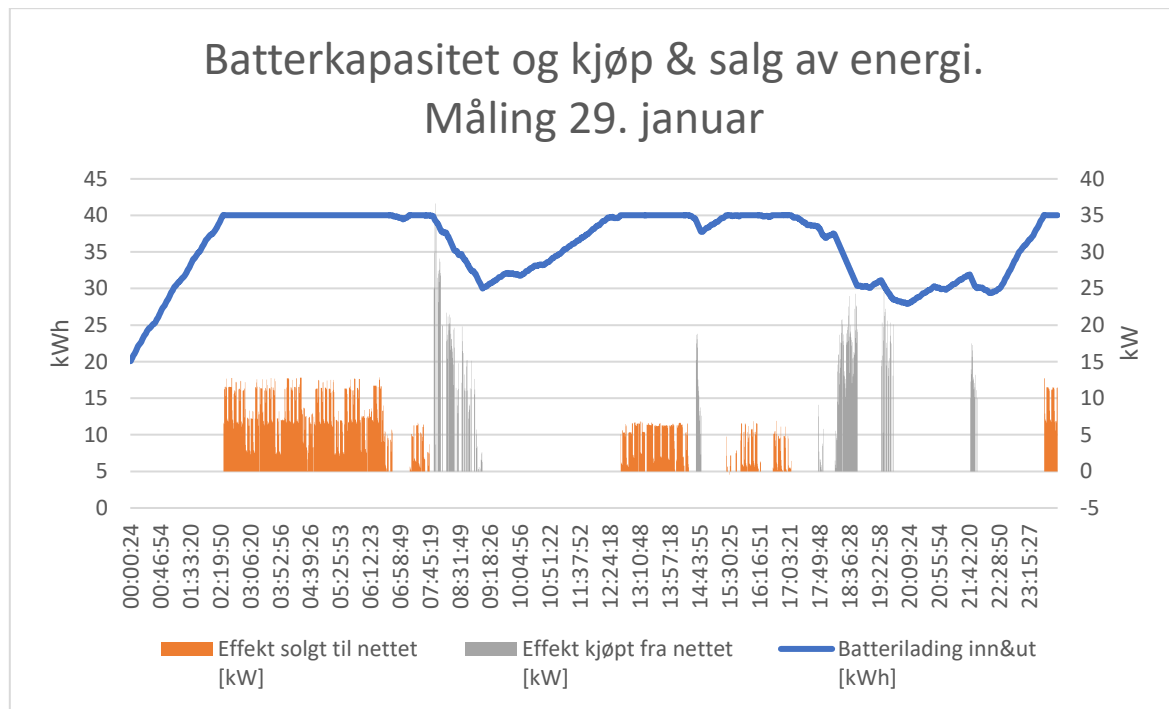


Figur 13: Målt energi fra AMS-måler i dager der all strøm ble importert fra nettet.

Chainpro AS sitt standardsystem ReGRID 40 v5-3 med 40 kWh med ett nytt li-ion batteri vil derfor være et godt alternativ. Denne modulen har tre invertere som til sammen kan levere 12 kW, og i noen sekunder leverer 27 kW. Hos Hoemsnes er det effektforbruk på opp mot 80 kW i flere minutter. Derfor må man fortsatt belage seg på å kjøpe noe strøm fra nettet, men ReGRID 40 v5-3 vil være med å redusere effekttoppen.

### Energiberegning

Fra momentanmålingene finner man hvor mye energi de kortvarige effekttoppene krever. Beregningene er utført som beskrevet i 4.5, men det er viktig å presisere at overskuddsenergien brukes først til å lade opp batteriet til 40 kWh, før videre overskudd selges til kraftnettet. Videre ligger det til grunn at underskuddsenergi inntil 12 kW hentes fra batteriet, alt over dette må kjøpes fra nettet. I tallgrunnlaget som er brukt forventes det også at batteriet er ladet 50% når vi begynner våre kalkuleringer 29.januar. Det er denne beregningsmetoden som ligger til grunn for beregningen av NNV.



Figur 14: Grafisk fremstilling av fordeling av over- og underskuddsenergi. Ladestatus batteri på venstre akse, målt i energimengde. Kjøp & salg på høyre akse, målt i effekt.

I figuren over er kjøp & salg fra 29. januar visualisert i samspill med batteriladingen. Grafen viser at en batteriløsning vil kunne fungere godt til å ta ned noe av effekttoppen, samt at det fortsatt vil være 53 kWh som selges til overskuddsenergi. I tillegg ser man at det er nødvendig å importere 28 kWh fra nettet, for å få dekket effekttoppene. Effekteleddet er funnet ved at man ser på den totale effekten importert fra nettet i løpet av en time mellom kl 07-16. Den timen med høyest verdi brukes til å regne ut effekteleddet. Beregningens årsresultater kan sees i Tabell 24.

Tabell 24: Verdier brukt til utregning av strømknadene for et år.

Kjøpt energi [kWh]	Solgtenergi [kWh]	Effekteledd [kW]	Reaktivt forbruk [kVArh]
10 151,21	19 333,84	3,28	29 453,41

### **Kostnad**

Systemet fra Chainpro Energy har som nevnt i 3.1.3.1 en investeringskostnad på 167 160 kr, og har en forventet levetid på 15-20 år. Vedlikeholdskostnadene er ikke kjent, men det forventes at det kan komme mindre vedlikehold med noen års intervall. Derfor settes det av 2000 kr som en årlig kostnad for dekke uforutsette utgifter. Disse skal dekke noen timer med installatør og kostnader for materiell.

#### 6.3.1 Elektriske kjøretøy ladet med batteribank.

For å lade kjøretøyene er det flere mulige løsninger. Som nevnt i 6.1.1 kan de lades fra strømmettet, men det kan også være en løsning å installere ett batteri. Fordelen med et tilpasset batteri er at det vil kunne lade med store effekter, uten å presse opp effektledet på nettleien. Batteriet lades opp av overskuddsenergi, eventuelt kjøper strøm fra nettet ved behov eller ut fra lav strømpris.

På de elektriske traktorene er det ikke oppgitt ladekapasitet. Antar derfor at de kan lades med samme effekt som Volvo sin FE Electric, 22 kW. Det er for stort effekttrekk for ReGRID 40 v5-3 alene, men det finnes større omformere. Alternativt kan det trekkes 12 kW fra batteriet, og 10 kW fra eventuelt overskudd fra CHP-anlegget eller supplere med kjøpt energi fra kraftnettet. Løsningen vil fortsatt gi et lavere effektledd enn hvis hele energibehovet måtte kjøpes fra nettet.

#### **Overskuddsenergi omregnet til diesel**

FE Electric har en ladetid på 11 timer. Det tilsvarer 242 kWh, og er mere enn dagsoverskuddet på 53 kWh. Eventuelt resterende energibehov må kjøpes fra nettet, eller det kan installeres solceller på gården. 53 kWh tilsvarer omtrent 13,2 liter diesel. Det vil si under omtrent 25 minutter med tungt arbeid. Dette er før tap i lader og eventuelt batterisystem er medregnet. Dermed kan man se at dagens forbruk og fremtidens produksjon ikke har betydelig energi til drift av traktor.

$$\frac{53 \text{ kWh}}{0,4 * 10,057 \text{ kWh/L}} = 13,2 \text{ L}$$

#### **Solcelleanlegg i samspill med batteribank**

Som i de foregående løsningene kan også solcelleanlegg være en god metode for å øke egen strømproduksjon. Siden anlegget produserer mest energi på dagtid, samtidig som maskinene er i bruk, kan det være en god løsning å installere en batteriløsning for å lagre energien til natta. Energien kan også være fin å hente fra batteriet i arbeidspauser, da man vil ha en stabil og effektiv energikilde tilgjengelig uansett solforhold i ladeøyeblikket.

Omformeren i Pixii's PowerShaper 30 kW / 65 kWh være et godt alternativ med et større batteri. Med 30 kW dekkes ladebehovet til et kjøretøy, men batteriet er for lite til kunne lade lastebilen. Batteriet bør i utgangspunktet være over fire ganger så stort, 268 kWh, for å ha igjen 10% batterikapasitet. Man kan trolig basere seg på å lade noe med overskuddsenergien fra generatoren samtidig for å begrense batteristørrelse. Et slikt batteri vil bli kostbart, og bruker man BloombergNEF sin estimerte snittpris for 2022 koster det 1504,83 kr per 1 kWh. Dermed vil et nytt batteri på 268 kWh koste over 400 000 kr, før kraftelektronikk og andre kostander.

#### 6.4 Løsning 4 – Energilagring med hydrogen

Hydrogen er en svært god energibærer. Det er en bra måte å sesonglagre energi på. Et annet moment er at den inneholder mye energi i forhold til vekt. Derimot kreves stort volum for å oppbevare hydrogen. Dermed kan den fungere på store kjøretøy.

Tabell 25: Totalvurdering av løsning 4.

Løsning 4	God	Middel	Dårlig
Funksjonalitet			
Økonomi			
Samfunn og klima			
<b>Totalvurdering</b>			

Et hydrogenanlegg er gunstig for sesongbasert energilagring. Biogassanlegget på gården produserer like mye energi uavhengig av tid på året. Som nevnt i kapittel så er døgnproduksjonen 720 kWh, og anlegget driftes hver dag gjennom hele året. Siden biogassanlegget er beregnet til å produsere energi hele døgnet, alle dagene i året, er det egentlig ikke et behov for energilagring over lang tid.

Videre er det ukjent om denne løsningen vil klare å redusere effekttopper hurtig. Det er antatt i beregningen at funksjonaliteten til hydrogenanlegget er den samme som batterianlegget.

#### **Investeringskostnader**

Investeringskostnader i forbindelse med et hydrogenanlegg er store, og det ødelegger lønnsomheten. Slik som nevnt i kapittel 3.1.4, har Ostermeier Hydrogen Solutions (OSH) et hydrogenanlegg med kapasitet opptil 100 kW, som tilsvarer hydrogen produksjon på 20 Nm<sup>3</sup>/ t. Anlegget har en investeringskostnad på 160.000 €, og årlige vedlikeholdskostnader ligger rett under 2.500 €.

#### **Levetid**

Levetiden til OSH sitt hydrogenanlegg er på 35.000 timer (Markus Ostermeier, personlig kommunikasjon, 21. april 2022). Det er viktig å ta til betraktning at levetiden på anlegget blir kortere om det driftes mange timer i løpet av dagen. For å utnytte anlegget i størst grad er det derfor viktig å kun kjøre anlegget når det er en god del med overskuddsenergi tilgjengelig.

For å øke levetiden til anlegget er det ikke ønskelig å drifte anlegget når det er lite energi tilgjengelig. Driftes anlegget mye i løpet av dagen, reduseres levetiden. Tilgjengelig energi i løpet av et døgn er beregnet til 78,57 kWh, se Tabell 12. Hydrogenanlegget starter å lagre energi fra biogassanlegget når det er tilgjengelig effekt over 6 kW. Ut ifra målingene 29. januar 2022, gir dette 9 timer med tilstrekkelig overskuddseffekt i løpet av et døgn. Dermed er også driftstiden til hydrogenanlegget 9 timer. Tabell 26 viser sammenhengen mellom driftstimer hver dag og levetidene i år på hydrogenanlegget.

Tabell 26: Levetid på et hydrogenanlegg med daglig drift.

Levetid [timer]	Daglig drift [timer]	Levetid [dager]	Levetid [år]
35 000	9	3 889	10,7

### Hydrogenproduksjon

Hydrogenproduksjon fra anlegget tilsvarer derfor 15,71 Nm<sup>3</sup> som vist i tabellen under.

Tabell 27: Tilgjengelig energi i løpet av et døgn og hvor mye hydrogen dette gir i løpet av et døgn.

Tilgjengelig energi ila. døgn (9 timer) [kWh]	Faktor (hydrogen pr. kW)	Døgnproduksjon hydrogen [Nm <sup>3</sup> ]
78,57	0,2	15,71

### Kapasitet

Hydrogenanlegget fra OSH med brenselcelle har en kapasitet på 8,4 kW. Generatoren fra biogassanlegget har en kapasitet på 30 kW. Dermed leverer en slik løsning 38,4 kW. Derfor må effektforbruk som overstiger 38,4 kW dekkes fra kraftnettet. Tabell 28 viser hvilke data som ligger til grunn for å regne strømkostnadene når det kommer til netto nåverdi.

Tabell 28: Verdier brukt til utregning av strømkostnadene

Kjøpt energi [kWh]	Solgt energi [kWh]	Effektledd [kW]	Reaktivt forbruk [kVArh]
18 916,96	10 047,99	6,91	29 453,41

### Virkningsgrad

Som nevnt i kapittel 3.1.4 er virkningsgraden til et hydrogenanlegg noe man kan bemerke seg. Etter Når elektrisitet brukes til produksjon og lagring av hydrogen, og når hydrogenet som er lagret skal utnyttes til elektrisitet. Så er det kun 40 % av opprinnelig mengde som er tilgjengelig.

OSH sitt hydrogenanlegg med brenselcelle har en virkningsgrad som er noe lav. Omgjøring fra elektrisitet fører til 60-65 % hydrogen med 10 % varme. Omgjøring fra hydrogen fører til 55 % elektrisitet med 35 % varme (Markus Ostermeier, personlig kommunikasjon, 21. april 2022). Dette vil si at dette anlegget har en god del energitap.



### 6.4.1 Hydrogen som drivstoff

Traktor med brenselcelle kan bruke hydrogen som drivstoff. Her går vi nærmere inn på størrelsesorden på den energimengden som er tilgjengelig for denne løsningen.

#### **Produksjon av hydrogen til drivstoff**

I kapittel 3.1.4.1 er det sagt at anlegget fra OSH har en kapasitet mellom 1 kW til 100 kW, og dette tilsvarer hydrogenproduksjon mellom 0,2 til 20 Nm<sup>3</sup>/t. Dette gir derfor en faktor på 0,2 mellom hydrogen og kilowatt.

Derfor kan 78,57 kWh energi produsere rett over 15 Nm<sup>3</sup> i løpet av et døgn, som tilsvarer 1,32 kg hydrogen, vist i Tabell 29.

Tabell 29: Omregning av 15 Nm<sup>3</sup> hydrogen.

Nm <sup>3</sup> /dag	Nm <sup>3</sup> /uka	Nm <sup>3</sup> /år
15,71	109,97	5 718,44
Kg/dag	Kg/uka	Kg/år
1,32	9,24	480,35

#### **Produksjon av hydrogen med solcelleanlegg i tillegg**

For å utvide energiproduksjonene til anlegget er et alternativ, solcelleanlegg. Dette vil som nevnt i kapittel 5.2.3 øke årsproduksjonen med 47 505 kWh som er beregnet til 130,15 kWh ekstra energi per dag, som tilsvarer 26 Nm<sup>3</sup>.

Tabell 30: Tilgjengelig energi i løpet av et døgn og hvor mye hydrogen dette gir i løpet av et døgn, når man legger til solcelleproduksjon på 130 kWh i løpet av et døgn.

	Tilgjengelig energi ila. døgn [kWh]	Faktor hydrogen pr. kW	Døgnproduksjon hydrogen [Nm <sup>3</sup> ]
Overskudd fra biogassanlegg	78,57	0,2	15,71
Produksjon fra solcellepanel	130	0,2	26
<b>SUM</b>	<b>208,57</b>	<b>0,2</b>	<b>41,71</b>

Tabell 31 viser at daglig produksjon hydrogenproduksjon på nesten 42 Nm<sup>3</sup> tilsvarer 3,5 kg.

Tabell 31: Omregning av 41,71 Nm<sup>3</sup> hydrogen.

Nm <sup>3</sup> /dag	Nm <sup>3</sup> /uka	Nm <sup>3</sup> /år
41,71	291,97	15 182,44
Kg/dag	Kg/uka	Kg/år
3,50	24,53	1 275,32

### **Energiinnhold fra hydrogenanlegget**

Energimengden fra hydrogenanlegget er beregnet under. Energi per kg er 33,33 kWh/kg, som er oppgitt i Tabell 7. Formelen for denne beregningen er vist i kapittel 4.8.

$$33,33 \text{ kWh/kg} * 1,32 \text{ kg/dag} = 43,98 \text{ kWh/dag}$$

Denne energimengden omregnet til antall liter diesel er. Formel for dette er vist i kapittel 4.8

$$\frac{43,98 \text{ kWh}}{0,4 * 10,057 \text{ kWh/L}} = 10,9 \text{ L}$$

Denne energimengden tilsvarer ca. 1/3 time med kjøring av rundballepresse. Denne beregningen tar for seg at forbruket ligger på 24 kW og nedover. For at denne sammenlikningen skal være riktig, kreves at utnyttelsesgrad på et hydrogenkjøretøy er likt som på et dieselskjøretøy. Utnyttelsesgrad er faktisk høyere på brenselcelle enn hos en dieselmotor. Hos brenselceller ligger denne på 60 % (Greiner, 2004, vedlegg.9).

### **Drift med traktor**

Det er presentert to hydrogentraktorer i rapporten, med to forskjellige løsninger på motorene.

Den første er New Holland T5.140 Auto Command H2 Dual Power. Denne traktoren fungerer angivelig veldig bra. Det stammer trolig fra at motorteknologien er veldig kjent, og det er så enkelt som at deler av dieselen blir erstattet med hydrogen som brennstoff i motoren. New Holland T5.140 Auto Command H2 Dual Power har inntil 8 arbeidstimer med 11,5 kg hydrogen i sine 5 tanker.

Dermed er det mulig drifte traktoren en dag, etter 9 dager med lagret hydrogen med hydrogenanlegget fra OSH.

Den andre er EOX 175 håpes å kunne leveres i løpet av 2022 som en elektrisk-hydrogen hybrid. I traktoren sitter en brenselcelle som lader et elektrisk batteri som skal kunne gi 4-8 timer driftstid med 240-360 kWh kapasitet.

## 7 Økonomi

Her undersøkes økonomiske forhold knyttet mot samarbeid med nettleverandøren. Økonomien rundt nye investeringer baserer seg i stor grad på statlige støtteordninger. Netto nåverdimetoden er brukt for å sammenlikne økonomien i de forskjellige løsningene. I delkapittel 7.4 presenteres faktorer som kan være med å påvirke strømkostnadene knyttet til gårdsanlegget.

### 7.1 Bidrag til nettleverandørens leveringssikkerhet

Elektrifiseringen av samfunnet gir et stadig økende effektbehov. Det kreves dermed økt kraftproduksjon og investeringer i nettinfrastrukturen. En måte å utsette eller unngå slike investeringer, er at kraften produseres nært der den forbrukes. Et tenkt scenario kan være hyttefeltet som er tilkoblet samme trafokurs som gården. Fredag ettermiddag er et typisk tidspunkt hytteeiere bruker mye strøm. Årsaker til dette strømforbruket kan skyldes oppvarming av hytta, eller lading av elbilen. Dersom Hoemsnes trekker mye effekt samtidig, kan dette bli et problem for nettselskapet. Dette til tross for at de har stimulert til at Hoemsnes kan belaste nettet høyt uten at det påvirker effektleddet i nettleia hans.

Med å tegne en avtale med netteier om at Hoemsnes sitt anlegg kan være med å supplere strømmettet, kan det gi både øke leveringssikkerhet til samfunnet, samt gi personlig økonomisk gevinst. En mulighet kan være at biogassanlegget kan fungere som en støtte for andre kunder i nettet. Det samme gjelder om man har hydrogenanlegg eller batteri i installasjonen. Solcelleanlegg kan selvfølgelig brukes likt, men er mindre fleksibelt. Videre eksemplifiseres batteriløsningen i eventuell kombinasjon med CHP-anlegget.

Vårt eksempelbatteri på 40 kWh har et overskudd på 15 kWh, noe som ikke er mye alene. Likevel kan det være med å redusere behovet for å forsterke nettet. I tillegg kan det selges overskuddsenergi fra CHP-anlegget, og gården kan automatisk kutte ikke kritisk energiforbruk for å kunne bidra mer. Likevel kan det tenkes at det er mer aktuelt å installere en større batteripakke for at det skal være aktuelt med en slik avtale. Pixii sin PowerShaper 30 kW / 65 kWh, gir grunnlag for å støtte nettet bedre. Pixii sin løsning kan gi ut over dobbelt så stor effekt, samt ha lagret mer energi. Økt lagringskapasitet medfører at mindre overskuddsenergi selges som følge av fullt batteri, og dermed mer fleksibilitet for både nettselskap og sin egen installasjon.

Det er undersøkt med Even Holmgren i det lokale nettselskapet, Elinett, om det kan være aktuelt for dem å støtte etableringen av et slikt anlegg, eventuelt tegne en årlig samarbeidsavtale. Dette var ikke vanlig praksis og Holmgren anbefalte heller en dialog med Innovasjon Norge eller Enova for etableringsstøtte av et energilagringssystem. (E. Holmgren, personlig kommunikasjon, 6. april.2022). Slike samarbeidsavtaler kan bli mer aktuelle i fremtiden, i takt med elektrifiseringen av samfunnet.

## 7.2 Støtteordninger

Både Enova og Innovasjon Norge er statlige støtteordninger, hvor man kan søke om økonomisk støtte og veiledning til investering av klimavennlig teknologi. Enova støtter spesifikt energi og klimavennlig teknologi, og Innovasjon Norge som støtter generell nyetablering, gründervirksomheter og utvikling.

Enova gir privatpersoner og bedrifter støtte til nye prosjekter som innebærer energi- og klimavennlige løsninger. Et støtteprogram som ligger under Enova er *Innovasjon og teknologi*, og er det mest aktuelle støtteprogrammet for investeringer i batterier eller hydrogenanlegg. Programmet gir støtte for å realisere fullskala energi- og klimateknologi som bidrar til reduksjon av klimagassutslipp, energibruk eller effektforbruk, men også for økt produksjonen av energi fra fornybare kilder. Hoemsnes sitt biogassanlegg i kombinasjon med batterier eller hydrogenanlegg faller innenfor denne kategorien, og det vil være naturlig å søke Enova før en slik investering blir gjennomført.

Hos Innovasjon Norge kan man søke støtte fra flere tjenester, men vil trolig bare få støtte fra en tjeneste per investering. Hoemsnes som bor i Møre og Romsdal kan mest sannsynlighet få støtte fra tjenesten *Fornybar energi i landbruket*. Her kan det søkes støtte til kraft/varmeanlegg eller utstyr for produksjon av varme, elkraft og biodrivstoff.

Batteri og Hydrogenanlegg faller innunder disse kategoriene, det samme gjør et eventuelt ekstra gasslager og styringssystemer for varierende generering slik beskrevet i løsning 2. Vi kan se ut fra vektleggingskriteriene at de er delvis oppfylte. Definitivt bidrar et energilagringssystem til økt verdiskaping i Norge, mens det er tvilsomt at det gir økt sysselsetting. Ved å minske bruken av kjøpt energi, kan man argumentere for reduksjon av klimagassutslipp hos Hoemsnes. Importert strøm er i perioder produsert med ikke fornybare energikilder i utlandet. Dermed er kravet om at forutsetninger og planer skal være realistiske oppfylt, ved å dokumentere det besparte strømkjøpet og økonomien i det.

CHP-anlegget kan man ved behov utvide hos Inge ytterligere og dermed minsker metanutslippet fra husdyrgjødsel. Å utnytte biogassanlegget enda bedre gir bedre utnytelse av den landbruksressursen metangass er. I tillegg hentes det i dag allerede husdyrgjødsel fra et nabobruk, dette er en ringvirkning innen landbruket, der anlegget bruker andre gårders ressurser og minsker deres metangassutslipp. Det vil også være spennende å følge forskningen av gjødseleffekten av bioresten. Gjødseleffekten er antatt å være større når gjødsel har vært gjennom et biogassanlegg, men det er ikke godt nok dokumentert enda. Dersom dette stemmer, vil det være en positiv ringvirkning for nærliggende gårdsbruk som kan være med å forbedre deres økonomiske resultat.

## 7.3 NNV

I dette kapitlet presenteres netto nåverdiberegninger. For å regne dette trenger man investeringskostnadene i tillegg til inntekt og utgift på strøm.

### 7.3.1 Beregninger NNV

For å regne ut NNV til hver løsning, er det nødvendig med tallgrunnlag for de forskjellige løsningene. Det er da investeringskostnader, årlig vedlikehold, kjøpt og solgt strøm, nettleie, kontantstrøm, levetid på anleggene og rente. Det er viktig å ta for seg alle de ulike faktorene. Det er brukt to forskjellige renter ved beregningen av netto nåverdi.

Kalkulasjonsrenten ved beregning av netto nåverdi sier noe om avkastningskravet. Ved høy rente har man høyere krav til å gjøre en god investering. 4 % er kalkulasjonsrenten tatt fra NVE, og er den som ligger til grunn for statlige investeringer. Årsaken til at staten har andre krav er at det kan være andre positive faktorer. Disse kan være investering i helsen til innbyggere, klimagunstige investeringer osv. Dermed vil en slik investering på indirekte måte gjøre at staten har nytte av investering, selv om det ikke vises økonomisk der og da. På denne renten har vi lagt på 50 %, og dermed er den andre kalkulasjonsrenten 6 %. Det er denne kalkulasjonsrenten som er brukt til å sammenligne, da private aktører har større krav til avkastning på investeringene sine. Kalkulasjonsrenten sier noe om avkastningskravet, da NNV bare er en måte å sette en nåverdi på et fremtidig beløp. Dermed sier en rente på 6 % at pengene er mere verdt enn ved 4 %. Dette er årsaken til at 6 % gir en høyere verdi for NNV.

Det er sammenlignet netto nåverdien for alle løsningene. Levetiden på hydrogenanlegget er i kapittel 6.4 beregnet til 10,7 år. De andre løsningene derimot forventes å holde ut hele tidsperioden som er satt til 20 år. Ved netto nåverdiberegningen av hydrogenanlegget har vi tatt for oss en reinvestering på 600 000 kr etter 10 år. Denne reinvesteringen er bare et anslag fra vår sin side, og er 50 % av opprinnelig kostnad. I løsning 2 og 3 er det satt inn en årlig vedlikeholdskostnad av den grunn at det er gjort modifikasjoner på anlegget sammenlignet med slik det er i dag. Det er viktig å påpeke at netto nåverdiberegningene ikke gir det hele kostnadsbilde ved energiforsyningen til gårdbrukeren. Dette fordi det ikke tar hånd om dagens kostnader til drift og vedlikehold. Derimot er det en måte å sammenligne kostnaden til de ulike løsningene. For denne oppgaven er det viktigst å se på økonomien med de presenterte løsningene, for så å se fordeler og ulemper med de ulike løsningsmetodene.

Tabell 32: Netto-nåverdi beregnet ut fra de kostnadene som er presentert i kapittel 6. Tabellen viser utregning med kalkulasjonsrente på 4 og 6 %.

	Benevning	Løsning 1: Ingen videre tiltak	Løsning 2: Endring forbruksmønster	Løsning 3: Batteri	Løsning 4: Hydrogen
<b>Investeringskostnader</b>	kr	0	- 125 000	- 167 160	- 1 600 000
<b>Investeringskostnader etter 45 % støtte</b>	kr	0	- 68 750	- 91 938	- 880 000
<b>Årlig vedlikehold</b>	kr	0	- 2 000	- 2 000	- 10 300
<b>Reinvestering etter 10 år.</b>	kr	0	0	0	- 600 000
<b>Solgt strøm</b>	kr	17 287	15 725	8 631	4 485
<b>Kjøpt strøm</b>	kr	- 14 167	- 3 296	- 6 502	- 12 116
<b>Nettleie</b>	kr	- 25 298	- 17 321	- 18 227	- 21 016
<b>Kontantstrøm</b>	kr	- 22 178	- 6 892	- 18 098	- 38 947
<b>Levetid anlegg</b>	år	20	20	20	20
<b>Samfunnsøkonomisk rente</b>	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %
<b>Personlig økonomisk rente</b>	6 %	6 %	6 %	6 %	6 %
<b>NNV 4 %</b>		- 343 154,4	- 236 301,6	- 453 430,0	- 2 697 223,4
<b>NNV 6 %</b>		- 280 716,2	- 213 276,1	- 397 632,9	- 2 448 159,4

Fra Tabell 32 ser en at det er lagt inn investeringskostnader for løsning 2, 3 og 4. Inntekt og utgift når det kommer til strøm baserer seg på mengde kjøpt og solgt strøm, tillegg til nettleia. Kjøpt strøm inkluderer spotpris, påslag fra strømlleverandør og el-avgift. Solgt strøm derimot gir kun en inntekt lik spotprisen. Prisene det er tatt utgangspunkt i når det kommer til strøm og nettleie, er vist i kapittel 5.1.2. For et gårdsbruk vil elektrisitet nesten alltid være en utgift. Derfor viser alle beregningene negative verdier for netto nåverdi. Siden løsning 2 har netto nåverdi nærmest 0, er det den mest gunstige investeringen.

Med andre ord er det denne løsningen som gir gårdbrukeren minst utgift når det kommer til strøm. Løsning 2 kommer godt ut siden den reduserer mengde kjøpt strøm, uten at den har spesielt høye investeringskostnader. Løsning 1 kommer også godt ut siden det er en praktisk god løsning, uten investeringskostnader. Løsning 3 kommer dårligere ut da den har relativt høye investeringskostnader uten at nytten er tilstrekkelig. Ser ut fra Tabell 33 at mengde kjøpt strøm er omtrent dobbelt så mye som løsning 2. Dette gir kostnader direkte inn i strømprisen, men også når det kommer til nettleie. På sisteplass kommer hydrogenanlegget. Dette er et svært dyrt anlegg, og er ikke effektivt i det hele tatt.

## 7.4 Sensitivitetsanalyse NNV

Det er viktig å se på forandring av kostnader, siden det direkte påvirker lønnsomheten i investeringen. Eksemplene som er brukt om økt strømpris og nettleie anses som svært reelle i den pågående elektrifiseringen av samfunnet. Investeringsstøtte er også et sentralt punkt, da det er myndighetene som legger føringer for hvilke prosjekter de statlige støtteorganisasjonene skal prioritere.

### 7.4.1 Økte strømpriser

I 2021 økte strømprisene mye i Norge. Spesielt i Sone 1 steg prisene drastisk og man kan for eksempel se at snittprisen i november var 6,24 øre/kWh i 2020, mens den var 132,91 øre/kWh i 2021. Den høyeste prisen har vi i mars 2022. Da var snittprisen i sone 1, 179 øre/kWh (Los, 2022). Det kan være spennende å undersøke hvordan økte strømpriser påvirker lønnsomheten i investeringene. Ser derfor hvordan NNV påvirkes, ved at 132,91 øre/kWh multipliseres med energimengdene i tabellen under.

Tabell 33: Oversikt over mengde kjøpt og solgt energi og effektledd.

	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 3	Løsning 4
<b>Kjøpt energi [kWh]</b>	22 118,60	5 145,24	10 151,21	18 916,96
<b>Solgt energi [kWh]</b>	38 725,02	35 226,24	19 333,84	10 047,99
<b>Effektledd [kW]</b>	15,38	2,71	3,28	6,91

Tabell 34: NNV etter firedobling av strømpris.

	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 3	Løsning 4
<b>Ny solgt strøm</b>	69 318	63 055	34 608	17 986
<b>Ny kjøpt strøm</b>	-14 167	-3 296	-6 502	-12 116
<b>Gammel NNV 6%</b>	-280 716	-213 276	-397 633	-2 448 159
<b>Ny NNV 6%</b>	377 861	385 799	-68 832	-2 277 278

Ut fra våre beregninger vil Hoemsnes tjene penger på strømsalg, gitt at snittprisen øker fra 44,6, øre/kWh til 179 øre/kWh. Til sammenligning ser man i kapittel 7.3.1 at strøm vil være en utgift på alle løsninger. På de tre første løsningene er nemlig mengden solgt energi er større enn mengden kjøpt. Derfor vil de tjene penger så fort de selger for mer enn summen av strømkjøp og nettleie. På løsningen med hydrogen derimot selges det mindre energi enn det kjøpes, og dermed vil lønnsomheten gå ned i takt med strømforbruk. I tabellen under vises strømprisen som gir positiv NNV for løsningene.

Tabell 35: Oversikt over strømpris som gir økonomisk avkastning

Strømpris [øre/kWh]	Løsning	Overskudd ved 4% rente [kr]	Overskudd ved 6% rente [kr]
1,79	1	2 079	1 701
1,01	2	26 018	1 313
387	3	32 997	288
Ikke mulig	4	Ikke mulig	Ikke mulig

#### 7.4.2 Økt nettleie

Nettleien beregnes ut fra flere faktorer satt av lokal netteier. Den beregnes trolig annerledes andre steder i landet. Målemetoden kan også endres i takt med forbruksmønsteret på strømmettet da pågående elektrifisering skaper utfordringer i strømmettet. Derfor vil det være høyst sannsynlig at effektleddberegningen, og andre faktorer i nettleien defineres ut fra andre premisser i fremtiden. For eksempel kan effektberegningen endres fra timesmåling til å sjekkes hvert 15. minutt. Derfor vil det være interessant å se hvordan en dobling i nettleien påvirker NNV. Det eksemplifiseres kun med 6 % rente.

Tabell 36: Endring i NNV ved dobling i nettleie.

	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 3	Løsning 4
<b>Opprinnelig nettleie</b>	- 25 298	- 17 321	- 18 227	- 21 016
<b>Doblet nettleie</b>	- 50 596	- 34 642	- 36 454	- 42 032
<b>Opprinnelig NNV 6%</b>	- 280 716	- 213 276	- 397 633	- 2 448 159
<b>Ny NNV 6%</b>	- 600 922	- 432 517	- 628 337	- 2 714 165
<b>Endring</b>	2,14	2,03	1,58	1,11

Differansen mellom ny og gammel NNV er relativt lik for alle løsningene. Med det menes at merkostnaden ved NNV er ganske lik for de ulike løsningene. Ved å se endringen i prosent, vil det slå annerledes ut. Årsaken er store sprik i de ulike investeringskostnadene.

#### 7.4.3 Ingen investeringsstøtte

I beregningen av lønnsomheten til løsningen er det lagt til grunn at man får maksimal støtte fra Innovasjon Norge eller Enova. Selv om man trolig vil få støtte til den løsningen man klarer å bevise er miljømessig og økonomisk lønnsom, kan det være interessant å se hvordan lønnsomheten påvirkes hvis man får ingen eller redusert støtte. Derfor ser vi her hvordan lønnsomheten endres når støtten fjernes helt.



Tabell 37: NNV hvis investeringsstøtten fjernes.

	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 3	Løsning 4
<b>Investeringskostnader med støtte</b>	0	- 68 750	- 91 938	- 880 000
<b>Investeringskostnader uten støtte</b>	0	- 125 000	- 167 160	- 1 600 000
<b>Opprinnelig NNV 6% [kr]</b>	- 280 716	- 213 276	- 397 633	- 2 448 159
<b>Ny NNV 6% [kr]</b>	- 280 716	- 266 342	- 468 597	- 3 127 405
<b>Endring</b>	1,00	1,25	1,18	1,28

Fjernes investeringsstøtten endres ikke rekkefølgen på lønnsomheten, til tross for at løsning 1 er den eneste som ikke blir påvirket. Løsning 2 er fortsatt den med minst totalutgifter i løpet av 20 år, mens vi ser at lønnsomheten til løsning 3 og 4 er svært avhengig av støtte.

## 8 Totalvurdering av løsningene

I dette kapitlet sammenlignes produksjon og drift, kostnader, egnethet og miljø av løsningene opp imot hverandre. Det samme gjøres for fornybar drift av kjøretøy. Deretter presenteres en kort oppsummering av fordeler og ulemper med løsningene. Avslutningsvis drøftes årsaker til spenningsfall i installasjonen.

### 8.1 Sammenligning av løsningene

Det er presentert fire løsninger i oppgaven. Disse har investeringskostnader fra null til 1,6 millioner kroner. Løsning 1 baseres på en fremtidig produksjon på 30 kW konstant, ut fra en utbygging av CHP-anlegget som allerede er igangsatt. Hovedformålet er å vekte fordeler og ulemper ved utnyttelsen av energien knyttet til de forskjellige løsningene.

#### **Effekter og forbruk**

For å ha et sammenligningsgrunnlag mellom løsningene er totalforbruket på gården estimert. Dette er fordi at det ikke finnes en måler for det totale energiforbruket på gården, ei heller på produsert energi i anlegget. AMS-dataene måler kun mengden energi som er kjøpt og solgt på kraftnettet, men ikke den egenproduserte energien som mates inn på nettet lokalt. Bachelorgruppen har målt de største effektene i kufjøset for å finne effekttoppene, og disse er utgangspunktet for estimatet. For å kunne anslå det totale energiforbruket på gården er det i 5.2.1, funnet 16,4 kW som en tilnærming på energiforbruk for resterende bygg. Siden det har vært to dager med driftsstans på CHP-anlegget kunne man tenke seg at gjennomsnittet fra disse dagene kunne gitt et tydelig effektbehov, men våre AMS-data viser bare energimengden hver time. Dermed får den ikke med effekttoppene og det var derfor et behov for å bruke 16,4 kW-estimatet.

De mest korrekte dataene hadde man fått ved å måle det totale forbruket på gården. Med korte måleintervall på maks ett sekund ville man fått synliggjort hele forbruket. Disse målingene burde gjøres over en lengre periode for å få et stort datasett å kalkulere med. I tillegg burde de gjøres i en vintermåned da forbruket er noe større på denne tiden av året. Hadde AMS-dataene også vært fra samme periode ville man kunne sammenstilt dataene og fått et godt sammenligningsgrunnlag. På sammenligningene som er gjort i oppgaven er det brukt forskjellige døgn i vinterhalvåret, der det kan være forskjeller i dagsforbruket. I lys av oppgavens omfang og tilgang på tid og ressurser har ikke det vært mulig, men gruppen mener likevel at eksisterende datagrunnlag vil gi et tilstrekkelig bilde på situasjonen.

I dag er det heller ingen AMS-måler på generatoren. Det finnes derimot en måler på generatorsystemet som viser produksjonen, men det er ikke undersøkt om det finnes et loggesystem for disse målingene. I oppgaven er det etter anbefalinger fra NORSØK tatt utgangspunkt i 30 kW. Dette kan gi feil i kalkuleringene, da produksjonen varierer noe rundt 30 kW. Det kan derfor tenkes at om det ikke finnes et loggesystem på generatormålingen burde dette etableres. Eventuelt monter et annet målesystem, for å ha kontroll over faktisk produksjon på gården.

Gjennomsnittlig energiforbruk på gården er 27 kWh, og produksjonen er planlagt til å ligge på 30 kW. Likevel er det deler av døgnet hvor forbruket er høyere enn produksjonen, da effekttopper på opp mot 80 kW gjør det nødvendig å importere nesten 50 kW i kortere perioder. Dette gir både dyrt effektledd og høye strømmregninger siden man må betale både spotpris, nettleie og avgifter på strømmen man kjøper, mens man bare får spotpris på salget.

## **Funksjonalitet og egenskaper**

Biogasstilgangen og energiproduksjonen er i utgangspunktet lik for alle løsninger. Differansene ligger i at løsning 2,3 og 4 har forskjellige metoder til å lagre overskuddsenergi. Løsning 1 baserer seg på å ikke gjøre noen endringer etter at biogassanlegget er utvidet. Det vil dermed si at Hoemsnes ikke må ta noe ytterligere økonomisk risiko, men heller kjøpe og selge strøm etter forbruk. Våre beregninger i 6.1 viser at mengden kjøpt strøm vil reduseres med 89% sammenlignet med forbruket i 2021. Årsakene kan være mange, men trolig har det sammenheng med gjennomsnittsforbruket er 27 kW og at snittproduksjonen øker fra 15 kW til 30 kW. Samtidig holder salget seg stabilt siden det i hovedsak forgår på natta, mens forbruket er lavt. Selv om det er stor reduksjon i kjøpt energi er fortsatt løsning 1 den løsningen som må importere mest energi. Den har også størst effektledd.

Løsning 2 lagrer biogass og justerer pådraget på motoren. Dermed kan man tilpasse produksjonen utfra behovet. Det er ikke gjort videre undersøkelser på om dette faktisk er mulig, annet enn at Ingvar Kvande i NORSØK har opplyst at generatoren har merkeeffekt 50 kW (Personlig kommunikasjon, 31.03.2022). Det er derfor uvisst om maskinen kan justeres mellom 20, 30, 40 og 50 kW. Det er heller ikke sett på hvor hurtig dette eventuelt kan trinnes. Effektbehovet varierer konstant, og det er i beregningen tatt utgangspunkt i at motorpådraget kan justeres momentant. I realiteten vil motoren trolig ha en forsinkelse, som gjør at andelen som må importeres fra nettet øker. På en annen side er det tatt høyde for at motoren skal ha en viss overproduksjon. Selv om behovet bare er 22 kW produseres generatoren 30 kW, og dermed er det kapasitet for noe økning i forbruk. Samtidig har vi tatt utgangspunkt i at det produseres 30 kW når behovet er 29 kW, og har i dette tilfellet mindre slingringsmonn. Man kan tenke seg at det ville vært en gunstigere løsning at motorstyringen ligger i forkant. Slik løsning 2 er planlagt i dag, er man ikke alltid forberedt på en hurtig økning. Kanskje burde styringssystemet ligge enn viss andel over forbruket alltid. Det burde også legges til rette for tvangsstyring på samme måte som Hoemsnes gjør i dag. Når det skal mikses fôr, eller gjøres andre energikrevende oppgaver, kan generatoren tvangskjøres på 30 kW. Det kan tenkes at tvangskjøring kan gjennomføres opp til 50 kW i løsning 2.

Løsning 3 lagrer overskuddsenergi i li-ion batteri. Batteriløsninger er velprøvd og kan gi umiddelbar effekt for kutte effekttopper. Det er derfor liten usikkerhet om funksjonaliteten til løsningen, men det kan hende at den planlagte omformeren er for liten med sin faktiske utgangseffekt på 12 kW. Med en større og dyrere omformer vil man kunne ta ned større effekttopper, uten at batteriet nødvendigvis trenger å ha større kapasitet. Batteriets kapasitet er ikke vurdert over en lengre periode, men våre beregninger er en pekepinn på at 40 kWh er tilstrekkelig. Det er i oppgaven omtalt en batteripakke fra Pixii med 30 kW utgangseffekt, som trolig da har noe mindre faktisk utgangseffekt. Denne kan være verdt å se mer på, da den vil kunne levere minimum dobbelt så mye effekt som ReGRID 40 v5-3. Bachelorgruppen manglet derimot informasjon om pris og faktisk effekt fra Pixii, som gjorde at det i oppgaven bare er gjort beregninger med en løsning.

Løsning 4 er kalkulert ut fra et standardsystem fra Ostermeier Hydrogen Solutions. Det ble gjort forsøk å få norske leverandører til å bistå med beregninger og priser, men de mente at det ville være umulig å få løsningen lønnsom. Den dårlige lønnsomhet får vi bekreftet med at anlegget produserer svært lite hydrogen, samtidig som andelen importert energi bare er 15% lavere enn løsning 1. Det er i løsningen lagt til grunn at det kun produseres hydrogen når overskuddet av energi er høyere enn 6 kW. Denne grensen er for å spare slitasje på anlegget. Dette gir omtrent 9 timers drift per døgn. Videre er det ikke sett på om det kan lønne seg å bruke all overskuddsenergi til å produsere hydrogen, ei heller om grensen burde være høyere enn 6 kW.

I likhet med løsning 2 er det forutsatt at H<sub>2</sub>-anlegget kan levere effekt momentant, men det er ikke kontrollert at det er reel mulig. Anlegget kan også bare levere 8,4 kW, noe som gir et marginalt bidrag på det totale effektbehovet. Dermed kan det hende at man burde investere i ett batteri, som umiddelbart kan levere større mengder effekt. En slik tilleggsinvestering vil være svært fordyrende. Det er heller ikke sett på andre anlegg som kan ha bedre funksjonaliteter, da det finnes lite tilgjengelig data. Som nevnt var det dårlig respons fra norske leverandører, og det kan være en pekepinn på at teknologien ikke er moden for småskala hydrogenproduksjon enda.

### ***Solcelleanlegg***

En fordel med hydrogen er sesonglagring av energi. Spesielt i samarbeid med solceller kan hydrogen lagres fra sommeren, til vinteren. Problemet er at også her var bransjen negative, da det er svært energikrevende å lagre hydrogen. Solceller kan også være aktuelt på løsning 2 og 3. Man kan spare gass til senere på løsning 2, og på løsning 3 kan man lagre energien i batteriet å forbruke den på å redusere effekttoppen på ettermiddagen. Gården ligger slik til at hele grisekjøset, bolighuset og andre bygg ligger sør-vest, mens kufjøset ligger øst-vest. Det finnes derfor mange muligheter for å legge solceller på tak på gården, selv om det bare er eksemplifisert med en mulig takflate i oppgaven. Sørvestvendte tak vil ofte ha høyest utnyttelse per panel. Mens fordelene med øst-vest er at man kan få flere soltimer, da man får både morgen- og ettermiddagssol. Ut fra målingene er det i disse tidsrommene det er høyest effekttopper, og mest behov for direkte bidrag. Det er ofte ideelt med et tak med bratt takvinkel, men en fordel med kufjøset kan være den slake takvinkelen. Her kan man oppleve å ha sol på begge sider av taket store deler av dagen. Våre beregninger viser derimot at det er lite behov for solceller med dagens forbruk, da energiproduksjon og forbruk er tilnærmet like i gjennomsnitt.

### ***Kostnader***

Løsningene har i kronologisk rekkefølge kostnader på 0.-, 125 000.-, 167 160,- og 1 600 000,- kroner. Denne kostanden har stor påvirkning på lønnsomheten, da beløpet må tilbakebetales over flere år. De betales ned med sparte strømutgifter, samt solgt energi. Løsningene har følgende mengder solgt energi, per døgn: 106 kWh, 97 kWh, 53 kWh og 28 kWh. Dermed ser man at der man investerer i energilagringssystemer, reduseres andelen solgt energi. Det er naturlig siden hovedfokuset er å lagre overskuddsenergien slik at man slipper å importere energi senere.

Løsning 1 baserer seg på å ikke forta seg noe etter at anlegget er utvidet. Det vil dermed si at Hoemsnes ikke må ta noe ytterligere økonomisk risiko, men heller selge og kjøpe strøm etter forbruk. Løsning 2 er beregnet ut fra en antatt verdi, og er dermed den med størst usikkerhet rundt tallgrunnlaget. Behovet for en ny gasstank er ikke undersøkt, og hvis den er unødvendig vil investeringskostnadene synke drastisk. Samtidig vet man at dagens ene gasslager fylles opp fra 40% til 85% på en time med dagens produksjon. Derfor vil det trolig være bruk for ekstra lagringskapasitet hvis generatoren skal variere forbruket. Faktiske kostandene for styringssystemer til variable motordrift er ikke undersøkt. Det er bare en antatt verdi basert på blant annet en timespris på 1000,- kr. Slike usikre kostnader kan påvirke NNV i stor grad.

Batteriet i løsning 3 er en standardløsning fra Chainpro Energy AS og er oppgitt med pris ferdig installert. Det er derimot vurdert om denne løsningen har for liten omformer med sine 12 kW, og at det kanskje derfor burde investeres i en større omformer eller en større batteripakke. Pixii sin løsning

med 30 kW omformer er diskutert i oppgaven, men prisen og andre detaljer var vanskelig å anskaffe og den har derfor ikke blitt brukt i beregningene.

Batteriprisene er en avgjørende faktor for lønnsomheten i en batteribank. Prisene på li-ion-batteri har falt med 89% de siste 11 årene. BloombergNEF som analyserer globale priser forventer at årets snittpriser på li-ion-batterier blir \$135/kWh, mens de har satt en prognose på at prisene faller under \$100/kWh i 2024. Prisen av nye batterier styrer prisen av brukte batterier. Brukte elbilbatterier kan være aktuelle for stasjonær lagring. En elbil som har tapt 30 % kapasitet vil ha store rekkeviddebegrensninger. For stasjonære batterier har vekten ingen betydning, og man kan heller kjøpe to billigere brukte enn ett dyrt. Derfor tilbyr blant annet Chainpro Energy brukte battericeller i noen av sine løsninger. I oppgaven er det gjort beregninger med nye standard batterier. Det kan tenkes at brukte batterier sammen med en større omformer ikke nødvendigvis gir høyere kostnader. I så fall vil løsning 3 få bedre funksjonalitet uten at investeringskostnaden øker, og dermed få bedre NNV.

Generelt sett vil det være gunstig å produsere sin egen energi. I fremtiden kan det antas endringer i nettleie. Det kan også tenkes at strømprisen følger trenden i Sør-Norge med stigende priser. Faktorer som kan slå svært negativt for Hoemsnes er en endring i effektleddberegning. Ved en reduksjon i effektleddberegning fra 1 time til ett kvarter, vil gårdbrukerens kostnader knyttet til effektledd sannsynligvis øke. I dag glattes effekttopper ut gjennom en hel time, mens en slik forandring synliggjør effekttrekket enda bedre. Dette er noe som de fleste trolig er mot, men på en annen side er det den hardeste belastningen nettet må dimensjoneres for.

### **Inntekter**

Overskuddsenergien som ikke lagres selges på kraftnettet til spotpris. For løsningene er årsinntektene basert på snittspotpris henholdsvis 21 600 kr, 19 700 kr, 10 800 kr og 5 600 kr. Salgsinntektene er med å finansiere investeringene, sammen med de sparte kostandene knyttet til kjøpt energi og nettleie. Når man kjøper energi, må man i tillegg til spotprisen må man betale nettleie og avgifter. Dessuten betales det en nettleie på blant annet mengden kjøpt energi, reaktivt forbruk og en effektagift. Energilagringens løsningene er med å redusere effektleddet da de senker behovet for å importere effekt, samt at mengden kjøpt energi begrenses.

Kontantstrømmen på alle løsningene er negative, så strømkjøp er alltid en utgift. Likevel er det for de tre første løsningene solgt mer energi enn kjøpt. Derfor vil man med økte strømpriser få positiv kontantstrøm, gitt at ikke nettleien økes. Løsning 2 og 3 fungerer dermed godt, da de reduserer kjøpt strøm, samtidig som det fortsatt selges overskudd. Hydrogenanlegget er beregnet til å være så lite effektivt at det kjøpes større mengder energi enn det selges, og anlegget vil derfor ha store negative kontantstrømmer.

### **Samfunn og klima**

Løsningene kan ikke bare vurderes ut fra Hoemsnes private økonomi. Det er også viktig å se på hvilken løsning som bidrar mest til både reduksjon av klimautslipp og hva som er best for samfunnet. Kjøpt energi fra nettet kan være ren fornybar energi, men den kan også være importert ikkefornybar energi fra utlandet. Derfor burde man klimamessig forsøke å redusere bruken av kjøpt strøm. Elektrifiseringen av samfunnet skaper som kjent utfordringer med overføringskapasiteten på

kraftnettet. Det taler for at man burde bruke energien der den produseres, samtidig kan man tenke seg at eventuelt salg fra Hoemsnes bidrar til å redusere naboenes kapasitetsbehov fra kraftnettet.

Løsning 1 baserer seg på å kjøpe energi når produksjonen ikke er tilstrekkelig, samtidig som den selger når produksjon er høyere enn forbruk. Sammenlignet med de resterende løsningene bidrar ikke løsning 1 til å redusere klimagassutslipp. Årsaken til dette er at anlegget fortsatt har et potensial til å utnyttes bedre. På en annen side er dette gårdsbruket et av få som har satset på biogass til strømproduksjon. Dermed er det allerede gjort et godt bidrag til å senke klimagassutslipp. Samfunnsmessig er det gjort gode tiltak for å bli en mindre krevende kunde, da gården uavhengig av løsning kjøper mindre strøm.

På løsning 2 reduseres kjøp og salg drastisk. Årsaken til dette er at gassen kan spares til det tidspunktet det er nødvendig å kjøre generator på høyere effekt. Klimagassutfordringene med løsning 2 antas å være minimale, da det kun er snakk om en gasskonteiner. En slik konteiner kan til og med være noe som kan kjøpes brukt. Det er også andre klimaaspekter rundt denne løsningen. Ingvar Kvande har påpekt at det er en utfordring at motoren er mindre rentbrennende, jo lavere turtall. Med 20 kW produksjon vil man derfor slippe ut en større mengde udetonert metangass. Samtidig kan man anta at 50 kW produksjon vil føre til redusert mengde klimagassutslipp, sammenlignet med konstant 30 kW produksjon. I oppgaven er det ikke undersøkt videre hvordan turtallet påvirker utslippet, men ut fra disse opplysningene vil det med høy gassproduksjon være gunstig klimamessig. Med høy gassproduksjon menes gassmengde som gjør det mulig å ligge nærmest mulig 50 kW på generator.

I løsning 3 baserer man seg på ett nytt batteri. Batterier har klima og samfunnsetiske utfordringer rundt produksjonen, spesielt tilknyttet råvaren kobolt. Mesteparten av råvaren er utvunnet i Kongo, med dårlige arbeidsforhold og barnarbeid. Det vil kunne hjelpe på livsløpsanalysen hvis man gjenbraker elbilbatterier, eller baserer seg på batterier med resirkulerte materialer. Klimaavtrykket fra kjøpt strøm reduseres i liten grad med den energimengden batteriløsningen kan levere. Om klimagassutslippet senkes tilsvarende avtrykket batterier gir, er avhengig av hvordan den importere energien er generert. Løsning 4 bruker hydrogen, som kun slipper ut vann når det forbrennes i brenselcellen. Samtidig er dette en svært energikrevende løsning som gir lite utbytte. Trolig vil det være mer samfunns- og klimavennlig å selge overskuddsenergien fra CHP-anlegget, enn å etablere ett småskala hydrogenanlegg.

## 8.2 Sammenligning av fornybar drift ut ifra løsningene

Underkapitlene under de presenterte løsningene i kapittel 0 viser beregnede overskuddsmengder gjennom et helt døgn med ulike løsninger. Disse overskuddsmengdene viser hvor godt egnet den enkelte løsningen er til å forsyne kjøretøy på gården med energi. Om energien ikke blir brukt, vil den selges inn på kraftnettet til spotpris.

### **Energiforsyning fra egenprodusert strøm**

For å gjøre beregninger er energioverskuddet fra løsningene omregnet til liter diesel. Løsning 1, 3 og 4 har alle et overskudd som tilsvarer mindre enn 30 L diesel, som er det som kreves for en time energikrevende arbeid.

På løsning 2 er det gjort en liten forandring. I denne løsningen er det tatt utgangspunkt i kontinuerlig produksjon på 50 kW, og vil dermed utgjøre en betydelig energimengde. Kostnaden rundt denne produksjonen er uviss, da det kan være nødvendig å skaffe mere råstoff til produksjon. Et annet usikkerhetsmoment i produksjonen er hvordan fiskeslammet vil fungere. Hvis fiskeslammet fungerer svært godt, kan det være nok å supplere med mindre mengder av dette. Hvis ikke må man basere seg på å kjøre større volum av organisk materiale gjennom anlegget.

Anskaffelse av mer organisk materiale vil direkte føre til økt transport. Ved denne transporten er det viktig å se på både økonomien, men kanskje enda viktigere å se på klimautslippene. Biogassanlegg er subsidiert for å holde klimagassutslipp på et lavere nivå. Ved transport er det per dags dato mest vanlig å bruke dieseldrevet lastebil. Ved store avstander vil dette forurense mer enn ved korte. Hvis dette råstoffet er noe som kan anskaffes i umiddelbar nærhet, kan den økonomiske gevinsten med økt produksjon absolutt være til stede.

Tar man for seg 250 fullstendige oppladninger pr år med Volvo FE Electric, ville kostnaden for opplading av denne lastebilen utgjøre ca. 46 500 kr om strømmen skulle vært kjøpt. Prisen inkluderer strømprisen og energileddet i nettleia. Hvis kostnaden for anskaffelse av organisk materiale er større enn dette, er det mere lønnsomt å basere seg på lading fra nettet. Lading fra nettet gir dessuten en større fleksibilitet, da det er mulig ta ut høyere effekter.

Når det kommer til løsning 4 og hydrogenanlegget vil denne få ut energimengde lik 10,9 L diesel. Denne energien er i tilstand som rent hydrogen, og dermed vil utnyttelsesgraden av denne være større enn om det hadde vært diesel. Brenselceller har en virkningsgrad på om lag 60 %, mens dieselmotoren har ca. 40 %. I dette tilfelle er det snakk om 43,98 kWh eller 1,32 kg med hydrogen pr døgn. Denne energimengden i seg selv er ikke tilstrekkelig for bruk til tyngre kjøretøy. Det som derimot er mulig er å samle opp hydrogenet over lengre tid, før en tar det ut og fyller tankene på kjøretøy med dette. Dette krever stor lagringskapasitet, og er sannsynligvis ikke lønnsomt. Hydrogenet må lagres under høyt trykk og på lave temperaturer, noe som krever mye energi. Dermed er lønnsomheten diskutert.

Oppsummert har alle løsningene et overskudd fra ca. 50 kWh og oppover. Dermed vil alle de ulike løsningsmetodene ha nok overskuddsenergi til lading av mindre elektriske kjøretøy. Minilasteren som er nevnt i kapittel 3.2.1.2 har en batterikapasitet på ca. 14,5 kWh og er dermed svært aktuell. Det er også mulig å bruke all overskuddsenergi til å delvis lade tyngre kjøretøy. Supplerer man med 50 kWh pr døgn egenprodusert energi, kan man spare ca. 14 000 kr i året. Inkludert i den summen er strømprisen og energileddet i nettleien. Effektleddet vil også trolig bli påvirket, avhengig av når på

døgnet denne ladingen foregår. Det er diskutabelt hvor enkelt det er å utnytte all overskuddsenergi gjennom et helt døgn. I teorien er det hvert fall mulig om et kjøretøy er tilkoblet hele tiden.

### ***Energiforsyning fra kjøpt strøm***

Ved ingen eller lav energimengde tilgjengelig fra egen produksjon bør lading fra kraftnettet vurderes. Å kjøpe strømmen på riktig tidspunkt kan være en lønnsom måte å drifte kjøretøy på. ABB lanserte høsten 2021 en lader for elbiler med ladeeffekt opp mot 360 kW (ABB, 2021). Ved lading på så høye effekter kunne tilsynelatende hele maskinparken vært elektrisk. Utfordringen derimot er å ha denne effekten tilgjengelig. Ved å anta at biogassanlegget produserer nok til å forsyne gården, er det 63,7 kW som kan importeres til lading av kjøretøy. Denne effekten kan utvides om nødvendig, da ledningsevnen er 435 A. Muligheten rundt utvidelse av nettet står det om i kapittel 3.1.5. Uansett vil det være umulig å levere 360 kW, som er den effekten hurtigladeren fra ABB kan lade kjøretøyene med. Med så høye effekter bør laderen helst stå nært høyspentnettet. Derimot om det er aktuelt å hurtiglade kjøretøy på gården, vil det vært mulig å lade uten å påvirke effektledet i nettleien. Dette forutsetter at hurtiglader ikke blir benyttet i desember, januar og februar. Ved hurtiglading på gården, menes å en ladeeffekt tilsvarende det nettet kan levere til Hoemsnes gård.

Laderen fra ABB muliggjør mye raskere lading enn mange andre ladere. Ved en felles hurtiglader for store kjøretøy har flere brukere kunnet dele på kostnaden til infrastrukturen. Batterikapasiteten til en Volvo Fe Electric er oppgitt til 265 kWh. Lastebilen kan ta lading på 150 kW DC, men om denne i fremtiden hadde økt til 360 kW, ville vi kunne fått en ladetid på en slik lastebil til ca. 45 minutter. Forutsatt at det lader på samme effekt hele tiden, kunne dermed lastebilen vært ladet fra 0-100 % på utvidet matpause.

### ***Hvorfor omstille til elektrisk?***

Ved en del arbeidsoppgaver er det i dag nødvendig å starte traktoren for å gjøre jobber som kunne vært gjort av små elektriske kjøretøy. Klimabesparelsen vil være stor om en unngår mange kaldstarter av en stor dieselmotor gjennom vinteren. En elektrisk minilaster er et godt eksempel på hva som kan brukes til å kjøre inn rundballer.

### ***Oppsummering***

For å få til en omstilling til fornybar drift av kjøretøy forutsettes kjøretøy som kan fungere i praksis. Så langt er ikke elektriske traktorer hatt gjennombrudd i markedet. Det kan være flere faktorer til dette. Blant annet vil de store energimengdene kreve svært mye energi, og traktorer kan ha mange driftstimer i løpet av et døgn. Dermed blir batteripakkene svært tunge, og kjøretøyene egner seg dermed dårlig ute på jordene. Det kan være at mindre selvgående elektrisk drevne er fremtiden. En annen mulighet er traktorer drevet på biogass. Biogasstraktorer ansees som den beste løsninger per dags dato. Denne traktoren fungerer som en vanlig dieseldrevet traktor, men må fylles litt oftere. Utfordringen med disse handler i stor grad om forsyningen. Det kreves et dyrere anlegg, og et biogassanlegg på størrelse til Hoemsnes sitt er for lite. Betydningen av dette er de økonomiske faktorene, da gassen må gjennom en omfattende rensingsprosess. Oppgaven har ikke gjort noen videre drøftelser rundt biogass og biogasskjøretøy. Oppdragsgiver NORSØK har god kunnskap om biogass, og for elkraftstudenter vil det være helt på kanten av pensumet. Likevel har det vært spennende å sammenligne funksjonaliteten av kjøretøyene.



### 8.3 Fordeler og ulemper

I tabellen nedenfor er fordelene og ulempene knyttet til de ulike løsningene oppsummert.

Tabell 38: Fordeler og ulemper av løsningene

Løsning	Fordeler	Ulemper
<b>1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forbruk og produksjon av energi gjennom tiden samsvarer med hverandre.</li> <li>- Skånsom drift av generator og forbrenningsmotor.</li> <li>- Ingen ekstra økonomisk risiko.</li> <li>- Ingen ekstra investeringskostnader og vedlikeholdskostnader.</li> <li>- God NNV, nest best av alle løsningene.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mest kjøp av strøm fra nettet.</li> <li>- Største kostnader på effekttopp.</li> <li>- Selger mest strøm til nettet.</li> <li>- Ingen peak-shaving</li> <li>- Liten tilgjengelig energi til å lade elektriske kjøretøy</li> </ul>
<b>2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minst kjøpt strøm fra nettet.</li> <li>- Lavest effektledd</li> <li>- Lav investeringskostnader og vedlikeholdskostnader.</li> <li>- God NNV, best av alle løsningene.</li> <li>- Kan øke produksjon for å lade elektriske kjøretøy.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hard drift av generator og forbrenningsmotor.</li> <li>- Oftere service.</li> <li>- Treghet i variabel drift</li> </ul>
<b>3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- God reduksjon av kjøpt strøm fra nettet.</li> <li>- Lav investeringskostnader og vedlikeholdskostnader.</li> <li>- Beste NNV av alle løsningene.</li> <li>- God levetid på batterianlegget.</li> <li>- Kjent teknologi, gir god peak-shaving.</li> <li>- Har tilgjengelig energi til å lade elektriske kjøretøy.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Effekten batteriet leverer er liten.</li> <li>- Kostnaden samsvarer ikke til nytten.</li> <li>- Eksemplifisert omformer er for liten til å lade elektriske kjøretøy raskt.</li> </ul>
<b>4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Noe reduksjon av kjøpt strøm fra nettet.</li> <li>- Sesonglagring av energi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Store investeringskostnader og vedlikeholdskostnader.</li> <li>- Lav virkningsgrad.</li> <li>- Laveste levetiden.</li> <li>- Dårligst NNV av alle løsningene.</li> <li>- Treghet i variabel drift.</li> <li>- Lav kapasitet</li> <li>- For liten produksjonskapasitet til å brukes som drivstoff.</li> </ul>

#### 8.4 Spenningsfall i installasjonen

En utfordring oppdaget i analysene er lave og varierende spenninger. Utfordringene ser ut til å ha en sammenheng med de store lastene i storfefjøset. Dette er plausibelt når en ser de store variasjonene som er i effektuttak gjennom døgnet. Spenningsene anses som veldig lave, da dette er ved inntaket må det påregnes ytterligere spenningsfall på kurser som er høyt belastet. Betydningsfulle laster er spesielt fullforblanderen og foringsbandet. Det er vanskelig å vite eksakt hvorfor spenningen holder seg stabil i noen tilfeller, mens den synker ved andre. Det som er helt tydelig er at det har med effektuttaket i fjøset til Inge å gjøre. Effektuttaket til andre abonnemeter tilkoblet samme transformator som Hoemsnes vil også være med å påvirke spenningen.

Det kan også antas lavere spenninger helt inn på høyspentsiden som forplanter seg inn til lavspentsiden. Et annet aspekt kan være at målingene alltid er momentanmålinger. Hvis en har tatt mange flere målinger og tatt et gjennomsnitt så kunne muligens målingene vært annerledes. Det som er mest interessant å bemerke seg er at noen av de lave målingene ikke nødvendigvis er grunnet startstrømmer da det ofte er høyt effektuttak ved foregående målinger. Hadde det vært lave effekter like før disse lastuttakene, kunne det antas å bare være tregheter i systemet. Spenningsfallene i disse målingene viser tilbake til fordelingen det ville vært med et TN-system fra bacheloroppgaven Elektrifisering av landbruket (Rangul et al., 2020, s.58). Et 400 V TN-system ville gitt lavere strømmer, og dermed mindre tap i overføringsledningene.

## 9 Konklusjon

Hensikten med rapporten var å se på alternative løsninger som er med å bedre utnyttelsen av energi fra biogassanlegget på gården. Ut ifra dette er det sett på fire løsninger. Disse løsningene ble valgt ut fra problemstillingen:

*Hvilke løsninger kan være aktuelle for å øke utnyttelsesgraden av egen strømproduksjon hos gårdbruker Inge Hoemsnes? Ut fra kostnadsberegninger, hvilke løsninger er økonomisk gunstige? Hvilke løsninger er fordelaktig sett i samfunns- og klimaperspektiv? Egner noen tiltak seg til drift av kjøretøy med fornybare drivstoff?*

Ut fra de målingene, analysene og drøftingene som er gjennomført kan de ulike løsningene oppsummeres slik:

- Løsning 1: Denne vet vi med sikkerhet fungerer, og er en forholdsvis økonomisk gunstig løsning. Produksjonen går kontinuerlig på 30 kW, og utveksler effekt med det eksterne strømmettet. Dermed vil effekten flyte både inn og ut av installasjonene på Hoemsnes gård, avhengig av forbruk.
- Løsning 2: Dersom denne trer i kraft som ønsket er det denne som kommer best ut med tanke på kostnadsberegninger. Produksjonen går variabelt avhengig av forbruk, og utveksler i mindre grad effekt med strømmettet.
- Løsning 3: En løsning med batteri fungerer bra til å levere momentaneffekt. Omformeren i beregningene er trolig for liten, og dermed er kjøp fra strømmettet nødvendig for å dekke effekttoppene. Det finnes andre omformere på markedet som håndterer høyere effekt ut fra batteriet.
- Løsning 4: Hydrogenlagring er en kostbar løsning å lagre energi på. Det er mye tap knyttet til prosessen, og er dermed en uegnet løsning. Salget til strømmettet er med denne løsningen mye lavere enn for løsning 1, men mengden kjøpt energi er nesten like stor.

Utover disse punktene kan solcelleanlegg være aktuelt i tilknytning til løsning 2, 3 og 4. Likevel kan det konkluderes med at det på nåværende tidspunkt virker å være en dyr investering. Gården produserer allerede mesteparten av sitt energibehov.

Alle løsningene vil i større eller mindre grad kunne forsyne kjøretøy med energi. Ingen av løsningene anses for å være særlig fleksible til formålet, men løsning 2 er den som kan fungere best. Forutsetning for dette er at biogassanlegget klarer å produsere nok gass til drift på 50 kW gjennom hele natten. Likevel ser det ut til at denne løsningen kun gir rom for en fullstendig opplading av stort kjøretøy per døgn. De andre løsningene gir rom for å delvis å lade opp kjøretøy, og må suppleres med kjøpt energi. Ved eventuell drift fra hydrogen vil det ta svært lang tid å få stor nok energimengde til bruk på kjøretøy. Det vil også være utfordringer når det kommer til å lagre hydrogen over denne oppsamlingsperioden, da lagring er energikrevende.

I et samfunns- og klimaperspektiv er det knyttet usikkerheter rundt klimagassutslipp ved produksjon av hydrogenanlegget og batterier. Til batteriproduksjon er det etiske problemstillinger blant annet til koboltutvinningen i Kongo. Løsning 1 og 2 er de som krever minst innkjøp av utstyr og dermed antas disse å være klimagunstige. Formålet med biogassanlegg er å utnytte allerede eksisterende utslipp til å ta ut energi.

For å konkludere ser en ut fra beregninger at løsning 1 svarer best på problemstillingen knyttet til utnyttelse av egen strømproduksjon. Til tross for at NNV-beregningene sier at løsning 2 er best, konkluderes det med at den økonomiske risikoen og merarbeidet trolig ikke er verdt det. Løsningen gir også en akseptabel belastning på klima og miljø, samt at belastningen på kraftnettet er

akseptabel. Løsning 1 er lite fleksibel for bruk av egenprodusert energi til elektriske kjøretøy. Skulle slike kjøretøy bli aktuelle i fremtiden burde løsning 2 vurderes nærmere.

## 10 Feilkilder

Det er som nevnt gjort en tilnærming av forbruket fra biogassanlegget. Det er tatt i utgangspunkt på løsning 1 at det klarer å produsere energi kontinuerlig hele døgnet. Det er ikke vurdert om det er nok råstoff som husdyrgjødsel eller fiskeslam til produksjon av biogass. Er det ikke tilstrekkelig mengde husdyrgjødsel, vil det ikke være mulig å produsere nok biogass heller.

For å estimere effektbehovet på hele gårdsanlegget er det gjort beregninger med AMS-målingene fra 2021, og gjennomsnittseffektbehovet fra målinger på en dag. Denne beregningen på 16,4 kW kan være langt unna det virkelige effektbehovet.

Det er beregnet at løsning 4 med hydrogenanlegget, har samme funksjonalitet som løsning 3 med batteri. Det er usikkert om hydrogenanlegget fungerer like effektivt på peak-shaving. Det er også usikkerhet rundt hvordan hydrogenanlegget driftes. For å beregne levetiden på anlegget er det estimert at det driftes hele timer, det er mulig at det driftes annerledes enn slik det er beregnet. Derfor er det også usikkerhet rundt levetiden på anlegget.

Målingene med dataloggeren på de største lastene i storfefjøsset, har noe lang intervalltid mellom hver måling. Det er momentane målinger av effekt hvert 30. sekund. Effektforbruk mellom hver måling blir ikke målt. Dette gjør igjen at effektforbruket som er målt ikke er helt nøyaktig.

Gjennom rapporten er det sammenlignet AMS-måledata for flere dager for å kryssjekke opp imot de målingen vi har valgt, uten at de er nevnt i rapporten.

Det er få dager som det er tatt utgangspunkt i for å beregne effektbehov og effektforbruk. Både måledata fra dataloggeren, men også AMS-måledata. Dette er igjen noe som gjør grunnlaget for totalt effektforbruk og -behov noe tynt.

Driftstansdagene 7. og 8. desember blir brukt for å se energibehovet per døgn. Driftstans vil jo si at biogassanlegget hadde stoppet. Vi fikk opplyst av Hoemsnes at forbruket var likt, siden han har vedfyring til oppvarming. Hvis han likevel hadde noe elektrisk oppvarming disse dagene, vil dette påvirke resultatene våre.

## 11 Videre arbeid

Ut ifra feilkildene bør videre arbeid se på hvordan man kan øke nøyaktigheten på både forbruk og produksjon av energien på hele gården. Derfor er det naturlig å øke intervallet på momentanmålingene, og gjøre målinger over en lengre tidsperiode. Slik at det er bedre sammenligningsgrunnlag opp imot flere dager med AMS-måledata. Det hadde også vært interessant og målt direkte ut fra generator, for å se hvor mye energi den faktisk produserer.

Det er også viktig å se nærmere på løsningen som er presentert og alternative løsninger som er bedre. Det er også mange forskjellige alternativer og leverandører. Som funksjonaliteten til hydrogenanlegget og hvordan det faktisk fungerer. Også se på batterisystem som er bedre egnet eller som er under utvikling.

V2G er kjøretøy tilkoblet nettet, og kan brukes som batteribank. Hvis en anskaffer en elektrisk traktor som ikke brukes på vinterhalvåret, kan den stå som supplement i nettet. Dermed er det mulig å få ned effektleddet betraktelig. En mer nøye utredning om elektrisk drift opp imot diesel-drift og teknologiutvikling innen dette vil kunne være interessant å jobbe videre med.

## 12 Referanseliste

- ABB. (2021, 1. november). *ABB lanserer verdens raskeste elbil-lader*.  
<https://new.abb.com/news/no/detail/83082/abb-lanserer-verdens-raskeste-elbil-lader>
- Alabama Living Magazine. (2018, 4. juli). *Meet the electric John Deere*.  
<https://alabamaliving.coop/articles/meet-the-electric-john-deere/>
- Bellini, E. (2022, 5. april). *Modular electrolyzer for residential, commercial applications*. PV Magazine.  
<https://www.pv-magazine.com/2022/04/05/modular-electrolyzer-for-residential-commercial-applications/>
- Benjaminsen, C. (2019, 26.juli). *Dette må du vite om hydrogen*. Forskning.  
<https://forskning.no/energi-fornybar-energi-klima/dette-ma-du-vite-om-hydrogen/1359513>
- Birkeland, I., Fløtre, I., Skeie, O. & Bergland, L.A. (2020). *Batterier i distribusjonsnettet*. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).  
<https://publikasjoner.nve.no/diverse/2020/batterier.i.distribusjonsnettet.pdf>
- Birkelund, H. (2021, oktober). *LANGSIKTIG KRAFTMARKEDSANALYSE 2021 – 2040*. (ISBN: 978-82-410 2161-9. Saksnummer: 202115981). Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).  
[https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021\\_29.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021_29.pdf)
- BloombergNEF. (2021, 30. november). *Battery Pack Prices Fall to an Average of \$132/kWh, But Rising Commodity Prices Start to Bite*. <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-to-an-average-of-132-kwh-but-rising-commodity-prices-start-to-bite/>
- Blue Fuel Solutions. (u.å.). *H<sub>2</sub> Dual Power*. Hentet 31. mars 2022 fra <https://h2dualpower.com/en>
- Cole-Parmer. (u.å.). *Fluke-33 true-rms AC clamp meter*. <https://www.coleparmer.com/i/fluke-33-true-rms-ac-clamp-meter/2603300>
- Dsisolar. (2019, 19. juli). *Hvordan finne ut riktig vinkel for solcellepaneler i solcelle PV-system*. <https://no.dsisolar.com/info/how-to-figure-the-correct-angle-for-solar-pane-37643825.html>
- Elfadistrelec. (2022, 18. mai). *34972A - Datalogger, LAN/USB, 50000 målinger, Keysight*.  
<https://www.elfadistrelec.no/no/datalogger-lan-usb-50000-malinger-keysight-34972a/p/17671110>
- Elinett. (u.å.). *Nettleie – Bedrift*. Hentet 28. april 2022. <https://www.elinett.no/kunde/nettleie-2/nettleie-bedrift>
- Energi Norge. (u.å.). *Elavgiften*. <https://www.energinorge.no/elavgiften/>
- Enova. (2021, 16. februar). *Tunge elektriske kjøretøy*.  
<https://www.enova.no/bedrift/landtransport/tunge-elektriske-kjoretoy/>
- Enova. (u.å.(a)). *Om Enova*. <https://www.enova.no/om-enova/>
- Enova. (u.å.(b)). *Fullskala innovativ energi- og klimateknologi*  
<https://www.enova.no/bedrift/innovasjon-og-teknologi/fullskala-innovativ-energi-og-klimateknologi/>
- EOX. (u.å.). *EOX 175 INFRA*. EOX. Hentet 31. mars 2022 fra <https://www.e-ox.nl/eox-infra>

- Felleskjøpet. (2016). *Elektrisk Avant*.  
[https://bilder.felleskjopet.no/medias/sys\\_master/DefaultCelumAssetsFolder/celum\\_assets/h2f/h06/9185628487710/Avant-e-Serie-32059.pdf](https://bilder.felleskjopet.no/medias/sys_master/DefaultCelumAssetsFolder/celum_assets/h2f/h06/9185628487710/Avant-e-Serie-32059.pdf)
- Fluke. ((u.å.)a). *i1000s AC-strømprøbe*. <https://www.fluke.com/no-no/produkt/tilbehor/prober/fluke-i1000s>
- Fluke. ((u.å.)b). *i200s AC strømtang*. <https://www.fluke.com/no-no/produkt/tilbehor/stromtenger/fluke-i200s-ac-current-clamp>
- Garvik, Olav. (2020, 3. juni). *Innovasjon Norge*. Store norske leksikon.  
[https://snl.no/Innovasjon\\_Norge](https://snl.no/Innovasjon_Norge)
- Greiner, C. J. (2004). *A Norwegian case study on the production of hydrogen from wind power*. Mathematics and electrical engineering.
- Grønmo, S. (2020, 3. november). *Kvalitativ metode*. Store Norske Leksikon.  
[https://snl.no/kvalitativ\\_metode](https://snl.no/kvalitativ_metode)
- Grønmo, S. (2021, 7. november). *Kvantitativ metode*. Store Norske Leksikon.  
[https://snl.no/kvantitativ\\_metode](https://snl.no/kvantitativ_metode)
- Gunvaldsen, I., Rosvold, K.A. & Mathiesen, S. (2021, 31. desember). *batteri*. Store norske leksikon.  
<https://snl.no/batteri>
- H2Trac. (u.å.) *The greatest tool in agriculture, now electric*. [Brosjyre]
- Håkon F. (2021, 13. august). *Elektrisk anleggssbil levert til Agder Massetransport AS*. Tungt.  
[https://www.tungt.no/article/view/803415/elektrisk\\_anleggssbil\\_levert\\_til\\_agder\\_massetransport\\_as](https://www.tungt.no/article/view/803415/elektrisk_anleggssbil_levert_til_agder_massetransport_as)
- Innovasjon Norge. (2022, 6. april). *Fornybar energi i landbruket*. Innovasjon Norge.  
<https://www.innovasjonnorge.no/no/tjenester/landbruk/finansiering-for-landbruket/fornybar-energi-i-landbruket/>
- Innovasjon Norge. (u.å.(a)). *REGIONKONTOR. Møre og Romsdal*, Innovasjon Norge. Hentet 19. mars 2022 fra <https://www.innovasjonnorge.no/no/om/kontorer-i-Norge/more-og-romsdal/>
- Innovasjon Norge. (u.å.(b)). *Finansiering*. Innovasjon Norge. Hentet 19. mars 2022 fra <https://www.innovasjonnorge.no/no/tjenester/finansiering2/>
- Innovasjon Norge. (u.å.(c)). *Landbruk*. Innovasjon Norge. Hentet 19. mars 2022 fra <https://www.innovasjonnorge.no/no/tjenester/landbruk/>
- Istadkraft. (u.å.) *Det skal være enkelt å velge oss*. <https://www.istadkraft.no/bestill-strom>
- Klaus Ostermeier GmbH. (2020). *Hydrogen Solutions for Homes, Fueling Stations and Laboratories*. [Brosjyre]. <https://ohs.energy/wp-content/uploads/2020/12/Brochure-OHS.pdf>
- Kofstad, P.K. & Pedersen, B. (2022, 27. januar). *Hydrogen*. Store Norske Leksikon.  
<https://snl.no/hydrogen>
- Kwacz, C. (2020, 05. oktober). *Hydrogen Tractor from New Holland presented in Netherlands!*. Meet hydrogen. <https://meethydrogen.com/resource/hydrogen-tractor-from-new-holland-presented-in-netherlands>

- Los. (u.å.). *Historiske strømpriser*. Hentet 13.05.2022.  
<https://www.los.no/dagens-strompris/historiske-strompriser/>
- Meld. St. 39 (2008-2009). *Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen*. Landbruks- og matdepartementet.  
<https://www.regjeringen.no/contentassets/1e463879f8fd48ca8acc2e6b4bceac52/no/pdfs/stm200820090039000dddpdfs.pdf>
- Miljødirektoratet. (2021a, 5. oktober). *Utrede potensialet for å produsere biogass*. Hentet 24. februar 2022 fra <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klimatek/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klimatek-og-energitiltak/fornybar-energi/utrede-potensialet-for-biogass/hva-er-biogass/>
- Miljødirektoratet. (2021b, 6. mai). *Biodrivstoff, begrepsforklaring*. Hentet 24. februar 2022 fra <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klimatek/fornybar-energi/biodrivstoff/>
- New Holland Brand Communications. (2021). *T6 Methane Power. Powered by Nature*. [Brosjyre] <https://assets.cnhindustrial.com/nhag/eu/en-uk/assets/pdf/agricultural-tractors/t6-methane-power-brochure-uk-en.pdf>
- NIBIO. (2017, 23. oktober). *Biorest*. Hentet 24. februar 2022 fra <https://nibio.no/tema/jord/organisk-avfall-som-gjodsel/biorest>
- Nils H. Eldrup, Jon Hovland, Michel Iver Tveitan Mælum. (2022, 4. februar) *Kostnadsanalyse av komprimering og transport av rå biogass* (Prosjektnr:102024063/Rapportnr:2021:01089 V-2). SINTEF.
- Norsirk. (u.å.). *Koboltens skyggesider – og mulige løsninger*  
<https://norsirk.no/blog/2019/03/01/koboltens-skyggesider-og-mulige-losninger/>
- Norsk solenergiforening. (u.å.). *Solceller*. Solenergi. Hentet 25. februar 2022 fra <https://www.solenergi.no/solstrm>
- NVE. (2021, 02. desember). *AMS*. Hentet 25. april 2022 fra <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/kunde/nett/ams/>
- Ostermeier H2hydrogen Solutions. (2022, mars). *H2-Battery DIE LÖSUNG FÜR MEHRFAMILIENHÄUSER*. [Brosjyre].
- Pixii. (2019a). *How does it work?*. Hentet 01. april 2022 fra <https://www.pixii.com/this-is-how-the-technology-works/>
- Pixii. (2019b). *PowerShaper 30 kW / 65 kWh*. [Brosjyre]. Hentet 01. mars 2022  
[http://www.pixii.com/wp-content/uploads/2019/04/2019-09-24\\_pixii-sheet\\_power-shaper.pdf](http://www.pixii.com/wp-content/uploads/2019/04/2019-09-24_pixii-sheet_power-shaper.pdf)
- Rangul, Sandvik, Wagner & Willoch. (2020, mai). *Elektrifisering av landbruket – Drift av gård med fornybar energi*. [Bacheloroppgave]. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Rosvold, K.A. (2020a, 14. oktober). *Biogass*. Store norske leksikon. Hentet 24. februar 2022 fra <https://snl.no/biogass>
- Rosvold, K.A. (2020b, 28. april). *Solceller*. Store norske leksikon. Hentet 25. februar 2022 fra <https://snl.no/solceller>



- Rosvold, K.A. (2021, 8. januar). *hydrogenlagring*. Store Norske Leksikon. <https://snl.no/hydrogenlagring>
- Sintef. (2021, 4. november). *Energilagring, systemintegrering og ladeinfrastruktur*. <https://www.sintef.no/fagomrader/batterier/energilagring-systemintegrering-og-ladeinfrastruktur/>
- Skatteetaten. (u.å.). *Slik fungerer mva*. <https://www.skatteetaten.no/bedrift-og-organisasjon/avgifter/mva/slik-fungerer-mva/>
- Solkart. (u.å.). *Velg solcelleanlegg*. Hentet 26. april 2022. <https://solkart.no/>
- Stavseth, M.R. (2020, 25. mai). *Sensitivitetsanalyser – hvor robust er resultatet?* Tidsskriftet. <https://tidsskriftet.no/2020/04/medisin-og-tall/sensitivitetsanalyser-hvor-robust-er-resultatet>
- Strømberg, C.C. (u.å.). Solkart.no. Norkart AS, Solcellespesialisten, Sivilingeniør Carl Christian Strømberg AS 2016. Hentet 28. mars 2022 fra <https://solkart.no/>
- Testequity. (u.å.). *Tektronix P5200A High-Voltage Differential Probe, 50 MHz, 1000V*. <https://www.testequity.com/product/10868-5-P5200A>
- The writing center. (u.å.). *Literature Reviews*. Hentet 25. april 2022 fra <https://writingcenter.unc.edu/tips-and-tools/literature-reviews/>
- Truls, T. (2006, 7. november). *Bedre og billigere med dieselmotor*. Teknisk Ukeblad. <https://www.tu.no/artikler/bedre-og-billigere-med-dieselmotor/259356>
- Vale, S. (2020, 5. oktober). *Hybrid New Holland tractor on sale in the Netherlands*. Profi. <https://www.profi.co.uk/news/hybrid-new-holland-tractor-sale-netherlands>
- Valmot, O.R. (2021, 9. januar). *Selv med batteriframskritt: Vi kommer ikke utenom hydrogen*. Teknisk Ukeblad. <https://www.tu.no/artikler/selv-med-batteriframskritt-vi-kommer-ikke-utenom-hydrogen/504859>
- Volvo Lastebiler Norge. (u.å.). *Volvo FE Electric. Kompakt, men romslig*. Volvotrucks.no. Hentet 28. mars 2022 fra <https://www.volvotrucks.no/no-no/trucks/trucks/volvo-fe/volvo-fe-electric.html>

## 13 Vedlegg

# Optimal utnyttelse av egenprodusert energi

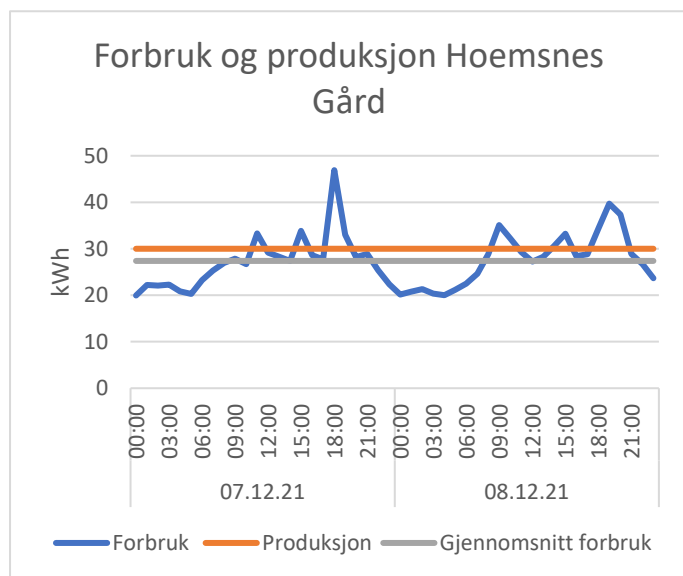
Inge Hoemsnes installerte i 2018 et mikrobiogassanlegg på gården sin i Hustadvika, i Møre og Romsdal. Nå utvider han anlegget og blir tilnærmet selvforsynt med elektrisk energi. En gruppe studenter fra NTNU har i samarbeid med NORSØK sett på hvordan energiproduksjonen kan optimaliseres.

Hoemsnes har selv gjødsel fra 180 storfe og 700 gris. I tillegg skal det hentes storfegjødsel fra nabogården og fiskeslam fra et lokalt fiskeforedleri. Samlet er målet at biogassanlegget produserer nok gass til å generere 30 kWh døgnet rundt. Gårdsdriften har et gjennomsnittlig forbruk på 27 kWh, og Hoemsnes er i utgangspunktet selvforsynt

tre forskjellige energilagringssystemer for å utnytte den produserte energien optimalt. En løsning er å variere energiproduksjonen. De andre holder konstant energiproduksjon, men lagrer overskuddsenergien i batterier eller i hydrogen.



Bilde 1: Dronefoto gårdsbruket (Staume, 2020).



med energi.

**Effekttoppene** på gårdsdriften er målt til 80 kW, og i perioder må det kjøpes 50 kW fra kraftnettet. Med konstant 30 kW vil det genereres 720 kWh, mens behovet bare er 675 kWh. Studentgruppen har derfor sett på

**Variabel motordrift** gjør at genereringen av effekt kan reguleres i forhold til forbruket. Dette gjøres med kommunikasjonsutstyr, mellom forbruk og produksjon. Dermed kan man spare gass i perioder med lavt forbruk, og generere ekstra mye for å dekke effekttopper. Det vil kreves investering i en ekstra gasstank og styringssystemer, og gruppen har estimert kostnadene til 125 000 kroner. Generatoren kan produsere opptil 50 kW, det vil derfor fortsatt være et behov for å importere effekt. Likevel viser beregninger at kjøpt energi reduseres med ¾. Effektleddet synker også med hele 82 % ved variabel motordrift.

### Begreper:

**Energi** er effekt multiplisert med tid.  
30kW i 1 time er 30 kWh.  
Måles i wattimer (Wh).

**Effekt** er avgitt eller mottatt energi i løpet av en gitt tid. Måles i watt (W).

**Strøm** er den elektriske ladningen som passer i en leder per sekund. Måles i amper (A).

Effektforbruket vil variere kontinuerlig, og anlegget vil måtte testes og tilpasses for å klare å respondere hurtig nok til å levere effekt når den trengs. Tvangskjøring av biogassanlegget brukes i dag ved energikrevende arbeid. Med automatisert tvangskjøring kan man legge opp til at motoren øker turtallet før den energikrevende jobben igangsettes.

**Batterier** kan levere effekt umiddelbart. De har blitt et populært hjelpemiddel innenfor kortvarig lagring av energi ifra fornybare energikilder som vind og solceller. For å holde kostnadene nede, er det i rapporten sett på en relativt liten batteripakke. For 164 000 kroner kan man installere en batterimodul med 40 kWh kapasitet og som kan levere 12 kW. Systemene kan dermed til sammen dekke effektbehov inntil 42 kW, og resten må kjøpes fra kraftnettet. Kalkuleringer viser at en slik batteripakke fører til at kjøpt energi kan halveres, og effektleddet synker med 78 %.

**Hydrogen** er en svært god energibærer, med 3 ganger så mye energi som diesel. Det er gjort beregninger for å lagre overskuddsenergi i hydrogen, som igjen hentes ut som elektrisitet ved behov. Hydrogenanlegg er svært kostbart, og bransjen selv er ikke optimister for mikrohydrogenanlegg. Det er gjort beregninger med et anlegg som koster 10 ganger så mye som batteripakken. Sammenlignet med slik anlegget er planlagt driftet, reduseres energibehovet kun med 14 %. Effektleddet halveres, men det er ukjent om et H<sub>2</sub>-anlegg har funksjonaliteten til å levere effekt like hurtig som et batteri. Nytteverdien tilsvarer derfor ikke funksjonaliteten.

**Lønnsomhetsberegningen** viser at utvidelsen av anlegget vil være tilnærmet optimal. Ingen av løsningene klarer å lagre all overskuddsenergi, ei heller dekke hele effektbehovet. Derfor vil gårdsanlegget måtte selge og kjøpe energi. Strøm selges til spotpris, men den kjøpes tilbake med avgifter og nettleie. Derfor er det lønnsomt å kjøpe så lite

#### **Fakta:**

**Biogassanlegg:** Et biogassanlegg består av en reaktor, et gasslager og en forbrenningsmotor tilkoblet en generator. Forbrenningsmotoren bruker biogass som drivstoff.

**Biogass:** Biogass er en gassblanding som hovedsakelig består av metan og karbondioksid. Gassblandingen dannes når organisk materiale som matavfall eller husdyrgjødsel brytes ned av mikroorganismer i et oksygenfritt miljø.

som mulig, men man mister også inntekt med energilagrene. Variabel drift vil gi en bedre nettonåverdi over tid. Likevel er differansen så liten at det er usikkert om den økonomiske risikoen og merarbeidet er verdt det. Det forventes at slitasjen på forbrenningsmotoren øker ved variabel drift.

#### **Klima og samfunn**

**Klima og samfunn** er også viktige faktorer for løsningene. Variabel motordrift baseres på å utnytte eksisterende utstyr. Slik unngås store investeringer og miljøutslipp. En utfordring med lavt turtall på motoren er at andelen udetonert metangass øker. Dermed øker klimagassutslippene. Det er ikke kjent om motoren slipper ut mindre metan ved fullt turtall for 50 kW produksjon, enn ved middels turtall for 30 kW produksjon. For batteri og hydrogenløsningen genereres 30 kW konstant. Disse løsningene har likevel sine klima-utfordringer. Batteri inneholder flere kritisk manglene råstoff, deriblant kobolt. Amnesty-rapporten «This is what we die for» beskriver uetiske arbeidsforhold for gruvearbeiderne som utvinner kobolt.

#### **Fornybardrift av kjøretøy**

**Fornybardrift av kjøretøy** vil være med å redusere landbrukssektorens klimaavtrykk. Studentgruppa har derfor sett på løsningenes

funksjonalitet for å lade elektriske kjøretøy, samt produsere hydrogen for bruk til drivstoff.

**Uten energilager** er man avhengig av at kjøretøyet er tilkoblet laderen når det finnes overskuddsenergi. Det er mest tilgjengelig overskudd på natta, så da har man mulighet til å lade kjøretøy mens man sover.

**Variabel drift eller batteri** er bedre egnet til å lagre energi til når den trengs for lading av kjøretøy. Siden man kan gi ut mer effekt enn bare generatoren, kan løsningene teoretisk korte ned ladetiden. Det kan være aktuelt å vurdere en større omformer til batteriet, som kan levere mer enn 12 kW. Tilgjengelig overskuddsenergi igjennom døgnet er nok til et halvladet kjøretøy, så man er avhengig av å importere resten av strømmen.

**New Holland T5.140 Auto Command H2 Dual Power** er en diesel-hydrogen hybrid traktor. Den erstatter inntil 65% diesel med hydrogen i

forbrenningsmotoren. Traktoren er kundesolgt i Nederland, men det er lite aktuelt å investere i denne type kjøretøy hos Hoemsnes. Beregninger viser nemlig at H<sub>2</sub>-anlegget vil bruke 4 dager for å ha hydrogen til å driftes i én time.



Bilde 4: New Holland T5.140 Auto Command H2 Dual Power (Vale,2020). Hydrogentankene ligger plassert på taket av traktoren.

Kilder:

- Miljødirektoratet. (2021, 5. november). *Utrede potensialet for å produsere biogass*.  
<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energitiltak/fornybar-energi/utrede-potensialet-for-biogass/hva-er-biogass/>
- Rosvold, K.A. (2017, 10. november). *elektrisk energi*. Store norske leksikon.  
[https://snl.no/elektrisk\\_energi](https://snl.no/elektrisk_energi)
- Sintef. (2021, 4. oktober). *Energilagring, systemintegrering og ladeinfrastruktur*.  
<https://www.sintef.no/fagomrader/batterier/energilagring-systemintegrering-og-ladeinfrastruktur/>
- Skaar, J. (2021, 12. oktober). *elektrisk effekt*. Store norsk leksikon.  
[https://snl.no/elektrisk\\_effekt](https://snl.no/elektrisk_effekt)
- Skaar, J. (2021, 24. august). *elektrisk strøm*. Store norske leksikon.  
[https://snl.no/elektrisk\\_str%C3%B8m](https://snl.no/elektrisk_str%C3%B8m)
- Straume. Å.M. (2020, 1. desember) *Et bærekraftig og selvforsynt landbruk*. Sparebank1.  
<https://www.sparebank1.no/nb/smn/om-oss/nyheter/veien-mot-et-barekraftig-og-selvforsynt-landbruk.html>
- Vale, S. (2020, 5. oktober). *Hybrid New Holland tractor on sale in the Netherlands*. Profi.  
<https://www.profi.co.uk/news/hybrid-new-holland-tractor-sale-netherlands>
- Valmot, O.R. (2021, 9. januar) *Selv med batteriframskritt: Vi kommer ikke utenom hydrogen*.  
<https://www.tu.no/artikler/selv-med-batteriframskritt-vi-kommer-ikke-utenom-hydrogen/504859>

