



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Mikronett basert elektrifisering av
avsidesliggende samfunn på øyer i Norge

Microgrid-based electrification of remote
communities on Norwegian islands

Mikael Bøe Nilssen (kandidatnr. 320)

Tim Maarten Riesen (kandidatnr. 305)

Total antall sider inkludert forside: 91

Bachelor i Fornybar energi

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap (FIN)

Veileder August Wierling

03.06.2020

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle

kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10.

Forord

Denne bacheloroppgaver er skrevet våren 2020 på bachelorstudiet fornybar energi ved HVL. Vi valgte denne oppgaven for å finne ut om mikronett for avsidesliggende samfunn er et godt alternativ. Oppgaven har gått ut på å få en oversikt over oppbygningen av nettet i Norge. Samtidig å utarbeide en oversikt over drivere, produksjons- og lagringsmuligheter for mikronett i verden og i hovedsak for Norge. Ved å se på avsidesliggende samfunn i Norge har det blitt planlagt et mikronett for øyen Givær utenfor Bodø. Oppgaven har gitt oss innsikt i utbredelsen av mikronett i Norge og verden og deres potensiale for avsidesliggende områder.

Vi vil takke veileder August Wierling som har vært til god hjelp og veiledning til oppgaven.

Vi vil også takke Terje Sagvik og Tarjei Solvang fra Nordlandsnett, og Olaug Olson som er ansvarlig for aggregatene på Givær for godt samarbeid og deling av informasjon og data.

Under startfasen av bacheloroppgaven var det planlagt å bruke programmet Matlab & Simulink med modellerings-tillegget Simscape til simulering og modellering av mikronettet på Givær. Grunnet Covid-19 viruset ble samarbeid med veileder, hverandre og andre ressurser mer tidkrevende og generelt svekket. Dermed ble det benyttet Microsoft Excel som resulterte i en mer simplifisert simuleringen enn planlagt.

Juni 2020

Abstract

The electrification of remote areas can be resource intensive and require a lot of planning. During the planning process, several alternatives for electrification or renovation emerges. This bachelor thesis involves solutions and drivers for microgrids in Norway and the world, and simulating solutions for a microgrid on the island of Givær in Nordland.

In Norway, renewable microgrids are largely relevant in remote areas that are dependent on diesel generators or are considering laying/upgrading sea cables. This is largely due to the fact that electricity production in Norway comes almost exclusively from renewable energy. In other parts of the world, fossil fuels still account for large parts of the electricity production. In such countries, the establishment of renewable microgrids for both remote and urban areas is more relevant.

There are several drivers for establishing microgrids that differentiate between economic, security, geographical, personal, and environmentally friendly. Where economic drivers are seen as a big reason for the establishment of microgrids.

Electricity demand is expected to increase in the future, making grid operation more difficult. Prosumers and microgrids may be helpful as they can supplement electricity and smooth out the fluctuation in larger grids. Moving loads to when there is a lot of energy available will also help tremendously, which is also the key to balancing a microgrid.

Some microgrids have been established in Norway, where these have largely been initiated as a research project, such as Utsira, Byneset and Skagerak arena. Microgrids in Norway are dominated by wind- and solar power with hydrogen or battery as storage technology. As seen from examples from other parts of the world, various types of production and storage technologies are used in microgrids.

The island of Givær, outside Bodø, has to date installed two diesel generators that produce electricity. The annual consumption of diesel is about 74 000 liters, which is an annual cost of 824 000 NOK. Providing the island through sea cable would be cost of 9.4 million NOK, including the laying- and safety work. With a lifespan of 50 years, the cost is 188 000 NOK/year. As both alternatives are resource-intensive, the possibility of establishing a renewable microgrid on Givær is explored.

In 2017, Givær had an annual consumption of approximately 228 000 kWh and has good wind resources throughout the year as well as solar in summer. Data with hourly values for wind

speed and solar radiation from an entire year were collected. These were used to both design a microgrid using an algorithm with average daily hourly-values for seasonal fluctuations, and to simulate the energy supply for an entire year. The algorithm calculated that the island needs three 50 kW wind turbines, 68 solar panels and around 55 kWh of battery capacity to cover the entire year's consumption. By simulating hourly values for an entire year, it became apparent that there is often not sufficient energy supply available from the energy sources, for instance that the sun does not shine or there is lack of wind. Energy storage became an expensive alternative, and since the simulated power supply was intended to cover the actual consumption without moving loads, the choice was to use one of the existing diesel generators at times when renewable sources was insufficient.

The simulation was then viewed from an economic perspective, and the cheapest solution was to use three 50 kW wind turbines, 146 solar panel, one 50 kW diesel generator and 28 kWh battery capacity. This totaled an annual cost of 468 800 NOK. Of the 3 energy-supply options on Givær, laying sea cables from land is the most economical and also very environmentally friendly, with 98% of the energy supply in Norway being renewable energy.

Sammendrag

Elektrifiseringen av avsidesliggende områder kan være ressurskrevende og kreve mye planlegging. Under en slik planleggingsprosess dukker det opp flere alternativer for elektrifiseringen eller opprustningen. Denne bacheloroppgaven går ut på å se på løsninger og drivere for mikronett i Norge og verden for å så simulere en løsninger for et mikronett på øyen Givær i Nordland.

I Norge er fornybare mikronett stort sett aktuelle i avsidesliggende områder som er avhengige av dieselaggregat eller vurderer utlegging/opprusting av sjøkabler. Dette kommer i stor grad av at elektrisitetsproduksjonen i Norge nærmest kun kommer fra fornybar energi. I andre deler av verden står fossile brensler fortsatt for store deler av elektrisitetsproduksjonen. I slike land er etableringen av fornybare mikronett for både avsidesliggende og urbane områder mer aktuelle.

Det finnes flere drivere for etablering av mikronett som skiller mellom økonomiske, sikkerhet, geografisk, personlige og miljøvennlige. Der økonomiske drivere ses på som en stor begrunnelse for etablering av mikronett.

Elektrisitetsforbruket er antatt å øke i fremtiden noe som gjør nettdrift vanskeligere. Plusskunder og mikronett kan delvis være behjelpelig ettersom disse kan supplementere elektrisitet og jevne ut fluktureringen i større nett. Forflytning av flyttbare og fleksible laster til tidspunkt med mye energi tilgjengelig vil også hjelpe enormt, noe som også er nøkkelen for å energibalansere et mikronett.

Det er etablert noen mikronett i Norge, der disse stort sett er igangsatt som forskningsprosjekt, som Utsira, Byneset og Skagerak arena. Mikronett i Norge er dominert av vind- og solkraft med hydrogen eller batteri som lagringsteknologi. Som sett på eksempler fra andre deler av verden benyttes det også andre typer produksjons- og lagringsteknologier i mikronett.

Øyen Givær, utenfor Bodø, har per dags dato to dieselaggregat installert som produserer elektrisitet. Årlig forbruk av diesel er på om lag 74 000 liter som en årlig kostnad som tilsvarer 824 000 NOK. Å forsyne øyen via sjøkabel ville ut ifra erfaringstall kostet 9,4 millioner NOK inkludert utleggings- og sikringsarbeid. Med en levetid på 50 år ligger kostnadene på 188 000 NOK/år. Da begge alternativene er ressurskrevende, utforskes muligheten for etableringen av en fornybart mikronett på Givær.

I 2017 hadde Givær et årlig forbruk på omtrent 228 000 kWh og har gode vindressurser hele året samt sol om sommeren. Det ble hentet inn data med timeverdier for vindhastighet og

solinnstråling fra et helt år. Disse ble brukt for å både dimensjonere et mikronett ved hjelp av en algoritme med gjennomsnittlige daglige timeverdier for sesong fluktueringer, og for å simulere energiforsyningen for et helt år. Algoritmen beregnet at øyen har behov for tre 50 kW vindturbiner, 68 solcellepanel og rundt 55 kWh batterikapasitet for å dekke hele årets forbruk. Ved å simulere timeverdier for et helt år ble det synlig at det ofte ikke er nok energiforsyning tilgjengelig fra energikildene, gjerne at solen ikke skinner eller det er for lite vind. Energilagring ble et dyrt alternativ, og ettersom den simulerte strømforsyningen skulle dekke det reelle forbruket uten flytting av laster, ble valget å bruke et av de eksisterende aggregatene til forsyning når fornybare kilder ikke er tilstrekkelig.

Simuleringen ble så sett på fra et økonomisk perspektiv, og den billigste løsningen ble å anvende tre 50 kW vindturbiner, 146 solcellepanel, et 50 kW dieselaggregat og 28 kWh batterikapasitet. Totalt ble dette en årlig kostnad på 468 800 NOK. Av de 3 alternativene for energiforsyning av Givær er å legge sjøkabler fra land det mest økonomiske og også svært miljøvennlig med at 98 % av energiforsyningen i Norge er fornybar energi.

Innholdsliste

Figurliste	11
Tabelliste	12
1. Innledning	15
1.1 Problemstilling	16
2. Metode	16
3. Oppbygging av kraftsystemet i Norge	17
3.1 Elektrifisering av Norge	17
3.2 Fornybar energiproduksjon og kraftbørsen	17
3.3 Overføringsnettet og leveringskvalitet	19
3.4 Kraftleverandør og leveringsplikt	20
3.5 Smarte nett og AMS	21
3.6 Flyttbart forbruk	22
3.7 Fremtidens kraftbalanse	23
4. Hva er et mikronett	24
4.1 Typer mikronett	24
4.1.1 Mikronett tilkoblet overføringsnettet	24
4.1.2 Mikronett uten tilkobling til overføringsnettet	25
4.1.2 Virtuelle mikronett	25
4.2 Drivere for mikronett	26
4.2.1 Økonomisk	26
4.2.2 Sikkerhet	27
4.2.3 Geografisk	27
4.2.4 Personlig	27
4.2.5 Miljøvennlig	28
5. Oppbygging av mikronett	28
5.2 Brukstid, kapasitetsfaktor og effektivitet	28

5.3 Energikilder og produksjonsteknologier	29
5.3.1 Dieselaggregat	30
5.3.2 Gassturbin	31
5.3.3 Vannkraft	31
5.3.4 Vindkraft	33
5.3.5 Solenergi	36
5.3.6 Bølgekraft	38
5.3.7 Tidevannskraft	39
5.3.8 Bioenergi	40
5.3.9 Geotermisk energi	41
5.4 Lagring av elektrisitet	41
5.4.1 Batterier	42
5.4.2 Superkondensator	43
5.4.3 Hydrogen	43
5.4.4 Svinghjul	44
5.4.5 Vannmagasiner	45
5.4.6 Trykkluft	45
5.5 Drift av mikronett	45
5.5.1 Overvåkingssystem	45
5.5.2 Veksel og likestrøm	45
5.5.3 Transformator og DC/DC konverter	46
5.5.4 Veksel- og likeretter	46
5.5.5 AC-, DC- og hybrid mikronett	46
5.5.5.1 AC-mikronett	46
5.5.5.2 DC-mikronett	47
5.5.5.3 Hybrid	47
5.5 Utfordringer knyttet til etablering og drift av mikronett	48

6. Eksisterende mikronett	49
6.1 Mikronett i verden	49
6.1.1 Isle of Eigg, Skottland	50
6.1.2 El Hierro, kanariøyene, Spania	50
6.1.3 Marble Bar og Nullagine, Australia	51
6.2 Mikronett i Norge	51
6.2.1 Utsira	51
6.2.2 Byneset	52
6.2.3 Skagerak arena	52
7. Dimensjonering og simulering av et mikronett på Givær	53
7.1 Bakgrunnsinformasjon	53
7.1.1 Målsetting	53
7.1.2 Valg av data	53
7.1.3 Tidligere studie	53
7.2 Kort om Givær	54
7.3 Strømforbruket på øyen	55
7.3.1 Eksisterende installasjoner	55
7.3.2 Forbruksdata og last analyse	55
7.3.3 Kostnader for eksisterende strømforsyning	59
7.3.2 Framtidig forbruk	59
7.4 Ressursanalyse	59
7.4.1 Dieselaggregat	59
7.4.2 Gassturbin	59
7.4.4 Vannkraft	60
7.4.5 Vindkraft	60
7.4.6 Solenergi	60
7.4.7 Bølgekraft	60

7.4.8 Tidevann	60
7.4.9 Bioenergi	61
7.4.10 Geotermisk	61
7.4.11 Energilagring	61
7.5 Valg av komponenter	61
7.5.1 Vindturbin	61
7.5.2 Solceller	62
7.5.3 Batteri	63
7.6 Formler og kalkulasjoner til bakgrunn for dimensjonering og simulering	64
7.6.1 Energi fra vind	64
7.6.2 Energi fra solinnstråling	66
7.7 Dimensjonering av energiforsyningen	66
7.7.1 Formler for algoritmen	67
7.7.2 Inngangsdata i algoritmen	69
7.7.3 Resultater fra algoritmen	69
7.8 Simulering	71
7.8.1 Tekniske aspekter	71
7.8.2 Resultater fra simuleringen	71
7.8.3 Kostnadsanalyse fra simulering	72
7.9 Kostnadsanalyse for strømforsyning av Givær	73
8. Konklusjon	75
10. Kildeliste	76

Figurliste

Figur 1: Gjennomsnittlig timesverdier av produksjon og forbruk for året 2017 samlet til en uke. Forbruket er beregnet som produksjon pluss kraftimport og minus eksport [9].

Figur 2: Oversikt over overføringsnett i Norge med forskjellige nettnivå.

Figur 3: Vindkart for Norge [58].

Figur 4: Visualisering av en vindturbin og komponenter.

Figur 5: Norges daglige energimengde fra solen i januar og juli [62].

Figur 6: Visualisering av solcelle.

Figur 7: Gjennomsnittlig årlig tilgjengelig effekttetthet i bølger I Norge målt i kW/m [66].

Figur 8: Europeisk bølge ressurs potensiale i skala veldig lav, lav, medium og høy [67].

Figur 9: Europeisk tidevanns potensiale illustrert i skala lav, medium, høy [67].

Figur 10: Utladningstid for forskjellige energi lagringssystemer. Adaptert fra [76].

Figur 11: Visualisering av en Polymer-elektrolytt-brenselcelle.

Figur 12: Visualisering av et AC-mikronett.

Figur 13: Visualisering av DC-mikronett.

Figur 14: Visualisering av hybrid mikronett.

Figur 15: Givær og Husøya sett fra luften. Copyright Lars Westvig [110].

Figur 16: Plassering av Givær i Norge [111].

Figur 17: Strømforbruket og temperatur på Givær i timesoppløsning gjennom året 2017.

Figur 18: Gjennomsnittlig timesverdier av forbruk for året 2017 samlet til en uke.

Figur 19: Gjennomsnittlig timeverdier av forbruk for året 2017 samlet til en dag.

Figur 20: Gjennomsnittlig timeverdier av forbruk for året 2017 samlet til en dag for hver sesong.

Figur 21: Effektuttak fra en vindturbin.

Figur 22: Flowchart for algoritmen.

Figur 23: Gjennomsnittlig timeverdier av vindhastigheten samlet til en dag for hver sesong.

Figur 24: Gjennomsnittlig timeverdier av solinnstråling samlet til en dag for hver sesong.

Figur 25: SOC til batteriet i sesongene. Øverst fra venstre vår og sommer, nederst fra venstre høst og vinter.

Figur 26: Ledningsnett på Givær. Den røde firkanten er plasseringen til aggregatet, blå linjer er 230 V luftledning mens stiplede linjer er 230 V kabler [107].

Figur 27: Strømforbruket og temperatur på Givær i timesoppløsning gjennom årene 2018 og 2019.

Figur 28: SOC til batteriet fra vår til vinter med konfigurasjoner vist til høyre i Figur 26.

Tabelliste

Tabell 1: Nøkkeltall for norsk kraftproduksjon [6].

Tabell 2: Strømforbruk av forskjellige apparater i husholdningen [23].

Tabell 3: Ikke-fornybare produksjonsteknologier med spesifikasjoner, og fordeler og ulemper.
Adaptert fra [41].

Tabell 4: Fornybare produksjonsteknologier med spesifikasjoner, og fordeler og ulemper.
Adaptert fra [41].

Tabell 5: Klassifisering av vindturbiner. Adaptert fra [56].

Tabell 6: Forskjellige batterityper med deres energitetthet, effektitetthet, bruksområde og største batteribank installert av gitt batteritype. Adaptert fra [78].

Tabell 7: Oversikt over forskjellige mikronett i verden.

Tabell 8: Oversikt over forskjellige mikronett i Norge.

Tabell 9: Spesifikasjoner for vindturbinen Aeolos-H 50 kW [117].

Tabell 10: Spesifikasjoner for YGE 60 cell series 2 [120].

Tabell 11: Spesifikasjoner for Tesla Powerwall [123].

Tabell 12: Resultater for sesongene fra algoritmen.

Tabell 13: Kostander for produksjons- og lagringsteknologier i forhold til levetid.

Tabell 14: Analysering av kostnader for forskjellige konfigurasjoner.

Tabell 15: Alternativene for energiforsyning av Givær.

Tabell 16: Drivstoff- og strømpriser for aggregatene på Givær. Inkludert frakt, mva og CO2 avgifter. [107].

Tabell 17: Time- og daglig snitt av global horisontal innstråling (GHI) per m² for Givær per måned. Data brukt til kalkulasjon er hentet fra PVGIS sitt TMY verktøy [108].

Tabell 18: Verdier for ruhetlengder for ulike typer terreng [125].

Tabell 19: Resultater og kalkulasjoner for dimensjonering fra algoritmen. Fra vår til vinter.

Tabell 20: Konfigurasjoner av vindturbiner, solceller og batterier med lavest kostnad.

Forkortelser

AC: Vekselstrøm (alternating current)

AEC: Tilgjengelig batteri kapasitet (available energy capacity)

AMS: Avanserte måle- og styringssystemer

DC: Likestrøm (direct current)

DOD: Utladningsdybde (depths of discharge)

GBP: Britisk pund

IEC: Internasjonal elektronisk komite (International Electrotechnical Commission)

kWp: Kilowatt peak

MWp: Megawatt peak

NOK: Norske kroner

NVE: Norges vassdrags- og energidirektorat

PCC: Koblingspunkt for tilkobling til overføringsnett (point of common coupling)

PV: Solceller (photovoltaics)

SOC: Ladetilstand (state of charge)

STC: Standard testforhold

UPS: Avbruddsfri strømforsyning (Uninterruptible power supply)

USD: Amerikansk dollar

Wp: Watt peak

1. Innledning

Klimaet på jordkloden har vært i kontinuerlig forandring gjennom sin livstid. Forandringene kommer av naturlige variasjoner i klimaet som solstråling, kontinentalplaters plassering og form, jordens bane rundt solen, jordens helning og vulkanutbrudd. En rekke av disse variasjonene går i sykluser som forekommer med to eller hundre tusen års mellomrom.

Det er ikke kun naturlige variasjoner som har en innvirkning på jordklodens klima. Unaturlige innvirkninger er i stor grad knyttet til utslipp av klimagasser. Først og fremst er det menneskene som etter industrielle revolusjon har benyttet seg av fossile brensler som kull, olje og gass. Disse energikildene forbrennes og karbon som er lagret gjennom millioner av år blir frigitt i luften og danner CO₂. På denne måten har mennesket en innvirkning på det naturlige karbonkretsløpet. En slik aktivitet har også endret mengden andre drivhusgasser og partikler tilført atmosfæren; et bidrag til global oppvarming.

Det at jordkloden stadig blir unaturlig varmere skyldes det som har blitt kalt global oppvarming. Dette kommer i stor grad av drivhusgasser som stopper både innkommende kortbølgede og utgående langbølgede solstråler i atmosfæren. På denne måten blir varmeenergien fanget i atmosfæren, som i et drivhus, derav drivhuseffekten. Denne effekten i seg selv spiller en viktig rolle for liv på jorden, da den virker som et beskyttende og isolerende lag. Dersom effekten unaturlig øker, vil global oppvarming i stor grad påvirke temperatur, havnivå og vær.

Fokuset på global oppvarming og forurensing har økt de siste årene. Som følge av dette er mange positive til fornybar energi som en erstatning for fossile brensler. På slutten av 2018 ble det estimert med at fornybare energikilder stod for 26,2 % [1] av verdens kraftproduksjon. Dermed kommer fortsatt tre fjerdedeler av kraftproduksjonen fra fossile brensler og kjernekraft. Det vil si at det enda er et stort forbedringspotensial for å nå målene i Parisavtalen for klimagassutslipp [2]. Et av målene i avtalen går ut på å begrense global oppvarming, noe som kan nås ved å blant annet omstille kraftproduksjon til fornybar energi.

I Norge har fornybar energi lenge vært viktig, allerede i middelalderen ble vannkraft benyttet i form av møller og for kverning av korn. Som den gang er vannkraft fortsatt svært viktig for Norge da den nå står for størstedelen av landets kraftproduksjon. Sammen med vindkraft og termisk energi står fornybar energi for 98 % av kraftproduksjon i Norge. [3]

I Norge er det overføringsnettene som forsyner forbrukerne med strøm over hele landet. Likevel finnes det unntak der lokasjoner er uten nettilkobling. Dette kan være avsidesliggende hytter på

fjellet, og gårdsbruk, men også hele samfunn stort sett på øyer utenfor kysten. Kostnadene for nettutbygging til slike steder har i Norge blitt et sterkt argument for alternativ elektrifisering da kablene ifølge erfaringstall fra Nordlandsnett en meterpris på 650 - 700 NOK [4]. Eldre sjøkabler må også etter hvert erstattes med nye på grunn av brudd og slitasje.

Ved å produsere strøm direkte på disse avsidesliggende områdene slipper en forsyning via nettet. Aggregat drevet av fossilt brensel er et alternativ, men ofte mislikt ettersom det lager støy, slipper ut partikler, sot og klimagasser. Dessuten må en frakte brenselet til disse avsidesliggende destinasjoner. Et bedre alternativ er fornybare energikilder, som over årene har blitt utbedret økonomisk og i effektivitet. Å utnytte seg direkte fra solen, eller gjennom vann- og vindkraft, kan bli betydelig mer lønnsomt enn å reinvestere i tilkobling til strømmettet.

I denne oppgaven utforskes muligheten for slike selvforsynte avsidesliggende mikronett samfunn i Norge. Ved disse lokalisasjonene kan kraft produsert fra fornybar energi være et alternativ til forsyning via stasjonert aggregat eller nettilknytning til overføringsnettet.

1.1 Problemstilling

Er mikronett baserte samfunn et alternativ for selvforsynt elektrifisering av øyer og avsidesliggende lokasjoner i Norge?

- Finne ut hvordan og hvorfor mikronett blir etablert samt beskrive utvalgte eksisterende mikronett i verden og Norge.
- Utarbeide en simulasjon med tekniske og økonomiske kalkulasjoner på hvordan et mikronett kan bli tatt i bruk for en potensiell lokasjon i Norge.

2. Metode

Oppgaven er todelt med en litteraturstudie og en praktisk del. Litteraturstudiet tar i bruk kilder som relevante fagartikler, nettsider og bøker. Litteraturstudiet er skrevet som kunnskapsgrunnlag for å beskrive situasjonen i eksisterende energiforsyning av Norge og hvordan enkelte avsidesliggende lokasjoner i og utenfor landet skiller seg ut fra den. Dette er gjort for å videre vise til løsninger for lokasjonene ved å etablere et mikronett strømforsynt av fornybare produksjonsteknologier.

Prosessen som ble brukt for å identifisere et egnet sted for simulering av et avsidesliggende mikronett var delvis en litteraturstudie med studering av eksisterende mikronett for å bedre

kunne forstå bakgrunnen for etablering og hvilke kriterier lokasjonene har. Videre ble egenvalgte kriterier brukt til å identifisere en lokasjon ved bruk av kart med kartlag som nettanlegg og bebyggelse. I tillegg ble kontaktet forskningsinstitutter, energidepartementer og nettselskap som har kunnskap innenfor energiforsyning, eller erfaring for planlegging av mikronett, som gjerne kunne ha kjennskap til potensielle lokasjoner med valgt kriterier.

Etter funn av egnet lokasjon, øyen Givær, ble forholdene for energiproduksjon av fornybare energikilder utforsket ved datainnsamling fra meteorologiske databaser og kartlag. Sammen med strømforbruket ble det utført kalkulasjoner i forskjellige tidsaspekter fra et år til ned på timenivå, for å kunne bestemme størrelsen på produksjonsteknologiene og energilagringen. Formler ble brukt i Microsoft Excel for å studere forskjellige utforming og for å utforske tekniske løsninger. Ut fra dette ble det utarbeidet endelige forslag hvorav det til slutt blir utført en analyse av kostnader for å se om et slikt prosjekt er lønnsomt i forhold til eksisterende energiforsyning og andre alternativ.

3. Oppbygging av kraftsystemet i Norge

3.1 Elektrifisering av Norge

Elektrifisering av Norge startet i Fredrikstad i år 1877. Strømmen ble produsert av dampmaskiner som var plassert i nærheten til hvor den ble brukt. Bruksområde var først og fremst belysning av enkelte fabrikker og for å erstatte gass og parafin drevet gatebelysning. I år 1894 ble også trikken i Kristiania utstyrt med elektromotor. Ettersom byene ble utstyrt med betydelig mengde kabler for strømforsyning, og dampmaskinene slet med det høye strømbehovet, innså man at det måtte til en alternativ strømproduksjon. Vannfall, som i Norge lenge hadde blitt brukt til sagbruk, ble nå sett på som en ideell energikilde for strømproduksjon [5].

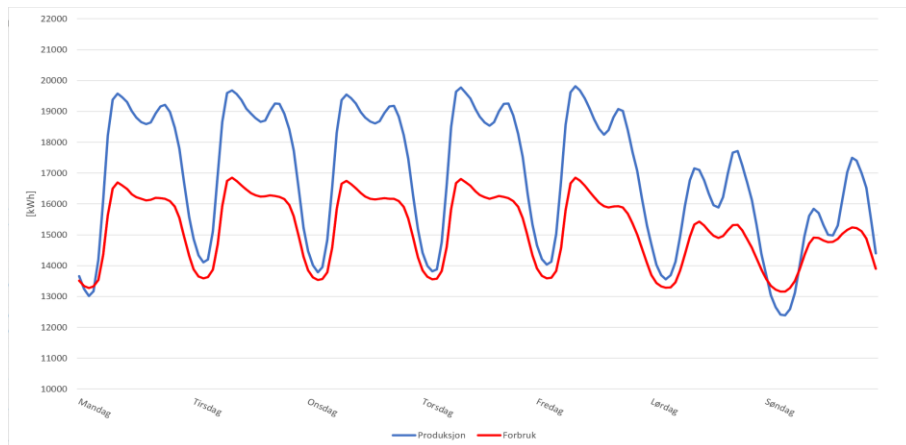
3.2 Fornybar energiproduksjon og kraftbørsen

Det ble slik introdusert fornybar energiproduksjon til overføringsnettet i Norge, som i 2019 var på 147,3 TWh. Energiproduksjon fra vannkraft, som i Norge er rundt 140 år gammel, står for 93 % av dette. Ettersom fornybar energi i Norge siden 2000-tallet er blitt subsidiert gjennom elsertifikatordningen, og ny teknologi har blitt lønnsomt, har antall nye kraftverk steget til høyest nivå siden slutten av 70-tallet. Nøkkeltall som normalårsproduksjonen blant produksjonsteknologiene vises i Tabell 1.

Tabell 1: Nøkkeltall for norsk kraftproduksjon [6]

Produksjonsteknologi	Antall kraftverk	Installert effekt [MW]	Normalårsproduksjon [TWh]
Vannkraft	1 655	32 684	135,7
Vindkraft	42	2 582	8,2
Termisk kraft	30	700	3,5
Totalt	1 727	35 815	147,3

Kraftverkene er fordelt ulikt over fylkene, noe som resulterer i at noen fylker produsere betydelig mer enn andre [7]. Det er mange faktorer som skylder dette, blant annet størrelse, men ikke minst hvor mange fjell med vannfall og magasiner fylket har. Plassering gjenspeiler dermed produksjonsmengde, men strømmen fordeles likevel over hele Norge via overføringsnettet beskrevet i kapittel 3.3. Produksjonen er styrt av ressurser og etter behovet for strøm blant befolkningen. Behovet går ned når få bruker elektriske apparater, og opp når flere bruker dem. Det gjenspeiler seg en tydelig rytme i forbruket og produksjon som svinger i takt med natt og dag, og morgen og kveld (Figur 1). I helgen synker forbruket i landet ettersom forbruket fra industri som sekundær- og tertiærnæringen blir mindre, mens husholdninger og primærnæringen forholder seg relativt likt. [8]



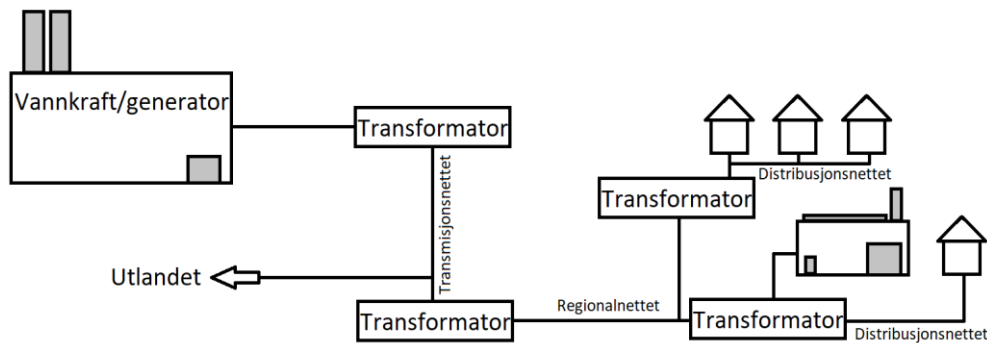
Figur 1: Gjennomsnittlig timesverdier av produksjon og forbruk for året 2017 samlet til en uke. Forbruket er beregnet som produksjon pluss kraftimport og minus eksport [9].

Norden er et felles kraftmarked delt opp i ulike sektorer med varierende kostnader for strøm. Sektorene heter elspotområder og er markedsområder for anmelding av kjøp og salg av strøm på børsen Nord Pool. Nord Pool inkluderer også land utenfor Norden i sentral Europa og jobber med fremtidig marked utviding [10]. Meldingen blir gjort spesifikt for de enkle elspotområdene for hver time det kommende døgnet. Strømprisen er dermed ikke regulert av myndighetene, men heller et resultat av etterspørsel og tilbudet som er meldt inn for det enkle markedsområde til kraftbørsen. Kraftflyten blir som regel fra overskuddsområder til underskuddsområde, fra områder med lav pris høy produksjon til høy pris lav produksjon. Prisområdene vil dessuten også redusere faren for lokalt eller regionalt kraftunderskudd ettersom høye strømpriser demper forbruket. [11]

Fylkene i Norge deler dermed kraft over hele landet, men kan også eksporterer sin overproduksjon til utlandet og importerer når produksjonen ikke er tilstrekkelig. Slik handel resulterer i samfunnsmessig gevinst for alle landene inkludert. [12]

3.3 Overføringsnett og leveringskvalitet

Overføringsnett som brukes til å transportere kraft deles i Norge inn i 3 forskjellige nivå (Figur 2). På overordnet nivå befinner seg transmisjonsnett/sentralnett, eid og driftet av Statnett, som har høy overføringskapasitet med spenning på 132 til 420 kV, og to viktige formål; knytte alle forbrukere til et landsdekkende overføringsnett, og å knytte Norge til utlandet. Nivået under heter regionalnett med spenning på 33 til 132 kV, og forgrener transmisjonsnett videre regionalt til distribusjonsnett. Overgangen i spenning utføres ved bruk av transformatorer. Distribusjonsnett brukes til å lede kraft til husholdninger, hytter, industri og næring, og skiller mellom høyspent og lavspent nett. Høyspentnett har en spenning på over 1 kV som går opp til 22 kV, mens lavspent er definert som nett med spenning under 1 kV. Vanlig spenning som ledes til bygninger i Norge er 230 V eller 400 V. Spenningen i overføringsnett er så høy som mulig for å resultere i mindre tap av energi i ledninger i form av varme. [13]



Figur 2: Oversikt over overføringsnett i Norge med forskjellige nettnivå.

For at strømmen som blir generert og levert skal være brukbar må den ha en viss spenning og frekvens. Forskrift om leveringskvalitet består blant annet av leveringspålitelighet og spenningskvalitet. Leveringspålitelighet er hvor ofte en har tilgang til strøm, mens spenningskvalitet belyser anvendeligheten av strømmen. For å unngå ødelegging av elektriske apparater må spenningen ha en viss kvalitet. Konsekvenser av manglende kvalitet kan være havari og forkortet levetid på elektrisk utstyr og blinking i lyset. I nett med nominell 230 V spenning er kravet at spenningen skal være i intervallet 207 - 253 V. [14]

Frekvensen i det nordiske kraftsystemet er definert til å være mellom 49,90 og 50,10 Hz, perioder utenfor dette båndet betegnes som frekvensavvik. Det er Statnett sin oppgave opprettholde leveringskvaliteten på det akseptable nivået. Om forbruket øker blir det større belastning på kraftsystemet, og Statnett må be produsentene om å øke produksjon. Såkalt nettdrift er i konstant forandring og omtales som balansekunst å opprettholde. [15]

3.4 Kraftleverandør og leveringsplikt

Kraftmengden, eller strømmen en bruker betales via regninger til kraftleverandør. I Norge finnes det mange forskjellige kraftleverandører, og alle har ulike priser og avtaler. Strømmen har leverandøren enten kjøpt inn på kraftbørsen, direkte fra produsenter og kraftverk, eller de står selv ansvarlig for produksjon. Uansett hvilken leverandør som er valgt får en den samme strømmen levert til sitt hjem. Som forbruker må en også betale nettleie for bruk av distribusjonsnettet til det lokale nettselskapet som har områdekonsesjon der en bor. I områdekonsesjonen nettselskapene har, inngår det som heter leveringsplikt, påført etter energiloven § 3-3. Loven innebære at kunden bli tilknyttet nettet og at disse får strøm frem til tilknytningspunkt i husvegg eller grunnmur. Dette er et godkjent monopol, og nettselskap kan ikke byttes der en bor. [16]

Ved utbygging og reinvestering av nett som forsyner etablerte kunder må netteier selv ta kostnadene. I 2017 var kostnadene på 18 milliarder kroner [17] og er av NVE prognosert til 135 milliarder kroner for det neste tiåret [18].

Nettselskap kan i noen tilfeller søke til NVE om dispensasjon fra leveringsplikten. Unntaksregelen benyttes når det på vanlige vilkår ikke er rimelig å etablere nettilknytning, gjerne for fritidsboliger eller avsidesliggende områder. I de fleste tilfellene blir det ikke gitt dispensasjon i områder med faste bosetninger eller næringsvirksomhet. Løsningen kan være at netteier oppretter en lokal elforsyning med elektrisitet generert fra aggregat eller med alternative fornybare energikilder. [19]

3.5 Smarte nett og AMS

Introduksjonen av smarte nett i nettdrift skal gi nettselskapene bedre overvåkings- og kontrollmuligheter over forbruk og produksjon av strøm. Strømmålerne (målepunkt) skal i Norges hjem og industri innen 1. januar 2019 ha blitt erstattet med smarte strømmålere, såkalt AMS (avanserte måle- og styringssystemer). Målerne vil ha toveiskommunikasjon mellom forbruker og nettselskap og skal blant annet gi timevis registrering av strømforbruk, automatisk avlesning av målere og korrekt avregning. Tiltaket er et svært nyttig verktøy for nettselskapene, som med mer informasjon på hendelser i strømmettet nærmest kundene, vil kunne effektivisere nettdriften. I effektiviseringen inngår færre strømbrudd og feil i overføringsnett samt hurtig lokalisering og oppretting av disse, bedre balansering av spenning og nettfrekvens, og færre jordfeil som i gjengjeld øker personsikkerhet. Slik digitalisering resulterer i lavere driftskostnader som over tid gjenspeiler seg i lavere nettleie enn den ellers ville ha vært. Likevel vil investeringskostnadene for målerne og system blir finansiert gjennom økt nettleie hos nettkunden. [20]

For kunder som også produserer strøm, såkalte plusskunder, som tidvis overstige eget forbruk, vil AMS-målere være nyttig ettersom de kan måle mengden egenprodusert strøm de mater inn i nettet. Dette er en nødvendighet for å kunne selge strøm gjennom overføringsnett. [20]

Som sluttbruker vil også det å kunne lese av strømforbruket selv være en fordel. Tidligere avregnet spotpris baserte kontrakter strømregningen på gjennomsnittlig strømpris per måned. Dermed får en ikke den faktiske strømprisen som gjaldt den timen en hadde forbruk. De nye timespotavtaler fakturerer forbruket time for time etter strømprisen på børsen Nord Pool. Forbruker har dermed selv større mulighet til å påvirke strømregningen sin ved å planlegge forbruket sitt til deler av dagen hvor strømprisen normalt er billigere [21]. Ofte er dette utenfor

toppene til forbrukskurven i Figur 1, som igjen vil hjelpe til med å flate ut denne og gjøre nettdrift enklere.

3.6 Flyttbart forbruk

Strømforbruket i Norge, også vanlig i resten av verden, går opp om morgenen, når folk våkner og begynner å bruke elektriske apparater, og på kvelden etter jobbdagen, når folk lager middag og bruker underholdning, slik vist i Figur 1. Forbruker har mulighet til å forandre denne kurven ved å flytte laster som kan resulterer i optimalisering i balansen mellom forbruk og tilgjengelig energiproduksjon, fra for eksempel fornybare energikilder som ikke alltid er til stede til rett tid. En kurve uten store effekttopper, eller en kurve som følger tilgjengelig energiproduksjon vil bli lettere å balansere og drifte for produsenter og distributører. Resultater fra dette blir bedre leveringskvalitet.

En oversikt over forbruk og last fra forskjellige apparater i husholdningen er vist i Tabell 2. Noen laster er flyttbare mens andre er ikke. For eksempel vil en bruke belysning når det er mørkt, og underholdning og datamaskin når en har behov for det. Dette er forbruk som ikke er fleksibel. Bruk av oppvask- og vaskemaskin kan ofte flyttes til senere eller tidligere tidspunkt på dagen. Enkelte flyttbare laster vil også være fleksibel og kun brukes i gunstige perioder med billig strøm eller mye ressurser (regnfall, vind eller sol). For eksempel oppstår det en termisk treghet i bygninger som kan utnyttes ved oppvarming av romtemperatur og varmtvann i gunstige perioder. I tillegg vil flytting på opplading av batterier som bærbare PCer, mobiltelefoner, nettbrett og ikke minst elbiler gjøre store forandringer. Med stigende antall elbiler kan energilagringen i hjemmet bli enorm. Dersom smarte nett eller forbrukere overvåke og flytter på strømforbruket vil det i stor skala gi høy effekt. [22]

Tabell 2: Strømforbruk av forskjellige apparater i husholdningen [23].

Apparat/installasjon	Effekt [W]	Brukstimer [timer/uken]	Forbruk [kWh/år]	Last
Kjøkken				
Komfyr	2200	7	800	Ikke fleksibel
Kjøkkenvifte	75	2	10	Ikke fleksibel
Kaffetrakter	1500	3,5	270	Ikke fleksibel
Oppvaskmaskin	2000	7	730	Flyttbar
Kjøleskap	160	56	470	Fleksibel
Fryseboks	175	70	640	Fleksibel
Brødrister	1000	0,2	10	Ikke fleksibel
Bad				
Vaskemaskin	2500	4	520	Flyttbar
Tørketrommel	3000	3	470	Flyttbar
Hårtørker	750	1	40	Ikke fleksibel
Barbermaskin	10	0,5	~0	Ikke fleksibel
Stue				
TV	100	21	110	Ikke fleksibel
Stereoanlegg	25	28	40	Ikke fleksibel
Støvsuger	1000	1	50	Ikke fleksibel
Hele boligen				
Oppvarming - elektrisitet / varmepumpe ^a	3300 / - ^b	84 / - ^b	14400 / 9600	Fleksibel
Vannoppvarming	1000	70	3600	Fleksibel
Belysning	1080	49	2800	Ikke fleksibel
Totalt forbruk:			25000 / 20200	

a: [24], b: ingen data

3.7 Fremtidens kraftbalanse

Å planlegge og kartlegge fremtidig kraftetterspørsel er et komplisert prosjekt. Ved å se på forbruksdata er det mulig å danne seg et bilde av dagens situasjon og muligens for en kort tidsperiode frem i tid. Nye konvensjonelle elektriske innretninger eller installasjoner kan øke forbruket betydelig. Dersom disse innretningene også er felles for flere husstander på samme tidspunkt vil last øke. Økt forbruk og last kan gjøre at komponenter, ledninger og produksjonsledd må utbedres eller erstattes dersom dette ikke er planlagt godt nok. Her kan flyttbar og fleksibel last være et godt og nødvendig alternativ.

Overgangen fra fossile brensler til fornybar energi er en annen faktor. Spesielt sektorer som transport, industri og varme vil overgangen øke elektrisitetsetterspørselen betraktelig [25]. Det er også nødvendig å ta faktorer som befolkningsutvikling med i betraktningen. Utviklingen i Norge viser til økt antall husholdninger grunnet færre personer per husstand. Dette vil også øke etterspørselen for elektrisitet [26]. Tabell 2 viser at oppvarming står for over halvparten av strømforbruket i hjemmet. Denne store andelen av forbruket er antatt å minske ettersom det kommer strengere krav om isolasjon. Bedre effektivitet ved elektriske innretninger er også argument for at forbruket vil minske per husstand.

Det finnes en rekke scenarier som viser til forskjellige verdier for fremtidig etterspørsel. Selv om parametere som energieffektivitet i boliger og industri samt industri-aktivitet forbli likt som

i 2010, vil forbruket øke med 25 % mot 2050. Dersom energieffektivitet øker vil forbruket gå opp med 18 % [27]. I det hele bildet er de fleste scenarier enig om økende elektrisitetsetterspørsel i fremtiden.

4. Hva er et mikronett

I det moderne og industrialiserte Norge er tilgjengeligheten til elektrisitet blitt en selvfølge. Kraftsystemet og strømforsyning her i landet er godt utarbeidet og det jobbes nå med energieffektivisering og flytting av forbruk for bedre leveringskvalitet. Slik er ikke situasjonen i andre deler av verden der 13 % av befolkningen fortsatt manglet tilgang til elektrisitet i 2016 [28]. Antallet mennesker uten tilgang til elektrisitet er på vei ned, men det er fortsatt utfordringer knyttet til elektrifisering av utviklingsland og avsidesliggende områder, også i Norge. En løsning som er aktuell er etableringen av mikronett.

Hva et mikronett er har delvis ulike definisjoner, men de fleste er enig i at det handler om en gruppe sammenkoblede laster og produksjonsenheter innenfor et avgrenset område. Fokuset er her at mikronettet er styrt lokalt og at det er funksjonelt enten tilkoblet til overføringsnettet eller i øydrift, eller kun i øydrift uten mulighet for nettilkobling [29].

Gjennom historien har fossile energikilder som diesel gjort det mulig for avsidesliggende samfunn å ha tilgang til elektrisitet. Med kostnadsreduksjon for teknologier basert på fornybar energi, og også diverse andre grunner forklart i kapittel 4.2, er det flere samfunn som nå velger slik strømforsyning. Mikronett som får sin strømforsyning fra fornybare energikilder har fått navnet fornybare mikronett [30]. Størrelsen på mikronett varierer og definisjonen gjør at de finnes med ulik bakgrunn, formål, utforming og funksjonalitet.

4.1 Typer mikronett

Det skilles mellom tre typer mikronett; tilkoblet overføringsnett, uten tilkobling til overføringsnett og virtuelle.

4.1.1 Mikronett tilkoblet overføringsnettet

Dette er mikronett som gjennom en enkel tilkobling *PCC* er koblet til et større strømmnett. Slike typer har som fordel at de er funksjonelle og operative både da de er tilkoblet og frakoblet strømmnettet. Dette kommer av at de produserer og distribuerer elektrisiteten de selv bruker og produserer, og kan mate inn overflødig energi til strømmnettet med økonomisk gevinst. Disse

finnes både eid av selskap og kundeeid, som privatpersoner eller mindre samfunn, som for eksempel nabolag.

Kundeeid mikronett kan blant annet være bygninger med solceller på taket som også har øydriftsmuligheter, ofte smarthus, kjøpesentre, industriområder, campuser og sykehus, som gjerne bruker energiproduksjonen som reservekraft. Mange av de mest typiske mikronett er av denne typen ettersom de uten store forandringer plasseres inn med dagens teknologi og kraftsystem.

Mikronett med størrelsen på et mindre samfunn er veldig lik kundeeid mikronett. Forskjellen på tekniske aspekter er at tilknytningen til landets overføringsnett er via en trafostasjon eller et område under en nettstasjon, gjerne med gode lagringsmuligheter og lengre øydrift. Brukerne innenfor disse området er koblet til hverandre og energiproduksjonen, lignende infrastrukturen i overføringsnettet. Bakgrunn og forretningsmodeller kan i begge tilfellene også være ulik [31].

4.1.2 Mikronett uten tilkobling til overføringsnettet

Slike mikronett er isolert og ikke koblet til strømmettet. Det betyr at det er offgrid og konstant i øydrift, som noen mener ikke er et mikronett ifølge definisjonen, og heller vil kalle det øynett [32]. Ved å ikke har tilkobling til strømmettet produseres all energi selv. For å være funksjonell med pålitelig energiforsyning må systemet ha regulerbare generatorer og tilstrekkelig med energilagring. Slike nett kan være aktuell i områder som enda ikke har elektrisitet eller nettilkobling, gjerne avsidesliggende lokasjoner i utviklingsland eller på øyer. Størrelsen for slike mikronett varierer og kan være hytter eller større samfunn og landsbyer.

4.1.2 Virtuelle mikronett

Virtuelle mikronett er felles styring av laster og produksjonsenheter fra flere lokasjoner som til sammen presenterer en enkel enhet i kraftsystemet. Det finnes få demonstrasjoner, men de er presentert i litteraturen. For å i prinsipp være mikronett må det følge definisjonen, at systemet kan brukes som øydriftet nett [31], noe som ikke er mulig i virtuelle nett gjennom overføringsnettet.

4.2 Drivere for mikronett

Det finnes forskjellige drivere og fordeler for etablering av tilkoblede og isolerte mikronett. Her beskrives de fremste.

4.2.1 Økonomisk

En økonomisk grunn til etablering av mikronett er at det vil fungere som et alternativ til investering i bygging og utbedring av distribusjonsnett. I tilfeller vil det for nettselskap være billigere å etablere en form for mikronett enn å tilrettelegge for nettilkobling. Dette gjelder hovedsakelig for avsidesliggende samfunn, der avstand til overføringsnett er en stor faktor i investeringskostnadene for nettilknytning. I Norge finnes slik problematikk i øyer utenfor kysten. Sjøkabler på flere kilometer blir dyre, og det etablerte seg dermed mikronett med energiproduksjon fra dieselaggregat. Erfaringstall for enkeltarmert sjøkabel ligger på 650 - 700 kroner per meter med millionbeløp til utlegging og sikring med en rekke variabler. Energiproduksjon fra dieselaggregat ble tilfelle på blant annet på Sør-Gjæslingan i Trøndelag [33] og på Givær i Nordland.

For å gjøre etablering av mikronett enklere for kunder har flere selskap blitt dannet, blant annet IRene iSolutions. Dette er en digital plattform som ønsker å koble bygg sammen og integrere fornybare produksjonsteknologier og lagringsmuligheter [34]. Flere større veletablerte selskap har også investert, og eller utviklet egne organer mot etablering og drift av mikronett, som Norsk Hydro ved Utsira, Statkraft gjennom Skagerak Energilab, og Trønderenergi gjennom Utgard microgrids. Enova støtter også flere utbygginger med subsidier. Slike selskap gjør det mer økonomisk oppnåelig å etablere mikronett.

Mikronett med PCC kan optimaliseres økonomisk med å overvåke lønnsomhet ved å importere kraft fra strømmettet når dette er mer gunstig enn intern produksjon. Dette kan for eksempel være plusskunder. Å produsere strøm på egen hånd er også en økonomisk driver for lokasjoner med isolerte mikronett, ettersom disse besparer nettleie og strømregning til nettselskap og leverandør. Disse kan også få støtte fra Enova.

I nett med begrenset kapasitet vil det å ha mulighet for å kontrollere effektflyten fra mikronett mot overføringsnett være nyttig. Strømproduksjonen i mikronett kan dermed fra hvilken som helst kilde brukes som et kostnadseffektivt alternativ til nettforsterkning. Dette kan også øke leveringskvaliteten, både leveringspålitelighet og spenningskvalitet, som også går under neste kapittel 4.2.2. [32] Dessuten vil mikronett med nettilkobling ses på av nettleverandøren som én

forbruker og produsent som kan forflytte last som kan være til hjelp for hovednettet. I motsetningen til tusener eller millioner av individuelle forbrukere og produsenter [35].

4.2.2 Sikkerhet

Ettersom mikronett har mulighet til å koble seg fra nettet, forsyner seg selv ved å generere strøm eller bruke lagrede ressurser, gir det brukerne en viss sikkerhet dersom deler av overføringsnettet mister strømtilførsel. Strømbrydd kan være forårsaket av vedlikehold og utbygging, men også uforutsigbare feil i nettet eller uvær. Årsakene trenger ikke å være lokal, men likevel resultere i strømbrydd for et større område. Et eksempel der sikkerheten av mikronett kom til syne var i 2012 da stormen Sandy i USA mørkla 8 millioner kunder. For noen varte strømbryddet i 2 uker og mer, mens fasiliteter tilkoblet mikronett fortsatt hadde strøm. [36]

Det har blitt utbygd endel mikronett i Afrika og Asia, for noen av disse er det lyspærer på kveldstid som er til stor fordel. Elektrisk lys på kveldstid sikrer mange barn og unge muligheten til å lese og skrive større deler av døgnet. Lys minsker også sannsynligheten for dyreangrep og kriminalitet [37].

Etableringen av fornybare mikronett kan også øke innendørs luftkvaliteten og minske brannfare i områder som er avhengige av umoderne lys- og oppvarmingskilder, blant annet stearinlys eller ved [38].

4.2.3 Geografisk

Geografiske grunnlag er allerede nevnt på og er ofte en innlysende grunn for etableringen av mikronett. For områder som er avsidesliggende og langt unna eksisterende strømmnett, vil mikronett være et alternativ som løser strømforsyning. Geografisk plassering spiller også en stor faktor for hvilke kilder og ressurser en har å utnytte. Ved kysten der det ofte blåser mye kan det brukes vindkraft og i land nærmere ekvator med mye solskinn kan energien fra solen sterkere.

4.2.4 Personlig

En personlig driver for etablering av mikronett er såkalte *collective action initiatives*. Dette går ut på at majoriteten eller samtlige personer i en gruppe går sammen om å gjøre noe for det kollektive beste. Dette gjelder for en rekke ting, også dersom befolkningen i et område kan komme til enighet om å etablere mikronett. [39]

En annen personlig driver er at småskala kraftproduksjon ikke er konsesjonspliktige. Dette vil si at prosjektet vil bli mindre tid- og ressurskrevende. Et eksempel som ikke er konsesjonspliktig er ved utbygging av vindkraft under både 1 MW, og 5 vindturbiner. Dette gjør det lettere å etablere småkraft, også mikronett.

4.2.5 Miljøvennlig

Flere land begynner å se global oppvarming som en stor trussel for fremtiden. Miljøvennlige valg øker og spesielt i Europa har klimabevissthet stått i sentrum. Dette har vært en stor driver for etableringen av fornybare mikronett og integreringen av fornybare teknologier til nettet generelt [35].

Bruk av fornybare mikronett vil ha betydelige positive effekter for land som har sin energiforsyning fra ikke-fornybare energikilder. Brukerne av mikronettet bytter her strømforsyningen fra overføringsnettet ut med egenprodusert miljøvennlig strøm. Når vær eller mangel på ressurs fører til at produksjon ikke er tilstrekkelig kan brukerne fortsatt få strøm fra overføringsnettet. Overproduksjon kan mates inn i nettet når ikke mikronettet har behov. Løsningen resulterer i økt bruk av fornybare energikilder og mindre bruk av fossile brennstoff. Det samme gjelder isolerte mikronett som konstant er i øydrift som bytter fra for eksempel dieselaggregat til vindmøller og en form energilagring.

5. Oppbygging av mikronett

For å etablere et mikronett har brukerne gjerne en eller flere av drivere nevnt tidligere. I tillegg må det til diverse forutsetninger og planleggelse for å kunne drifte et mikronett. Forutsetninger kan være hvilke energikilder en har å utnytte eller må installere, mens planleggingen går ut på å modellere og simulere systemet, og søke om konsesjon, dersom det trengs.

5.2 Bruktid, kapasitetsfaktor og effektivitet

Det er normalt å angi produksjonen fra energiteknologier bruktid. Denne forteller hvor mange timer den må operere på full effekt for å generer årlig produksjon. Maksimal bruktid er 8760 timer. Brukstiden (Formel 1) kan også vises som kapasitetsfaktor (Formel 2), der 1 = 100 %.

$$\text{Bruktid (h)} = \text{Årlig energiproduksjon (Wh)} / \text{Installert effekt (W)}$$

$$\text{Kapasitetsfaktor} = \text{Bruktid per år (h)} / 8760 \text{ (h)} \text{ (timer i et år)}$$

Effektiviteten sier hvor mye av energien som går inn kommer ut i elektrisitet. Den totale effektiviteten øker for diverse produksjonsteknologier dersom en regner med restvarme til for eksempel oppvarming. Effektiviteten til forskjellige produksjonsteknologier er vist i Tabell 3 og Tabell 4.

5.3 Energikilder og produksjonsteknologier

Energikilder er jordens ressurser og reserver av energi som kan utnyttes direkte eller omdannet. Energikildene deles inn i ikke-fornybare (Tabell 3) og fornybare (Tabell 4). Ikke-fornybare energikilder er hovedsakelig olje, gass, kull, kalt fossile brensler, og uran som er lagrede ressurser som ikke fornyes. Fornybare energikilder brukes derimot ikke opp, ettersom disse konstant fornyes i naturens eget kretsløp. Disse har opphav fra 3 kilder som er solen, geotermisk energi og bevegelse av planeter og gravitasjon. Derav har de fleste fornybare energikilder opphav fra solen, derav vann, vind, bølge, biomasse og solenergi. Samtlige av energikildene brukes til strøm- og/eller til varmereproduksjon. [40]. Nedenfor beskrives produksjonsteknologier aktuelle i Norge og i forhold til mikronett.

Tabell 3: Ikke-fornybare produksjonsteknologier med spesifikasjoner, og fordeler og ulemper. Adaptert fra [41].

Teknologi	Energikilde	Strømtype produsert	Modulstørrelse [kW]	Elektrisk effektivitet [%]	Total effektivitet [%]	Fordeler	Ulemper
Dieselaggregat	Diesel eller gass	AC	3 - 6000	30 - 43	~80 - 85	Lave kostnader - Kan bruke forskjellige energikilder - Høy effektivitet	Klimagassutslipp
Gassturbin	Diesel eller gass	AC	0,5 - 30000	21 - 40	~80 - 90	Kostnadseffektivt - Miljøvennlig - Høy effektivitet når varme og kraft kombineres	For storskala for små forbrukere
Brenselcelle	Hydrogen, etanol, naturgass, propan mm.	DC	1 - 20000	0,5 - 55	~80 - 90	Miljøvennlig generator - Godt egnet til formål der varme og kraft kombineres	Lav kostnadseffektivitet

-a mangler informasjon

Tabell 4: Fornybare produksjonsteknologier med spesifikasjoner, og fordeler og ulemper. Adaptert fra [41].

Teknologi	Energikilde	Strømtype produsert	Modulstørrelse [kW]	Elektrisk effektivitet [%]	Total effektivitet [%]	Fordeler	Ulemper
Vindkraft	Vind	AC	0,2 - 3000	- ^a	~50 - 80	Kan produsere både dag og natt - Moderne teknologi	Krever energilagring - Fortsatt høye kostnader
Solceller	Sol	DC	0,02 - 1000	- ^a	15 - 24 ^b	Ingen klimagassutslipp - Brukbar til forskjellige applikasjoner	Krever energilagring - Høye installasjonskostnader
Bioenergi	Biomasse	AC	100 - 20000	15 - 25	~60 - 75	Lite klimagassutslipp - Gode ressurser store deler av verden	Fortsatt høye kostnader
Småskala vannkraft	Vann	AC	5 - 100000	- ^a	~90 - 98	Miljøvennlig - Relative lave investeringskostnader - Godt egnet for å dekke peak demand	Økologisk impakt - Vanskelig å ekspandere eksisterende kraftverk
Geotermisk	Varmt vann	AC	5000 - 100000	10 - 32	~35 - 50	Miljøvennlig - Lave driftskostnader	Krever gitte forhold
Bølgekraft	Bølger	AC	10 - 1000	- ^a	- ^a	Høy effektivitet - Svært forutsigbart	Få kommersielle prosjekt - Høye kostnader
Termisk solenergi	Sol og vann	AC	1000 - 80000	30 - 40	~50 - 75	Lite vedlikehold - Lite driftskostnader - Moden teknologi	Liten energitetthet

^a mangler informasjon, b [42]

5.3.1 Diesellaggregat

I et diesellaggregat går kjemisk energi i diesel over til mekanisk energi i form av rotasjon ved bruk av en forbrenningsmotoren. Rotasjonen dreier en elektrisk generator som gjennom elektromagnetisk induksjon generere elektrisitet som kan brukes til å drive andre elektriske apparater. Diesellaggregat produserer vekselstrøm og finnes i ulike størrelser med forskjellig ytelse og effektivitet. En tommelfingerregel er at det går 0,4L diesel per kWh produsert. Diesellaggregat kan også bli redesignet for å bli drevet av naturgass eller andre flytende drivstoff, for eksempel biodrivstoff [43].

Biodrivstoff er karbonnøytral og et mer miljøvennlig alternativ ovenfor petroleum. Her brukes naturlige ingredienser utvunnet fra biologisk materiale; vegetabilsk eller animalsk kilde. En skiller mellom typene bioetanol og biodiesel, der begge henholdsvis blandes inn med konvensjonell petroleum bensin og diesel. I bioetanolproduksjon brukes planter som er rike på sukker og stivelse, blant annet sukkerrør, potet, korn og mais. Biodiesel framstilles der i mot av plantefett og oljer fra blant annet palme, soya og raps. [44] Det er biodiesel framstilt av raps som delvis erstatter konvensjonell diesel i Norge.

I realiteten fungerer diesel også som en type lagringsmulighet og strømproduksjonen kan tilpasses etter behov. Et diesellaggregat har også som fordel at det kan plasseres hvor som helst uten større tiltak og infrastruktur, noe som gjør det enkelt for etablering av et mikronett, både isolert og nettilkoblet.

5.3.2 Gassturbin

Gassturbiner er en forbrenningsmotor der varm gass eller en blanding av forbrenningsgass og luft under trykk driver et turbinhjul som dreier en generator. Det skilles mellom lukket og åpent gassturbinssystem. Et lukket system kan yte opp til 1000 MW. Her brukes lufttrykk eller andre egne gasser, som oppvarmes og avkjøles i en lukket prosess. Et åpent system yte opp mot 100 MW, her suges luft inn i systemet og eksos ut. I tillegg til å produsere elektrisitet kan også hus bruker varmen fra eksos og kjøling av systemet til oppvarming [45].

Størrelsen varierer også, og mest egnet for mikronett er gjerne en mikroturbin. Disse bruker hovedsakelig naturgass og yte 25 - 500 kW, men kan også bruke for eksempel biogass, som er en miljøvennlig energikilde, propan, metan, alkohol eller petroleum. Med å bruke eksos til oppvarming oppnår mikroturbiner en effektivitet på over 80% [46].

5.3.3 Vannkraft

Vannkraft betyr det å utnytte stillingsenergien i vann, vannfallsenergi, som er energien som frigjøres når vann fra et høydenivå faller til et lavere nivå. Vannet overføre sin energi når det treffer bladene på en turbin som dreier en generator som produserer strøm. Ofte er vannkraftverk kombinert med forebygging av flom og kontroll av vannmasser. Energiproduksjonen varierer med tilgangen på vann, som regn eller smelte, og installert effekt. [47]

Vannkraftproduksjonen i Norge var i 2019 på 135,7 TWh (Tabell 1), hvorav småkraftverk stod for 10,7 TWh. I tillegg var det 2,3 TWh under bygging og ytterlige 5,2 TWh hadde fått utbyggingstillatelse. [48] Brutto vannkraftpotensial er i Norge kalkulert til 600 TWh, basert på å kartlegge avrenning av mengden nedbør, mens det tekniske potensialet, sett fra erfaring av utbygginger, er kalkulert til 240 TWh. Det viser seg at kun 58 % av det tekniske potensialet er utbygd. Grunnene er at de største kraftverkene i landets beste områder som kan bygges er utbygd, mange store vassdrag er vernet, utbyggingen får ikke konsesjon på grunn av for store miljømessige konsekvenser, eller er for dyre prosjekter. [49] En løsning er å oppruste og utvide eksisterende kraftverk, noe som er kalkulert til en årlig produksjonsøkning på 22-30 TWh. [50]

Grunnene nevnt betyr også at gjenværende potensial gjemmer seg i småkraftverk, gjerne noe som kan utnyttes i mikronett.

Ettersom vannkraftverk har lang historie, er teknologien relativ moden. Ut ifra trykkehøyde deles de inn i to hovedtyper: lav- og høytrykkskraftverk, som igjen bruker forskjellige typer turbiner, avgjørende av vannføringen og fallhøyde.

Lavtrykkskraftverk er ofte satt i elver, der vannføringen er høy og fallhøyde liten, derfor elvekraftverk. Her brukes reaksjonsturbiner der vannet strømmer rundt i en vortex som konstant dytter på turbinbladene. Det brukes turbintyper som blant annet Kaplan. Et slikt kraftverk er i stor grad avhengig av vassdragets naturlige vannføring og er vanskelig å regulere.

I et høytrykkskraftverk utnytter en fallhøyde med lite vannføring. Her blir vannet sendt ned en trykksjakt som gjennom en dyse treffer turbinbladene. Det brukes for eksempel en Peltonturbin, som er en impulsturbin ettersom vannet ikke treffer turbinbladene kontinuerlig, men pulserende. Det brukes magasin for å demme opp vannet i høyden slik at det regulert kan brukes når det er behov. Disse går også under navnet magasin kraftverk. I tillegg kan kraftverk med magasin bygges som pumpekraftverk som ved tilgjengelig overskuddskraft, fra for eksempel vindkraft, kan pumpe opp vann tilbake til magasinet som en form av energilagring (kapittel 5.4.5). [51]

Vannkraft er en fornybar energiressurs, men kommer ikke uten miljømessige konsekvenser både under og etter bygging. I et magasin vil vannstanden konstant bli regulert som får følger for plante og dyreliv i vannkanten og vannet, det samme gjelder vannføringen bak et kraftverk, der også vanntemperaturen forandres. Å regulere vann lenger oppe i et vassdrag vil også gi konsekvenser for befolkning bosatt lengre nede. Bygging av demninger ved bruk av betong, frigir en stor mengde CO₂. Likevel bygges kraftverk i den forstand at de sparer miljøet for klimagasser som ellers frigjøres av strømproduksjon fra fossilt brensel. Å oppruste eldre kraftverk er mindre miljøskadelig enn å bygge opp nye fra grunn, og en får produsert energi som før gikk tapt. Småkraftverk anses for å ha samme funksjoner. [52]

Småkraftverk er en fellesbetegnelse på vannkraftverk som har installert effekt mellom 10 og 1 MW. Mindre enn dette kategoriseres inn i mini- og mikrokraftverk, henholdsvis 0,1 - 1 MW og under 0,1 MW [53]. For et mikronett kan småkraftverk være av stor interesse ettersom de ofte kan etableres uten store inngrep, miljøkonsekvenser og konsesjonsprosesser. En ulempe er at plasseringen gjerne er i bekkeløp eller små elver, noe som gjerne ikke gir strømproduksjon etter behov dersom en uten magasin mangler en form for energilagring.

5.3.4 Vindkraft

En del av solinnstråling på jorden går til å sette luftmasser i bevegelse ved å danne forskjellige trykksoner. Luftmassene i bevegelse betegnes som vind og utgjør dermed en form for kinetisk energi. Denne kraften har blitt tatt i bruk lenge, for eksempel til seiling og framdriften av skip, til møller og pumping av vann. Vind finnes på store deler av kloden, men for å kunne utnytte den til energiproduksjon må det blåse stabilt og innenfor viss vindhastighet.

Hvor, når og hvor fort det blåser er et resultat av mange forskjellige faktorer som påvirker trykksonene. Blant annet er faktorene hav og land, terreng, og årstider. I tillegg øker også vindhastigheten med høyden over bakken. Måten vindturbiner utnytter vinden på er at turbinbladenes aerodynamiske form bruker løft og drag krefter som oppstår når vind passerer et legeme fortere på en side enn den andre. Kreftene roterer turbinbladene rundt, der rotasjonen enten er horisontalt eller loddrett. Turbinbladene er festet som rotor sammen i en akse til nacellen/maskinhuset, som med eller uten gir dreier en generator som produserer strøm. Mest utbredt er horisontal akse av typen HAWT i høyde på 80-100 m. Fra den kinetiske energien i vinden er det beregnet at kun 59 % kan utnyttes av en turbin, såkalt Betz-lov, hvorav en kommersiell turbin kun utnytter rundt 68 % av denne, dermed total effektivitet på 30-40%. [54]

Vindturbiner på land finnes i forskjellige størrelser fra noen titalls watt til flere mega watt avhengig av komponenter som rotordiameter og generator. På havet, der vinden blåser sterkere, brukes kun storskala turbin, både bunnfast og i nyere flytende teknologi. Der det blåser sterkest må nødvendigvis ikke være egnet plassering for en vindpark. Kommersielle vindturbiner på land er som regel designet for å kunne starte opp i en hastighet på 3-5 m/s, såkalt *cut-in* vindhastighet. Dette er mulig ettersom delen av turbinbladene som er innerst rotoren er tvistet i en vinkel der løft og drag kreftene allerede virker med lave vindhastigheter. En slik profil fortsetter også videre utover bladene mot tuppen, ettersom rotasjonen i forhold til vinden virker raskere på tuppen enn lengre inne. Etter hvert som vinden blir sterkere tar dermed resten av turbinbladene over ved å vri bladene for optimal utnyttelse av vindressurser, såkalt *pitch*-kontroll. Optimal vindhastighet for energiproduksjon er rundt 13 m/s. Når vinden øker, blir bladene vridd mindre for å holde samme effekt og rotasjonshastighet. Denne er bestemt ut ifra generator og gir for å yte best effekt i lengden uten å gå varm. *Cut-off* vindhastighet, rundt 25 m/s, er når turbinen stoppes. Bladene er her vridd ut av vinden, rotoren settes på en mekanisk brems, og strømproduksjonen stopper. Dette gjøres for å beskytte komponentene og deler for kreftene i vinden [55]. Vindspekteret for optimal effekt er dermed fra 13-25 m/s. Dette avhenger av hvilke materialer og deler turbinen er bygget av. Sterkere materialer vil tåle mer, noe som er

aktuelt på lokasjoner med sterkere stabil vind, gjerne på hav der det er mindre, men gjerne bli dyrere.

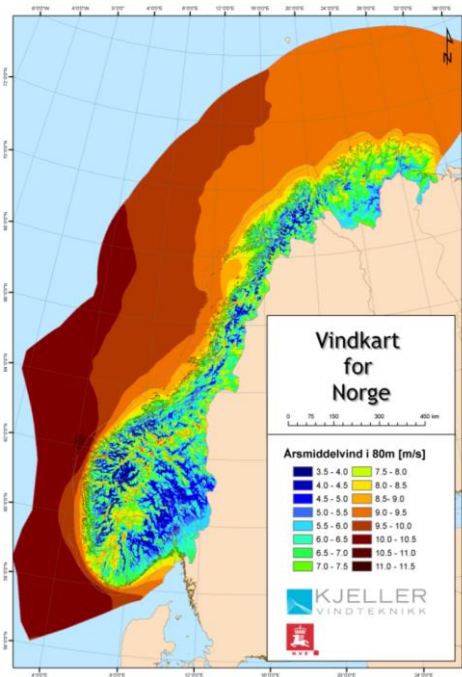
For å finne ut om en lokasjon er egnet for energiproduksjon settes det opp master med apparater som måler vindhastighet over en lang tidsperiode. Ettersom høye master er dyre, er en vanlig høyde for meteorologisk vindmåling på 10 m. Målingene her kan så kalkuleres til hva hastigheten er høyere over bakken. I tillegg gir flere master plassert utover et område et bedre helhetlig bilde over vindressurser for lokasjonen. Det er ikke bare vindhastigheten som er avgjørende, men også retningen det blåser fra. Selv om moderne turbiner kan vri nacellen og rotoren i forhold til vindretningen ved å bruke *yaw* mekanisme, vil turbiner som da står på rekke fange opp turbulens fra den framfor, såkalt vaketap. Turbinene bak den fremste fungerer da ikke optimal og effekten minker drastisk. Vindturbiner settes derfor i et mønster, gjerne en rekke rettvinklet mot vinden. Vinden burde derfor hovedsakelig kun blåse fra en eller to retninger, og ikke fra alle sider, noe som også måles av mastene.

Vindturbiner klassifiseres av IEC inn i 3 forskjellige klasser (Tabell 5) ettersom noen er designet for å tåle sterkere vinder enn andre, men også for å operere bedre i forhold til vindstyrker. Klassene 1 tåler mest vind og operer best med en årsmiddelvind på 10 m/s. Klassene 2 og 3 tåler mindre.

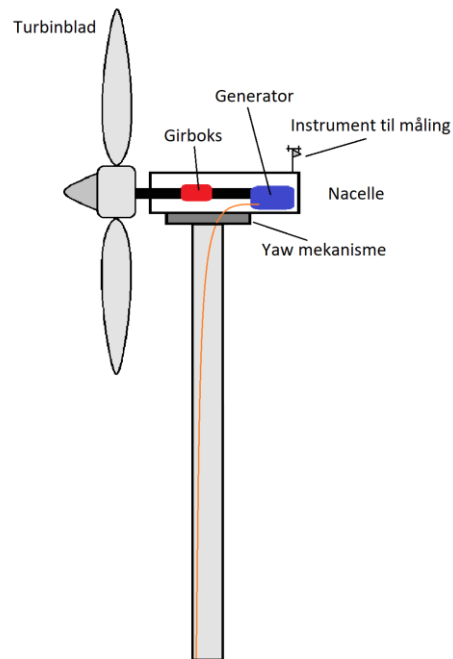
Tabell 5: Klassifisering av vindturbiner Adaptert fra [56]

Vindturbinklasse	Klasse I - Sterk vind	Klasse II - Medium vind	Klasse III - Lite vind
Årsmiddelvind	10 m/s	8,5 m/s	7,5 m/s
Ekstrem 50 års vind	70 m/s	59,2 m/s	52,2 m/s

Selv om en finner et egnet sted for vindkraftproduksjon betyr det ikke at turbinene konstant har muligheten til å generer strøm. Normalt generer den strøm i omkring 6000 av årets 8760 timer, da ikke på full effekt. For norske forhold er brukstiden 2500-3000 timer; en kapasitetsfaktor på rundt 30% [57].



Figur 3: Vindkart for Norge [58].



Figur 4: Visualisering av en vindturbin og komponenter.

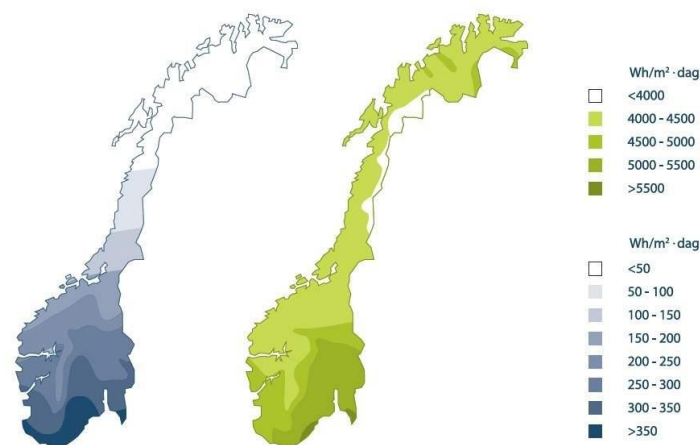
I det norske kraftsystemet er det bygget 42 vindparker som samlet har en installert effekt på 2582 MW, og i et normalår produserer 8,2 TWh [6]. Vindparkene har samlet 800 turbiner og er plassert forskjellige steder i landet [59]. På vindkartet i Figur 3 er det tydelig at årsmiddelvinden avtar fra havet og inn i over landet, der det blåser sterkest ved kysten og i fjellområder. Ettersom vindparker plasseres der det er gode vindforhold er lokasjonen ofte ved kysten, øyer og plataer.

Selv om etablering av vindturbiner kutter forurensing av fossile brensler over tid, kommer bygging og drift ikke uten konsekvenser på miljøet. Blant annet må det under bygging etableres vei og infrastruktur om det ikke finnes fra før, et naturinngrep som senere også blir brukt til vedlikehold, og gjerne friluftsliv. Direkte for beboerne kan konsekvensene bli visuelle plager, ettersom mange misliker innvirkningene på omgivelsene, sjenerende skyggekast fra turbinblader og støy fra maskineri og turbinblader i nær avstand. Fugler kan kollidere med turbinen og skade seg eller omkomme. Landbruk med dyr, som for eksempel sauer, blir forflyttet under bygging. Dyrene vil etter hvert vende til seg støyen og turbinene og landbruket kan fortsette som normalt. [60] Flere av konsekvensene kan simuleres ved bruk av programvarer, og nøye planlegging vil føre til minst ulemper for etablering av vindparker.

Ettersom vindturbiner finnes i forskjellige størrelser og effekt kan de for mikronett med egnet vindressurs være av stor interesse. Framgangsmåten for planlegging og etablering blir der i motlik som for en vindpark, men gjerne i mindre skala av kun en eller få mindre turbiner.

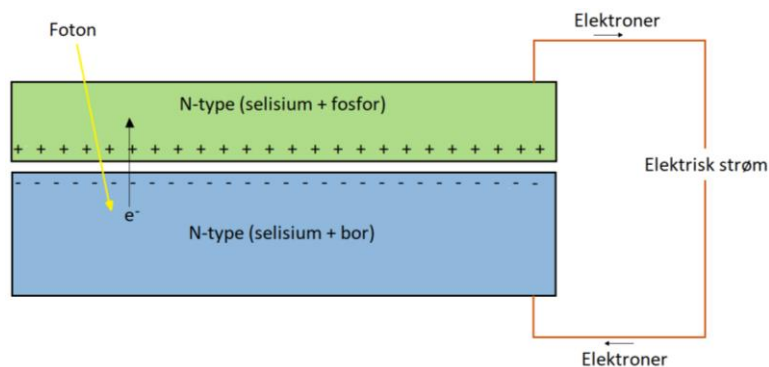
5.3.5 Solenergi

Den totale solenergien som treffer jorden har potensialet til dekke verdens energiforbruk 15000 ganger hvert år. Den årlige energimengden per kvadratmeter er fra 700 - 2200 kWh på en horisontal flate. Dette avhenger av jordas helning og bane rundt solen, og på hvilken breddegrad en befinner seg. Lokalt avhenger solinnstrålingens intensitet fra værforhold som skyer, snø, regn osv. Selv om innstrålingen er sterkest ved ekvator, har også Norge gode potensialer. Energimengden er her fra 700 til 1000 kWh/m² per år, sterkest på Sør- og Østlandet, og svakest i nord [61]. I Figur 5 ser en at også årstiden i Norge er av stor betydning. Indirekte kan denne energien brukes til oppvarming av hus gjennom vinduer eller vegger, og direkte blir det brukt solfangere eller solceller.



Figur 5: Norges daglige energimengde fra solen i januar og juli [62].

Solfangere bruker varmeenergien i solstråling til å øke temperaturen til vann som igjen blir brukt til oppvarming av hus eller tappevann. Solceller, forkortet til *PV*; *photovoltaics*, blir brukt for å omdanne solenergi til elektrisitet. Dette skjer ved en fotovoltaisk effekt som er en egenskap visse stoffer har, for eksempel silisium. Silisium blir dopet med to forskjellige stoffer, fosfor i det ene laget og bor i det andre, der så energien i sollyset, fotonene, slår løs elektroner i lagene slik at disse kan bevege seg i en ledning. Elektroner i bevegelse gir strøm (Figur 6). Solceller finnes i forskjellige størrelser og det er vanlig å koble flere sammen i et panel.



Figur 6: Visualisering av solcelle.

For å kunne utnytte mest mulig av solinnstrålingen til produksjon av elektrisitet optimaliseres helningsvinkelen på solcellepanel slik at de står vinkelrett mot solen i flere timer av døgnet. Ved å montere paneler på skråtak mot solen vil også gi lignende effekt i noen soltimer. I Norge kan en dermed oppnå at solenergien i flere måneder av året blir betydelig til produksjon av elektrisitet. Det burde også unngås å plassere solcellepanel i skygge fra vegetasjon, bygninger og andre hinder ettersom dette reduserer effekten.

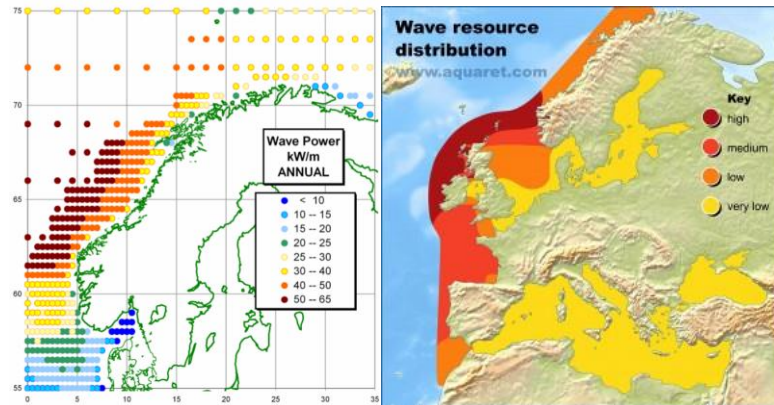
Selv om solinnstrålingen er intens med enorme energimengder, kan et solcellepanel kun produsere en brøkdel om til elektrisitet. Effektiviteten er rundt 15-24 % [42], blant annet ettersom mye av solinnstrålingen går over til varme, mange fotoner ikke har nok energi til å slå løs elektroner, og det er spenningsfall i ledninger og komponenter [63]. Effektiviteten er dermed bedre i kulden, noe som er en fordel med det kalde klimaet i Norge.

Levetiden for et solcelleanlegg er minst 30 år, med garanti på 25 år. Solceller av silisium er energikrevende å fremstille, men det tar normalt mindre enn 2 år for å produsere samme energimengden fra solcellen i bruk. Solkraft er teknologien til produksjon av elektrisitet som vokser hurtigst i verden. Markedet vokser også i Norge der det var ved utgangen av 2019 installert ca. 120 MWp [64]. Den største andelen er nettilknyttet, og det er også den som vokser raskest. Her kan private eller næringsbygg enkelt selge overflødig strøm som plusskunder, noe som sammen med støtteordninger øker interessen for installering. Kun noen år tilbake var det frittstående solcellepanel, for eksempel på hytter uten nettilknytning, som dominerte installert kapasitet i Norge, noe som ikke har økt betydelig.

I et mikronett kan det være aktuelt å installere solceller ettersom kostnader går ned og det kan produseres strøm når ikke vind eller vann er tilgjengelig. I tillegg er det lett å tilrettelegge og installere, med minimalt vedlikehold.

5.3.6 Bølgekraft

Bølger kommer av vind som blåser over vannmasser eller hav. Bølger er altså et produkt av vind som igjen er et produkt av solenergi. Bølgene transporterer energi, der bevegelsen av en bølge både er opp og ned og bortover. Her har vannpartikler sirkulære bevegelser og avtar med dybden. Bølgeenergi brukes i hovedsak til produksjon av elektrisitet. [65]



Figur 7: Gjennomsnittlig årlig tilgjengelig effekttetthet i bølger i Norge målt i kW/m [66].

Figur 8: Europeisk bølge ressurs potensiale i skala veldig lav, lav, medium og høy [67].

I verden har IEA estimert med at bølgekraft har potensialet til å dekke verdens forbruk 4-5 ganger [68]. Norskekystens bølgeenergi-potensiale (Figur 7) er estimert med å være på størrelsen med energipotensiale til alle norske vassdrag samlet [66].

Selv om potensialet er stort i norsk sammenheng er Norge kategorisert som et område med lite bølge ressurs potensiale sammenlignet med andre deler av Europa (Figur 8). Det er dermed tilstrekkelig med energi i bølgekraft i Norge og i verden, men det finnes grunner til at det ikke er mer utbredt. Det har vært en del mislykkede forsøk rundt bølgekraft, dermed vil færre investere som resulterer i at forskningen tar lengre tid og økonomisk kommersiell bruk blir utsatt. Det er ved de største bølgene en naturligvis kan hente mest energi, problemet er at disse bølgene er ødeleggende og uforutsigbare.

Bølgekraft kan utvinnes på forskjellige måter. Hovedtypene er bunnfaste bølgekraftverk som inkluderer vannsøyle, kilerennekraftverk og bølgehøvel, og flytende bølgekraftverk med bølgestempel og linjeabsorbator [65].

5.3.7 Tidevannskraft

Tidevannsenergi kommer av gravitasjonen mellom solen, månen og jorden. Gravitasjonen fra solen og månen har tiltrekning på vannmassene på jorden. Tiltrekningen vil avhenge av avstanden og da jorden roterer vil dette føre til en veksling av vannmasser. Jordens rotasjon og avstand til solen og månen er kontinuerlig og faste, dermed er tidevannsenergi en forutsigbar energikilde. En måte en kan benytte seg av energien er ved å demme opp områder som har store forskjeller på lavvann og høyvann for så å bruke en vannturbin på samme måte som en konvensjonell demning. Dette foregår både ved skiftet høyvann til lavvann og lavvann til høyvann. Vannmasser strømmer inn på samme turbin i motsatt retning. For et slikt kraftverk burde nivåforskjellen mellom høy- og lavvann være minst 5 meter [69]. I Norge vil ikke denne typen kraftverk være relevant da nivåforskjellen er på maks 3 meter. På denne måten kan energien til dels lagres og utvinnes når det er behov for den. Lofoten (Figur 9), Vardø og Trondheim er blant toppen av Norges største forskjeller for laveste astronomiske tidevann (LAT) og høyeste astronomiske tidevann (HAT) [66].

En annen måte er uten bruk av demning, der turbiner er plassert i områder med gode muligheter for utvinning av tidevannsenergi, blant annet i områder med trange fjord innganger, der tidevannsstrømmer er sterke. Turbinene sammenlignes ofte med vindkraft der de minner om mindre vindturbiner. Ved innsjøer, innlandshav og øyer i åpent hav er som regel tidevannsvekslingen ubetydelig [70].

Det har vært utført tidevanns prosjekter i Norge, men disse har møtt stor motgang der i Kvalsundet, Finnmark ble prosjektet gitt opp og flyttet til Skottland. Også i Gimsøystraumen, Nordland har det vært prosjekter med tidevann, dette ble i 2010 utsatt for havari [71]. Prosjektet har senere blitt gjenopplivet og det skal igjen prøves med tidevannskraft i Norge [72]. Tidevannskraft kan være et alternativ for mikronett som er lokalisert i sund eller fjorder der store det er stor vannføring.



Figur 9: Europeisk tidevanns potensiale illustrert i skala lav, medium, høy [67]

5.3.8 Bioenergi

Biomasse, i form av ved har i tusener av år vært en viktig kilde til oppvarming og matlaging. Bioenergi er energi utvunnet fra biologiske materiale. Dette er som regel fra planter og animalsk avfall som gjennom fotosyntesen har omgjort solenergi, vann og karbondioksid (CO_2) til karbohydrater og oksygen (O_2). Her lagrer planter solenergi i form av karbohydrater. Biomassens andel av karbon og hydrogen avgjør hvor mye energi den inneholder [73]. Eksempler på biomasser som kan brukes til bioenergi er ved, som kan brennes direkte, sukkerholdige planter, for eksempel sukkerrør, kan omdannes til etanol, raps egner seg til produksjon av biodiesel (nevnt i 5.3.1), og animalsk avfall kan brukes til å produsere biogass. Energikildene blir brukt til elektrisitets- og varmeproduksjon ved forbrenning og som en erstatning for fossile brensler i transportsektoren.

Biodrivstoffene, beskrevet i kapittel 5.3.1, har i det siste tiåret vært svært omdiskutert. Det første var debatten om “food vs. fuel”, og går ut på at store arealer til dyrking av mat nå brukes til planter for produksjonen av biodrivstoff, selv om det er enorm matmangel blant deler av jordas befolkning. Regnskogen brennes ned til å lage plass til åkere, en bruker mengder med vann til vanning, diverse kjemikalier til gjødsling og maskineri til høsting. Her dukker det også opp en debatt angående klimagassutslipp. Biodrivstoff omtales som klimanøytral i den forstand med at utslippene av bruken ikke påvirker karbonkretsløpet. Helheten av produksjonen fra planting til forbrenning kan likevel gi et helt annet svar.

5.3.9 Geotermisk energi

Geotermisk energi er varmeenergi under jordens overflate. Denne varmeenergien kommer i hovedsak fra stråling fra radioaktive isotoper i jordskorpen. Av den totale geotermiske energien står radioaktivitet for ca 66 % av varmeenergien. Den resterende energien kommer i stor grad av varmen fra dannelsen av planeten. Det er anslått at den totale geotermiske energien på jorden kan dekke verdens forbruk i 500 000 år [74].

Geotermisk energi deles gjerne i to kategorier ut ifra deres dybde. Disse to kategoriene for dette er grunn geotermisk energi også kalt lavtemperatur geotermisk energi (0-300 m), og dyp geotermisk energi også kalt høytemperatur geotermisk energi (>300 m). Disse to kategoriene har forskjellige bruksområder.

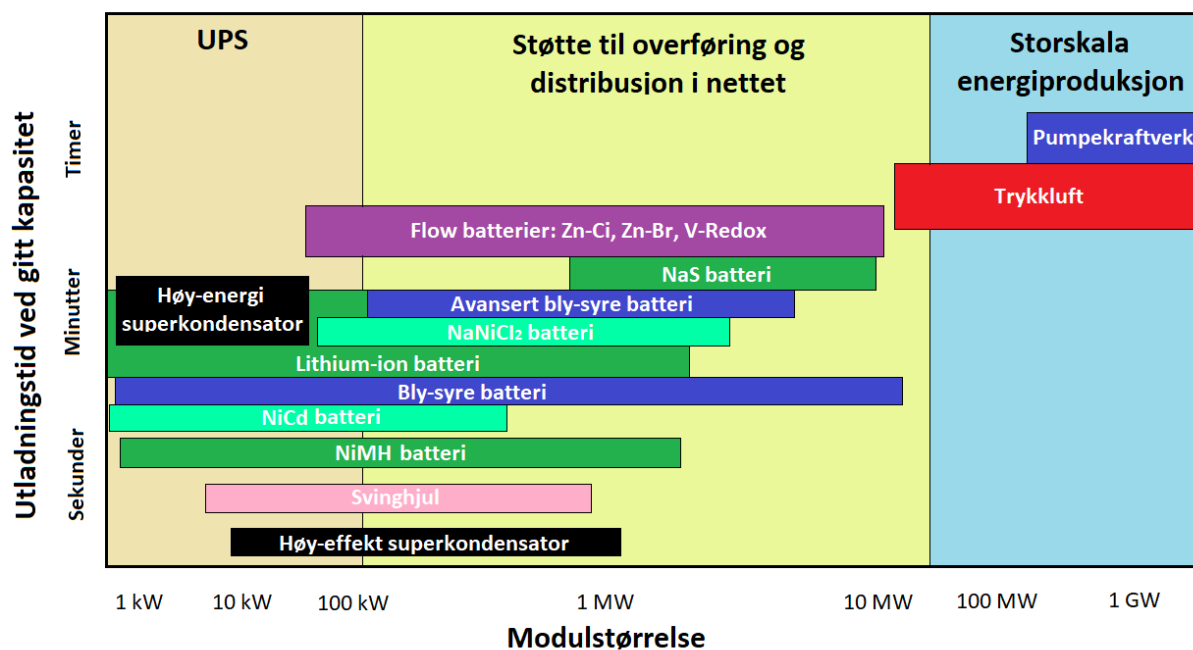
Grunn geotermisk energi er for det meste lagret solenergi, noe er også strålingsenergi. Denne typen geotermisk energi brukes til oppvarmingsformål som fjernvarme eller ved hjelp av varmepumper. Det er i størst grad dette som er bruksområdet til geotermisk energi i Norge.

Dyp geotermisk energi er energi fra jordens indre som strømmer mot overflaten, der det er en stor varmforskjell. Noen steder er denne varmestrømmen sterkere, som ved vulkanske områder og i nærheten av sprekker mellom tektoniske plater. Denne geotermiske energien brukes til oppvarmingsformål og til elektrisitetsproduksjon.

Det må ligge noen forutsetninger til rette for å utvinne energien under jorden. En forutsetning er at det må være en porøs bergart der vann kan lagres. En annen er at det er ugjennomtrengelige bergarter rundt lageret slik at vannet ikke renner bort. En selvforklarende forutsetning er at det må være en varmekilde i nærheten, som varmt fjell [75].

5.4 Lagring av elektrisitet

Der en har muligheten for lagring av elektrisitet, er strømmettet mer stabilt og tåler større fluktueringer i strømforbruk. Lagring av elektrisk kraft kan gjøres på en rekke forskjellige metoder gjennom kjemisk, mekanisk eller elektrisk energi. Som å se i Figur 10 har lagringsmulighetene forskjellig utladningstid og kapasitet som ofte bestemmer deres bruksområde.



Figur 10: Utladningstid for forskjellige energi lagringssystemer. Adaptert fra [76].

5.4.1 Batterier

Den vanligste måten en lagrer elektrisitet er gjennom batterier. Batterier fungerer ved å omforme elektrisk energi til kjemisk energi, og motsatt vei ved utladning. Batterier brukes per dags dato iblant annet elektriske biler, mobiltelefoner og til lagring av overflødig elektrisk kraft fra kraftverk.

Det finnes i hovedsak to typer batterier, primærbatterier og sekundærbatterier. Primærbatterier, også kalt engangsbatterier og sekundærbatterier eller oppladbare batterier. Batterier skilles også ut ifra hvilke materialer de er bygd opp av. Den kanskje mest kjente typen, litium-ion batteriene, er mye brukt i mobiltelefoner, PCer og elektriske biler [77].

Den vanligste batteritypen som brukes til lagring av strøm i nettet er bly-syre batterier. Det brukes også andre batterityper til dette, som for eksempel nikkel-kadmium batterier. Bly-syre batterier brukes ofte også som sikkerhetstiltak i form av nødstrøm for sykehus. De største grunnene til at bly-syre batterier blir benyttet mye er grunnet deres lave kostnad og gode tilgjengelighet. Disse batteriene har noen ulemper, de har relative lave verdier for lagret energi og kraft mot deres vekt, som vist i Tabell 6. Batteriene har også kort livssyklus og krever mye vedlikehold [78].

Tabell 6: Forskjellige egenskaper til batterityper. Adaptert fra [78].

Batteritype	Energitetthet [Wh/kg]	Effektetthet [W/kg]	Bruksområder	Største batteribank
Bly-syre	30-40	180	Kjøretøy - Telekommunikasjon - UPS	20 MW, (PREPA)
Nikkel-kadmium (Ni-Cd)	30	150-200	Luftfart - Nettverksstøtte	40 MW, (GVEA, Alaska)
Sodium-svovel (Na-S)	150	200	Stasjonære kraftstasjoner - Overføring og distribusjon Balansere produksjon fra fornybare energikilder	6 MW, 48 MWh nettverksstasjoner
Sink-brom (Zn-Br)	35-54	100	Overføring og distribusjon i nettet - Balansere produksjon fra fornybare energikilder	Detroit Edison 400 kWh system
V-Redox	10 - 20	50	Overføring og distribusjon i nettet - Balansere produksjon fra fornybare energikilder	3 MW, (Japan)
Litium-ion ^a	100-265	250 - 340	Bærbar elektronikk - Balansere produksjon fra fornybare energikilder	150 MW, (Jamestown, Australia) ^b

a [79], b [80]

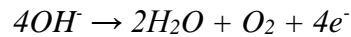
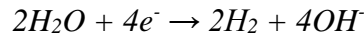
5.4.2 Superkondensator

En kondensator lagrer elektrisk energi i et elektrisk felt, mellom to elektriske ledere [81]. Kondensatorer har høy virkningsgrad, dette kommer av at det ikke inngår kjemiske reaksjoner eller faseoverganger.

En superkondensator er en kondensatorer med høyere lagringskapasitet og til bruk til større energilagring [82]. Både batterier og kondensatorer brukes i som et sikringstiltak dersom strømmettet har problemer, dette skjer gjennom *UPS*. Dette er med på å sikre en stabil strømforsyning [83]. Kondensatorer brukes også i elektriske biler, datamaskiner og andre elektriske motorer. Superkondensatorer ble nevnt i et miniprojekt ved NTNU til å være den beste løsningen for korttids energilagring for bølgekraft [84].

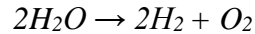
5.4.3 Hydrogen

Hydrogen har i de siste årene blitt mer brukt som energibærer. Motstanden mot bruken av hydrogen har vært stor da hydrogen ble assosiert med eksplosiver og ustabilitet. Fremstillingen av hydrogen som energibærer skjer gjennom elektrolyse av vann. Gjennom elektrolyse fremstilles hydrogengass H_2 og oksyngengass O_2 fra vannmolekyler H_2O . Dette skjer ved hjelp av elektrisitet hvor en kobler opp strøm til to elektroder som står i vann. Elektrodene blir til en positiv anode, der det foregår oksidasjon (Formel 3), og en negativ katode, der det foregår reduksjon (Formel 3).



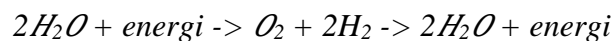
Formel 3 og 4: Oksidasjon og reduksjon

Reaksjonen viser at det dannes H_2 og O_2 i et forhold på 2 til 1. Hele reaksjon vises i Formel 5.

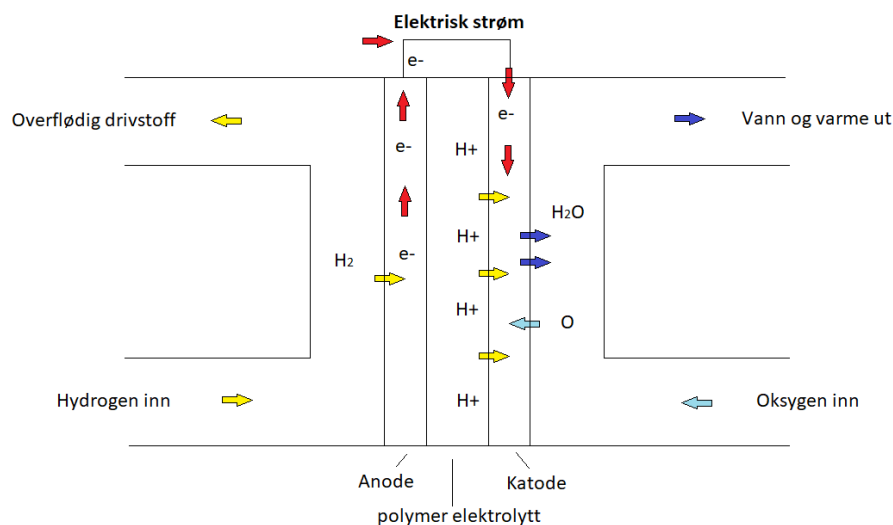


Formel 5: Elektrolyse av vann

Denne prosessen er energikrevende og dermed kostbar. Ved overflødig elektrisitetsproduksjon er elektrolyse et alternativ for energilagring, hydrogen blir dermed en energibærer. Det lagrede hydrogenet kan senere brukes i en brenselcelle til å frigjøre energien. Reaksjonen er i hovedsak elektrolyse i revers der resultatet igjen er energi og vann (Figur 11). Hele energikretsløpet blir gitt i Formel 6. [85]



Formel 6: Energikretsløpet ved elektrolyse og bruk av brenselcelle



Figur 11: Visualisering av en Polymer-elektrolytt-brenselcelle

5.4.4 Svinghjul

Svinghjul er en form for mekanisk energilagring der energien blir lagret i roterende masser eller skiver. Energi-lagringspotensiale bestemmes fra skivens masse, hastighet og radius [86]. Svinghjul har høy virkningsgrad over korte tidsperioder og blir fort opp- og utladet [87] som vist i Figur 10. Rotasjonshastigheten øker og minker og er tilkoblet en generator. Hjulet brukes til energilagring og for å jevne ut frekvensen i strømmettet ved å ta opp og gi fra seg elektrisitet

hurtig. Bruk av nye komposittmaterialer har gjort at svinghjul har mindre tap enn tidligere og blir mer aktuelle for større energilagring. Magnetfelt og skiver i vakuum har også minnet friksjonen i systemet.

5.4.5 Vannmagasiner

Allerede nevnt kan vannmagasiner og pumpekraftverk blir brukt til energilagring. Vannmengder lagres, eller pumpes og lagres i et magasin som kan tappes etter behov. Energien som brukes til å pumpe opp vann kan være fra overflødig produksjon fra vindkraft eller når energiprisene er lave og en forvente høyere priser et senere tidspunkt. I verden brukes pumpekraftverk hovedsakelig til døgnregulering, mens det i Norge er brukt til sesonglagring og utnyttelse av store nedbørsmengder [88].

5.4.6 Trykkluft

Ved å bruke overflødig energi til å drive en kompressor kan luft under trykk lagres i tanker av forskjellige størrelser. Storskala trykkluft kan lagre energi som kan forsyne med energi over flere timer. Energien utvinnes i en modifisert gassturbin [89].

5.5 Drift av mikronett

Et velfungerende strømmnett, inkludert mikronett, krever diverse komponenter som fordeler strøm fra forskjellige produksjonsteknologier og energilagring til forbrukerne. Komponentene bidrar til effektiv overføring, distribusjon og overvåking av systemet. Komponenter som er viktige i et slikt system er transformatorer, konvertere, veksel- og likerettere og et overvåkingssystem. I et mikronett blir disse sammensatt i forskjellige konfigurasjoner ettersom produksjon og laster har ulike spenninger og strømmer.

5.5.1 Overvåkingssystem

Likt som i overføringsnettet i Norge der Statnett og nettselskap har som oppgave å overvåke hele kraftsystemet må også et mikronett bli overvåket på et visst nivå. Det brukes målepunkter, som måler strøm, spenningen, frekvensen og effekten fra for eksempel generator og/eller solcellepanel, linjer, tilkoblingen og flyten fra og til overføringsnettet i *PCC*, og laster i sanntid. Denne informasjonen blir sendt til et kontrollsystem som fjernstyrer innstillinger på komponenter for å opprettholde balanse i nettet.

5.5.2 Veksel og likestrøm

Som beskrevet i kapittel 5.3 og 5.4, og i Tabell 3 og Tabell 4, generere produksjonsteknologiene to forskjellige typer strøm. Det skilles mellom vekselstrøm *AC*, og likestrøm *DC*. Installasjoner

i hjemmet i Norge er som regel bygget for vekselstrøm med en spenning på 230 V. Likestrøm brukes av batterier som for eksempel bærbar PC og telefoner. Forskjellen mellom de to strøm typene er at vekselstrømmen skifter retning periodisk med en frekvens på 50 Hz, slik at det i gjennomsnittet går like mye strøm i begge retninger gjennom en leder [90]. Likestrøm har derimot konstant strøm i en retning. For å kunne bruke begge strømmene i samme kraftsystemet må disse omformes og gjerne transformeres ved hjelp av forskjellige komponenter.

5.5.3 Transformator og DC/DC-konverter

Transformatorer brukes for å øke eller minske spenningen i vekselstrøm, dette skjer henholdsvis i kraftstasjoner og ved forbruksstedet. Mellom alle ledd i kraftsystemet der spenningen endres er det er transformatorer, som ved overgangen fra regionalnett til distribusjonsnett [91]. For å øke og minske spenningen i likestrøm benyttes en DC/DC-konverter.

5.5.4 Veksel- og likeretter

En vekselretter omformer likespenning til vekselspenning. Dette brukes for eksempel fra et solcellepanel til husstander [92]. Likerettere gjør det omvendte der den omformer vekselspenning om til likespenning. Likerettere er for eksempel brukt i mobilladere [93].

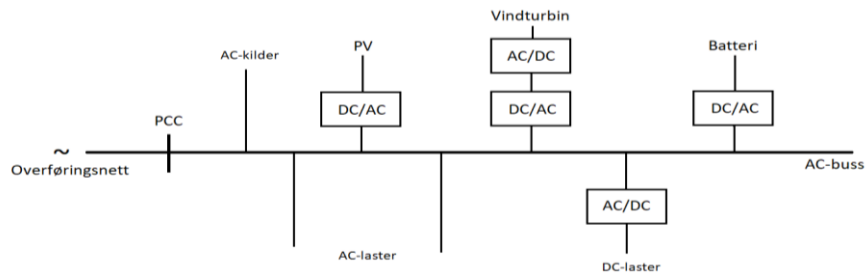
5.5.5 AC-, DC- og hybrid mikronett

Det eksisterer flere typer mikronett som er designet på forskjellige måter. Disse mikronettene kan klassifiseres i grupper som kommer av måten AC- og DC-bussene er koblet sammen. For å skille de to, er det nettets felles system-valuta som bestemmer deres buss. Altså om linjene benytter AC eller DC [94].

5.5.5.1 AC-mikronett

Denne typen mikronett benytter seg av AC i distribusjonslinjene. Det vil si at det ikke kreves vekselretter til overføringsnett dersom mikronettet er tilkoblet dette. Spenningen og frekvens i slike mikronett vil være det samme som brukt i overføringsnett. Et slik type mikronett er godt egnet til etableringen av mikronett i områder med eksisterende AC-infrastruktur. Komponenter som transformatorer og konvertere er brukt der spenningen må økes eller minskes, og vekselretter er brukt for å mate inn kraft fra batterier og produksjonsteknologier som PV, vist i Figur 12. Selv om diverse produksjonsteknologier generer vekselstrøm lik bussen i et AC-mikronett, brukes det etter produksjonsleddet en likeretter og så en vekselretter. Grunnen er at frekvensen i strømmen generert fra for eksempel en vindturbin, som roterer i delvis ulike

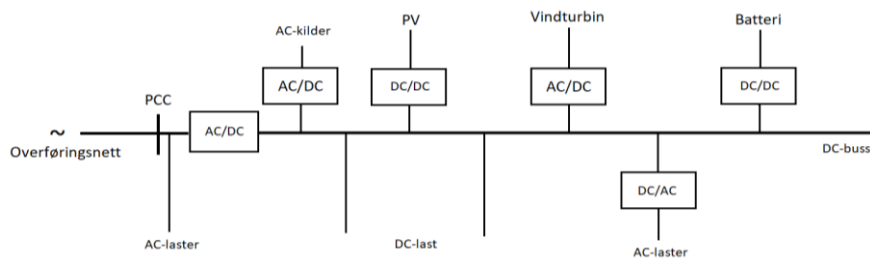
hastigheter, ikke konstant lik nettfrekvensen, noe som AC/DC sammen med DC/AC eliminerer. [94]



Figur 12: Visualisering av et AC-mikronett

5.5.5.2 DC-mikronett

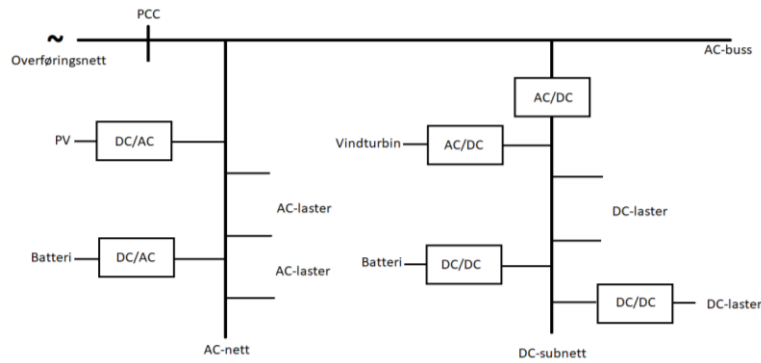
Slike mikronett har DC i distribusjonslinjer, og kan være tilkoblet overføringsnett. Denne koblingen (PCC) krever en likeretter, og dersom det skal eksporteres overflødig energi til overføringsnett krever det en vekselretter. Generatorer som vindturbiner må tilkobles likeretter og PV bruker DC/DC konverterer for å tilpasse DC-bussens spenning som vist i Figur 13 [94].



Figur 13: Visualisering av DC-mikronett

5.5.5.3 Hybrid

Et slikt mikronett benytter seg av både AC og DC. Her består hovednett av et AC-nett med et DC-subnett. AC-laster og DC-laster er delt opp slik at de skal korrespondere til deres strøm- og nettype. Altså går AC-laster på AC-nett, og DC-laster på DC-subnett. Generatorer kan kobles til både AC og DC med eller uten veksel- eller likeretter avhengig av strømtype produsert [94]. Et hybrid mikronett er visualisert i Figur 14.



Figur 14: Visualisering av hybrid mikronett

5.5 utfordringer knyttet til etablering og drift av mikronett

Etableringen av mikronett kan føre til utfordringer. All fornybar energi krever at kraftproduksjonen ligger i området som er egnet for det. Et fleksibelt nett krever også ofte flere energikilder [30]. Avsidesliggende områder som i teorien hadde vært en egnet plasseringen av fornybare mikronett kan bli uaktuelle da det ikke er tilstrekkelig med utnyttbare energiresurser i nærheten. Det er nemlig gunstig at produksjons- og forbruker leddet ligger i en relativt liten distanse fra hverandre. Utbygging av strømmnett er ressurskrevende, og energitapet blir høyere desto lengre avstand det må fraktes med samme spenning.

Områder kan også ha tilstrekkelig med energi i noen tider av døgnet, og andre tider ikke. Dersom disse ikke er tilkoblet et større strømmnett kan det føre til blackouts der forbruket overskrider produksjonen og lagringsmulighetene. Det er ikke kun fluktueringer mellom dag og natt som er problematiske, men større fluktueringer mellom sesonger kan også føre til høyere etterspørsel enn produksjon.

På den andre siden kan områder være veldig godt egnet til kraftproduksjon. Dersom disse ikke er koblet til et større strømmnett og produksjonen stadig ruger over forbruket, kan dette føre til overflødig strøm og dårlig utnyttelse av gode ressurser.

Områder som ikke har tilgang til elektrisitet er som regel ikke økonomiske stabile i den forstand at de ikke har god inntekt, stort sett u-land. Den tradisjonelle løsningen for avsidesliggende områder har vært dieselaggregat til strømproduksjon. Integreringen av fornybare produksjonsteknologier i områder som bruker dieselaggregat utføres ofte steg for steg. Dette skjer ved at det jobbes med å balansere systemet samtidig som det implementeres fornybare teknologier, og senere lagrings- og kontrollerings teknologier for systemet. Slike områder er helt avhengig av subsidier for å etablere et fungerende strømmnett [30].

Det å kun være avhengig av fossile brensler til strømproduksjon har flere risikoer og ulemper. Diesel baserte strømproduksjon er ofte dyr og prisen er uforutsigbar, det samme gjelder leveranse. Etersom teknologi som bruker fornybare ressurser, som vind, vann og sol, blir mer økonomisk oppnåelig, vil disse kunne minimere økonomiske risikoer og ulemper ved mikronett [30].

Også i den vestlige industrialiserte verden er det avsidesliggende områder som drives helt eller delvis av dieselaggregat. På noen steder har befolkningen selv tatt initiativ for etableringen av mikronett, men ofte trengs det også her subsidier da dette kan bli dyrt for innbyggerne. Selv i Norge med gode vind forutsetninger finnes det foreløpig lite eller ikke noe marked for småskala vindturbiner. Dette skyldes i størst grad to ting; lønnsomhet og kunnskapsmangel [95].

Både ved utbyggingen og vedlikehold dukker det opp problemer for avsidesliggende områder som skal etablere mikronett. Der det ofte ikke bor kvalifisert personell i nærheten må disse med utstyr og byggematerialene transporteres til området, som blir mer ressurskrevende enn ved urbane lokasjoner [30].

6. Eksisterende mikronett

6.1 Mikronett i verden

Det er per dags dato en mengde eksisterende mikronett i verden. Disse benytter seg av forskjellige teknologier og løsninger. Som nevnt tidligere har en vanlig metode vært bruk av dieselaggregat som energikilde. Andre områder har tidligere ikke hatt tilgang på strøm. En fellesnevner for eksemplene nedenfor er at samtlige har integrert fornybare energiteknologier i elektrisitetsproduksjonen. Ved å se på lokasjoner i verden og deres forskjellige produksjons- og lagringsteknologier utforskes forskjellige muligheter for etableringen av mikronett. Her skal det ses på noen eksempler av hvordan avsidesliggende lokasjoner og samfunn har etablert og driver mikronett i verden. En oversikt er visualisert i Tabell 7.

Tabell 7: Oversikt over forskjellige mikronett i verden.

Lokasjon	Produksjonsteknologier	Energilagringmuligheter	Installert effekt [kW]	Gjennomsnittlig årlig andel fornybar energi produsert av totalproduksjon [%]
Isle of Eigg, Skottland	Vannkraft, solkraft, vindkraft, dieselaggregat	Batteri - 720 kWh	250	87
El Hierro, kanariøyene, Spania	Vannkraft, Vindkraft	Vannmagasin med pumpekraftverk	35000	100
Marble Bar og Nullagine, Australia	Solkraft, Dieselaggregat	Svinghjul - 500 kVA	2748	30

6.1.1 Isle of Eigg, Skottland

Isle of Eigg er en øy på vestkysten av Skottland med en populasjon på om lag 100 mennesker. Inntil 2007 ble det produsert strøm fra dieselaggregat som hver husstand hadde installert. Befolkningen på øyen forstod i 2007 og kom til enighet at det var en bedre løsning å koble husstandene sammen for å minimere risiken for blackouts, og dette var en rimeligere løsning enn å koble seg til fastlands-strømnettet. På denne måten brukes det mindre fossile brensler og individuelle husstander er bedre rustet mot blackouts. Det ble også enighet om å utnytte øyens naturlige ressurser til strømproduksjon, der det er godt egnet til vann-, sol-, og vindkraft. Det ble også installert batterier med lagringmulighet på 720 kWh som skal sikre elektrisitet til enhver tid. Samfunnet har også funnet en måte å utnytte overflødig elektrisitet på, dette skjer dersom batteriene er fulladet, da kommunale hus blir varmet opp. Ledelsen for prosjektet er fra øysamfunnet, og det er blitt opplært fastboende til å operere og vedlikeholde systemet [87]. Isle of Eigg benytter seg fortsatt av fossile brensler men har en årlig fornybar energiproduksjon på 95% [96].

6.1.2 El Hierro, kanariøyene, Spania

El Hierro er den minste og vestligste av kanariøyene og har en populasjon på omtrent 11 000 mennesker. Øyen har ingen nettilkobling til de andre kanariøyene eller fastlandet. Felles for kanariøyene er at de er i stor grad avhengig av diesel for elektrisitetsproduksjon, dette gjør at prisen fluktuerer med oljeprisen. Slik har det også tidligere vært for El Hierro men den ble i 2015 et unntak fra resten av øygruppen da den produserte 100% fornybar energi over en periode på 4 timer. Gjennom et velfungerende kraftsystem med vind- og vannkraft har øyen nå en årlig fornybar energiproduksjon på 100% [30]. Den installerte effekten er tredelt med vind som står for omtrent en del, vann for andre delen og diesel for den tredje delen. Dette vil si at øyen har et dieselkraftverk som ikke lenger er i bruk. Vannkraften på øyen brukes nå i størst grad som lagring av overflødig energi i form av vannmagasiner. Vann blir her pumpet opp til vulkankrater omtrent 800 moh., og benyttes i tider med lite vind. Prosjektet er finansiert av det spanske kraftselskapet Endesa, de spanske myndighetene og *the Canary Institute of Technology*. Det

planlegges nå et skifte fra tradisjonelle biler til elektriske biler på øyen mot et mål om bærekraftig transport.

6.1.3 Marble Bar og Nullagine, Australia

Marble Bar og Nullagine er to avsidesliggende byer i Australia uten tilkobling til større nett. Med en samlet befolkning på 600 ble strømforsyningen til byene frem til 2008 drevet av diesel som energikilde. Som et forskningsprosjekt bestemte strømlleverandøren Horizon Power seg for å inkorporere fornybar energi inn i strømmettet. Dette ble gjort ved å implementere solceller, som verdens første til å kombinere de to energikildene til strømproduksjon [97].

Det ble også samtidig installert svinghjul med 500 kVA lagringskapasitet som energilager for byene [98]. Etter 2008 har byene opplevd at nettet har blitt mer stabilt og de har blitt anerkjent som ledende innenfor integreringen av fornybar energi til nettet. Totalt sett står byene også mer økonomisk stabilt der de ikke lengre er like avhengige av varierende og økende oljepriser. I 2015 kom 30 prosent av årlig elektrisitetsproduksjon fra solceller og resterende fra diesel. Finansieringen for prosjektet stod Australske myndigheter og strømlleverandøren for [30].

6.2 Mikronett i Norge

I Norge finnes det noen mikronett, her ses det på hvordan og hvorfor disse har blitt etablert. Forskningsprosjekt som disse over skal være en driver for andre samfunn som er avhengige av diesel til strømproduksjon mot en overgang til fornybare mikronett eller for mer fornybare energi til nettet generelt. Det er også stadig flere statlige og private aksjonærer som er villige til å investere i slike prosjekt.

Tabell 8: Oversikt over forskjellige mikronett i Norge.

Lokasjon	Produksjonsteknologier	Energilagringmuligheter	Installert effekt [kW]	Gjennomsnittlig årlig andel fornybar energi produsert av totalproduksjon [%]
Utsira, Rogaland	Vindkraft	Tidligere hydrogen	1200	100
Byneset, Trondheim	Solkraft, vindkraft	Batteri - 540 kWh, hydrogen - 3000 kWh	305 ^a	100
Skagerak Arena, Skien	Solkraft	Batteri - 1 MWh	700 ^b	100
Givær ^c	Dieselaggragat		158	0

a: 80 kWp solceller og 225 kW vindturbinen, b: 700 kWp solceller, c: Beskrivelsen av mikronettet i 7.3 og 7.4.

6.2.1 Utsira

Utsira er en kommune og en øy i Rogaland fylke med et innbyggertall på omtrent 200 personer med sjøkabel fra Karmøy. I 2004 gikk Norsk Hydro inn på øyen om et forskningsprosjekt med to vindmøller og et hydrogenanlegg. Utsira og Hydro fikk mye internasjonal oppmerksomhet

og ble verdens første anlegg som kombinerte vind og hydrogen. Prosjektet var også det første i verden som utnyttet hydrogen til produksjon av elektrisitet til husstander [99].

Vindmøllene ble i 2011 kjøpt av Solvind Prosjekt AS og er stående der hydrogen anlegget har blitt fjernet fra Utsira [100]. Overflødig elektrisitet fra vindmøllene går til Haugaland Kraft som eier sjøkabelen til Utsira.

6.2.2 Byneset

Enova gjorde gjennom sitt prosjekt pilot-E en befaring av området Byneset i Trondheim der målet er å gjøre to bondegårder selvforsynte med fornybar energi. Over en periode på 2 år skal bonden være frakoblet større nett og være forsynt gjennom solceller, vindmølle, batteri og hydrogenanlegg. Solcellene har en beregnet effekt på 80 kWp [101], og installert effekt på vindmøllen er 225 kW [102]. Produksjons teknologiene som er installert er estimert til å produsere mer enn årlig forbruk for gården, dette vil gå til hydrogenproduksjon. Batteriet har en lagringskapasitet på 540 kWh, og hydrogen-anlegget har en lagringskapasitet på 3000 kWh. Dette vil si at det totale lagringspotensiale kan dekke forbruket i 5-8 dager [103].

Prosjektet er underveis og skal bevise at fornybare mikronett er et gunstig og miljøbevisst alternativ til utbygging av sjøkabler og bruk av dieselaggregat [104].

6.2.3 Skagerak arena

Skagerak Energilab, med støtte fra blant annet Enova, har åpnet for et stort solcelleprosjekt på hjemmebanen til Odd fotballklubb. Prosjektet er i stor grad et demonstrasjonsanlegg for teknologier tilknyttet smartnett. Anlegget skal benytte seg av taket på arenaen til strømproduksjon gjennom solceller med en beregnet effekt på 700 kWp [105]. Solcellene skal være koblet til et batteri med kapasitet på 1 MWh. Dette skal jevne ut den store lasten på kampdager og treninger da belysningen blir slått på. Utenom dette skal solcellene levere elektrisitet til boliger i nærheten [106].

7. Planlegging av et mikronett på Givær

7.1 Bakgrunnsinformasjon

7.1.1 Målsetting

Målsetningen i denne delen av oppgaven er at det skal simuleres strømforsyning for øysamfunnet Givær i Bodø. Løsningen skal være mer miljøbevisst enn eksisterende forsyning og også mer økonomisk lønnsomt enn andre alternativer. Det utforskes og modelleres produksjons- og lagringsteknologier og samspillet mellom disse i en simulasjon ned på timesnivå. Det er tatt i bruk reelle vind- og solinnstrålingsdata og strømforbruket av øyen.

7.1.2 Valg av data

Vind- og temperaturdata ble lastet ned fra Norsk Klimaservicesenter [107], der vinddata er middelvinden de siste 10 min før observasjonstiden. Nærmest målestasjon er Helligvær SN82410, en øy rundt 17 km lengre nord. Begge øyene har åpent hav rundt seg og klassifiseres med nesten lik årsmiddelvind, noe som er bra nok for løsning av oppgaven. Forbruksdata er loggført strømproduksjon av aggregatene på øyen, data tilgjengelig var fra 2017-2019 tilsendt fra Nordlandsnett [108]. I simulasjonen ble det valgt ut året 2017 for vinddata ettersom disse hadde minst feil og manglende data i forhold til andre år. Forbruksdata ble valgt fra samme år. For solinnstrålingsdata ble det brukt PVGIS, et programverktøy som ved bruk av kalkulasjoner og satellittbilder beregner energien fra solinnstrålingen for gitt koordinater [109]. De nyeste dataene var fra året 2016. Dermed ble det valgt å bruke *Typical Meteorological Year* verktøyet som tar data fra månedene med verdier som er mest typisk fra en 10 års periode fra 2005 til 2016.

7.1.3 Tidligere studie

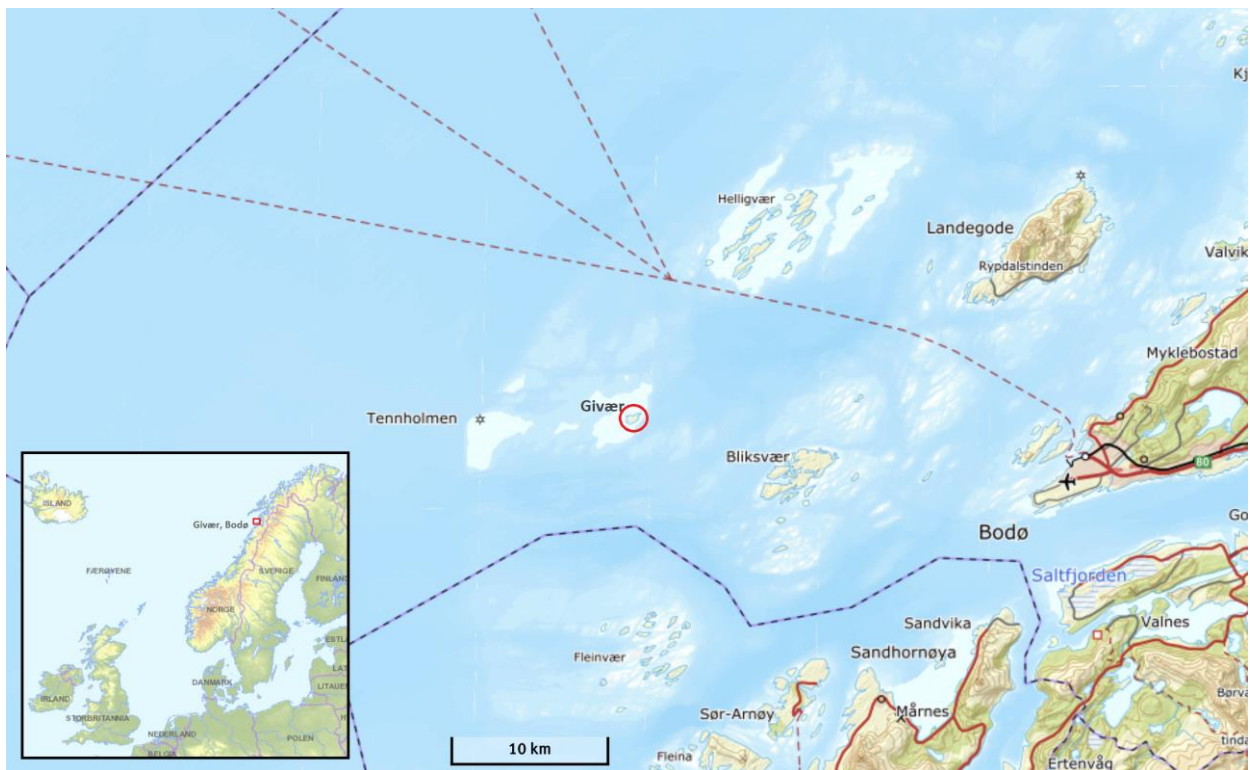
Under arbeidet med å planlegge et fornybart mikronett på Givær ble det funnet en tidligere masteroppgave skrevet av Mariell Hermansen i 2017. Her ble det brukt simuleringsprogrammet Homer Energy for å utforske 3 forskjellige alternativer konfigurasjoner for dimensjonering av mikronettet. Alternativene bruker blant annet produksjonsteknologier som vind- og solenergi, aggregat og kombinert varme- og kraftverk ved bruk av gassturbin. I tillegg er lasten i forskjellig andel i alternativene simulert som flyttbar og fleksibel. I vår oppgave var målet å dimensjonere og simulere fra grunnen av, og svarene ble dermed ulik masteroppgaven. Likevel var det spennende og lese litt av resultatene kommet fram her.

7.2 Kort om Givær



Figur 15: Givær og Husøya sett fra luften. Copyright Lars Westvig [110]

Givær er en øygruppe vest for Bodø i Nordland fylke (Figur 16). Øyen har 15 fastboende der bosettingen er på Husøya (Figur 15) og hovednæringen til øyen er fiske. Det befinner seg også gårdsdrift med sauer og noen andre husdyr. Med en hurtigbåtforbindelse til Bodø ankommer det også turister til øya. Dette er den eneste forbindelsen øysamfunnet har med fastlandet. Uten tilkobling til overføringsnettlet står to dieselaggregat for strømproduksjonen på Givær.



Figur 16: Plassering av Givær i Norge [111]

7.3 Strømforbruket på øyen

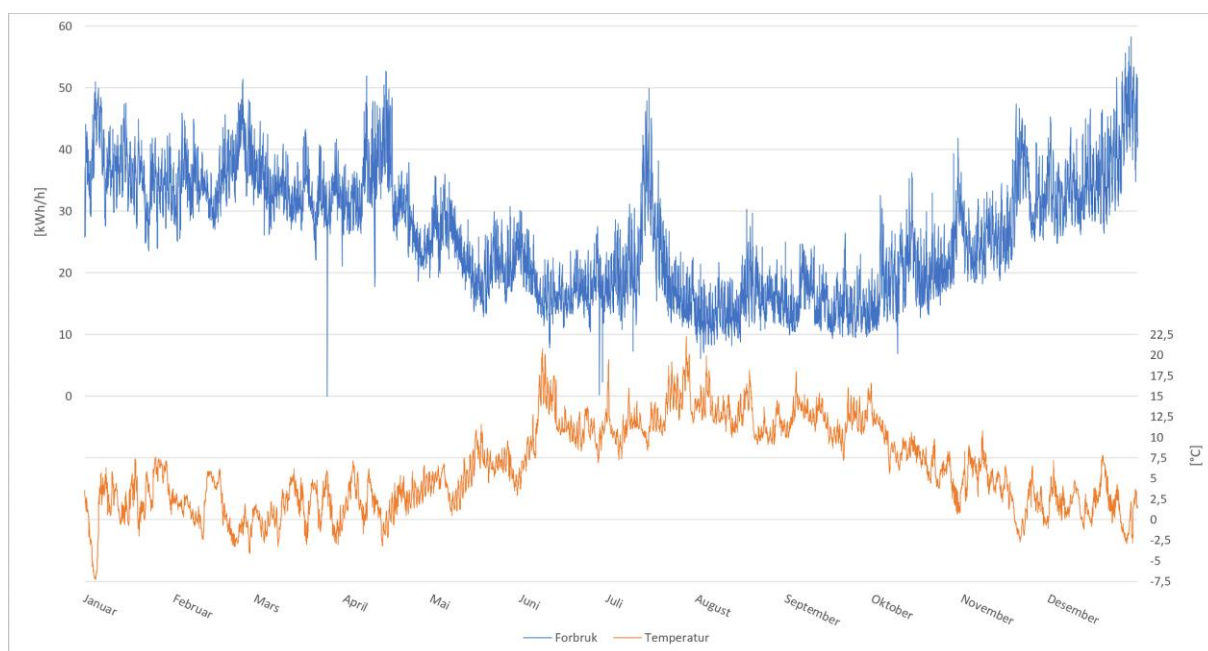
7.3.1 Eksisterende installasjoner

Øyen har 7 helårs husstander som er i form av boliger og et rekkehus, 6 hytter/fritidsbygg, 3 brygger, skole, grendehus, bedehus, teleanlegg og avsaltingsanlegg/vannverk rundt 11 naust og 8 driftsbygninger for fiske [112] [113]. Vedlegg 1 tilsendt fra Nordlandsnett viser oss at ikke naust og alle driftsbygninger har innlagt strøm.

Som nevnt har bygningene og installasjoner ingen strømforsyning fra fastland. Nordlandsnett har leveringsplikt i område og har valgt å løse forsyningen ved å bruke to aggregat, på 72 kVA og på 120 kVA, som gir en samlet installert effekt på 158 kW. Dataene fra begge er samlet til en felles graf i Figur 17. Det ble observert at ikke begge aggregatene kjøres på likt, men at det byttes på strømproduksjon mellom disse. En god grunn til dette er at det ene kan brukes som reserve enkelte dager på grunn av vedlikehold, mens hovedgrunnen er etterspørselen for energi. Når lasten blir høy for det på 72 kVA brukes aggregatet på 120 kVA [113]. Strømmen leveres fra aggregatene via AC 230V linjer til bygninger og fasiliteter, visualisert i Figur 26 i vedlegg.

7.3.2 Forbruksdata og last analyse

Strømproduksjonen av aggregatene anses som lik forbruket og lasten på mikronettet. Fra dataene får en informasjon angående daglig og ukentlig variasjoner, samt i sesonger og måneder gjennom året. Grafene gjør dette enkelt å visualisere. Å forstå lastene i mikronettet er viktig i forhold til planleggingen av energiforsyningene, spesielt når forsyningen skjer av produksjonsteknologier som bruker fornybare energikilder, som ikke alltid er tilgjengelig etter behov.

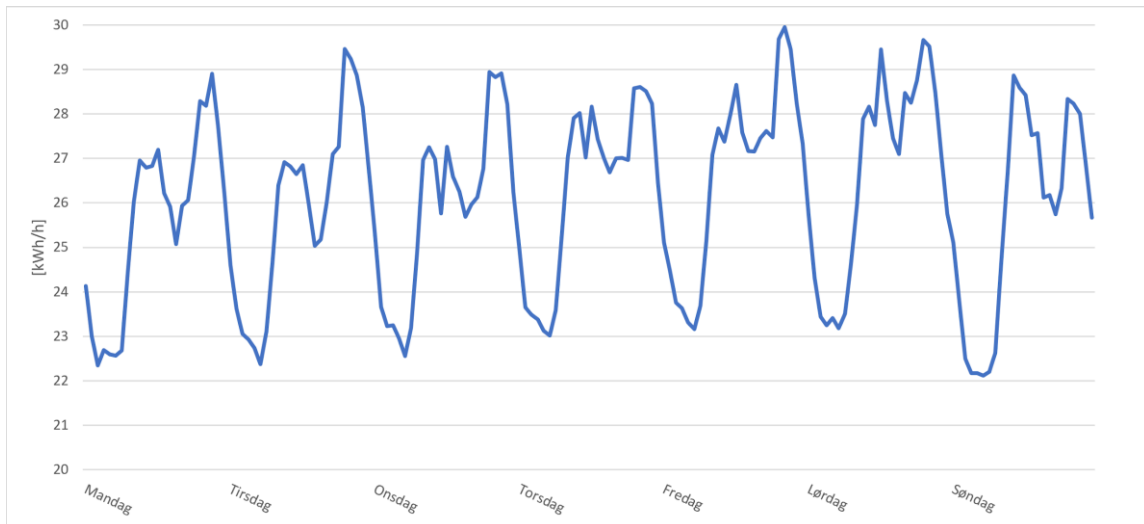


Figur 17: Strømforbruket og temperatur på Givær i timesoppløsning gjennom året 2017.

I 2017 hadde Givær et totalt årlig forbruk på nesten 228 000 kWh der høyeste toppverdi var 58 kW i slutten av året. Årene 2018 og 2019 hadde et årlig forbruk på 219 000 og 211 000 kWh, noe som viser at forbruket i 2017 er relativt normalt. De forskjellige effekttoppene i forbrukskurven skyldes primært to ting; temperatur og antall personer/forbrukere tilstede. Forbrukskurven samt effektopper er også tilnærmet lik årene 2018 og 2019 i Figur 27 i vedlegg.

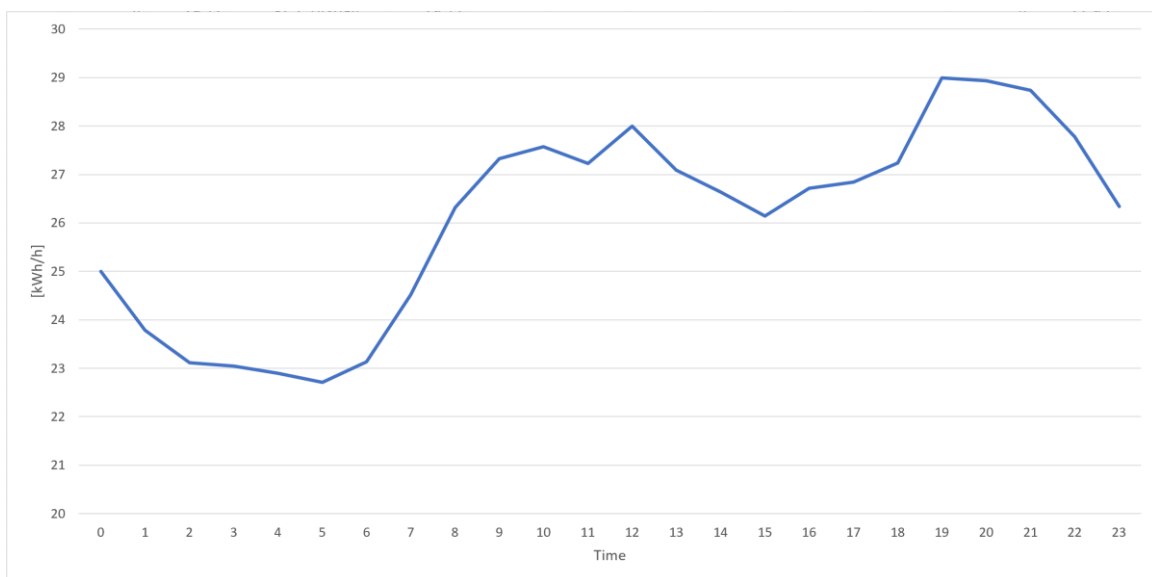
Givær ligger i polarsirkelen der klimaet generelt er kaldt. Temperaturen ligger i gjennomsnittet på rundt 6°C , der det er kaldt om vinteren og ikke betydelig varmt om sommeren. I Figur 17, spesielt fra oktober til mai, ser en at synkende temperaturen årsaker at forbruket øker. Grunnen som er nevnt i kapittel 3.7 og å se i Tabell 2, er at elektrisk oppvarming står for over halvparten av strømforbruket i hjemmet. På Givær bruker helårs husstandene elektrisitet til oppvarming ved bruk av varmepumper [113]. Dersom en betrakter husholdningene på Givær likt som en vanlig norsk husholdning med tall fra Tabell 2, resulterer dette i rundt 67 000 - 100 000 kWh/året, tilnærmet en tredjedel av det årlige forbruket.

Antall forbrukere øker når besøkende kommer til øyen, blant annet hytteeiere og turister. Dette er tilfelle i høytider, helger og ferier som påsken (midten av april i 2017), sommerferien og jul. Økningen i forbruket i disse tider er også synlig i forbruksgrafene i Figur 17.



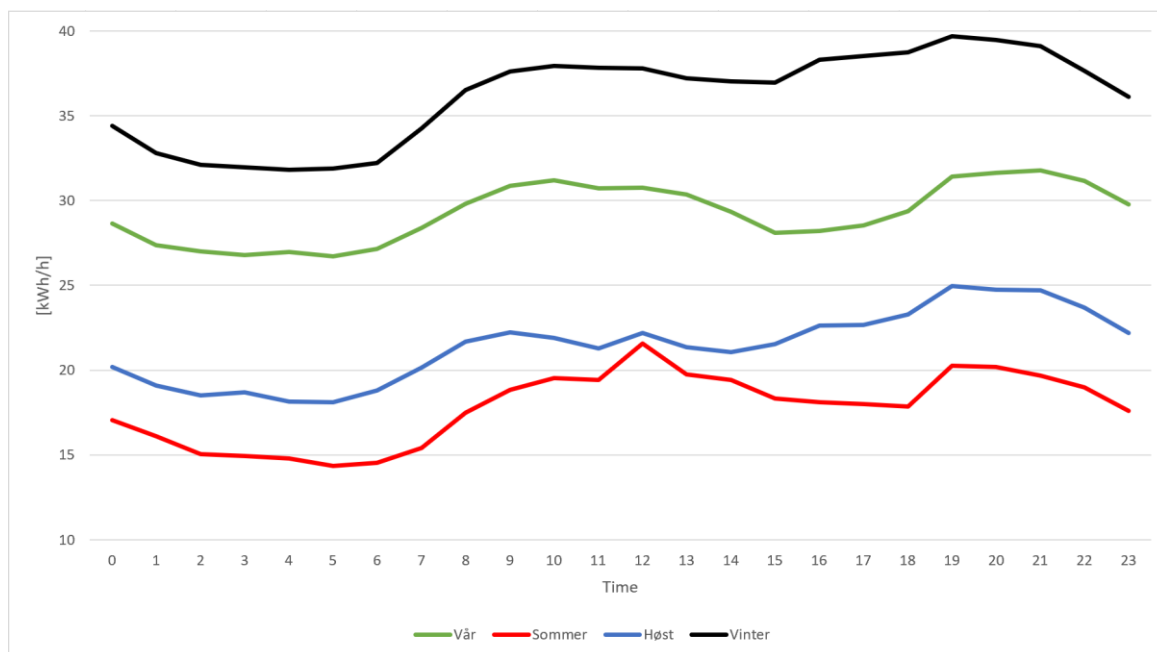
Figur 18: Gjennomsnittlig timesverdier av forbruk for året 2017 samlet til en uke.

Figur 18 visualiserer hvordan forbruket endrer seg gjennom uken. Det er synlig at lasten forholder seg relativt likt gjennom hele uken, med en jevn økning fra mandag til lørdag. Ved å sammenligne Figur 18 med Figur 2 fra kapittel 3.2, er forskjellen at forbruket på Givær ikke synker i helgene. Årsakene kan være at energiforbruket fra fiske og gårdsdrift ikke stopper i helgene, og dersom det ikke er tilfelle, sørge besøkende for at lasten øker.



Figur 19: Gjennomsnittlig timeverdier av forbruk for året 2017 samlet til en dag.

I både Figur 18 og Figur 19 er den daglige variasjonen i forbruket visualisert. Svingningen i kurven samt effekttopper har like tidspunkt som resten av Norge, beskrevet i kapittel 3.6, på morgenen og kvelden. Forskjellen er at effekttoppene er høyere på kvelden enn på morgenen, noe som er omvendt i kurven for hele Norge (Figur 1).



Figur 20: Gjennomsnittlig timeverdier av forbruk for året 2017 samlet til en dag for hver sesong.

Som allerede i å se i Figur 17 er forbruket forskjellig gjennom årstidene. Gjennomsnittlige dager for sesongene er å se i Figur 20. Vår tilsvarer månedene mars, april og mai, sommer tilsvarer juni, juli og august, høst tilsvarer september, oktober og november, og vinter tilsvarer desember, januar og februar. Med flere forbrukere til stede om sommeren blir forbrukskurven nærmere likt den for høsten, selv om årstiden krever mer oppvarming på grunn av lavere temperaturer.

Uten mer detaljert informasjon angående strømforbruket på grunn av personvern hensyn er det vanskelig å gjengi hvilke, når og størrelsen på laster som konstant er til stede, og som ikke er fleksible eller flyttbare. Det ble likevel forsøkt å finne ut av om vannverket brukt til avsøling og vannforsyning er en stor last. Årlig bruker anlegget rundt 25 000 kWh [114] der forbruket går opp om sommeren, og ned om vinteren. Noe som henger sammen med blant annet temperaturen på vannet og i luften, og ikke minst med antall forbrukere som med tilreisende går opp om sommeren. Denne lasten er dermed ikke ubetydelig, men kan regnes som en fleksibel last, ettersom vannet lagres i tank.

For å utføre kraftbalansen enklest mulig, ville en styrt forbrukskurven lik tilgjengelig energi. Får å få dette til med fornybare energikilder innebære det å undersøke om befolkningen på Givær er villig til å flytte laster til andre tidspunkt, og gjerne også smart styre fleksible laster som oppvarming i forhold til produksjon. For eksempel at en helst vasker klær når det blåser mye eller når solenergi er tilgjengelig.

7.3.3 Kostnader for eksisterende strømforsyning

Dieselaggregatene på øyen har et årlig drivstoff forbruk på rundt 74 000 liter. Dette er en kostnad på 824 000 NOK/år inkludert frakt, mva. og CO₂ avgifter. Strømprisen for energiforsyningen ved bruk av dieselaggregatene blir teoretisk rundt 3,60 NOK/kWh, inkludert frakt og mva., høyere enn normalt i Norge, som er rundt 1,00 NOK/kWh inkludert avgifter og nettleie. [115] Tallene er å finne i Tabell 16 i vedlegg.

7.3.2 Framtidig forbruk

Det framtidige forbruket på øyen vil bli mest styrt av hvor stor befolkningen er, og av nye installasjoner og generelt hvilken utvikling øyen har. Gjennom årene 2017 til 2019 synker det årlige forbruket, noe som kan være tilfelle på grunn av mindre besøkende, energieffektivisering og/eller en kombinasjon av flere variabler. I Norge øker mest sannsynlig forbrukt mot framtiden som beskrevet i kapittel 3.6. For å vite mer om det framtidige forbruket på øyen burde det bli gjort kundeundersøkelser angående fraflytting og planlagte utbygginger, både bygninger og elektroniske apparater og installasjoner.

7.4 Ressursanalyse

Det er en rekke grunner til at det i denne oppgaven har blitt valgt å prioritere vind- og solkraft som energikilder. Først og fremst er det ønskelig med en overgang til et fornybart mikronett. En fellesnevner for noen av de andre energikildene er transport av energiresurser som i seg selv er ressurskrevende. En annen grunn er at naturlige forutsetningene ikke er til stede eller at energiproduksjon fra disse ikke er tilstrekkelig.

7.4.1 Dieselaggregat

Aggregat som strømforsyning er avhengig av transport av diesel, og svingninger i oljeprisen kan føre til store kostnader. Klimagassutslipp er også et viktig aspekt, der det er ønskelig å benytte seg av mindre fossile brensler. Dersom et av de eksisterende dieselaggregat blir stående stasjonert på øyen kan det fungere som sikkerhet for å supplementere energi i tider med lite vind og sol, og dersom energi lagringsmuligheter ikke er tilstrekkelig. For å gjør bruk av aggregat mer miljøvennlig kan petroleumsdiesel erstattes med biodiesel. Energimengden i drivstoffet er lavere og vil også ha en høyere literpris.

7.4.2 Gassturbin

Biogass regnes som miljøvennlig energikilde, men må også leveres eller produseres lokalt. Med animalsk avfall fra fiske, sauer og husdyr til stede på øyen kan biogass produseres lokalt, men

om mengden tilgjengelig er tilstrekkelig, noe som er lite sannsynlig i forhold til antall dyr, krever målinger og undersøkelser. Småskala energi- og varmeproduksjon kan være aktuelt dersom avfallet ikke har en annen funksjon på øyen, og dersom det er lønnsomt.

7.4.4 Vannkraft

Det er liten høydeforskjell på øyen og dermed ingen vannkraftpotensialer.

7.4.5 Vindkraft

Som å se i Figur 3 har Norge generelt gode vindressurser på vestkysten. Givær er for det meste omringet av sjø der vinden har minimalt med hindring som kan skape turbulens (Figur 16). Øyen har ifølge NVE vindatlas en årsmiddelvind på 8,0-8,5 m/s i 80 m høyde [58] som viser til gode forhold for vindkraftproduksjon. Som å se i Figur 23, blåser det mest om vinteren og minst om sommeren.

7.4.6 Solenergi

Givær har en gjennomsnittlig solinnstråling på 2,18 kWh/m² per dag (Tabell 17 i vedlegg). Innstrålingen er svært liten om vinteren og betydelig høyere om sommeren (Tabell 17 i vedlegg og Figur 24). Etttersom kaldt klima og temperatur øker effektiviteten til solceller, ses det på Givær som relativt gode forhold for solenergi, selv med lite innstråling. Beliggenhet i polarsirkelen gir midnattssol om sommeren som betyr at det kan produseres strøm også på natten.

7.4.7 Bølgekraft

Givær ligger i et område med lite bølge-ressurser sett i europeisk sammenheng (Figur 8). Bølgekraft er et alternativ for avsidesliggende øysamfunn, men slik som status for teknologiene er per dags dato, er det mindre gunstig enn kraftverk for andre energikilder. Teknologiene for bølgekraft sammenlignes med startfasen til vindkraft der det ikke var gunstig, men har i senere tid blitt billigere og bedre egnet til kommersiell bruk. Dermed kan forskningsprosjekt som innebærer bølgekraft gjøre denne prosessen hurtigere.

7.4.8 Tidevannskraft

Givær ligger sør for Lofoten som har gode forhold for tidevannskraft. Som nevnt i kapittel 5.3.8, er det ofte lite aktuelt å bygge ut tidevannsanlegg på øyer uten sund. Beregnet tidevannsforskjell for Givær er ifølge Kartverket [116] omtrent 2 m fra lav- til høyvann som er for lite høydeforskjell for et demnings basert kraftverk. Forskningsprosjekter kan være aktuelt

for Givær, men det er dessuten uvisst om øyen har godt tidevanns potensiale uten videre undersøkelser og lokale målinger.

7.4.9 Bioenergi

Biomasse kan enten produseres selv eller bli transport til øyen. Likt som beskrevet i kapittel 7.4.2 må det undersøkes mengden tilgjengelig. Modul størrelsen på et bioenergikraftverk har en minste verdi på 1000 kW (Tabell 4). Bioenergi på øyen ses på som lite aktuelt.

7.4.10 Geotermisk

Geotermisk energi til elektrisetsproduksjon, dyp geotermisk energi krever seismisk- eller vulkansk aktivitet. Ettersom det ikke er noe av dette Norge, ses dette på som uaktuelt. Grunn geotermisk energi til oppvarmingsformål er ikke uaktuelt, men grunnet dårlig kartlagt potensiale blir dette utelukket videre.

7.4.11 Energilagring

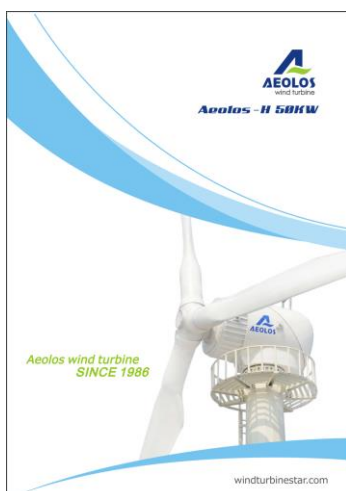
For å forsyne mikronettet med strøm når de fornybare energikildene ikke er tilstrekkelig blir det tatt i bruk lagringsmulighet i form av batterier ettersom disse uten store tiltak kan installeres i infrastrukturen. Ved å se på Figur 10 kan størrelsen tilpasses etter behov og lagret energi kan fort forsyne nettet. I forhold til andre batterier er litium-ion valgt ettersom energi- og effektetthet er svært høy (Tabell 6), og utladnings dybden er opp mot 100 %.

7.5 Valg av komponenter

7.5.1 Vindturbin

Ut ifra lokasjonens vindressurser er det valgt en klasse II vindturbin. Med et forbruk på 228 000 kWh og en kapasitetsfaktor på 0,3 for vindturbiner i Norge, ble det ved bruk av Formel 1 og 2 regnet fram til at mikronettet trenger rundt 90 kW installert effekt uavhengig av sesong. Med hensikt til dimensjonering av mikronettet der flere turbiner blir brukt, ble valget av turbin av typen *Aeolos-H* med 50 kW nominell effekt. Turbinens spesifikasjoner som er brukt til dimensjonering og i simulasjonen vises i Tabell 9. Dessuten er turbinen uten gir, og generatoren drives direkte fra rotasjonen av bladene som har mekanisk *pitch*-kontroll. I tillegg har den diverse sikkerhetssystem med hydrauliske bremses og rotor-lås, og også aktiv *yaw*-kontroll. [117] Effektivitet η for hele turbinen, som viser til hvor mye av energi i vinden som blåser gjennom som blir til strøm, er satt til 30 % med hensyn til generatorens effektivitet og Betz-lov, omtalt i kapittel 5.3.4.

Tabell 9: Spesifikasjoner for vindturbinen Aeolos-H 50kW. [117]

	Nominell effekt	50 kW
	Max effekt	55 kW
	Rotor diameter	18 m
	Nacelle-høyde, z	30 m
	Swept area, A_w	254,3 m ²
	Effektetthet, P_r	196,62 W/m ²
	Cut-in, V_{ci}	2,5 m/s
	Nominell, V_r	9,5 m/s
	Cut-out, V_{co}	25 m/s
	Effektiviteten til generator	90 %
	Spenning	360 VAC / 540 VDC
	Levetid	20 år
	Vekt	6800 kg

Som nevnt tidligere er det et svært lite til intet marked for små vindturbiner i Norge. Dette gjør at disse må importeres gjennom utenlandske selskaper. Ifølge IRENA var prisen for en små skala vindturbin samt installasjon på 3 100 - 4 400 USD/kW i 2014 [118]. En 50 kW vindturbin har dermed en kostnad på 1 481 800 - 2 103 200 NOK med valutakurs på 9,56 NOK/USD (12.06.2020).

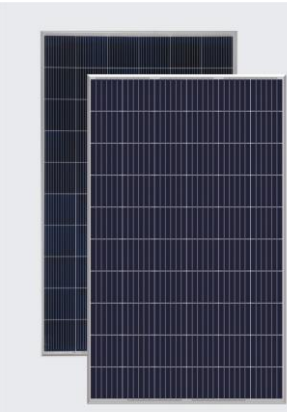
Prisen for en Aeolos 50 KW vindturbin i Storbritannia ligger på 37,459.20 GBP [119]. Dette tilsvarer 452 133 NOK med en valutakurs på 12,07 NOK/GBP (12.06.2020). Ettersom at tallene fra IRENA er fra 2014 kan forskjellen i prisen fra Aeolos 50 KW være forklart med et større marked som resulterer i billigere priser. Det er også viktig å påpeke at IRENA-prisene er installerte vindturbiner med alle kostnader dekket.

Med tanke på at Givær er en øy uten vei og transportering kan bli vanskelig vil installasjonskostnadene bli relativt høye. Med importering av vindmølle grunnet lite marked i Norge vil kostnadene igjen øke. Med dette i betraktning er det valgt en totalpris for vindturbinen på 1 600 000 NOK.

7.5.2 Solceller

Solcellepanelet som blir brukt i simulasjonen er fra produsenten *Yingli Solar* av typen *YGE 60 cell series 2 YL295P-29b (1500V)* med 295 Wp under *STC* [120].

Tabell 10: Spesifikasjoner for YGE 60 cell series 2 [120].


	STC	0,295 kWp
	Effektivitet, η	19,6 %
	Lengde m/ kant	1650 mm
	Bredde m/ kant	992 mm
	Høyde	35 mm
	Areal, A_{PV}	1,52 m ²
	Vekt	18,5 kg
	Levetid	25 år

I 2019 var følge IRENA kostnadene for solceller installert i Europa til bruk i boliger på 1600-2500 USD/kW [121]. Dette tilsvarer 15 296 - 23 900 NOK/kW (12.06.2020). Ved å sammenligne dette med kostnadene gitt fra norske forhandlere ble det valgt en pris på 18 000 NOK/kW. Pris per panel, inkludert installasjon, blir dermed 5 310 NOK.

7.5.3 Batteri

For å lagre energi i mikronettet ble det valgt å bruke *Tesla Powerwall* som har en pris på 81 100 NOK, og en installasjonskostnad på 10 400 - 31 100 NOK [122]. Valgt total kostnad er dermed 100 000 NOK per batteri. Batteriet har innebygd omformer som tar imot strøm fra for eksempel solceller eller direkte fra nettet. De er skalerbare til opptil 10 stykk sammenkoblet, og tåler å stå ute og inne i temperatur fra -20 til 50°C. Spesifikasjoner er vist i Tabell 11.

Tabell 11: Spesifikasjoner for Tesla Powerwall [123]

	AC spenning (nominell)	230 V
	Frekvens	50 hz
	Intern batterispenning, V_b	50 V
	Total energi	14 kWh
	Total kapasitet	280 Ah
	Utnyttbar energi	13,5 kWh
	Nyttekapasitet	270 Ah
	Utladningsdybde, DOD	96,4 %
	Ladestrøm, $P_{b-charge}$	3,68 kW
	Strøm kontinuerlig, $P_{b-discharge}$	5 kW
	Vekt	125 kg
Garanti/antatt levetid	10 år	

7.6 Formler og kalkulasjoner brukt til dimensjonering og simulering

For å finne ut hvor mye energi en kan produsere fra vinden og solinnstrålingen på Givær er det tatt flere kalkulasjoner. Kalkulasjonene er diverse formler som bruker timesverdier fra lasten, vindhastighet og solinnstrålingen, sammen med spesifikasjoner for vindturbiner, solcellepanel og batteri fra produsentene.

7.6.1 Energi fra vind

Målestasjonen hvor vinddata ble hentet fra måler kun vindhastigheten i en høyde på 10 m over bakken. Kommersielle vindturbiner er som regel høyere enn dette, og ettersom vindstyrken øker med høyden, er det nyttig å utføre høydekorleksjon for verdiene. Til dette kan en bruke ulike formler, som *power-law* eller *log-law*.

Power-law, som vist i Formel 7, tar nytte av en vindskjær koeffisient b' som regnes ut ved å ha verdier for vindhastigheten u_{i1} og u_{i2} fra to forskjellige referanse høyder z_{i1} og z_{i2} .

$$b' = \ln(u_{i1}/u_{i2})/\ln(z_{i1}/z_{i2})$$

Formel 6: Omskrevet *power-law* (Formel 7) med hensyn til b' [124].

Vindskjær koeffisienten kalkuleres for hver av verdiene i valgt tidsoppløsning og brukes videre i Formel 7 for å kalkulere korresponderende hastighet u_z for ønsket nacelle-høyde z , der u_{i1} er vindhastigheten for høyde z_{i1} .

$$u_z = u_{i1}(z/z_{i1})^{b'}$$

Formel 7: *Power-law* [124].

Denne metoden er svært nøyaktig ettersom den kalkulerer en egen b' for hver timeverdi. I følge Twidell & Weir [124] er det ofte nevnt at b' for “ikke-fjellete” lokasjoner er $1/7 = 0,14$, og at gode lokasjoner for vindkraftproduksjon har små verdier for b' for å unngå forandringer i innkommende vindhastighet på turbinbladene, og høy gjennomsnittlig vindhastighet. Likevel burde den brukes med forsiktighet der $z > 50$ m, ettersom økningen i vindhastigheten avtar eksponentielt med høyden.

Dataene som ble funnet og brukt i oppgaven hadde kun vindhastigheter målt fra én høyde. Det ble derfor brukt *log-law*, vist i Formel 8 [125], som kalkulerer vindhastigheten u_z ved å anvende en ruhetslengde, *roughness length*, z_0 , gitt terrenget i omgivelsene. Tabell 18 i vedlegg viser forskjellige ruhetslengder.

$$u_z = u_{zi} \ln(z/z_0) / \ln(z_i/z_0)$$

Energien E i luften som strømmer per tidsenhet gjennom en tenkt flate (turbinbladene) er gitt ved Formel 9 [126]:

$$E = 1/2 m \cdot u^2 = 1/2 (A \cdot u \cdot \rho) \cdot u^2 = 1/2 A \cdot \rho \cdot u^3$$

Formelen viser m som massen av luften som passere en tenkt flate A i en hastighet v med lufttettheten ρ gitt 1,23 kg/m³ ved havoverflaten. Effekt P fra selve vinden er det samme som energi E per tidsenhet. Effekten i vinden gjennom et areal, effekttetthet med benevning W/m², er gitt ved Formel 10 [127]:

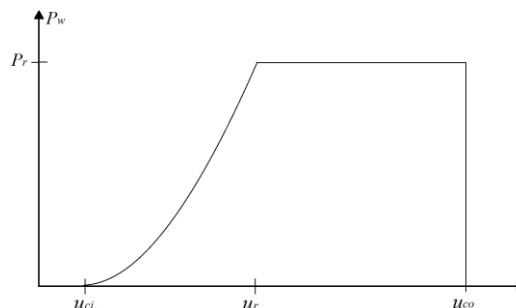
$$P_w = 1/2 \rho \cdot u^3$$

Det legges merke til at effekttettheten er proporsjonal med hastigheten av vinden i tredje potens. Om vinden da øker, vil effekten øke betydelig. Derimot følger vindturbiner samt generator mer spesifikke formler for effekt. Ettersom ikke alle turbiner har like spesifikasjoner og kun produserer i en gitt vindhastighet, blir formlene for effekttetthet P_w , med benevning kW/m², som presentert under:

$$\begin{aligned} P_w &= 0, & u < u_{ci} \\ P_w &= a u^3 - b P_r, & u_{ci} < u < u_r \\ P_w &= P_r, & u_r < u < u_{co} \\ P_w &= 0, & u > u_{co} \end{aligned}$$

Formel 11, 12, 13, 14 [128]

der $a = P_r / (u_r^3 - u_{ci}^3)$, $b = u_{ci}^3 / (u_r^3 - u_{ci}^3)$, P_r er nominelle effekttetthet, u_{ci} , u_{co} , og u_r er henholdsvis *cut-in*, *cut-out* og nominell vindhastighet for vindturbinen som beskrevet i kapittel 5.3.5 [128].



Figur 21: Effekttuttak fra en vindturbin.

Det faktiske effektuttaket P_{wind} i watt-timer tilgjengelig fra en vindturbin er gitt ved Formel 15 [128] presentert under:

$$P_{wind} = P_w A_w \eta$$

der A_w er *total swept area*; det totale arealet turbinbladene sveiper, og η er effektiviteten til en vindturbinen, generator og tilhørende konvertere [128].

7.6.2 Energi fra solinnstråling

Solinnstråling på et skråstilt plan, for eksempel et solcellepanel, er gitt ved Formel 16 presentert under:

$$I_T = I_b R_b + I_d R_d + (I_b + I_d) R_r$$

der I_b og I_d er direkte normal og diffust solinnstråling, R_b , R_d og R_r er henholdsvis *tilt* faktorer for direkte normal, diffust og reflektert deler av innstrålingen. I_T avhenger av posisjonen til solen i forhold til horisonten, som har både årlige, månedlige, daglige variasjoner. Timelig effektuttak P_s i watt-timer for et solcellepanel med areal A_{PV} , innstrålingen I_T er gitt i Formel 17:

$$P_s = I_T \eta A_{PV}$$

der η er system effektiviteten, avhengig av teknologien i panelet, temperatur og diverse fysiske egenskaper beskrevet i 5.3.6, og gitt i Formel 18 [128]:

$$\eta = \eta_m \eta_{pc} P_f$$

der modul effektiviteten η_m er gitt i Formel 19 [128]:

$$\eta_m = \eta_r (1 - \beta (T_c - T_r))$$

der η_r er panelets referanse effektivitet, η_{pc} er *power conditioning efficiency*, P_f er pakningsfaktoren, β er *array efficiency temperature coefficient*, T_r er referansetemperaturen for celle-effektiviteten og T_c er temperaturen i øyeblikket.

7.7 Dimensjonering av energiforsyningen

For å bestemme antall vindturbiner, solceller og kapasiteten til batteriet i mikronettet brukes det i denne oppgaven en algoritme med Formel 20-28 hentet fra *A Simple Sizing Algorithm for Stand-Alone PV/Wind/Battery Hybrid Microgrids* [129].

7.7.1 Formler for algoritmen

For at batteriet som blir brukt til lagring av overflødig energi skal fungere for å forsyne nettet kalkuleres batteriets ladetilstand, *state of charge*, forkortet til *SOC*, for hvert øyeblikk t fra tidsperiode $[t_0, t_T]$ gitt Formel 20:

$$SOC(t) = SOC(t - 1) + (N_{wind}P_{wind}(t) + N_{PV}P_S(t) - P_L(t)) / V_b C_b$$

der $P_L(t)$ er etterspørselen av elektrisk energi, lasten, i mikronettet i øyeblikket t , V_b er spenningen til batteriet, C_b er batteribankens kapasitet, og N_{wind} og N_{PV} er antall vindturbiner og PV. $P_{wind}(t)$ og $P_S(t)$ er gitt i Formel 15 og 17, men nå for øyeblikk t .

Selv om forbruket og laster i mikronettet ble undersøkt i kapittel 7.3, fungere disse som en felles last P_L i både algoritmen og simulasjonene.

Når $N_{wind} \cdot P_{wind}(t) + N_{PV} \cdot P_S(t) > P_L(t)$, vil energi produsert fra vindturbinen og PV overskride lasten i mikronettet, og batterier lades. Når derimot $N_{wind} \cdot P_{wind}(t) + N_{PV} \cdot P_S(t) < P_L(t)$, er ikke produksjonen tilstrekkelig, og lagret energi i batteriet blir brukt til forsyning. Den simplifiserte kalkulasjonen tar ikke forbehold til effektiviteten til ladning og utladning av batteriet.

For å sørge for best ytelse fra batteriet burde *SOC* hver tidsperiode være tilbake i samme ladetilstand som den begynte i; ellers vil *SOC* over tid gradvis bli mindre, derfor (Formel 21):

$$SOC(t_0) = SOC(t_T)$$

Sammen med Formel 20 gir dette Formel 22:

$$SOC(t_T) = SOC(t_0) + \sum_{t=t_0}^{t_T} (N_{wind}P_{wind}(t) + N_{PV}P_S(t) - P_L(t)) / V_b C_b$$

Kombinasjonen av Formel 21 og 22 gir Formel 23:

$$(N_{wind}P_{wind}(t) + N_{PV}P_S(t) - P_L(t)) = 0$$

Når en har bestemt størrelse og antall vindturbiner kan det direkte kalkuleres antall PV panel i Formel 24:

$$N_{PV} = (\sum_{t=t_0}^{t_T} P_L(t) - N_{wind}P_{wind}(t)) / \sum_{t=t_0}^{t_T} P_S(t)$$

Etter N_{wind} og N_{PV} er funnet kan det sammen med $P_{wind}(t)$, $P_S(t)$ og $P_L(t)$ til hver tid t kalkuleres energistrømmen $P_b(t)$ inn og ut fra batteriet ved Formel 25:

$$P_b(t) = N_{wind}P_{wind}(t) + N_{PV}P_S(t) - P_L(t)$$

Resultatene herfra brukes videre for å senere fastslå batterikapasiteten C_b . $AEC(t)$ blir brukt for å vise hvor mye energi som er ladet i batteriet, kalt tilgjengelig energi kapasitet, til hver tid t , i Formel 26:

$$AEC(t) = AEC(t_0) + \sum_{t=t_1}^{t_T} P_b(t) / V_b$$

Startverdien $AEC(t_0)$ settes lik null, som sier at batteriet er tomt i starten, men kan settes til en høyere verdi for å overkomme negative verdier for $AEC(t)$ og for å oppfylle Formel 21. Videre gir formlene at $AEC(t) = SOC(t) \cdot C_b$. Maksimum- og minimumsverdien, AEC_{max} og AEC_{min} , representerer den største og minste verdien av tilgjengelig energi kapasitet i batteriet i tidsperioden $[t_0, t_T]$, Formel 27:

$$AEC_{max} = \max (AEC(t)) \text{ og } AEC_{min} = \min (AEC(t)); \quad t = t_1, t_2, \dots, t_T.$$

Ettersom AEC_{min} ikke skal ha mindre verdi enn null, må C_b tilfredsstill Formel 28:

$$C_b \geq AEC_{max} - AEC_{min}$$

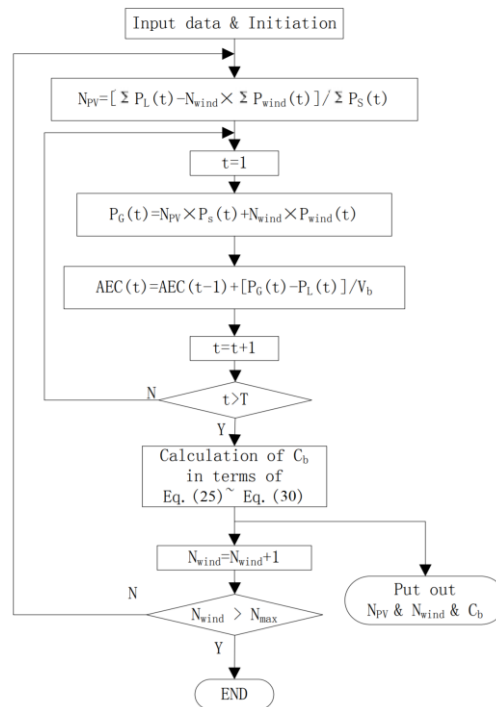
For å øke batterilevetiden må en ta hensyn til at mengden energi som strømmer inn og ut ikke overskride det batteriet tåler som ladning $P_{b-charge}$ og utladning $P_{b-discharge}$. Oftest tåler batterier mindre under ladning enn ved utladning. Spesifikasjoner er gitt fra produsenten, som er innenfor rammene for å gi best batterilevetid. Ved å dimensjonere mikronettet med flere antall batterier N_b , blir Formel 29 og 30:

$$P_{b-charge} \leq P_b(t) / N_b, \quad t = t_1, t_2, \dots, t_T$$

$$P_{b-discharge} \leq |P_b(t)| / N_b, \quad t = t_1, t_2, \dots, t_T$$

$P_{b-charge}$ og $P_{b-discharge}$ kan ikke overskrides, og dersom det gjøres i algoritmen, må N_b , N_{wind} og/eller N_{PV} justeres og verdiene for $P_{b-charge}$ og $P_{b-discharge}$ leses om igjen.

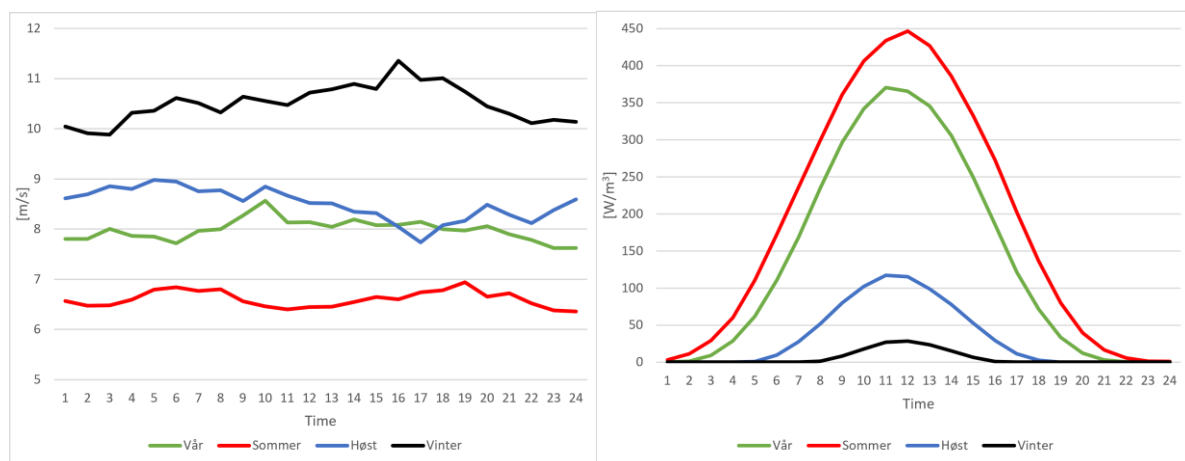
En annen faktor som avgjør størrelsen til C_b og sikre best levetid er at batterier har en gitt utladnings dybde, DOD ; *depth of discharge*, gitt fra produsenten. Dette er mengden kapasitet som kan utlades angitt i prosent av total kapasitet. C_b må derfor kalkuleres med hensyn til at ikke all kapasitet kan brukes. Algoritmen som ble fulgt kan vises som et *flowchart* vist i Figur 22.



Figur 22: Flowchart fra algoritmen

7.7.2 Inngangsdata i algoritmen

Algoritmen blir brukt for å se hvordan lasten i mikronettet behøver forskjellige antall produksjons- og lagringsenheter gjennom sesongene. Det ble derfor brukt timelig gjennomsnitt samlet til en dag for vindhastigheten og solinnstrålingen, likt som for lasten i Figur 20. Figur 23 og Figur 24 viser dette.



Figur 23: Gjennomsnittlig timeverdier av vindhastigheten samlet til en dag for hver sesong.

Figur 24: Gjennomsnittlig timeverdier av solinnstråling samlet til en dag for hver sesong.

7.7.3 Resultater fra algoritmen

Resultatene og kalkulasjonene fra algoritmen er å se i Tabell 19 i vedlegg. Svarene fra algoritmen viser at sesongene gir ulik dimensjonering. Det viser seg dermed at våren er den

mest krevende sesongen, ettersom vind og sol ikke gir tilstrekkelig med energi i forhold til forbruket. Dette ser en ut fra tallene i Tabell 12 som vises beregnede konfigurasjoner for sesongene. Resultatene sammenlignes, og det viser seg at høst og vinter er mindre krevende enn andre sesonger ettersom vindforholdene er gode.

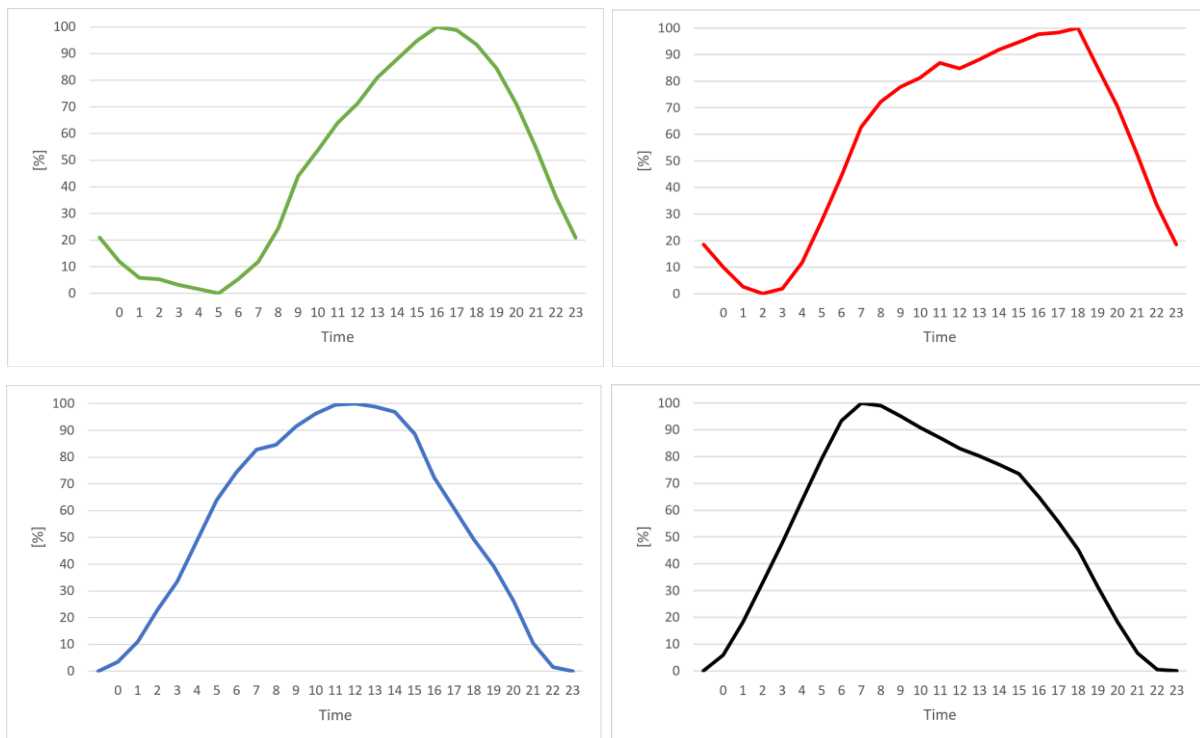
Tabell 12: Resultater for sesongene fra algoritmen.

	Vår	Sommer	Høst	Vinter
N_{wind}	3	3	1,95	2,4
N_{PV}	68	58	51	100
C_b [Ah]	903	622	846	531
N_b	3,34	2,30	3,13	1,97

Som en ser i Tabell 12 er ikke N_{wind} alltid et helt tall. Ettersom dette tallet er verdien som justeres i algoritmen for å få N_{PV} mikronettet trenger, måtte det for høsten og vinteren brukes desimaltall for å få algoritmen til å fungere. Dette er tilfelle siden dersom

$$N_{wind} \sum_{t=1}^{tr} P_{wind}(t) > \sum_{t=1}^{tr} P_L(t)$$

i Formel 24, blir N_{PV} negativ. Og dersom N_{wind} er for lite, blir på grunn av lite solinnstråling N_{PV} urealistisk høyt. I Figur 25 er en visualisering av SOC til batteriene i sesongene. Disse viser også at Formel 21 er oppfylt.



Figur 25: SOC til batteriet i sesongene. Øverst fra venstre vår og sommer, nederst fra venstre høst og vinter.

Resultatene fra algoritmen er så brukt videre i simulasjonen i kapittel 7.8.

7.8 Simulering

7.8.1 Tekniske aspekter

Som nevnt i kapittel 5.5.5.1 er AC-mikronett godt egnet til områder som har eksisterende AC-infrastruktur, slik tilfellet er på Givær. Dette gjør at store deler av det eksisterende systemet kan benyttes selv med integreringen av fornybare energiteknologier. Tilknytningspunkt for den nye forsyningen blir enklest å utføre der eksisterende aggregat har sin tilkobling i dag.

Ved installering av vindturbiner vil det kreve både likeretter og vekselretter for å jevne ut spenningen og frekvensen generert. PV vil kreve en vekselretter før produksjons- og lagringsenheter kobles til AC-bussen. Batteriet, *Tesla Powerwall*, har innebygd vekselretter, og PV kan også kobles direkte til denne. Effektiviteten til konvertere (omformere, transformatorer og like- og vekselrettere) er for simplifisering ikke tatt med i simulasjonen. Dagens konvertere bruker teknologi som resulterer i veldig lite tap av energi. Energien i form av strøm som blir tapt er hovedsakelig varme, noen som igjen kan blir brukt som restvarme til oppvarming dersom det er av betydelig mengde, og energien er dermed ikke tapt.

7.8.2 Resultater fra simuleringen

Simuleringen ble gjort i Microsoft Excel og er delvis lik noen av kalkulasjonene brukt i algoritmen. Ulikt her er at simuleringen tar for seg time for time i hele året, og ikke beregner en egnet dimensjonering ut fra lasten. $SOC(t_0)$ er satt til 100% ved begynnelsen av året. Simulasjonen brukes også for å beregne kostnadene for ulike konfigurasjoner. Det ble først utforsket hvordan dimensjoneringen gitt fra algoritmen fungerer for hele året. Det viser seg at energien produsert over hele året dekker forbruket for hele året, men at det i realiteten ikke er tilstrekkelig for alle timene. Det er dermed lagringskapasitet som mangler.

Problemet her blir hovedsakelig at det er flere timer i strekk uten tilstrekkelig med vind og sol, som resulterer i at batteriene tappes svært hurtig. Andre timer eller perioder er batteriet fulladet, og overflødig energi går tapt. Dette er ofte mye energi om gangen, gjerne om høsten og vinteren der det blåser betydelig. For å lagre energien til et senere tidspunkt, gjerne en annen sesong med en perioder med underskudd, kreves det ekstremt stor batterikapasitet, noe som ikke ble kostnadseffektivt. Kostnadene er videre beskrevet i kapittel 7.8.3. Ettersom algoritmen brukt til dimensjonering kun bruker gjennomsnittsverdier, legges det her ikke merke til om noen timer i strekk for eksempel ikke har vind.

En utvei fra problemet som beskrevet i kapittel 7.3.2, er at lasten kan flyttes i forhold til energi tilgjengelig. Flyttbar og fleksible laster i hjemmet, beskrevet i kapittel 3.6, utgjør en stor andel av forbruket. Ved å både energieffektivisere hus og hytter samt å smart styre flyttbare og fleksible laster kan problemet nevnt i forrige avsnitt løses til en viss grad.

I simulasjonen vår prøver vi likevel å finne en konfigurasjon som løser at energiforsyningen samsvare med det reelle forbruket. Løsningen ble dermed å beholde et av diesellaggregatene på Givær, og bruke dette som forsyningen for de timene som har underskudd. Løsningen er dermed ikke fullt fornybar, men kan blir det dersom en istedenfor petroleumsdiesel bruker biodiesel som beskrevet i kapittel 7.4.1.

7.8.3 Kostnadsanalyse fra simulering

For å finne den ideelle løsningen ut fra et økonomisk perspektiv ble det utforsket en rekke konfigurasjoner med beregnet kostnad. Her sammenlignes prisen for sjøkabler som nettilknytning til overføringsnett, eksisterende forsyning fra diesellaggregat og etableringen av et fornybart mikronett på øyen. Kostnadene er beregnet fra årlige kostnader i forhold til levetiden til produksjons- og lagringsenhetene vist i Tabell 13. Prisen for drivstoff er kalkulert ved bruk av verdier fra Tabell 16 i vedlegg.

Tabell 13: Kostander for produksjons- og lagringsteknologier i forhold til levetid.

	Kapasitet [kW]	Pris [NOK]	Levetid [år]	Pris per år [NOK]
Windturbine (Aeolos-H 50 kW)	50	1600000	20	80000
Solar panel (PV) (YGE 60 cell 29b)	0,295	5310	25	212,4
Battery (Tesla Powerwall)	14	100000	10	10000

Først ble det testet den opprinnelige dimensjoneringen gitt fra algoritme, som er å se til venstre i Tabell 14. De årlige totale kostnadene (markert i rødt i Tabell 14) er her betydelig lavere i motsetning til å kun bruke diesel, henholdsvis 482 108 NOK mot 824 062 NOK.

Tabell 14: Analysing av kostnader for forskjellige konfigurasjoner.

Årlig kostnad [NOK] Energi produsert [kWh]			Årlig kostnad [NOK] Energi produsert [kWh]				
N_{wind}	3	240000	217618	N_{wind}	3	240000	217618
N_{pv}	68	14443	16208	N_{pv}	146	31010	34799
N_b	4	40000	-	N_b	2	20000	-
Total:		294443	233825	Total:		291010	252416
Drivstoff [L]: 16815			187665	52097	Drivstoff [L]: 15930		
Total:			482108	285922	Total:		
					468800		
					301772		
Total last:			228764	Total last:			228764
Energi som går tapt:			57158	Energi som går tapt:			73007

For å finne den mest kostnadseffektive løsningen ved bruk av både fornybare energikilder og diesel, ble diverse konfigurasjoner utforsket, vist i Tabell 20 i vedlegg. Svaret blir som vist til

høyre i Tabell 14; 3 vindturbiner, 146 solceller og 2 batterier. Totalt produsere mikronettet 301 772 kWh årlig, hvorav 49 355 kWh er produsert fra dieselaggregat og 252 416 kWh av vind- og solenergi. Energi fra vind- og solenergi som er overflødig, og som går tapt, er her 73 007 kWh. Løsningen har installert 150 kW vindkraft, 43 kW solceller 28 kWh batteri og et aggregat på rundt 50-60 kW.

Hvordan batteriene tappes og lades i de forskjellige sesongene er vist i Figur 28 i vedlegg. Når batteriet er tomt, og energi produsert fra vind- og solenergi ikke er tilstrekkelig, brukes dieselaggregatet.

Noe som ikke er tatt med i beregningen er kostnadene for et dieselaggregat. Dette er gjort med hensyn til at kostnadene, samt levetiden, er svært avhengig av brukstiden. I simulasjonen er det ikke kreves å beregne brukstiden, men selv produsenter oppgir levetiden i brukstid med et bredt spekter. Det blir dermed vanskelig komme med et estimat. Eksempelvis koster et 65 kVA dieselaggregat 218 500 NOK [130]. Med en levetid på 6 år [131] er kostnadene 36 417 NOK/år.

Den simulerte løsningen produserer rundt 50 000 kWh fra aggregatet. I motsetning til å kun forsyne mikronettet på Givær med aggregat, som er den eksisterende forsyningen, er dette om lag en fjerdedel av produksjonen. Kostnadene for eksisterende forsyning blir dermed enda høyere ettersom aggregatet må erstattes oftere og før enn i vår simulert løsning. Dessuten, som allerede beskrevet i kapittel 5.5 og 7.4.1, er det mye ulemper og usikkerheter ved bruk av energiforsyning kun basert på fossilt brensel.

7.9 Kostnadsanalyse for strømforsyning av Givær

Som nevnt tidligere i oppgaven kan etablering av mikronett på øyer være et mer økonomisk alternativ enn utlegging sjøkabler til disse. Dette er også nærmere undersøkt for Givær.

Avstanden fra Givær til nærmeste tilkobling på Bliksvær er omtrent 9,2 km. Kostnader for en slik enkelarmert kabel ville ut ifra erfaringstall kostet 6,44 millioner NOK. Dessuten kommer utleggings- og sikrings kostnader på toppen av dette, erfaringstall fra Nordlandsnett tilsier at dette vil ligge på omtrent 3 millioner kroner. Totale kostnader for utlegging av sjøkabel Bliksvær-Givær uten komplikasjoner vil ligge på om lag 9,4 millioner NOK. Med en levetid på 50 år [4] ligger kostnadene på 188 000 NOK/år. Dessuten er kabelen fra Hjartøy (en øy nær fastland) til Bliksvær en eldre sjøkabel fra 1959 som ligger på listen over kabler som snart må utskiftes. En 4-5 km lang del av den totale 12,7 km lange kabelen ble i 2018 skiftet ut etter havari. Ved å samkjøre prosjektene som nevnt over er de økonomiske fordelene store. Dette

kommer av at det koster lite å legge noen flere kilometer ettersom sikringsarbeidet i lite grad påvirkes av lengde.

Tabell 15: Alternativene for energiforsyning av Givær.

Alternativ	Innstallert kapasitet	Andel fornybar energi	Årlig kostnad
Eksisterende	158 kW aggregat	0% (mot 100% ved bruk av biodiesel)	824 000 NOK
Simulert	150 kW vindkraft 43 kW solenergi 28 kWh batteri 50-60 kW aggregat	60% (mot 100% ved bruk av biodiesel)	468 800 NOK
Sjøkabler fra fastland	-	98%	188 000 NOK

Av de 3 alternativene for energiforsyning av Givær er å legge sjøkabler fra land det mest økonomiske og også svært miljøvennlig med tanke på at 98 % av energiforsyningen i Norge er fornybar energi. Dette med forbehold om at Givær ikke blir et fraflyttingssted, og forbruket blir relativt likt de neste 50 år. Den simulerte løsningen burde minst stå i 20-25 år ettersom dette er den lengste levetiden til produksjonsteknologiene, da med fornyelse av batteriene etter 10 år. Likevel er det mulig å flytte på installasjoner som batterier og solceller uten store inngrep, slik at dersom det ikke er behov for hele systemet som tiden går, kan det selges og brukes til andre prosjekter. Det er heller ikke uvanlig å demontere, flytte og selge vindmøller. Ut ifra miljøperspektiv kan også fossilt brensel til bruk i aggregatet erstattes med biodiesel, og den simulerte løsningen blir opp mot 100 % fornybar energi. Det samme gjelder også det eksisterende alternativet, men for begge alternativene må ekstra kostnader påregnes. Den eksisterende løsningen er for Givær den beste løsningen dersom øyen snart blir et fraflyttingssted. Likevel kan installering av for eksempel solceller minske forbruket av diesel/biodiesel og reduserer de årlige kostnadene, som å se i Tabell 20 i vedlegg. Å kjøpe inn vindmøllene, solceller og/eller batterier brukt, kan også være et mer økonomisk alternativ, likevel vil vindmøllen da ha forringet levetid.

8. Konklusjon

Det er gode vind forutsetninger i Norge, også på Givær. Data for vindkraft ble dermed utforsket og ble den største energikilden. Ved integreringen av fornybare teknologier på Givær vil teknologiene kobles til den eksisterende AC-bussen. Det finnes forskjellige drivere for etablering av mikronett der den ledende ofte er økonomisk. I Norge er det et lite marked for småskala vindkraft, dette kommer i stor grad av at dette ikke er lønnsomt. En annen grunn er på grunn av den allerede høye fornybar energi andelen i overføringsnett. Også som markedet er nå, er det mer økonomisk med sjøkabel enn småskala fornybar energiproduksjon, i hvert fall slik situasjonen er på Givær, uten flytting og energieffektivisering av laster. Etableringen av et delvis fornybart mikronett vil også minske årlige kostnadene betydelig mot den eksisterende løsningen med aggregat.

Fremtidig befolkningsutvikling og forbruk er variabler som er vanskelige å beregne. Simulasjonen er utført for et enkelt år, og selv om dataene brukt er valgt i hensyn til andre år, trenger de ikke å stemme med fremtiden. Det er mulig at Givær blir et fraflyttingssted og dermed vil forbruket minske betraktelig i årene som kommer. På den andre siden kan turisme og dermed forbruk øke på øyen. Uten nærmere studie og undersøkelse er dette vanskelig å besvare videre, men burde nærmere undersøkes dersom energiforsyningen på Givær skal legges om.

Både i verden og Norge kan etableringen av fornybare mikronett være en løsning for avsidesliggende områder uten nettilknytning eller strøm, men også for å øke andelen fornybar energi totalt sett.

10. Kildeliste

- [1] IEA. 2020. «Renewables». IEA. Hentet 9. juni 2020 (<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>).
- [2] Utenriksdepartementet. 2016. «Prop. 115 S (2015–2016) 1 Paris Agreement».
- [3] energidepartementet, Olje-og. 2014. «Fornybar energiproduksjon i Norge». *Regjeringen.no*. Hentet 9. juni 2020 (<https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/fornybar-energi/fornybar-energiproduksjon-i-norge/id2343462/>).
- [4] Terje Sagvik, Nordlandsnett, personlig kommunikasjon, 25 mai 2020
- [5] Valmot, Odd Richard. 2018. «Snart 150 år med strøm i Norge: Her er elektrisitetens historie - Tu.no». februar 11. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/snart-150-ar-med-strom-i-norge-her-er-elektrisitetens-historie/429910>
- [6] Norges vassdrags- og energidirektorat. 2020. «Kraftproduksjon - NVE». Hentet 9. juni 2020. Hentet fra <https://www.nve.no/energiforsyning/kraftproduksjon/?ref=mainmenu>
- [7] Statistisk sentralbyrå. 2018. «Tabell 3 Produksjon av elektrisk kraft, etter art og fylke. GWh». *ssb.no*. Hentet 26. mai 2020 (<https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elektrisitet/aar/2019-11-28>).
- [8] Ericson, Torgeir, og Bente Halvorsen. 2008. «Hvordan varierer timeforbruket av strøm i ulike sektorer?» Hentet fra https://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/oa_200806/ericson.pdf
- [9] Statnett. 2017. «Last ned grunndata». *Statnett*. Hentet 9. juni 2020 (<https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/tall-og-data-fra-kraftsystemet/last-ned-grunndata/>)
- [10] Nord Pool. u.å. «See what Nord Pool can offer you.» Hentet 26. mai 2020 (<https://www.nordpoolgroup.com/>).
- [11] Statnett. u.å. «Tall og data fra kraftsystemet». *Statnett*. Hentet 9. juni 2020 (<https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/tall-og-data-fra-kraftsystemet/#nordisk-kraftflyt>).
- [12] Statnett. u.å. «Tall og data fra kraftsystemet». *Statnett*. Hentet 9. juni 2020 (<https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/tall-og-data-fra-kraftsystemet/#import-og-eksport>).
- [13] Norges vassdrags- og energidirektorat. 2019c. «Utformingen av overføringsnettet i Norge - NVE». Hentet 26. mai 2020

- (<https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nettjenester/nettleie/utformingen-av-overforingsnett-i-norge/>).
- [14] Norges vassdrags- og energidirektorat. 2020d. «Spenningskvalitet - NVE». Hentet 26. mai 2020 (<https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nettjenester/leveringskvalitet/spenningskvalitet/>)
- [15] Statnett. u.å. «Tall og data fra kraftsystemet». *Statnett*. Hentet 9. juni 2020 (<https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/tall-og-data-fra-kraftsystemet/#nordisk-kraftbalanse>).
- [16] Norges vassdrags- og energidirektorat. 2019d. «Utformingen av overføringsnett i Norge - NVE». Hentet 26. mai 2020 (<https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nettjenester/nettleie/utformingen-av-overforingsnett-i-norge/>).
- [17] DNV GL. 2019. *Strømnettet i et fullelektrisk Norge*. 2019–0218, Rev. 3. 1363 Høvik. Hentet fra <https://www.energinorge.no/contentassets/74f33e5598d64578bda89c1fa864e83a/rapport---stromnettet-i-et-fullelektrisk-norge.pdf>
- [18] Ødegården, Lovinda, og Sajan Bhandana. 2018. *Status og prognoser for kraftsystemet 2018*. nr 103-2018. Hentet fra http://publikasjoner.nve.no/rapport/2018/rapport2018_103.pdf
- [19] Norges vassdrags- og energidirektorat. 2020. «Fritak for leveringsplikt». Hentet 26. mai 2020 (<https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nettjenester/nettilknytning/fritak-for-leveringsplikt/>) .
- [20] Norges vassdrags- og energidirektorat. 2020. «Smarte strømmålere (AMS)». Hentet 26. mai 2020 (<https://www.nve.no/stromkunde/smarte-strommalere-ams/>).
- [21] Norges vassdrags- og energidirektorat. 2020e. «Strømvavtaler, strømpriser og faktura». Hentet 26. mai 2020 (<https://www.nve.no/stromkunde/stromavtaler-strompriser-og-faktura/?ref=mainmenu>).
- [22] Statnett. 2018. *Fleksibilitet i det nordiske kraftmarkedet. Analyserapport*. Hentet fra <https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/planer-og-analyser/2018-Fleksibilitet-i-det-nordiske-kraftmarkedet-2018-2040>
- [23] Enøk. u.å. «Energiforbruk». Hentet 9. juni 2020 (https://www.enok.no/enokguiden/09_1.html).

- [24] Enova. 2016. «Luft-til-luft-varmepumpe». Hentet 11. juni 2020 (<https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/varmepumper/luft-til-luft-varmepumpe/>).
- [25] DNV GL. 2019. «Energy Transition outlook 2019 - A global and regional forecast to 2050».
- [26] 26) Holum, Benedicte. 2016. «Utviklingen av elektrisitetsforbruket i Norge frem mot 2040- drivere og regionale utviklingstrekk».
- [27] CenSES. 2019. «CenSES Innovasjonsstudie 2019». Hentet fra <https://www.ntnu.no/documents/7414984/1286183752/Innovasjonskartlegging+CenSES.pdf/ee5d3acf-6d4f-4342-a525-d3e63ec0814b>
- [28] Ritchie, Hannah, og Max Roser. 2019. «Access to Energy». *Our World in Data*. Hentet fra <https://ourworldindata.org/energy-access#access-to-electricity>
- [29] Microgrid at Berkeley lab. u.å. «Microgrid Definitions». Hentet 26. mai 2020a (<https://building-microgrid.lbl.gov/microgrid-definitions/>).
- [30] Bunker, Kaitlyn, Stephen Doig, Kate Hawley, og Jesse Morris. 2015. «Renewable microgrids: profiles from islands and remote communities across the globe». Hentet fra https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/04/Islands_Microgrid_Profiles_Islands_Global_Remote_Communities_CaseStudy_2015.pdf
- [31] Microgrid at Berkeley lab. u.å. «Types of Microgrids». Hentet 26. mai 2020b (<https://building-microgrid.lbl.gov/types-microgrids/>).
- [32] Power Quality Analysis. 2017. «En introduksjon til mikronett». *Power Quality Analysis*. Hentet 26. mai 2020 (<https://pqa.no/introduksjon-til-mikronett/>).
- [33] Lystad, Malin Sveinsdotter Landrø, Kjartan Trana, og Bjarte Johannesen. 2016. «Vil ha strøm til Sør-Gjæslingan». *NRK*, oktober 18. Hentet fra <https://www.nrk.no/trondelag/vil-ha-strom-til-sor-gjaeslingan-1.13183831>
- [34] Integrate Renewables AS. u.å. «Solceller | Integrate Renewables AS | Norway». Hentet 10. juni 2020 (<https://www.irenewables.no/>).
- [35] Hirsch, Adam, Yael Parag, og Josep Guerrero. 2018. *Microgrids: A Review of Technologies, Key Drivers, and Outstanding Issues*. Bd. 90. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211830128X>
- [36] Wood, Elisa. 2018. «Microgrid Benefits: Eight Ways a Microgrid Will Improve Your Operation...and the World». Hentet 26. mai 2020 (<https://microgridknowledge.com/microgrid-benefits-eight/>).

- [37] Schnitzer, Daniel, Deepa Shinde Lounsbury, Juan Pablo Carvallo, Ranjit Deshmukh, Jay Apt, og Daniel M. Kammen. 2014. «Microgrids for Rural Electrification». Hentet fra http://energyaccess.org/wp-content/uploads/2015/07/MicrogridsReportFINAL_high.pdf
- [38] MWH. 2016. «Sustainable Energy Handbook - Module 5.3 Off-grid Rural Electrification - Mini-grid Systems». Hentet fra <https://europa.eu/capacity4dev/file/29379/download?token=VfqKQX5J>
- [39] Sciullo, Alessandro, August Wierling, Osman Arrobbio, Sarah Delvaux, Gregory Winston Gilcrease, Jay Sterling Gregg, Tom Henfrey, og Dario Padovan. 2020. «Collective Action Initiatives (CAIs) and sustainable development». i *Collective Action Initiatives in the Energy Transition. Supporters of a strong sustainability paradigm?* Hentet fra https://www.researchgate.net/publication/340862048_Collective_Action_Initiatives_in_the_Energy_Transition_Supporters_of_a_strong_sustainability_paradigm
- [40] Twidell, John, og Tony Weir. 2015. *Renewable Energy Resources - third edition*. Side 11.
- [41] Planas, Estefanía, Jon Andreu, José Ignacio Gárate, Iñigo Martínez de Alegría, og Edorta Ibarra. 2014. «AC and DC technology in microgrids: A review». i *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Hentet fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114010065#!>
- [42] Mæhlum, Lars. 2020. «solceller». *Store norske leksikon*. Hentet 29.05.2020 (<https://snl.no/solceller>).
- [43] Hanania, Jordan, Jasper Martin, Kailyn Stenhouse, og Jason Donev. 2015. «Diesel Generator». Hentet 26. mai 2020 (https://energyeducation.ca/encyclopedia/Diesel_generator).
- [44] Twidell, John, og Tony Weir. 2015. *Renewable Energy Resources - third edition*. Side 397.
- [45] Johnson, Dag G. 2019. «gassturbin». Hentet 26. mai 2020 (<https://snl.no/gassturbin>).
- [46] Hamzeh Aghdam, Farid, og Navid Taghizadegan Kalantari. 2019. *Distributed Energy Resources and Microgrid Infrastructure*. redigert av N. Mahdavi Tabatabaei, E. Kabalci, og N. Bizon. Cham: Springer International Publishing. Hentet fra https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-23723-3_4
- [47] Twidell, John, og Tony Weir. 2015. *Renewable Energy Resources - third edition*. Side 200.

- [48] Norges vassdrags- og energidirektorat. 2020. «Vannkraft». Hentet 10. juni 2020 (<https://www.nve.no/energiforsyning/vannkraft/>).
- [49] Twidell, John, og Tony Weir. 2015. *Renewable Energy Resources - third edition*. Side 205
- [50] Harby, Atle. 2019. «Kan få mye mer vannkraft – og bedre miljø». *Sintef*. Hentet 10. juni 2020 (<http://www.sintef.no/siste-nytt/kan-fa-mye-mer-vannkraft-og-bedre-miljo/>).
- [51] Twidell, John, og Tony Weir. 2015. *Renewable Energy Resources - third edition*. Side 212-225.
- [52] Twidell, John, og Tony Weir. 2015. *Renewable Energy Resources - third edition*. Side 227.
- [53] Norges vassdrags- og energidirektorat. 2020. «Små vannkraftverk». Hentet 10. juni 2020 (<https://www.nve.no/konsesjonssaker/konsesjonsbehandling-av-vannkraft/sma-vannkraftverk/?ref=mainmenu>).
- [54] Twidell, John, og Tony Weir. 2015. *Renewable Energy Resources - third edition*. Side 281.
- [55] Twidell, John, og Tony Weir. 2015. *Renewable Energy Resources - third edition*. Side 299 – 301.
- [56] Vindportalen. u.å. «Turbinklasser og effektkurver». Hentet 10. juni 2020 (<https://www.vindportalen.no/Vindportalen-informasjonsiden-om-vindkraft/Vindkraft/Vindfysikk/Vindenergi/Turbinklasser-og-effektkurver>).
- [57] Vindportalen. u.å. «Brukstid og kapasitetsfaktor». Hentet 10. juni 2020 (<https://www.vindportalen.no/Vindportalen-informasjonsiden-om-vindkraft/Vindkraft/Vindfysikk/Vindenergi/Brukstid-og-kapasitetsfaktor>).
- [58] Norges vassdrags- og energidirektorat. 2009. *Vindkart for Norge*. KVT/ØB/2009/038. Hentet fra https://www.nve.no/media/2462/vind_80m_kartbok1a_4140.pdf
- [59] Norges vassdrags- og energidirektorat. 2020. «Vindkraft». Hentet 10. juni 2020 (<https://www.nve.no/energiforsyning/kraftproduksjon/vindkraft/?ref=mainmenu>).
- [60] Twidell, John, og Tony Weir. 2015. *Renewable Energy Resources - third edition*. Side 316 – 317.
- [61] Norsk solenergiforening. u.å. «Norske Solforhold». *Norsk Solenergiforening*. Hentet 10. juni 2020 (<https://www.solenergi.no/norske-solforhold>).

- [62] fornybar.no. 2007. «Fornybar energi 2007». Hentet fra <https://docplayer.me/2427102-I-i-i-i-fornybar-energi-2007-www-fornybar-no-fornybar-energi-1.html>
- [63] Twidell, John, og Tony Weir. 2015. *Renewable Energy Resources - third edition*. Side 169.
- [64] Norges vassdrags- og energidirektorat. 2020. «Solkraft». Hentet 10. juni 2020 (<https://www.nve.no/energiforsyning/kraftproduksjon/solkraft/?ref=mainmenu>).
- [65] UngEnergi. 2019. «Bølgeenergi | UngEnergi». Hentet 10. juni 2020 (<https://ungenergi.no/energikilder/hav-og-vannkraft/bolgeenergi/>).
- [66] SWECO Grøner. 2007. *Potensialstudie av havenergi i Norge*. 154650-2007.1. Hentet fra https://www.enova.no/upload_images/76E5C28463734B7081A918A3AC2C2B76.pdf
- [67] Aquaret. u.å. «Download Images and Illustrations». Hentet 10. juni 2020 (http://www.aquaret.com/indexea3d.html?option=com_content&view=article&id=203&Itemid=344&lang=en).
- [68] Wikibooks. u.å. «Bølgekraft/Bølgekraftens grunnleggende utfordringer». Hentet 10. juni 2020 (https://no.wikibooks.org/wiki/B%C3%B8lgekraft/B%C3%B8lgekraftens_grunnleggende_utfordringer#cite_note-4).
- [69] Rosvold, Knut A. og Hofstad, Knut: *tidevannskraftverk* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 10. juni 2020 fra <https://snl.no/tidevannskraftverk>
- [70] Sælen, Odd Henrik og Weber, Jan Erik: *tidevann* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 10. juni 2020 fra <https://snl.no/tidevann>
- [71] Mogård, Lars Egil. 2015. «‘Drømmen om tidevannskraft er knust’». august 4. Hentet fra <https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/drommen-om-tidevannskraft-er-knust-1.12484801>
- [72] Johansen, Magnar. 2012. «Prøver igjen». august 16. Hentet fra <https://www.lofotposten.no/lokale-nyheter/prover-igjen/s/1-71-6191936>
- [73] Energisenteret. u.å. «Bioenergi». *Energisenteret*. Hentet 10. juni 2020 (<https://eis.no/energikilder/bioenergi/>).
- [74] Norges geologiske undersøkelse. 2019. «Geotermisk energi». Hentet 10. juni 2020 (<https://www.ngu.no/emne/geotermisk-energi>).
- [75] UngEnergi. 2019. «Hva er geotermisk energi». Hentet 10. juni 2020 (<https://ungenergi.no/energikilder/geotermisk-energi/hva-er-geotermisk-energi/>).

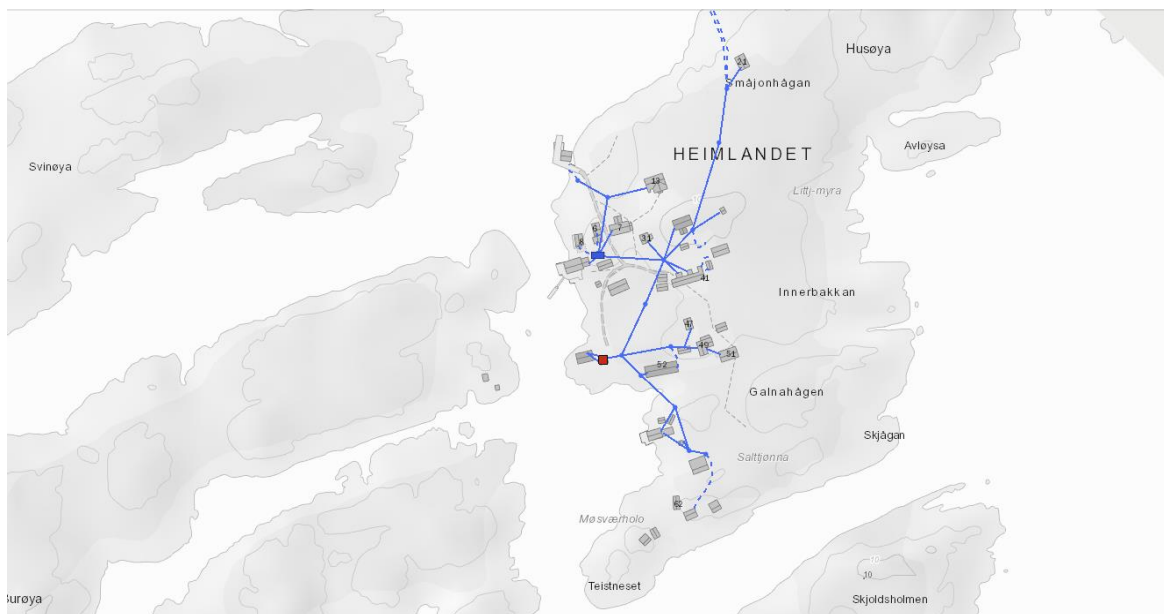
- [76] Gür, Turgut M. 2018. *Energy & Environmental Science*. Hentet fra <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/ee/c8ee01419a/unauth#!divAbstract>
- [77] Gunvaldsen, Ivar; Mathiesen, Steinar; Rosvold, Knut A: *batteri i Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 10. juni 2020 fra <https://snl.no/batteri>
- [78] Tabatabaei, Naser Mahdavi, Ersan Kabalci, og Nicu Bizon. 2020. *Microgrid Architectures, Control and Protection Methods*. Side 81 - 82. Hentet fra <https://link-springer-com.galanga.hvl.no/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-23723-3.pdf>
- [79] Wikipedia. 2020. «Lithium-Ion Battery». *Wikipedia*. Hentet 10. juni 2020 (https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lithium-ion_battery&oldid=961445379).
- [80] Gifford, Jonathan, og Eric Wesoff. 2020. «Top Global Li-Ion Battery Projects: Tesla Grows Lead as Hornsdale Expands to 150 MW». *Pv Magazine USA*, april 18. Hentet fra <https://pv-magazine-usa.com/2020/04/18/top-8-global-li-ion-battery-projects-tesla-grows-lead-with-hornsdale-expansion-to-150-mw/>
- [81] Wikipedia. 2020. «Kondensator (elektrisk)». *Wikipedia*. Hentet 10. juni 2020 ([https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Kondensator_\(elektrisk\)&oldid=20515188](https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Kondensator_(elektrisk)&oldid=20515188)).
- [82] Hofstad, Knut: *superkondensator* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 10. juni 2020 fra <https://snl.no/superkondensator>
- [83] Liseter, Ivar M.: *avbruddsfri strømforsyning* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 10. juni 2020 fra https://snl.no/avbruddsfri_str%C3%B8mforsyning
- [84] Bere, Eivind, Ola Lillehaug, og Martin Skåravik. u.å. «Energilagring I bølgekraftverk». Hentet fra <http://www.elkraft.ntnu.no/eno/News/MiniProjects-fall-2012/Gruppe%20B%20prosjekt%202.pdf>
- [85] Holtebekk, Trygve; Pedersen, Bjørn: *brenselcelle* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 10. juni 2020 fra <https://snl.no/brenselcelle>
- [86] Sol-energi. 2018. «Mekanisk lagring av solenergi». *Sol-energi.com*. Hentet 10. juni 2020 (<http://sol-energi.com/mekanisk-lagring-av-solenergi/>).
- [87] Rosvold, Knut A; Hofstad, Knut: *energilagring* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 10. juni 2020 fra <https://snl.no/energilagring>
- [88] Rosvold, Knut A: *pumpekraftverk* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 10. juni 2020 fra <https://snl.no/pumpekraftverk>
- [89] Twidell, John, og Tony Weir. 2015. *Renewable Energy Resources - third edition*. Side 542 – 543.

- [90] Sandstad, Jakob; Grøn, Øyvind: *vekselstrøm* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 10. juni 2020 fra <https://snl.no/vekselstr%C3%B8m>
- [91] Saugstad, Kjell: *transformator* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 10. juni 2020 fra <https://snl.no/transformator>
- [92] Gunvaldsen, Ivar: *vekselretter* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 10. juni 2020 fra <https://snl.no/vekselretter>
- [93] Gunvaldsen, Ivar; Rosvold, Knut A: *likeretter* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 10. juni 2020 fra <https://snl.no/likeretter>
- [94] Tabatabaei, Naser Mahdavi, Ersan Kabalci, og Nicu Bizon. 2020. *Microgrid Architectures, Control and Protection Methods*. Side 117 – 120. Hentet fra <https://link-springer-com.galanga.hvl.no/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-23723-3.pdf>
- [95] Nasjonalt Vindenergisenter AS. 2017. *Muligheter for småskala vindkraft i Møre og Romsdal*. Hentet fra <https://nves.no/site/wp-content/uploads/2019/07/Sm%C3%A5skala-vindkraft-i-M%C3%B8re-og-Romsdal.pdf>
- [96] The Isle of Eigg. u.å. «Eigg Electric». *The Isle of Eigg*. Hentet 26. mai 2020 (<http://isleofeigg.org/eigg-electric/>).
- [97] Horizon Power. 2011. «Powering Marble Bar and Nullagine with Energy from the Sun». *Horizon Power*. Hentet 10. juni 2020 (<https://horizonpower.com.au/our-community/news-events/news/powering-marble-bar-and-nullagine-with-energy-from-the-sun/>).
- [98] Zimmermann, Juergen. 2017. «Microgrids - The economics of solar & battery energy storage for off-grid mines». Hentet fra <https://australia.energyandmines.com/files/17-06-29-ABB-Energy-and-Mines-Conference-Perth.pdf>
- [99] Utsira kommune. u.å. «Energi». Hentet 10. juni 2020 (<https://www.utsira.kommune.no/tema/natur-og-miljo/energi>).
- [100] Solvind. u.å. «Utsira I». Hentet 10. juni 2020 (<http://www.solvind.com/prosjekter/utsira-1/>).
- [101] Trønderenergi. 2018. «Nettselskapets rolle - Fra primærforsyning til reserveforsyning». Hentet fra https://smartgrids.no/wp-content/uploads/sites/4/2018/10/1210-Strand_-Forbord.pdf
- [102] Heggdal, Øystein. 2018. «Satte opp 225 kW vindmølle». Hentet 10. juni 2020 (<https://www.norsklandbruk.no/article/satte-opp-225-kw-vindmolle/>).

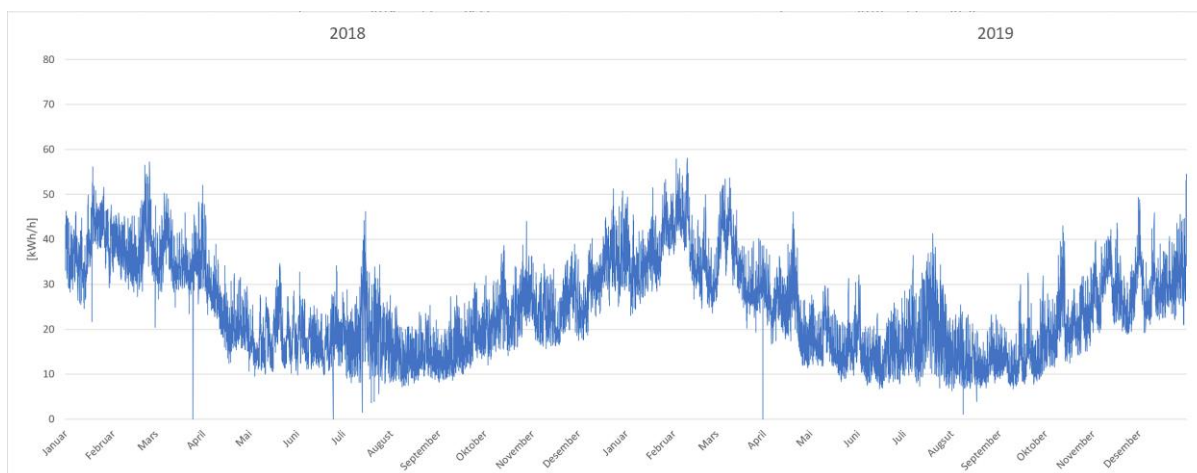
- [103] Svendsen, Marthe. 2019. «Bonde Lars Hoem skal bli sin egen energi-øy - Tu.no». Hentet 10. juni 2020 (<https://www.tu.no/artikler/bonde-vegard-hoem-skal-bli-sin-egen-energi-oy/475603>).
- [104] Halvorsen, Tore. 2020. «Lovende resultater med mikronett». Hentet 10. juni 2020 (<https://energiteknikk.net/2020/01/lovende-resultater-med-mikronett/>).
- [105] odd.no. 2017. «Skagerak Energilab». Hentet 10. juni 2020 (<https://www.odd.no/nyheter/skagerak-energilab>).
- [106] Enova. 2017. *Skagerak EnergiLab - Sluttrapport konseptutredning*. Hentet fra <https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/tema/konseptutredninger/skagerak-arena/>
- [107] Norsk klimaservicesenter. u.å. «Norsk Klimaservicesenter». Hentet 10. juni 2020 (<https://seklima.met.no/observations/>).
- [108] Nordlandsnett v/Tarjei Solvang, personlig kommunikasjon 25. mai 2020
- [109] European Commission. u.å. «JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)». Hentet 10. juni 2020 (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#TMY).
- [110] Copyright Lars Westvig. Hentet fra <https://en.nordlandturselskap.no/experience/givaer/>
- [111] Norgeskart. u.å. «Norgeskart». Hentet 10. juni 2020 (<https://norgeskart.no>).
- [112] Kommunekart. u.å. «Norkart». Hentet 10. juni 2020 (<https://kommunekart.com/>).
- [113] O. Olson, personlig kommunikasjon, 23. mai 2020
- [114] Bodø kommune v/ Johnny Steinbakk, personlig kommunikasjon, 03. juni 2020
- [115] Statistisk sentralbyrå. 2019. «Lavere strømpris for husholdningene». Hentet 10. juni 2020 (<https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/lavere-strompris-for-husholdningene>).
- [116] Kartverket. u.å. «Vannstands- og tidevannsinformasjon». Hentet 10. juni 2020 (<http://kartverket.no/sehavniva/sehavniva-lokasjonside/>).
- [117] windturbinestar.com. u.å. «Aeolos H 50KW». Hentet fra https://www.renugen.co.uk/content/medium_wind_turbine_brochures/Aeolos-H-50kw-wind-turbine-brochure.pdf
- [118] iea, og IRENA. 2016. «Wind Power Technology Brief». Hentet fra https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA-ETSAP_Tech_Brief_Wind_Power_E07.pdf

- [119] renugen. u.å. «Aeolos Aeolos-H 50kW 50kW Wind Turbine». Renugen. Hentet 12. juni 2020 (<https://www.renugen.co.uk/aeolos-aeolos-h-50kw-50kw-wind-turbine/>).
- [120] Yingli solar. u.å. «YGE 60 CELL SERIES 2». Hentet fra http://www.yinglisolar.com/static/assets/uploads/products/downloads/DS_YGE60CELL%20SERIES%20-29b_35mm_EN_EN_20200407_V04.pdf
- [121] IRENA. 2020. «RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2019». Table 3.1. Hentet fra https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf
- [122] Tesla. u.å. «Tesla Powerwall». Hentet 10. juni 2020 (<https://www.tesla.com/powerwall>).
- [123] Tesla. u.å. «Powerwall». Hentet fra https://www.tesla.com/sites/default/files/pdfs/powerwall/Powerwall%20_AC_Datash eet_en_GB.pdf
- [124] Twidell, John, og Tony Weir. 2015. *Renewable Energy Resources - third edition*. Side 248.
- [125] Manwell, J. F., J. G. Mcgowan, og A. L. Rogers. 2009. *Wind energy explained - theory, design and application*. Side 46. Hentet fra http://ee.tlu.edu.vn/Portals/0/2018/NLG/Sach_Tieng_Anh.pdf
- [126] Twidell, John, og Tony Weir. 2015. *Renewable Energy Resources - third edition*. Side 278.
- [127] Twidell, John, og Tony Weir. 2015. *Renewable Energy Resources - third edition*. Side 270.
- [128] Gonzalez de Durana, J. M., O. Barambones, Enrique Kremers, og Pablo Viejo. 2009. «Complete agent based simulation of mini-grids». Hentet fra <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/12018/COMPLETE%20AGENT%20BASED%20SIMULATION%20OF%20MINI-GRIDS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [129] Jing, Li, Wei Wei, og Ji Xiang. 2012. «A Simple Sizing Algorithm for Stand-Alone PV/Wind/Battery Hybrid Microgrids». Hentet fra https://www.researchgate.net/publication/276035693_A_Simple_Sizing_Algorithm_for_Stand-Alone_PVWindBattery_Hybrid_Microgrids
- [130] Strømkilden.no. u.å. «HYUNDAI DHY65KSE Diesel strømaggregat 65kVA 3-fas». Hentet 12. juni 2020 (<https://stromkilden.no/products/hyundai-dhy65kse-diesel-stromaggregat-65kva-3->

Vedlegg



Figur 26: Ledningsnettet på Givær. Den røde firkanten er plasseringen til aggregatet, blå linjer er 230 V luftledning mens stiplede linjer er 230 V kabler. [107]



Figur 27: Strømforbruket og temperatur på Givær i timesoppløsning gjennom årene 2018 og 2019

Tabell 16: Drivstoff- og strømpriser for aggregatene på Givær. Inkludert frakt, mva og CO2 avgifter. [107]

Totalt årlig forbruk	228764 kWh
Årlig drivstoff forbruk	73838 liter
Årlig drivstoff kostnad	824062 NOK
Drivstofforbruk per prod. kWh	0,32 liter/kWh
Strømpris	3,60 NOK/kWh
Drivstoffpris	11,16 NOK/liter

Tabell 17: Time- og daglig snitt av global horisontal innstråling (GHI) per m² for Givær per måned. Data brukt til kalkulasjon er hentet fra PVGIS sitt TMY verktøy [108]

Måned	Timelig snitt	Daglig snitt
	GHI [W/m ²]	GHI [kWh/m ²]
Januar	1,42	0,03
Februar	15,73	0,38
Mars	69,81	1,68
April	116,54	2,80
Mai	227,52	5,46
Juni	211,64	5,08
Juli	183,21	4,40
August	168,51	4,04
September	70,71	1,70
Oktober	23,37	0,56
November	3,39	0,08
Desember	0,02	0,00
Snitt	90,99	2,18

Tabell 18: Verdier for ruhetslengder for ulike typer terreng [125].

Terrain surface	z_0 [m]
Very smooth, ice or mud	0,00001
Calm open sea	0,0002
Blown sea	0,0005
Snow surface	0,003
Lawn grass	0,008
Rough pasture	0,01
Fallow field	0,03
Crops	0,05
Few trees	0,10
Many trees, hedges, few buildings	0,25
Forest and woodlands	0,50
Suburbs	1,50
Center of cities with tall buildings	3,00

Tabell 19: Resultater og kalkulasjoner for dimensjonering fra algoritmen. Fra vår til vinter

t	P ₁	P _{mid}	P ₂	P ₁ * N _{avg}	t	Pg [kWh]	AEC [kAh]	Pb [kWh]	AEC [Ah]	P ₁ / N ₂	t	SOc(t)	SOc(t) [%]
0	28,656	8,205	0,000	0,000	0	24,614	-0,081	-4,042	-80,830	-1,209	0	0,120	11,96
1	27,357	8,189	0,000	0,030	1	24,597	-0,136	-2,761	-136,046	-0,826	1	0,058	5,84
2	27,003	8,865	0,003	0,183	2	26,777	-0,141	-0,226	-140,560	-0,067	2	0,053	5,34
3	26,777	8,392	0,009	0,589	3	25,764	-0,161	-1,013	-160,817	-0,303	3	0,031	3,10
4	26,980	8,356	0,008	1,262	4	26,329	-0,174	-0,951	-173,833	-0,195	4	0,017	1,66
5	26,710	7,904	0,033	2,249	5	25,962	-0,189	-0,748	-188,802	-0,224	5	0,000	0,00
6	27,162	8,728	0,050	3,419	6	29,604	-0,140	2,443	-139,952	0,731	6	0,054	5,41
7	28,393	8,844	0,070	4,785	7	31,317	-0,081	2,924	-81,477	0,874	7	0,119	11,89
8	29,825	9,817	0,089	6,046	8	35,497	0,032	5,672	31,967	1,696	8	0,245	24,46
9	30,877	10,924	0,102	6,969	9	39,739	0,209	8,862	209,206	2,650	9	0,441	44,09
10	31,180	9,316	0,111	7,547	10	35,495	0,295	4,315	295,498	1,290	10	0,536	53,65
11	30,730	9,320	0,109	7,450	11	35,410	0,389	4,679	389,086	1,400	11	0,640	64,01
12	30,741	8,998	0,103	7,042	12	34,036	0,455	3,295	454,985	0,985	12	0,713	71,31
13	30,358	9,510	0,091	6,231	13	34,760	0,543	4,402	543,027	1,317	13	0,811	81,07
14	29,339	9,128	0,074	5,079	14	32,464	0,606	3,125	605,529	0,935	14	0,880	87,99
15	28,098	9,133	0,055	3,779	15	31,177	0,667	3,079	667,107	0,921	15	0,948	94,81
16	28,210	9,359	0,036	2,476	16	30,553	0,714	2,342	713,950	0,700	16	1,000	100,00
17	28,534	8,852	0,021	1,457	17	28,014	0,704	-0,520	703,547	-0,156	17	0,988	98,85
18	29,376	8,749	0,010	0,686	18	26,932	0,655	-2,443	654,682	-0,731	18	0,934	93,43
19	31,398	9,040	0,004	0,250	19	27,869	0,574	-4,029	574,106	-1,205	19	0,845	84,51
20	31,638	8,500	0,001	0,061	20	20,562	0,453	-0,076	452,581	-1,817	20	0,710	71,05
21	31,770	8,130	0,000	0,006	21	24,396	0,305	-7,374	305,091	-2,206	21	0,547	54,71
22	31,163	7,611	0,000	0,000	22	22,834	0,138	-8,330	138,494	-2,491	22	0,363	36,26
23	29,792	7,622	0,000	0,000	23	22,867	0,000	-6,925	0,000	-2,071	23	0,209	20,91
0	17,039	4,768	0,001	0,052	0	14,355	-0,054	-2,684	-53,679	-0,803	0	0,10	9,94
1	16,103	4,553	0,003	0,194	1	13,853	-0,099	-2,251	-96,690	-0,673	1	0,03	2,70
2	15,064	4,575	0,009	0,500	2	14,225	-0,115	-0,840	-115,484	-0,253	2	0,00	0,00
3	14,926	4,832	0,018	1,034	3	15,530	-0,103	0,604	-103,400	0,181	3	0,02	1,94
4	14,811	5,311	0,033	1,901	4	17,834	-0,043	3,022	-42,951	0,904	4	0,12	11,67
5	14,352	5,428	0,051	2,959	5	19,245	0,055	4,892	54,897	1,463	5	0,27	27,41
6	14,523	5,249	0,070	4,038	6	19,784	0,160	5,260	160,103	1,573	6	0,44	44,34
7	15,430	5,332	0,089	5,137	7	21,133	0,274	5,704	274,182	1,706	7	0,63	62,69
8	17,500	4,759	0,108	6,201	8	20,479	0,334	2,979	333,758	0,891	8	0,72	72,28
9	18,841	4,523	0,121	6,980	9	20,550	0,368	1,709	367,937	0,511	9	0,78	77,78
10	19,537	4,395	0,129	7,450	10	20,635	0,390	1,098	399,904	0,328	10	0,81	81,31
11	19,413	4,494	0,133	7,670	11	21,511	0,425	1,738	424,655	0,520	11	0,87	86,90
12	21,557	4,518	0,127	7,329	12	20,883	0,411	-0,673	411,188	-0,201	12	0,85	84,74
13	19,745	4,723	0,115	6,627	13	20,796	0,432	1,051	432,211	0,314	13	0,88	88,12
14	19,417	4,954	0,099	5,704	14	20,567	0,455	1,150	455,214	0,344	14	0,92	91,82
15	18,347	4,855	0,081	4,674	15	19,238	0,473	0,891	473,034	0,266	15	0,95	94,69
16	18,094	5,186	0,060	3,474	16	19,034	0,492	0,960	491,827	0,281	16	0,98	97,71
17	17,997	5,278	0,041	2,596	17	18,170	0,495	-0,173	495,286	-0,052	17	0,98	98,27
18	17,872	5,677	0,024	1,378	18	18,411	0,506	0,538	506,053	0,161	18	1,00	100,00
19	20,247	4,980	0,012	0,682	19	15,623	0,414	-4,624	413,567	-1,383	19	0,85	85,12
20	20,204	5,131	0,005	0,286	20	15,678	0,323	-4,526	323,041	-1,354	20	0,71	70,55
21	19,671	4,671	0,002	0,095	21	14,107	0,212	-5,565	211,751	-1,664	21	0,53	52,65
22	18,999	4,350	0,000	0,023	22	13,072	0,093	-5,927	93,210	-1,773	22	0,34	33,58
23	17,601	4,308	0,000	0,017	23	12,940	0,000	-4,661	0,000	-1,994	23	0,19	18,58
0	20,173	11,102	0,000	0,000	0	21,648	0,030	1,475	29,500	0,441	0	0,03	3,49
1	19,107	11,445	0,000	0,000	1	22,317	0,094	3,211	93,713	0,960	1	0,11	11,07
2	18,527	12,090	0,000	0,000	2	23,576	0,195	5,048	194,677	1,510	2	0,23	23,00
3	18,695	11,876	0,000	0,000	3	23,158	0,284	4,462	283,927	1,335	3	0,34	33,55
4	18,164	12,642	0,000	0,012	4	24,664	0,414	6,500	413,923	1,944	4	0,49	48,91
5	18,097	14,494	0,003	0,144	5	24,488	0,542	6,391	541,751	2,142	5	0,64	64,01
6	18,812	11,679	0,008	0,421	6	23,196	0,629	4,383	629,419	1,311	6	0,74	74,37
7	20,163	11,755	0,015	0,795	7	23,717	0,700	3,554	700,498	1,063	7	0,83	82,76
8	21,692	10,894	0,024	1,228	8	22,472	0,716	0,780	716,089	0,233	8	0,85	84,61
9	22,234	12,075	0,031	1,570	9	25,115	0,774	2,881	773,718	0,862	9	0,91	91,41
10	21,891	11,331	0,035	1,801	10	23,897	0,814	2,006	813,832	0,600	10	0,96	96,15
11	21,284	10,737	0,034	1,771	11	22,707	0,842	1,423	842,290	0,426	11	1,00	99,52
12	22,192	10,708	0,029	1,515	12	22,396	0,846	0,205	846,381	0,161	12	1,00	100,00
13	21,346	10,080	0,023	1,194	13	20,851	0,836	-0,495	836,476	-0,148	13	0,99	98,83
14	21,073	9,990	0,016	0,807	14	20,287	0,821	-0,786	820,748	-0,235	14	0,97	96,97
15	21,534	9,003	0,009	0,449	15	18,005	0,750	-3,529	750,161	-1,056	15	0,89	88,63
16	22,620	7,968	0,003	0,174	16	15,712	0,612	-6,908	611,998	-2,066	16	0,72	72,31
17	22,684	9,114	0,001	0,038	17	17,810	0,515	-4,874	514,520	-1,458	17	0,61	60,79
18	23,272	9,425	0,000	0,001	18	18,379	0,417	-4,894	416,649	-1,464	18	0,49	49,23
19	24,945	10,609	0,000	0,000	19	20,687	0,331	-4,258	331,496	-1,273	19	0,39	39,17
20	24,747	9,872	0,000	0,000	20	19,251	0,222	-5,497	221,563	-1,644	20	0,26	26,18
21	24,714	9,260	0,000	0,000	21	18,056	0,088	-6,658	88,412	-1,991	21	0,10	10,45
22	23,675	10,213	0,000	0,000	22	19,916	0,013	-7,359	13,233	-1,124	22	0,02	1,56
23	22,178	11,034	0,000	0,000	23	21,516	0,000	-0,662	121E-12	-0,198	23	0,00	0,00
0	34,420	15,000	0,000	0,000	0	36,000	0,032	1,580	31,600	0,473	0	0,06	5,95
1	32,786	15,000	0,000	0,000	1	36,000	0,096	3,214	95,884	0,961	1	0,18	18,05
2	32,094	15,000	0,000	0,000	2	36,000	0,174	3,906	174,000	1,168	2	0,33	32,75
3	31,978	15,000	0,000	0,000	3	36,000	0,254	4,022	254,436	1,203	3	0,48	47,89
4	31,817	15,000	0,000	0,000	4	36,000	0,338	4,183	338,089	1,251	4	0,64	63,64
5	31,881	15,000	0,000	0,000	5	36,000	0,420	4,119	420,471	1,232	5	0,79	79,14
6	32,223	15,000	0,000	0,000	6	36,000	0,496	3,					

Tabell 20: Konfigurasjoner av vindturbiner, solceller og batterier med lavest kostnad.

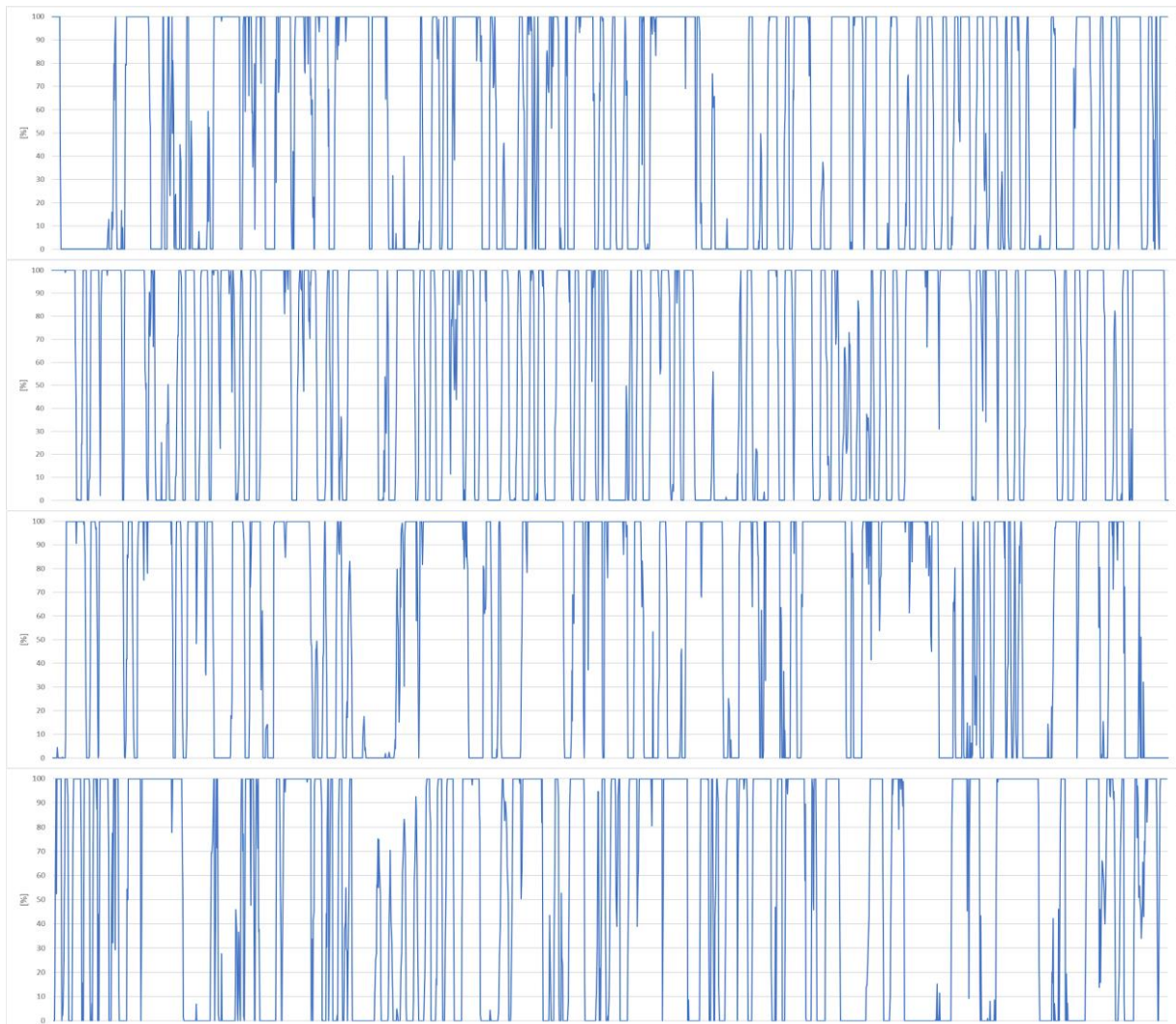
N _b : 4					
N _{wind}	N _{PV}				
N _{PV}	0	1	2	3	4
140	520793				
159	472812				
218	488476				
308	584421				
434	718122				

N _b : 3					
N _{wind}	N _{PV}				
N _{PV}	0	1	2	3	4
135	518087				
150	469972				
205	484226				
291	580570				
417	715365				

N _b : 2					
N _{wind}	N _{PV}				
N _{PV}	0	1	2	3	4
128	516597				
146	468800				
197	480677				
277	577110				
404	712771				

N _b : 1					
N _{wind}	N _{PV}				
N _{PV}	0	1	2	3	4
122	517788				
143	469623				
188	478106				
258	574346				
382	710413				

N _b : 0					
N _{wind}	N _{PV}				
N _{PV}	0	1	2	3	4
126	524597				
143	476575				
176	479976				
250	573115				
370	708610				



Figur 28: SOC til batteriet fra vår til vinter med konfigurasjoner vist til høyre i Figur 26.