

Eksperter i Team – Smarte nett

Smarte nett i et norsk øysamfunn

Gruppemedlemmer:

Tore Lefstad

Karoline Petersen

Magnus Grøtterud

Siri Anne Wisur

Jonathan Jørstad

Dato: 04.05.11



NTNU – Trondheim
Norwegian University of
Science and Technology

INNHALDSFORTEGNELSE

Forord	2
Sammendrag.....	3
1 Prosjektdefinisjon	4
1.1 Bakgrunn	4
1.2 Målsetning.....	4
1.3 Metoder	4
1.4 Avgrensninger	4
2 Innledning	5
3 utfordringer ved Distribuert produksjon.....	6
3.1 Feilsituasjoner	6
3.1.1 Gjeninnkoblingsproblematikk.....	6
3.1.2 Begrensning av kortslutningsstrøm	7
3.1.3 Falsk tripping av vern.....	7
3.2 Spenningsendringer	8
3.2.1 Spenningskvalitet.....	8
3.2.2 Harmoniske strømmer	8
3.2.3 Spenningsregulering.....	9
4 Mikronett	10
4.1 Tradisjonell kontroll av spenning og frekvens	10
4.2 Øydriftssituasjoner	10
4.3 Struktur.....	11
4.4 Kontrollstrategi	12
4.4.1 Laststyring.....	12
4.4.2 Spenning- og frekvenskontroll.....	12
4.4.3 Effektkontroll.....	13
4.5 Drift	13
4.6 Avanserte måle- og styringssystemer	13
5 Mulige energikilder i norske øysamfunn	14
5.1 Tidevannskraft	14
5.2 Bølgekraft.....	14
5.3 Vindkraft.....	15
5.4 Solenergi.....	15
6 Energilagring	17
6.1 Hurtigreserver	17
6.1.1 Svinghjul	17
6.1.2 Superkondensatorer.....	17
6.1.3 Batterier som hurtigreserve.....	18
6.2 Langtidslagring	18

6.2.1	Batterier til langtidslagring	19
6.2.2	Trykkluft.....	19
6.2.3	Pumpekraftverk.....	20
6.2.4	Hydrogen.....	20
7	Analyse av tekniske løsninger og utfordringer.....	22
7.1	Utfordringer ved distribuert produksjon	22
7.2	Mikronett	22
7.3	Energikilder	22
7.4	Energilagring.....	24
8	Økonomiske konsekvenser ved distribuert produksjon og mikronett.....	25
8.1	Energiselskap.....	25
8.2	Forbrukere.....	26
9	Miljømessige konsekvenser ved distribuert produksjon	27
10	Konklusjon.....	29
11	Oppsummering og videre arbeid	30
12	Referanser	31

FORORD

Dette er en prosjektrapport for emnet TET4850 Smarte Nett i Eksperter i Team 2011. Eksperter i Team er et tverrfaglig emne som er obligatorisk for alle studenter i 4. studieår ved Norges tekniske-naturvitenskaplige universitet (NTNU).

Det finnes mange definisjoner av Smarte nett, vi har valgt å definere det som: “ Distribuert energinettverk som integrerer avanserte måle- og styresystemer.”

Problemstillingen for rapporten er “Smarte nett i norske øysamfunn”, der vi hovedsakelig fokuserer på utfordringer ved tilknytning av distribuert produksjon, fornybare energikilder og energilagringmetoder, og hvordan disse kan knyttes sammen i et mikronett som driftes som en del av kraftnettet eller i øydriftmodus.

Vi vil rette en takk til “landsbyleder” Kjell Sand for god veiledning og positive innspill. I tillegg vil vi takke Nina Wahl Gunderson i Sintef for hjelpen i oppstartsfasen av prosjektet.

SAMMENDRAG

I mange norske øysamfunn er mulighetene for utbygging av småskala fornybar energi stor. I Norge i dag satses det mye på distribuert produksjon, og ved å integrere dette på en smart måte vil man kunne øke forsyningssikkerheten og redusere klimautslippene.

Denne oppgaven tar for seg utfordringer og muligheter vedrørende distribuert produksjon og mikronett i norske øysamfunn.

Dagens lavspentnett er dimensjonert for enveis effektflyt og det kreves tiltak i kraftnettet for å kunne integrere distribuert produksjon. Utfordringer vil oppstå med tanke på spenningsfordeling og feilsituasjoner, og konklusjonen er at det trengs et smartere nett. Mikronett representerer en løsning der smarte enheter benyttes for å styre den distribuerte produksjonen og eventuelt ikke-kritisk last. Mikronettet skal klare seg på egenhånd ved eventuell øydriftssituasjon.

Energikildene som kan brukes på øya er uregulerbare og væravhengige. Dette vil si at i enkelte dager vil produksjonen være for lav til å oppfylle lastkravet. I et lite nett vil også en liten endring hos forbruker kunne føre til store svingninger i nettet. Med tanke på dette er det behov for to typer energilagring; kortids- og langtidslagring. Med distribuert produksjon, energilagring og avanserte styresystemer i et mikronett vil man kunne bedre forsyningssikkerheten og med dette redusere eventuelle KILE-kostnader for nettselskapene.

Når det gjelder miljømessige gevinster er det vanskelig å komme med noen konkret konklusjon. Det er mange aspekter som kan trekkes inn, og det avhenger av hva slags rammer man setter for systemet man analyserer.

1 PROSJEKTDEFINISJON

1.1 Bakgrunn

I mange norske øysamfunn er tilknytningen til hovednettet ustabil, noe som fører til dårlig forsyningssikkerhet. I de samme områdene er mulighetene for utbygging av småskala fornybar energi stor. I Norge i dag satses det mye på distribuert produksjon, og ved å integrere dette på en smart måte vil man kunne øke forsyningssikkerheten og redusere miljøpåvirkningene.

1.2 Målsetning

Målsetningen med oppgaven er å redegjøre for utfordringer ved tilknytning av produksjon i distribusjonsnettet. Det skal sees på muligheter smarte nett gir for overvåkning og regulering av distribuert produksjon, samt og utrede miljømessige og økonomiske konsekvenser ved lokal kraftproduksjon.

1.3 Metoder

- Idémyldring for å kartlegge ønsker til de ulike gruppemedlemmene.
- Litteratursøk på internett, i databaser og bøker for å kartlegge informasjon tilknyttet distribuert produksjon og smarte nett.
- Kontinuerlig møter vedrørende fremdrift og muligheter.

1.4 Avgrensninger

Denne rapporten er en generell utredning av utfordringer knyttet til distribuert produksjon og hvilke muligheter mikronett og smart styring kan gi. Prosjektet er avgrenset til å ta for seg et lite norsk øysamfunn.

Mulige tekniske løsninger har ikke blitt studert i detalj, men presentert for å gi et overblikk.

2 INNLEDNING

I denne oppgaven er det sett nærmere på hvordan man ved hjelp av smarte nett og distribuert produksjon kan øke forsyningssikkerheten i et norsk øysamfunn, og hvilke økonomiske og miljømessige gevinster dette kan gi.

Alternativet til distribuert produksjon i Norge vil i hovedsak være strøm fra store vannkraftprodusenter, i tillegg importerer Norge strøm fra kjernekraft og fossile energikilder i Europa. På bakgrunn av dette kan man argumentere for at distribuert produksjon vil være med på å redusere bruken av ikke-bærekraftige energikilder og redusere klimagassutslipp. I samarbeid med Sverige er det utarbeidet en ordning med elsertifikater, populært kalt grønne sertifikater, som skal tre i kraft 1. januar 2012¹. Salg av sertifikatene skal bidra til økt produksjon av elektrisitet fra fornybare energi kilder som vind, vann, sol og biomasse. Denne ordningen i tillegg til utviklingen av avanserte måle- og styresystemer i kraftnettet, gjør det stadig mer aktuelt å satse på fornybar energi i distriktene.

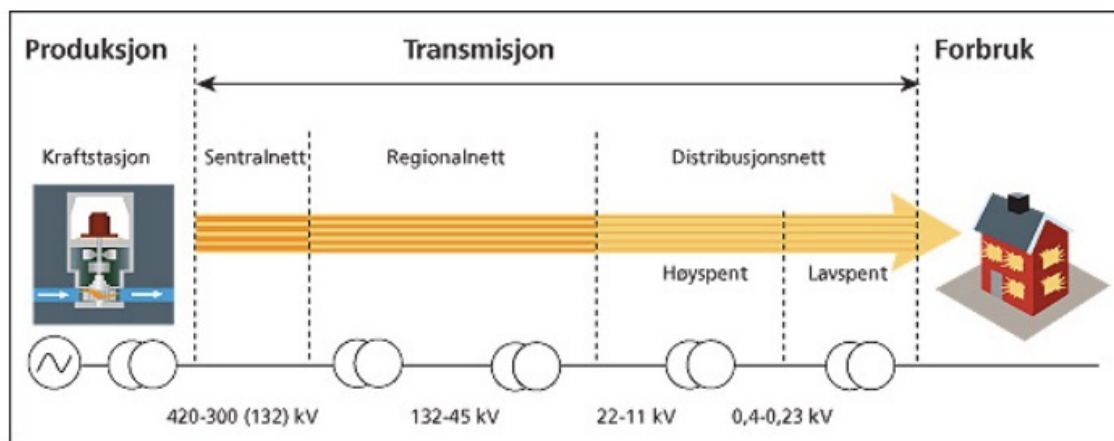
Distribuert produksjon har den fordel at energi kan produseres nærmere der den forbrukes, på denne måten kan effekttap i nettet reduseres. Samtidig er det viktig å påpeke at mindre anlegg ofte vil ha større energitap ved produksjon og lagring, enn større sentraliserte anlegg. Ved å konstruere et stabilt mikronett som kan driftes alene i perioder der tilknytningen til nettet er falt ut, kan distribuert produksjon også bidra til reduserte kostnader ved ikke-levert energi (KILE-kostnad).

Dagens distribusjonsnett er dimensjonert for enveis effektflyt, der effekten som blir levert i stor grad kommer fra større kraftprodusenter i sentral- og regionalnettet. Dersom mange små produksjonsenheter skal koble seg til distribusjonsnettet, vil dette kunne føre til at effektflyten vil snu. Dette vil blant annet kreve en betydelig oppgradering av vern tilkoblet nettet. Bruk av fornybare kilder vil også føre til større svingninger i produksjonen. I utviklingen av et smartere kraftnett er det høyt fokus på om implementering av avansert måleutstyr og automatisert fjernstyring kan løse problemene knyttet til distribuert produksjon i lavspentnettet og dermed bidra til økt forsyningssikkerhet.

Rapporten starter med en redegjøring av utfordringer knyttet til distribuert produksjon i lavspentnettet. Videre beskrives en mulig teknisk løsning; mikronett. Deretter kommer en beskrivelse av mulige energikilder og energilagring som er relevante i forhold til norske øysamfunn og drift av mikronettet.

3 UTFORDRINGER VED DISTRIBUTUERT PRODUKSJON

Kraftnettet er designet for at effektflyten skal gå fra de store produsentene, via overføringsnettet og ut til kundene i distribusjonsnettet (se Figur 3-1). I sentral- og regionalnettet kan effektflyten gå i begge retninger, denne delen av kraftnettet er derfor utstyrt med avansert vern og måleutstyr. I distribusjonsnettet går effektflyten som regel bare fra et høyere spenningsnivå til et lavere spenningsnivå². I distribusjonsnettet er det derfor nok å bruke overstrømsvern for å sikre utkobling ved overstrøm og kortslutning. Ved innføring av et stort antall distribuerte produksjonsenheter kan effektflyten i perioder bli snudd. Effekten blir da matet inn i distribusjonsnett og overført tilbake til hovednettet. Denne endringen i effektflyten krever en endring av vernstruktur både i lav- og høyspentdelen av distribusjonsnettet. Oppbyggingen av vernstruktur må ta hensyn til at feil kan bli matet med strøm fra to sider – fra høyspentsiden og fra lokale produksjonsenheter på lavspentsiden³.

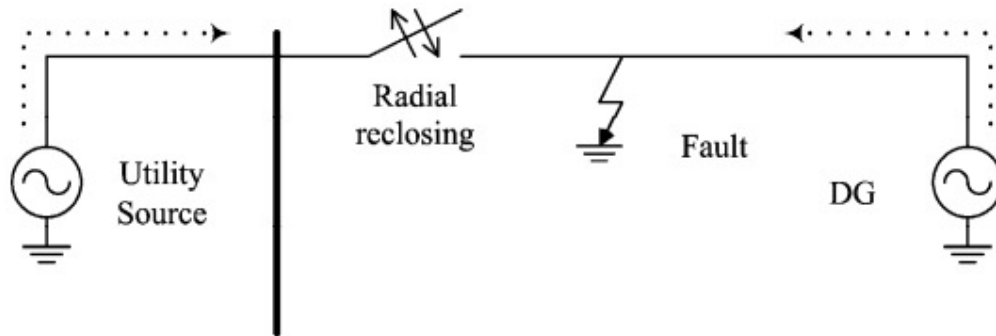


Figur 3-1: Kraftnettets oppbygning⁴

3.1 Feilsituasjoner

3.1.1 Gjeninnkoblingsproblematikk

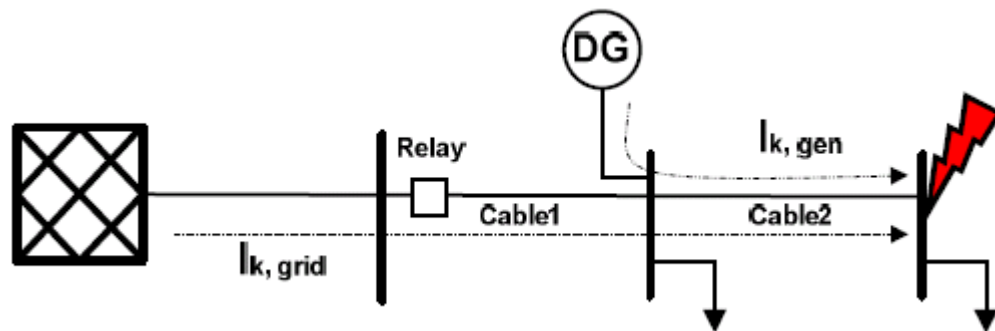
Ved forbigående feil (typisk jordfeil) i regional- og distribusjonsnettet skal en automatisk gjeninnkobler legge ut nettet i noen få sekunder før den automatisk legger nettet inn igjen, i håp om at feilen da er rettet (se Figur 3-2). Dersom en distribuert produksjonsenhet er tilkoblet nettet kan denne forstyrre gjeninnkoblingsprosessen⁵. Når gjeninnkobleren er i åpen posisjon vil generatoren i distribusjonsnettet fortsette å mate effekt på linja, dette fører til at lysbuen i vernet får tilført effekt som fører til at en midlertidig feil blir permanent. Den distribuerte generatoren må derfor kobles ut før gjeninnkoblingsautomatikken legger ut linja⁶.



Figur 3-2: Automatisk gjeninnkobling⁷

3.1.2 Begrensning av kortslutningsstrøm

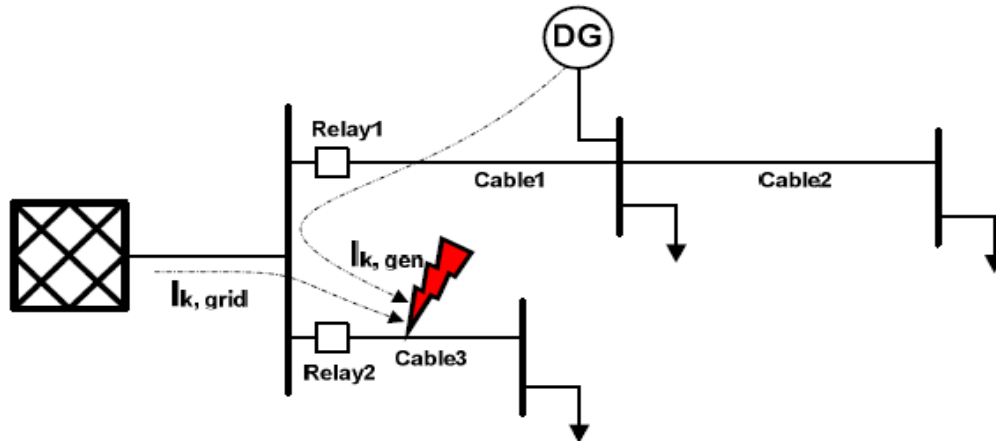
Dersom en kortslutning oppstår på samleskinnen i enden av forsyningen i Figur 3-3 vil både den distribuerte produksjonsenheten og resten av nettet bidra til feilstømmen⁸. På grunn av bidraget til generatoren vil den totale feilstømmen på feilstedet øke, mens bidraget fra nettet vil synke. Dette kan føre til at kortslutningen ikke kobler ut fordi nettets bidrag til feilstømmen er for lite⁶.



Figur 3-3: Redusering av kortslutningsstrøm⁹

3.1.3 Falsk tripping av vern

Dersom en distribuert generator bidrar til en feil i en nærliggende leder i samme trafostasjon kan falsk tripping oppstå. Falsk tripping vil si at vern kobler ut selv om det i realiteten ikke er feil på den aktuelle linja (se Figur 3-4). Bidraget til feilstømmen fra generatoren kan føre til at strømmen overskrider startnivået til vernet i den friske lederen før den faktiske feilen er fjernet. Spesielt i svake nett med lange forsyningslinjer med overstrømsvern kan falsk tripping lett oppstå⁶. Dette kan løses ved å installere retningsstyrte overstrømsvern⁸.



Figur 3-4: Falsk tripping av vern⁹

3.2 Spenningsendringer

3.2.1 Spenningskvalitet

Det er store krav til spenningskvaliteten til sluttbruker, og det finnes forskrifter for hvordan spenning og frekvens skal være¹⁰. I følge disse forskriftene skal spenningen være $230\text{ V} \pm 10\%$ og frekvensen skal være $50 \pm 0.2\text{ Hz}$. Ved tilkoblingen av distribuert produksjon, kan den stasjonære spenningen i tilkoblingspunktet øke. Det vil alltid være et visst spenningsfall fra distribusjonstransformatoren og ut til forbruker, men dette overvåkes og holdes innenfor gitte verdier. Tilkoblingen av distribuert produksjon vil kunne gjøre det vanskeligere å passe på at disse grensene overholdes, da spesielt grensen for maksimal tillatt spenning. Transiente spenningsendringer kan også oppstå ved umiddelbar endring i laststrømmen, som fører til en rask endring i spenningen i tilkoblingspunktet. Et eksempel på dette kan være dersom vindstyrken øker raskt og man får en plutselig økning i vindkraftproduksjonen, denne endringen i effektflyten kan lage transiente spenningsendringer⁶.

3.2.2 Harmoniske strømmer

Grunnfrekvensen i kraftnettet er 50 Hz og formen på spenningen for forbruker skal være så sinusformet som mulig. Spenning som avviker fra dette kan føre til skade på utstyr og er ikke ønskelig. Med Fourier-transformasjon kan enhver periodisk funksjon fremstilles som en superposisjon av en rekke sinusfunksjoner med ulike frekvenser. Så fort spenningen i nettet avviker fra en ren sinusform, kan den derfor fremstilles som en slik rekke med 50 Hz som grunnfrekvens. Alle andre frekvenskomponenter enn grunnfrekvensen 50 Hz vil være heltallsmultipler av denne og kalles harmoniske eller overharmoniske komponenter.

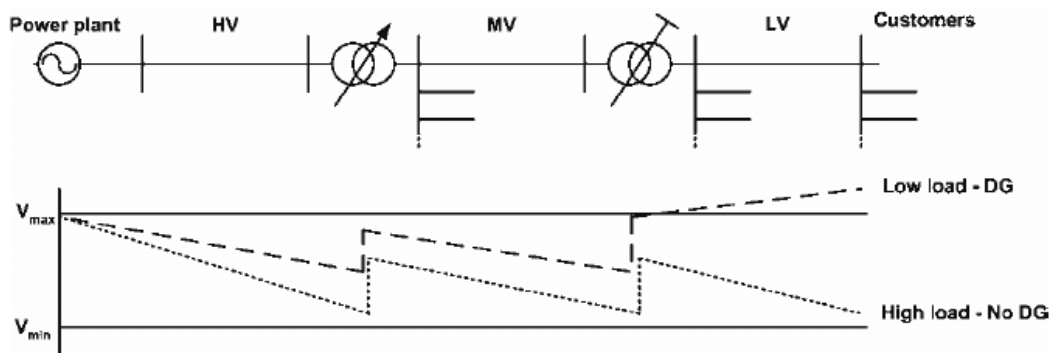
Ved tilkobling av fornybare kilder er det ofte nødvendig med kraftelektronikk, dette kan føre til en konsentrasjon av kilder for harmoniske strømmer. Disse kan også påvirke nærliggende

distribusjonsnett. Et typisk eksempel på utstyr som kan generere overharmoniske strømmer er DC-utstyr som solceller og batteribanker tilkoblet AC-nettet med likerettere⁸. En vanlig måte å begrense virkningen av harmoniske strømmer på er å installere filter i serie med likeretteren.

3.2.3 Spenningsregulering

Figur 3-5 viser hvordan spenningsprofilen endrer seg fra hovednettet til lavspent distribusjonsnett (i p.u.-verdier). I transformatorstasjonene i regionalnettet kan spenningen reguleres automatisk. I en distribusjonstransformator kan trinningen (reguleringen) av transformatoren bare skje manuelt, innstillingen velges derfor slik at den alltid er over minimum tillatte spenning ved maksimal last og under maksimum tillatte spenning ved minimum last. Ved tilkobling av distribuert produksjon vil spenningsprofilen endres og kan se ut som i Figur 3-5. Spenningen vil som tidligere nevnt i enkelte tilfeller være høyere i tilkoblingspunktet til generatoren enn i fordelingstransformatoren. Dersom spenningen overskrider maksimal tillatt spenning ved stor produksjon og lav last kan fordelingstransformatoren trinnes ned, men dette kan igjen føre til at minimumskravet ikke overholdes ved lav produksjon og høy last¹¹.

Spenningen bør i et slikt tilfelle reguleres i forhold til produksjon og last. I sentral- og regionalnettet reguleres spenningen ved å trekke eller tilføre reaktiv effekt til nettet. I lavspentnett er impedansen hovedsakelig resistiv, noe som gjør at forholdet mellom reaktiv effekt og spenning ikke er det samme som i overliggende nett.



Figur 3-5: Spenningsfordeling¹¹

4 MIKRONETT

I forbindelse med tilkobling av distribuert produksjon i lavspentnettet er det som nevnt mange utfordringer, og de bunner ut i at det kreves et omfattende reguleringsystem¹². For å kunne drive et lite distribusjonsnett i øydriftssituasjon er det sett på mikronett som en mulig løsning.

Mikronett er definert som et småskala lavspentnett som inneholder små produksjonsenheter, last og muligheter for energilagring¹³. Fordelen med mikronett er at det skal kunne fungere som en støttespiller ved perioder med høyt stress, ved å unngå flaskehals og opprettholde tilførsel hvis det skjer feil i hovednettet. På denne måten vil man kunne oppnå høyere forsyningssikkerhet på øya.

4.1 Tradisjonell kontroll av spenning og frekvens

Tradisjonelt er hovednettet forsynt av mange store energikilder med roterende masse. Det er den store roterende massen som fører til at frekvensen kan opprettholdes. Høyt treghetsmoment står bra imot raske endringer. I høyere spenningsnivå i hovednettet vil det være en sterk relasjon mellom aktiv effekt og frekvens, noe som brukes aktivt ved frekvensstyring. I høyspentnett med luftlinjer er de induktive egenskapene dominerende i forhold til de resistive, slik at reaktiv effekt og spenning henger nøye sammen. Ved å mate inn reaktiv effekt kan man enkelt øke spenningen og forhindre spenningsfall. Dette gjøres aktivt med kondensatorbatterier, som kan produsere reaktiv effekt.

4.2 Øydriftssituasjoner

Noe av hensikten med mikronettet er å sørge for at den distribuerte produksjonen som kommer inn på lavspentnettet blir integrert på best mulig måte i forhold til resten av det hovednettet. Det er også viktig at mikronettet skal klare seg på egen hånd hvis det skulle skje feil og det oppstår øydrift. Hovedproblemene er å opprettholde stabilitet med tanke på frekvens og spenning.

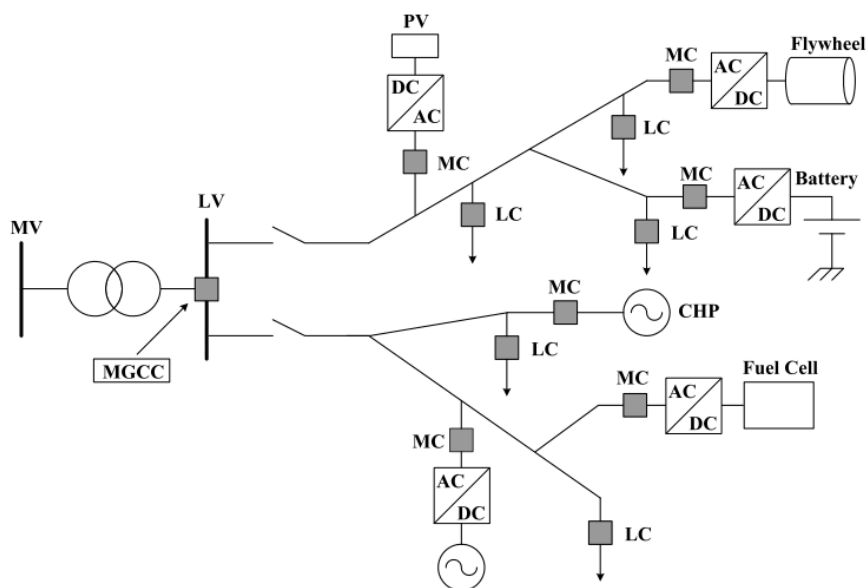
Mikronettet vil inneholde mange små energi kilder; batterier, små vindturbiner, solcellepanel osv. Felles for mange av disse er at de genererer DC-spenning, noe som betyr at det trengs vekselrettere for å gjøre om spenningen til AC med en frekvens på 50 Hz. På grunn av at mikronettet stort sett består av vekselrettere vil det være lite roterende masse som kan opprettholde frekvensen ved øydrift. Det er derfor viktig at kraftelektronikken kan sørge for at energikildene kan simulere oppførselen til en synkrongenerator¹⁴ for å opprettholde rett frekvens. Siden vekselretterene inneholder kraftelektronikk vil det kunne gi harmoniske forstyrrelser på nettet.

I en øydriftssituasjon vil det også være vanskelig å opprettholde et akseptabelt spenningsnivå. I lavspentnettet blir det for det meste brukt nedgravde kabler, der resistansen er dominerende for impedansen. Det vil si at spenningen ikke er avhengig av reaktiv effekt på samme måte som for

luftlinjer, men at den blir mer avhengig av den aktive effekten. Dette gjør at tradisjonell kontroll med reaktiv effekt ikke er mulig i samme grad.

4.3 Struktur

Det forskes mye på mikronett og kontroll av disse, og i EU er det startet et forskningsprosjekt som heter MICROGRIDS. Et forslag til kontrollstruktur¹² er vist i Figur 4-1. Forslaget går ut på å ha en overordnet kontrollenhet i nettet (MGCC) og en kontrollenhet for hver eneste last (LC) og generator (MC).



Figur 4-1: Mikronett kontrollstruktur¹⁴

Hovedkontrollenheten vil være plassert på trafostasjonen mellom lavspenningsnettet og høyspent distribusjonsnett. Dette vil være en helautomatisk stasjon som til enhver tid har oversikt over hvordan det overordnede nettet ser ut, og vil informere underenhetene deretter. Avhengig av om nettet skal driftes i øydrift eller som en del av det hovednettet vil underenhetene få beskjed om hvordan de skal oppføre seg.

Til hver husstand eller annen type last vil det være en lastkontrollenhet (LC) som blant annet vil kunne implementere smarte målere. Kontrollenhetene for generatorene (MC) vil få beskjed om hvordan de skal styre vekselretterene.

4.4 Kontrollstrategi

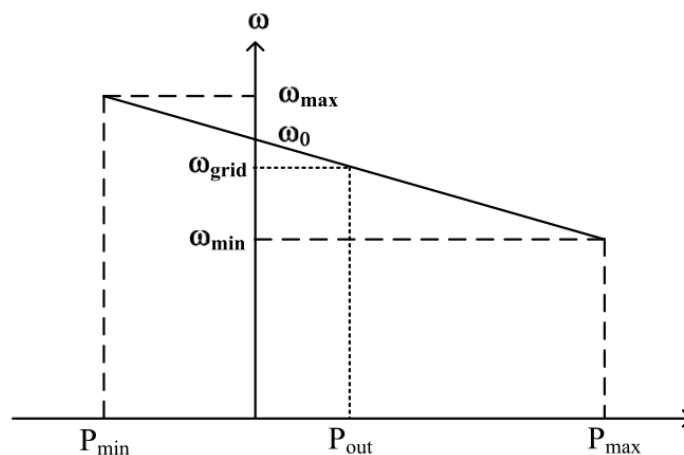
4.4.1 Laststyring

Smarte målere vil kunne bli implementert i lastkontrollenheten for å muliggjøre laststyring ned på forbrukernivå. Med laststyring menes at forbrukeren på en lettvinnt måte kan ha full kontroll på eget forbruk og selv kunne bestemme når forbruket skal skje basert på kraftpris. For eksempel kan en varmtvannsbereder skrus av i timene med høyest strømpris. Det er et håp at man på denne måten skal kunne unngå de store effekttoppene og at folk blir mer bevisst på eget forbruk generelt.

Et annet aspekt som er viktig med tanke på mikronett er at det kan være nødvendig med en overordnet laststyring. Hvis det oppstår øydrift på en vindstille dag med lite produksjon vil ikke øya være selvforsynt lenge hvis det er stor belastning. Det må av den grunn være mulig å overstyre last som ikke er kritisk.

4.4.2 Spenning- og frekvenskontroll

En vekselretter kan brukes for å kontrollere spenning og effekt, dette kalles VSI (Voltage Source Inverter)¹⁴. På denne måten kan den etterligne oppførselen til en synkrogenerator.



Figur 4-2: Droop-karakteristikk for effekt og frekvens¹³

I vekselretteren må det implementeres en droop-karakteristikk (sammenheng mellom frekvens og aktiv effekt) som vist i Figur 4-2. Når vekselretteren er tilkoblet et nett med en frekvens ω_{grid} vil den avgi en effekt gitt av karakteristikken. For å levere en annen effekt må man justere tomgangsfrekvensen ω_0 , slik at hele kurven flyttes vertikalt i diagrammet. Hvis nettet opererer i øydrift vil frekvensen være avhengig av den totale lasten i nettet og de andre enhetenes droopkarakteristikk. Regulering av spenning vil fungere på samme måte ved at det er en spenning/reaktiv effekt-karakteristikk.

4.4.3 Effektkontroll

Et annet bruksområde til vekselretterene går på å kontrollere reaktiv og aktiv effekt levert av en energikilde, dette kalles gjerne PQ-modus. Det er gjerne ønsket at kilden skal kunne levere tilgjengelig aktiv effekt, og at det skal leveres en gitt reaktiv effekt for å gi riktig spenning. På denne måten kan man se på vekselretteren og kilden den er tilknyttet til som en justerbar strømkilde som blir styrt etter hva det er behov for og hva som kan leveres.

4.5 Drift

Når mikronettet er koblet til det overordnede nettet vil dette gi frekvens- og spenningsreferanser slik at alle vekselrettere kan operere i PQ-modus.

Dersom en feil i nettet fører til øydriftssituasjon vil hovedkontrollen raskt utføre prosedyrer for å tilordne en eller flere VSI'er for å skape nye referanser. De resterende vekselretterene vil være i PQ-modus. Det er viktig at dette skjer fort nok for at man skal unngå kollaps i nettet.

Det vil også være utfordringer knyttet til å koble mikronettet inn på hovednettet. Hvis ikke spenning, frekvens og faser stemmer overens idet tilkobling skjer vil det kunne oppstå stygge og ødeleggende strømmer i nettet. Av denne grunn er det viktig at mikronettet synkroniseres opp mot referanser i hovednettet.

4.6 Avanserte måle- og styringssystemer

Avanserte måle- og styringssystem (AMS) vil være en viktig del av et mikronett og utviklingen av fremtidens kraftnett. AMS integrerer strømmåling, kommunikasjon, datalagring og analysing av data fra energiforbruk og laststyring.

Smarte målere samler sanntidsdata av faktisk forbruk i husholdninger og sender verdiene til en database. Fra denne databasen kan uprioritert last slås av og på ved behov, feilkilder kan spores opp og kobles ut for å opprettholde sikker forsyning i de friske delene av nettet¹⁵.

Forbrukerne får mulighet til å endre forbruksvaner ved å tilpasse forbruket i husholdningene til endringer i strømprisen. Dette kan bidra til å redusere lasttoppene som igjen bidrar til en reduksjon i belastningen av kraftnettet i perioder med høyt forbruk.

5 MULIGE ENERGIKILDER I NORSKE ØYSAMFUNN

Det er mange energikilder som kan utnyttes til distribuert strømproduksjon. På grunn av miljøutfordringene og nødvendigheten av å endre den ikke-bærekraftige bruken av energiressurser, fokuseres det her kun på distribuert produksjon basert på fornybare energikilder. Dette begrunnes også ved at Norge har et stort uutnyttet potensial for kraftproduksjon fra fornybare ressurser. Siden oppgaven dreier seg om norske øysamfunn er ikke alle fornybare energikilder presentert, men kun de som anses for å være de mest sannsynlige bidragsyterne. Bioenergi, vannkraft og saltkraft er utelatt, siden det antas at en øy ikke vil kunne være selvforsynt med biomasse og at den ikke vil ha store innsjøer eller elver.

5.1 Tidevannskraft

Tidevann er en energiressurs som er pålitelig og forutsigbar, men som ikke kan kontrolleres på samme måte som vannkraft med magasin. Tidevann kan utnyttes ved å plassere turbiner i sterk tidevannsstrøm, dette er det gjort fullskala forsøk på blant annet i Norge¹⁶, og kommersielle løsninger utarbeides. Turbiner plassert under vann utgjør ingen estetisk forurensning og støyer heller ikke. Teknologien har vist at det er mulig å utvinne energi på denne måten, men det krever sterk vannstrømning. Tidevann kan imidlertid også demmes opp slik at det kan utnyttes en liten høydeforskjell mellom et tidevannsbasseng og sjøen. Turbiner konstruert for lave fallhøyder, normalt for bruk i elvekraftverk, kan benyttes. Et tidevannskraftverk av denne typen ble bygget i elven La Rance i Frankrike allerede i 1966. Ved kraftverket i La Rance er tidevannsforskjellen ca. 8m og i Norge gjennomsnittlig 1,5 - 2m¹⁷.

5.2 Bølgekraft

Energien i bølger kan utnyttes på ulike måter for produksjon av elektrisitet. Bøyer kan festes til havbunnen og utnytte den vertikale bevegelsen av bølger for å drive generatorer direkte eller via høytrykkssystemer. Australia-baserte Carnegie har utviklet en slik løsning, som skal forsøkes i kommersiell drift ved ulike lokasjoner i Australia¹⁸. Det har også vært forsøk med en liknende teknologi utenfor Runde i regi av Tussa Kraft og Vattenfall¹⁹, men det har foreløpig ikke resultert i et permanent bølgekraftverk. En annen teknikk som har vært forsøkt i Norge er å lede bølger inn en smal kanal, der de slår over i et basseng med en liten høydeforskjell i forhold til havnivået²⁰. Denne høydeforskjellen kan drive en turbin og generere kraft. Det nevnte norske anlegget på Toftestallen generte 350kW, men strandet økonomisk. En annen løsning er å benytte flytende elementer i sjøen, som beveger seg med bølgene og driver en generator via hydraulikk. En slik løsning har blitt utviklet av Skottland-baserte Pelamis og er planlagt utbygget i stor skala (20MW) ved Shetland i 2013²¹.

5.3 Vindkraft

I motsetning til tidevannskraft og bølgekraft finnes det allerede flere større anlegg for utnyttelse av vindkraft i Norge. Kjeller Vindteknikk har utarbeidet en oversikt over årsmiddelvind for hele Norge i 50 og 80 meters høyde²². I følge denne oversikten er årsmiddelvinden for Norges kyst i området 7,5-9m/s. På Smøla, der det er bygget en større vindmøllepark, er årsmiddelvinden i følge oversikten i sjiktet 7,0-7,5 m/s. Med andre ord eksisterer vindgrunnlaget for utnyttelse av vinden til lokal kraftproduksjon i mange norske kystsamfunn.

Vinden kan utnyttes med ulike typer vindturbiner. Det eksisterer vindmøller av mindre dimensjon som egner seg for installasjon på enkeltbygninger eller frittstående i mer spredte strøk. Alternativet er å samle produksjonen i større enheter som plasseres der vindforholdene er best. Vanligvis er bygningsmassen på vindutsatte øyer plassert mest mulig i ly, noe som taler for sistnevnte løsning.

Amerikanske Northern Power Systems leverer 100kW-vindmøller som er dimensjonert for 8,5 m/s årsmiddelvind. Disse har en navhøyde på 37m og en diameter på 21m. Større vindmøller i MW-klassen antas for store når det er snakk om produksjon som først og fremst er myntet på å forsyne mindre lokalsamfunn, men kan være gunstige for områder som ønsker å satse på stor energiproduksjon. For å bestemme fordelingen av vindstyrken, benyttes vanligvis Rayleigh-sannsynlighetsfordelingen. Med årsmiddelvind som parameter gir Rayleigh-fordelingen sannsynligheten for de ulike vindstyrkene, og sammen med effektkurven fra leverandøren kan derfor gjennomsnittlig årlig energiproduksjon estimeres. Det er beregnet at en 100kW-vindmølle av nevnte type genererer 400MWh på en lokasjon med årsmiddelvind på 8,5m/s. En norsk husstand forbruker i gjennomsnitt 16 429kWh per år²³, med andre ord kan én 100kW-vindmølle dekke energibehovet til 24 husstander.

5.4 Solenergi

En annen energikilde som kan tenkes utnyttet for lokal strømproduksjon er solenergi. Solcellepanel som genererer likestrøm benyttes i økende grad. I Norge er bruken først og fremst knyttet til fritidsboliger uten nettilknytning og til drift av måleutstyr. Solcellepanel kan plasseres på tak og vegger og tar ikke opp plass som ellers kunne vært utnyttet. Å installere solcellepanel er derfor den enkleste måten for privatpersoner og eiere av næringsbygg å produsere energi lokalt. Likespenningen fra solcellene kan konverteres med en vekselretter for å kunne benytte elektrisiteten med vanlig husholdningsutstyr, eller likespenningen kan benyttes i et separat strømmett i bygningen til drift av f.eks. belysning. Solcellepanel kan også samles til en større solcellepark, men for å produsere nok energi til et helt øysamfunn vil dette måtte beslaglegge et stort areal.

Mengden solstråling vil variere med breddegrad og årstid. Det vil være mindre sol på vinteren når effektbehovet til belysning og oppvarming er størst. I følge Lavutslippsutvalget har strømproduksjon fra solceller et relativt lite potensial i Norge på grunn av liten solinnstråling.²⁴

6 ENERGILAGRING

Det er ofte nødvendig med en form for energilagring ved utnyttelse av fornybare energikilder. Energikildene som er beskrevet i forrige kapittel er uregulerbare i motsetning til vannkraft. Tilførselen og forbruket av energi vil ha stor døgnvariasjon. Ofte vil det være nødvendig med to former for energilagring: hurtigreserver og langtidslagring. De mest relevante lagringsmetodene for små kystsamfunn er gjennomgått nedenfor.

6.1 Hurtigreserver

Ved for eksempel vindkraftproduksjon vil det hele tiden være små variasjoner i vindstyrken. Dette kan føre til transiente svingninger i spenning og frekvens. Som nevnt tidligere er det ikke ønskelig med slike svingninger i nettet da det kan føre til skade på utstyr og utfall. For å unngå svingninger er det nødvendig med en energilagringseenhet som kan lade og utlade seg raskt og dermed utjevne svingningene.

I et lite mikronett med få forbrukere vil endringer i én kundes forbruk kunne føre til merkbare svingninger på effekten i nettet. En kortvarig energilagringseenhet vil også kunne løse dette problemet ved å raskt kunne øke den samlede effektleveransen i nettet.

6.1.1 Svinghjul

Et svinghjul lagrer energi mekanisk. En elektrisk motor er koblet til en roterende skive. Overflødig energi fra energikilden overføres til rotasjonsenergi ved hjelp av den elektriske motoren. Når det er behov for mer energi til nettet, hentes rotasjonsenergien ut igjen ved at motoren fungerer som en generator²⁵.

Svinghjulteknologien er kommersielt tilgjengelig, men den er relativt kostbar. Den krever også en del vedlikehold. Svinghjulene har en lang levetid²⁶.

6.1.2 Superkondensatorer

Superkondensatorer lagrer energi i elektriske felt. Dette betyr at de har en svært høy virkningsgrad. De har også høy effekt og lades og utlades veldig raskt, men de har ikke så stor lagringskapasitet (størrelsesorden kWh).

Superkondensatorene tåler opp til en million ladesykluser og har dermed en relativt lang levetid²⁵. De krever i tillegg lite vedlikehold²⁶.

Superkondensatorer er tilgjengelige på markedet, men de er kostbare. De brukes for det meste til nødstrømsforsyning og i elektriske biler. Det er likevel grunn til å vurdere superkondensatorer ved valg av kortvarig lagringseenhet, siden det forskes mye på å få ned kostnadene og å forbedre dem²⁵.

6.1.3 Batterier som hurtigreserve

Batterier har generelt en høy virkningsgrad (80-95%). De kan lett lades og utlades, men de tåler som regel bare noen tusen ladesykluser²⁵. Dette gjør at de har en begrenset levetid. Batterier har heller ikke så stor effekt sammenlignet med andre lagringsmetoder²⁶.

Batterier kan deles inn i to hovedgrupper; batterier som lades/utlades raskt (hurtigreserve) og batterier som lades/utlades langsomt (langtidslagring). Batterier som lades/utlades raskt kan brukes til å regulere frekvens og spenning, og generelt jevne ut mindre variasjoner i strømtilførselen fra fornybar energi²⁷. Sekundære batterier (bly-syre, nikkel/kadmium og lithium-ion) brukes i dag til stabilisering av nettverket og som støtte hvis strømtilførselen faller ut. Disse kan kun gi noen minutter med energi i påvente av tilkobling til en større energikilde.

Figuren nedenfor viser en sammenligning mellom energilagringsmetoder som kan brukes til stabilisering av fornybare energikilder.

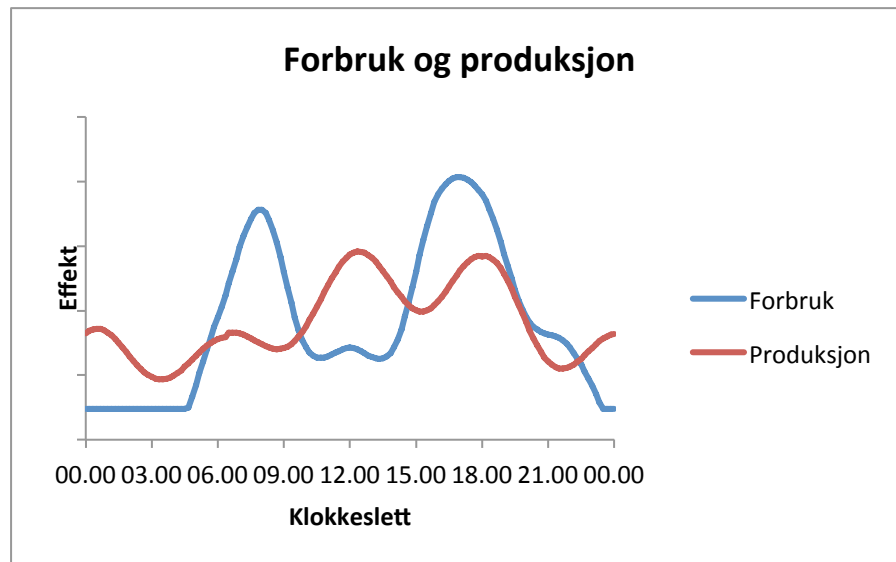
	Battery	Flywheel	Ultracapacitor
Specific energy [p.u.]	1	0.125	0.1
Specific power [p.u.]	1	3	20
Cost [p.u.]	1	8	20
Availability	Good	Available	Available
Safety	Good	Not good	Good
Maintenance	Good	Medium	Very good
Cycle life	Limited	Large	Very large
Charge/discharge efficiency	Good	Moderate	Very good

Figur 6-1: Lagringsmetoder²⁶

6.2 Langtidslagring

Tilgangen på fornybar energi vil ofte variere i løpet av året. Ofte kan det være lange perioder uten vind, sol eller nedbør. Dette gjør det nødvendig med langtids energilagring.

I tillegg til variasjoner i produksjon vil forbruket også variere. Forbruket er vanligvis lavt om natten, og det er som regel to effekttopper i løpet av dagen. Figur 6-2 viser en typisk forbruk- og produksjonsprofil for et døgn. Det er her antatt at flere energikilder utnyttes, produksjonskurven viser summen av antatt strømproduksjon fra flere kilder.



Figur 6-2: Forbruk og produksjon for en dag

6.2.1 Batterier til langtidslagring

Det har vært en utfordring å få til storskala energilagring i batterier. Batterier har derfor ikke vært mye brukt til dette, men pga. økt satsing på fornybar energi er det blitt større fokus på utvikling av store batterier den siste tiden²⁷.

Flow-batterier (vanadium-redox, sink/brom) og natrium/svovel (Na/S) batterier kan lagre mer energi enn tradisjonelle batterier og har lengre energitilførsel²⁷. Flow-batterier kan gi ekstra effekt hvis forbruket svinger i løpet av en dag. Denne typen batterier har eksterne tanker med elektrolytter som pumpes inn i batteriet etter behov. Ettersom batteriet utlades pumpes det inn mer elektrolytter fra de eksterne tankene. Den ”brukte” elektrolytten lades opp separat. Dette gjør at batteriet kan ”lades opp” raskt²⁷. Flow-batterier har også høy spesifikk energi, relativt små miljø ulemper og lav kostnad. En ulempe er at det har en høy intern utlading. To hovedtyper flow-batterier er under utvikling: sink/brom og vanadium-redox batterier²⁷.

Na/S-batterier kan også brukes til å jevne ut forbrukstopper. De har en høy energitetthet, høy ladings- og utladingseffektivitet (89-92%) og en relativt lang livstid. Na/S-batterier er produsert av relativt billige råvarer som er veldig etsende²⁷.

6.2.2 Trykkluft

Energi kan også lagres i form av komprimert luft. Luft komprimeres ved hjelp av en elektrisk motor og lagres. Energien frigis igjen ved at trykkforskjellen mellom den komprimerte luften og luften utenfor utnyttes. Trykkforskjellen gjør at den komprimerte luften strømmer igjennom en gassturbin (når den blir frigitt) som driver en generator og det blir produsert strøm. Denne formen for lagring har et tap av energi på 20-30%²⁵.

Dette er en kostbar form for energilagring og metoden er ikke mye brukt. For at det skal være lønnsomt bør lagringstiden være kort (ofte brukt til døgnregulering) slik at lagervolumet reduseres²⁵.

6.2.3 Pumpekraftverk

Overflødig energi kan brukes til å pumpe opp vann i et reservoar. Når det igjen er behov for energien, tappes vannet fra reservoaret og genererer vannkraft. Dette er en av de mest effektive former for energilagring²⁵, men vil sannsynligvis ikke være en god løsning på en øy uten ferskvann og et naturlig vannmagasin.

6.2.4 Hydrogen

Energi kan også brukes til å lage hydrogen (H_2). Hydrogen er en energibærer, og når hydrogenet reagerer med oksygen, frigis det vann og energi²⁸. Produksjon av hydrogen kan bl.a. gjøres ved elektrolyse av vann. De vanligste elektrolysørene er alkaliske elektrolysører. Disse har en gjennomsnittlig virkningsgrad på 67%²⁹.

Brenselceller eller en forbrenningsmotor kan frigi energien i hydrogenet igjen. Brenselceller har en høyere virkningsgrad enn en forbrenningsmotor, men en kombinasjon av begge disse vil kunne gi en enda høyere virkningsgrad enn hva brenselcellen kan oppnå alene. Teoretisk kan en brenselcelle oppnå en virkningsgrad på opp mot 83%, men ettersom effektforbruket øker synker virkningsgraden. I realiteten vil virkningsgraden derfor ligge på omkring 40-60%³⁰. En forbrenningsmotoren som går på hydrogen vil ha en høyere forbrenningstemperatur enn hvis den hadde gått på fossilt brensel. Dette gir store NO_x utslipp. Det kan derfor være nødvendig å senke temperaturen, noe som gjør at virkningsgraden av forbrenningsmotoren blir mindre enn vanlig³¹.

Hydrogen har en veldig høy energitetthet, men svært liten massetetthet. Det må derfor komprimeres, gjøres flytende eller lagres i metallegeringer. Dette krever også energi. Å gjøre hydrogen flytende krever omtrent en tredjedel av energien i hydrogenet og er en veldig komplisert prosess²⁸. Det er også vanskelig å lagre flytende hydrogen³². Å komprimere hydrogen er den vanligste måten å lagre hydrogen på (vanligst ved 200 bar)³². Kompresjon til 1-200 bar krever omtrent 10% (ideelt arbeid) av energien i hydrogenet³².

Det er også mulig å pakke hydrogen i metallhydrider. Hydrogenmolekylene kan pakkes tettere i metallhydrider enn når hydrogenet er i flytende form. Noen legeringer kan absorbere og deabsorbere hydrogen meget raskt (sekunder). Absorpsjon og deabsorpsjon kan gjentas over tusen ganger. Tapet av energi ved lagring av hydrogen i lavtemperatur metallhydrider er på rundt 10%³³.

Det må tas særskilte sikkerhetshensyn ved håndtering av hydrogen. En hydrogenlekkasje vil kunne spre seg meget raskt og blandet med luft kan hydrogen antennes ved relativt lav temperatur (574°C)³⁴. Lagring av hydrogen i metallhydrid er sikrere enn lagring av komprimert hydrogen³³.

Hydrogen vil i teorien kunne lagres lenge, og dermed være en kilde til langvarig energitilførsel dersom den fornybare energiressursen svikter. Men store lagertanker som er under trykk, er kostbare. På Statoils vind/hydrogen anlegg på Utsira var konklusjonen derfor at det kun var realistisk at hydrogensystemet ville bli dimensjonert for å kunne levere strøm i 1-2 uker (10 husholdninger)**Error! Bookmark not defined.**

7 ANALYSE AV TEKNISKE LØSNINGER OG UTFORDRINGER

7.1 Utfordringer ved distribuert produksjon

Spenningsendringer og feilsituasjoner kan løses ved hjelp av avanserte vern og overvåkningssystemer på samme måte som i regional- og sentralnettet. Dette er svært kostbare løsninger. Ved innføring av avanserte målesystemer kan billigere kommunikasjonsløsninger installeres i alle husholdninger og i tilhørende nettstasjoner. Dette vil gi gode muligheter til å detektere feil, koble ut feilkilder og kompensere for spenningsendringer.

7.2 Mikronett

For å kunne drifte et nett i øydriftssituasjon kan mikronett være en god løsning. Med integrering av energikilder, energilagre og aktiv styring kan dette bidra til økt forsyningssikkerhet. Mikronettet må til en hver tid ha oversikt over last og produksjon for å kunne styre kraftelektronikken og for å vite hvor mye effekt som må hentes fra hovednettet. Det er av den grunn viktig at nettet kan generere sine egne prognoser for forbruk og produksjon de nærmeste dagene ved hjelp av måledata fra avanserte målere. Lastprognoser brukes i dag i nett- og produksjonsselskap for å planlegge driften. Estimeringen foregår på bakgrunn av en analyse av historiske forbruksdata sammen med meteorologiske varsler. Som tidligere nevnt vil en liten endring i lasten hos forbruker ha mye å si på effektvariasjonen i et mikronett, men forbrukerens effektforbruk er vanligvis regelmessig og lett å forutse.

7.3 Energikilder

Ikke alle energikilder er like godt egnet for utnyttelse i mindre samfunn langs Norges kyst. Når det gjelder tidevannsenergi er det et begrenset antall steder i Norge der de rette formasjonene er tilstede for å skape en vannstrøm sterk nok til å kunne forsvare utplassering av undersjøiske tidevannsturbiner. Tidevannsforskjellen i Norge er liten sammenliknet med land der det satses på tidevannsenergi, som Canada og Skottland. Tidevannsutnyttelse gjennom oppdemming er også en løsning som krever tilrettelagte forhold. Det må være mulig å konstruere en tidevannsbarriere. Om tidevann kan utnyttes, må derfor vurderes for hver enkelt lokasjon.

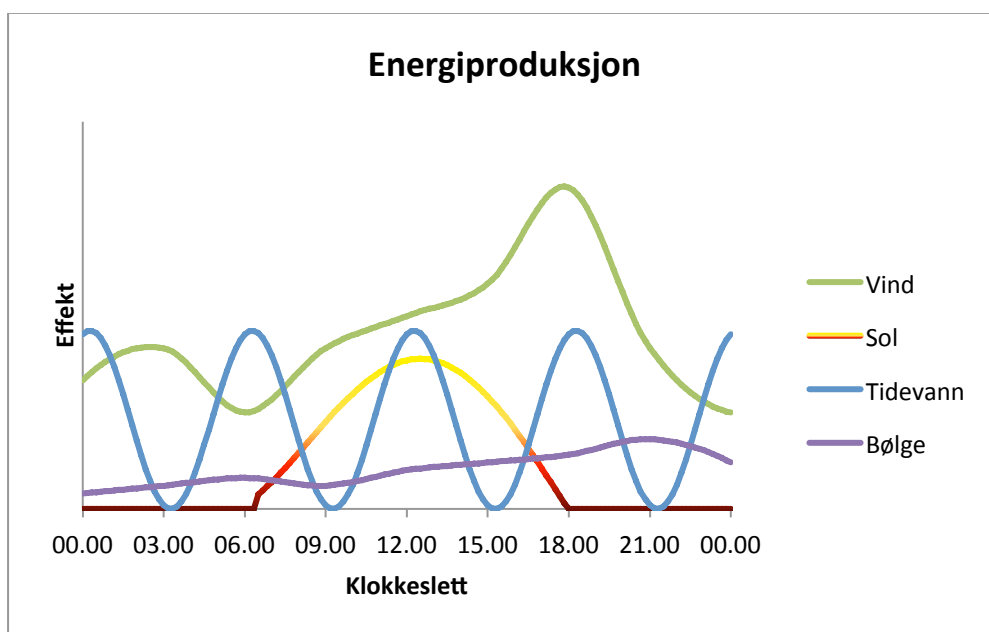
Bølgekraft er ikke spesielt kommersielt utbredt foreløpig, men det bygges stadig nye anlegg av mindre størrelse. For kystsamfunn kan det være interessant å starte testanlegg for å tiltrekke seg kompetanse og bidra til utvikling av teknologien.

Vindkraft er, i motsetning til de allerede nevnte energikildene, godt utprøvd og det er mange kommersielle aktører som kan levere løsninger som passer mindre øysamfunn. I tillegg har

Norge gode vindressurser langs kysten. Vinden er imidlertid ikke regulerbar. Man vil derfor være avhengig av at det finnes andre, mer fleksible energikilder tilknyttet nettet.

Solenergi er lett å installere og vedlikeholde, men energipotensialet er lite. Dette gjør at man kan få et negativt energiregnskap. Det vil si at produksjonen av solcellene krever mer energi enn det man kan forvente å få ut av dem i løpet av levetiden. Solcellepotesialet vil være størst i sør-Norge.

I et mikronett vil det være viktig med kontinuerlige anslag av hvor stor strømproduksjonen forventes å bli, slik at ressursene i mikronettet kan utnyttes på en god måte. Ved utnyttelse av fornybare energikilder kan estimering av dette by på utfordringer. Sol, bølge- og vindenergi er avhengig av været og nøyaktige værprognoser er derfor nødvendig. Men å lage gode værprognoser er generelt sett ikke lett. Været endrer seg ofte hurtig i kyststrøk, noe som ytterligere kompliserer estimeringen. Allikevel vil det være mulig å anta omtrentlig forventet produksjon. I Figur 7-1 presenteres et eksempel på hvordan døgntilførselen til de ulike energikildene som er diskutert ovenfor kan se ut.



Figur 7-1: Variasjon i energiproduksjon i løpet av en dag

Hvis man satser på fornybar energi og samtidig vil ha en sikker forsyning, vil det være klokt å spre strømproduksjonen på flere energikilder. På denne måten vil konsekvensene av at en energikilde svikter, reduseres. Noen dager kan det være lite vind, men store dønninger, eller mye sol.

Mange fornybare energiprojekter er lagt til land der det eksisterer gode støtteordninger. I Norge er ikke rammevilkårene på plass for storskala utbygging av fornybar energi som kan konkurrere uten økonomisk støtte. Hvorvidt støtten bør økes er et politisk spørsmål, men det er ingen tvil om

at en slik støtte vil fremme den teknologiske utviklingen på området. Mange ser også positivt på ordningen med grønne sertifikater, og har tro på at det vil bli økt etterspørsel etter fornybar energi.

7.4 Energilagring

I mikronettet er man avhengig av ulike energilagringssystemer for å kunne fungere i øydriftssituasjon. For å opprettholde spenningskvalitet ved transiente endringer vil det være nødvendig med hurtigreserver. I perioder der produksjonen ikke strekker til vil det være nødvendig med større energilager for å dekke forbruket (se Figur 6-2).

En av de største utfordringene ved å få til et mikronett som kan operere i øydrift er langtidslagringen av energi. Erfaringer fra Statoils vind/hydrogen anlegg på Utsira viser at det ofte vil være nødvendig med flere ulike lagringssystemer, for å sikre produksjonen. Det vil være vanskelig å være selvforsynt over langt tid, men med dagens energilagre vil mikronettet kunne klare seg i korte perioder med utfall.

Pumpekraftverk og utnyttelse av vannkraft som energilagringssystem vil gi en god virkningsgrad og mulighet for lang tids lagring av energi. Dette krever imidlertid ferskvann og et terreng som gjør det mulig å anlegge et vannreservoar med en høydeforskjell. For mange øysamfunn vil dette ikke være mulig. Ser man bort fra denne lagringssystemet vil produksjon og lagring av hydrogen være den lagringssystemet som kan gi lengst lagringstid, men det er mange utfordringer knyttet til teknologien. Mange komponenter skal kunne fungere sammen, og erfaringer fra Statoils vind/hydrogen anlegg på Utsira har ikke alltid vært positive. Batterier er lettere å installere, men vil ha kortere lagringstid.

Som nevnt vil et mikronett være avhengig av å ha for eksempel svinghjul eller superkondensatorer som hurtigreserver for å kunne kompensere for hurtige endringer i nettet. I overgangen mellom tilknytning til hovednett og operasjon i øydrift vil det være en periode da mikronettet må aktivere hurtigreservene for kompensere for de raske lastendringene. For at ikke nettet skal kollapse i denne perioden må det være tilstrekkelig mengde hurtigreserver som kan ta unna dette effektbehovet. På grunn av at superkondensatorer har en høy investeringskostnad blir det lite brukt til energilagring.

Det er tydelig at energiproduksjonen i mikronettet ikke dekker lasttoppene (se Figur 6-2), selv om netto forbruk og netto produksjon er likt for det tenkte døgnet. Dette viser utfordringen med uregulerbar fornybar energi i lukkede nett. Kundene vil være avhengig av kraft fra hovednettet visse perioder av døgnet hvis ikke den distribuerte produksjonen skal overdimensjoneres. Ved å installere energilager kan situasjonen forbedres ved at produsert energi kan lagres og brukes til å dekke lasttoppene på morgenen og ettermiddagen. Energien som produseres på natten er også mindre verdt for energiprodusenten. Energilager vil gi muligheten til å selge kraften til en høyest mulig pris.

8 ØKONOMISKE KONSEKVENSER VED DISTRIBUTUERT PRODUKSJON OG MIKRONETT

8.1 Energiselskap

Distribuert energiproduksjon vil ha økonomiske konsekvenser som det vil være nødvendig for nettselskap og produksjonsselskap å utrede i hvert enkelt tilfelle. For eieren av den distribuerte produksjonen er det knyttet inntekter til salg av energi på kraftmarkedet. Dersom produksjonen er regulerbar vil det kunne øke inntektene til eierne fordi salget kan styres etter pris. Med innførsel av grønne sertifikater er det i tillegg et håp fra utbyggersiden om at fornybare prosjekter skal bli mer lønnsomme enn i dag. Samfunnet vil da kunne oppnå en vesentlig økning i realisasjonen av nye prosjekter, og en økning av den totale andelen fornybar energi produsert.

Med utbygging av distribuert produksjon nærme forbrukerne kan behovet for transport av kraft reduseres. Dette forutsetter at det ikke produseres mer energi enn det forbrukes lokalt, og effekten vil være størst dersom det er en positiv korrelasjon mellom energiproduksjonen og det lokale forbruket. Behovet for å bygge ut nytt nett vil derfor reduseres, slik at en tidligere nødvendig oppgradering vil kunne utsettes, noe som innebærer besparelser for nettselskapet. Redusert behov for kraftoverføring vil også føre til reduserte tap i nettet, da tapene øker med kvadratet av strømmen³⁵.

Økonomiske gevinster for eierne av den distribuerte produksjonen vil være knyttet til de direkte inntektene fra kraftsalget. Med liten grad av regulerbarhet vil produsenten måtte selge kraften bestemt av værforholdene. Med bruk av energilager åpner produsenten for å kunne tilby kraft i de timene av døgnet den er dyrest, slik at den lokale produksjonen via energilager aktivt er med på å dekke lasttoppene. Med store lager og netto produksjon større enn mikronettets forbruk kan produsenten eksportere kraft fra mikronettet når strømprisen er høy. Dette vil imidlertid kreve tilstrekkelig kapasitet i forbindelsen til hovednettet og muligens nødvendiggjøre oppgradering av nettet.

Distribuert produksjon skal også bidra til å øke forsyningssikkerheten. Dette forutsetter at det finnes energilager eller regulerbare energikilder i mikronettet som kan benyttes på et vilkårlig tidspunkt når behovet melder seg. Dette kan typisk være dersom forbindelsen til hovednettet brytes eller dersom lasten blir meget høy (større enn det som kan overføres fra hovednettet). Uregulert kraft som vind og sol vil kun bidra til produksjon når været tillater det. Verdien av økt forsyningssikkerhet som er skapt av distribuert produksjon, kommer ikke nødvendigvis utbyggerne til gode direkte³⁵. Derimot kan den redusere nettselskapets KILE-kostnader.

Ved utbygging av mikronett vil det være behov for installasjon av avansert målings- og styringssystemer, energiproduksjon og energilagere. I tillegg bør det som nevnt vurderes om overføringen til hovednettet bør oppgraderes. Det vil altså være behov for investeringer i både

produksjons- og nettutstyr. Det er derfor klart at et tett samarbeid mellom nettselskap og produksjonsutbygger vil være viktig. Spørsmålet blir hvem som skal sitte igjen med mulige inntekter og kostnader tilknyttet mikronettet.

8.2 Forbrukere

For kraftforbrukere er det naturligvis en fordel med den økte påliteligheten distribuert produksjon og mikronett kan gi. Dette gjelder særlig for industribedrifter, der strømavbrudd kan føre til store økonomiske tap. Private husholdninger verdsetter også pålitelighet, men er ikke like villig til å betale for denne sikkerheten.

Det må antas at produksjonen i mikronettet er for liten til å påvirke strømprisen nevneverdig, og dersom den påvirker strømprisen, vil det gjelde for alle forbrukerne i samme prisområde.

9 MILJØMESSIGE KONSEKVENSER VED DISTRIBUTUERT PRODUKSJON

Det er ikke opplagt at distribuert produksjon alltid vil være gunstig for miljøet. Det vil avhenge av lokale forhold og teknologien som blir brukt i hvert enkelt tilfelle. Det vil også avhenge av hva alternativet til distribuert produksjon er, hvor man setter grensene for systemet man ser på, hvilke miljøaspekter man velger å ta med i en miljøanalyse og hvilket tidsperspektiv man velger. Velger man å se på Norge som et isolert system - hvilke miljøkonsekvensene distribuert produksjon vil ha å si for Norge - vil man ganske sikkert få et helt annet svar enn om man velger å se på Europa som helhet.

Velger man å se på ei øy som et lukket system, vil distribuert produksjon sannsynligvis ikke være positivt for øya. Anleggsområdet og nye veier vil legge beslag på deler av øya og fortrenge dyre- og planteliv³⁶. Vindmøller vil kunne skade sjøfugl, støye og kaste skygger³⁶. Oppdemning av tidevann vil endre miljøet i strandsonen og vil kunne påvirke arts mangfoldet. Et hydrogensystem med en forbrenningsmotor vil ha noe luftforurensing (bla. NO_x). Lekkasje fra batterier, brenselceller og elektrolysører kan oppstå. Disse inneholder mange kjemikalier og noen er svært etsende²⁷. En lekkasje av hydrogen kan i tillegg kunne føre til en stor eksplosjon.

Setter man øya i et norsk perspektiv, blir det viktig å sammenligne alternativene for strømproduksjon og distribusjon (sentralisert versus distribuert). Alternativet til distribuert produksjon på øya vil i hovedsak være strøm fra store norske vannkraftprodusenter (96% av norsk strømproduksjon i 2009) og import av strøm fra kjernekraft og fossil energi i Europa. Andelen importert strøm har økt de siste årene og i 2009 var importen på 9%. Importen avhenger av differanser i strømprisene mellom landene i det nordiske kraftmarkedet og nedbøren i Norge³⁶. Indirekte handler man også strøm med resten av Europa. Elektrisitet miksen i Europa i 2007 var 30% kull, 7% olje, 21% natur gass, 17% kjernekraft, 15% vannkraft og 7% vindkraft og 2% andre energi kilder³⁷.

Ved sentralt tilført strøm til øya vil forsyningssikkerheten fortsette å være et problem og utbygging av nettet vil bli nødvendig. Miljøkonsekvensene av dette må da sammenlignes med miljøkonsekvensene ved å bygge ut fornybar energi på øya. Avstanden fra fastlandet, antall innbyggere på øya, hvor tykke sjøkablene blir, hvilke alternative energi kilder man planlegger å utnytte, hvilke energi lagringsmetoder man velger - alt dette vil være med på å avgjøre hvilket av alternativene som har minst konsekvenser for miljøet. Nett-tap og tap ved strømproduksjonen vil også være viktige parametre for hvor stort nettet og anleggene må dimensjoneres.

Velger man å sette strømforsyningen til øya i et større perspektiv, og si at økt fornybar energi i Norge kan selges til Europa og dermed erstatte kullkraft og kjernekraft, vil argumentasjonen igjen få en ny dimensjon. Det er ikke lengre bare nettutbygging som vil ha utslipp og

miljøkonsekvenser, men det vil bli klart at man har en større rolle i Europas kraftmarked. Hvis Norge produserer mer fornybar energi, vil man kunne selge dette til Europa og dermed redusere CO₂-utslipp. Dette vil igjen kunne redusere de raske klimaendringene og være positivt i en global sammenheng – også for naturen på øya.

Hvilke miljøkonsekvenser man velger å ta med i en analyse vil være avgjørende. Skal man kun ha med utslipp til atmosfæren? Skal man ha med arealbruk? Ressurs utarming? Forsuring av hav og ferskvann? Eutrofiering av vann? Effekter på biodiversiteten? Og hvor mye skal man vektlegge hver av disse miljøkonsekvensene? Er de like viktige? Dette vil til en viss grad være subjektive avveininger.

Andre spørsmål som må bli besvart før det er mulig å trekke en konklusjon om hvorvidt distribuert produksjon er bra for miljøet eller ei, er hvor stor del av produksjonskjeden man velger se på og miljøkonsekvensene av avfallsbehandling av produksjonsutstyret. Velger man å vurdere utslipp og arealbruk fra gruvedriften som må til for å få tak i kobber, stål og andre metaller? Eller velger man bare å ta med utslipp og arealbruk ved selve installeringen av sjøkabelen eller vindmølleparken?

Tidsperspektivet vil også spille en rolle. En sjøkabel vil sannsynligvis ha en mye lengre levetid enn et batteri eller en brenselcelle. Det vil derfor være viktig å finne ut hvor mange ganger man kan bytte ut enheter i mikronettet før miljøkonsekvensene vil overstige miljøkonsekvensene ved utbygging av sjøkabel.

10 KONKLUSJON

I denne rapporten er det vist at det er knyttet en del utfordringer til drift av distribuert produksjon. I perioder med stor produksjon vil effektflyten kunne gå fra distribusjonsnettet til hovednettet, noe som dagens kraftsystem ikke er dimensjonert for. Dette krever smartere vern som tar hensyn til effektflytens retning. Mikronett representerer en løsning der smarte enheter brukes for å styre den distribuerte produksjonen og eventuelt ikke-kritisk last. Med energilager i mikronettet kan forbruket på øya dekket med lokalt produsert energi, slik at overføringskapasitet frigjøres. I tillegg vil mikronett muliggjøre øydriftssituasjon på øya ved kortvarige feil i hovednettet.

Frigjort overføringskapasitet vil kunne utsette tidligere nødvendige oppgraderinger i nettet, og derfor spare kostnader. Samtidig er det knyttet store investeringskostnader til utbygging av fornybar energiproduksjon med tilhørende smarte kontrollenheter.

De fornybare energikildene som er mest aktuelle for norske kystsamfunn er uregulerbare. Det er derfor nødvendig med energilagere i mikronettet, som kan levere effekt ved behov, slik at mikronettet kan operere selvstendig uten tilknytning til hovednettet i kortere perioder. Dette vil ivareta forsyningssikkerheten til øysamfunnet og spare nettselskapet for KILE-kostnader.

Det er vanskelig å si noe konkret om hvordan distribuert produksjon vil påvirke miljøet. Det vil i hovedsak avhenge av hvor man setter grensene for systemet man ser på, lokalt eller globalt, og vekten av de ulike miljøkonsekvenskategoriene.

11 OPPSUMMERING OG VIDERE ARBEID

Denne oppgaven formidle kunnskap om temaet smarte nett og ønsker å øke den generelle forståelsen av feltet. Oppgaven fokuserer på norske øysamfunn, og vil være spesielt interessant for norske kystkommuner som ønsker å få en generell forståelse for muligheter og utfordringer ved distribuert produksjon og mikronett.

Arbeidet med oppgaven har også vært nyttig for alle bidragsyterne. Den har gitt oss muligheten til å se nærmere på temaer som fortsatt er i utviklings- og forskningsfasen og som det ikke undervises om på universitetet. Det har gitt oss kunnskap som vil kunne være til fordel for både oss selv og partnere i arbeidslivet.

Oppgaven tar for seg generelle utfordringer ved distribuert produksjon i kystsamfunn. Mer konkrete problemstillinger bør belyses for å kunne gi konkrete råd. Det vil være viktig med videre utprøving og testing av måle- og styringssystemer og systemer hvor flere komponenter må fungere sammen. Det vil også være veldig nyttig med miljøanalyser hvor de totale miljøkonsekvensene av et helt produksjons- og lagringsanlegg analyseres og ikke bare enkeltkomponenter. Til slutt vil en større redegjørelse av kostnader, inntekter, økonomiske støtteordninger og rammevilkår for distribuert produksjon være til stor nytte for kystkommuner som vurderer alternativer til utbygging av nettet.

12 REFERANSER

- ¹ - Regjeringen, Pressemelding Nr. 117/10 (2010), "Norge og Sverige enige om et felles elsertifikatmarked", URL: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/pressemeldinger/2010/norge-og-sverige-enige-om-et-felles-else.html?id=627384> (Lesedato: 04.04.2011)
- ² - Goikoetxea, A.; Barrena, J.A.; Rodriguez, M.A.; Abad, G.; , "Active substation design to maximize DG integration," PowerTech, 2009 IEEE Bucharest ., pp.1-6, June 28 2009-July 2 2009, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5282156&isnumber=5281781> (Lesedato: 24.02.2011)
- ³ - Dondi P., Bayoumi D., Haederli C., Julian D., Suter M. (2002), "Network integration of distributed power generation", Journal of Power Sources, 106, s.1-9, URL: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIImg&_imagekey=B6TH1-44X03CH-3-D&_cdi=5269&_user=586462&_pii=S037877530101031X&_origin=gateway&_coverDate=04%2F01%2F2002&_sk=998939998&view=c&wchp=dGLbVlb-zSkzS&md5=85e51fa65d137d8357c1a961f66e119d&ie=/sdarticle.pdf (Lesedato: 23.02.2011)
- ⁴ - NVE (2008), "Kraftsystemet", URL: <http://www.nve.no/no/energi/kraftsystemet/> (Lesedato: 24.02.2011)
- ⁵ - Kumpulainen, L.K.; Kauhaniemi, K.T.; "Analysis of the impact of distributed generation on automatic reclosing," Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES ., pp. 603- 608 vol.1, 10-13 Oct. 2004 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1397623&isnumber=30397> (Lesedato: 09.03.2011)
- ⁶ - Coster, E.J.; Myrzik, J.M.A.; Kruimer, B.; Kling, W.L.; , "Integration Issues of Distributed Generation in Distribution Grids," Proceedings of the IEEE , vol.99, no.1, pp.28-39, Jan. 2011 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5565399&isnumber=5669979>(Lesedato: 09.03.2011)
- ⁷ - Joon-Ho Choi, Soon-Ryul Nam, Hae-Kon Nam, Jae-Chul Kim, "Adaptive protection schemes of Distributed Generation at distribution network for automatic reclosing and voltage sags," Sustainable Energy Technologies, 2008. ICSET 2008. IEEE International Conference on , pp.810-815, 24-27 Nov. 2008 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4747119&isnumber=4746961> (Lesedato: 12.03.2011)
- ⁸ - Kauhaniemi, K.; Kumpulainen, L.; , "Impact of distributed generation on the protection of distribution networks," Developments in Power System Protection, 2004. Eighth IEE International Conference on , vol.1, no., pp. 315- 318 Vol.1, 5-8 April 2004 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1364869&isnumber=29898>(Lesedato. 12.03.2011)
- ⁹ - Xyngi, I.; Popov, M.; , "Smart protection in Dutch Medium Voltage distributed generation systems," Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010 IEEE PES , vol., no., pp.1-8, 11-13 Oct. 2010 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5638982&isnumber=5638851> (Lesedato. 28.02.2011)
- ¹⁰ - Lovdata (2010), "Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet", URL: <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20041130-1557.html> (Lesedato: 06.04.2011)
- ¹¹ - Morren, J.; de Haan, S.W.H.; Ferreira, J.A.; , "Contribution of DG units to voltage control: Active and reactive power limitations," Power Tech, 2005 IEEE Russia , pp.1-7, 27-30 June 2005 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4524528&isnumber=4524335> (Lesedato: 28.02.2011)

- ¹² - Hatzigiorgiou, N., Jenkins, N., Strbac, G., Pecos Lopes, J.A., Ruela, J., Engler, A., Oyarzabal, J., Kariniotakis, G., Amorim, A. (2006), "Microgrids – Large Scale Integration of Microgeneration to Low Voltage Grids", Cigre 06, Paris, paper C6-309, URL: <http://www.microgrids.eu/micro2000/presentations/46.pdf> (Lesedato: 26.02.2011)
- ¹³ - Vandoorn, T. L., Renders, B., Degroote, L., Meersman, B., Vandeveld, L. (2011), "Active Load Control in Islanded Microgrids Based on the Grid Voltage", Smart Grid, IEEE Transactions on , vol.2, no.1, s.127-139, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5661889&isnumber=5715606&tag=1> (Lesedato: 16.03.2011)
- ¹⁴ - Pecos Lopes, J.A., Moreira, F.O., Resende, F.O. (2005), "Control Strategies for Microgrids Black Start and Islanded Operation", INESC Porto, URL: <http://www.microgrids.eu/micro2000/presentations/23.pdf> (Lesedato: 26.02.2011)
- ¹⁵ - Bai Xiao-min, Meng Jun-xia, Zhu Ning-hui (2010), "Functional analysis of advanced metering infrastructure in smart grid", Power System Technology (POWERCON), 2010 International Conference on , s.1-4, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5666048&isnumber=5666013> (Lesedato: 27.03.2011)
- ¹⁶ - Hammerfest Strøm (2011), "Research and Development" URL: <http://www.hammerfeststrom.com/research-and-development/> (Lesedato 04.03.2011)
- ¹⁷ - Statens Kartverk (2011), "Vannstands nivå" URL: <http://vannstand.no/index.php/nb/tidevannsdatabank/tidevannsnivaer> (Lesedato 29.03.2011)
- ¹⁸ - Carnegie Wave Energy Ltd. (2011), "Who we are" URL: <http://www.carnegiecorp.com.au/index.php?url=/about/strategy> (Lesedato: 04.03.2011)
- ¹⁹ - Tussa AS (2009), "Maren testanlegg for bølgekraft" URL: <http://www.tussa.no/default.asp?menu=846&id=13137> (Lesedato: 04.03.2011)
- ²⁰ - Norwave AS (2011), "Introduction" URL: <http://www.norwave.net> (Lesedato 05.03.2011)
- ²¹ - Aegir Wave Power (2010), "The Shetland Project" URL: <http://aegirwave.com/the-shetland-project.aspx> (Lesedato: 04.02.2011)
- ²² - Kjeller Vindteknikk AS (2009), "Norges vindressurser kartlagt" URL: http://www.vindteknikk.no/index.php?lesmer_id=4 (Lesedato: 23.02.2011)
- ²³ - Statistisk Sentralbyrå (2010), "Energibruk i husholdninger og fritidshus. 1990-2009." URL: <http://www.ssb.no/emner/01/03/10/energiregn/tab-2010-11-25-20.html> (Lesedato 09.03.2011)
- ²⁴ - Miljøverndepartementet, NOU 2006, "Et klimavennlig Norge" URL: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/dok/nou-er/2006/nou-2006-18/7.html?id=392397> (Lesedato: 21.03.2011)
- ²⁵ - Senter for fornybar energi (SFFE, 2011), "Energilagring for fornybar energi" URL: <http://www.sffe.no/energi/lagring/index.htm> (Lesedato: 10.03.2011)
- ²⁶ - Binduhewa, P.J., Renfrew, A.C., Barnes, M. (2008), "Ultracapacitor Energy Storage for MicroGrid Micro-generation", Power Electronics, Machines and Drives, 2008. PEMD 2008. 4th IET Conference on, s.270-274, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fstamp%2Fstamp.jsp%3Ftp%3D%26arnumber%3D4528842&authDecision=-203> (Lesedato: 16.03.2011)
- ²⁷ - Doughty, D.H., Butler, P.C., Akhil, A.A., Clark, N.H., Boyes, J.D. (2010), "Batteries for Large-Scale Stationary Electrical Energy Storage Interface", The Electrochemical Society, vol. 19, no. 3, URL: http://www.electrochem.org/dl/interface/fal/fal10/fal10_p049-053.pdf (Lesedato: 22.03.2011)
- ²⁸ - V. Yartys, 2011a. Hydrogen storage 1 Liquid H2. Forelesning i faget hydrogenteknologi, brenselceller og solceller på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

-
- ²⁹ - Hydrogenplattformen (2006), "Hydrogen fra vann", URL: <http://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?c=Page&cid=1234130630483&pagename=hydrogen%2FHovedside> (Lesedato: 28.03.2011)
- ³⁰ - Teknisk Ukeblad (2005), "Fremtidens energibærer", URL: <http://www.tu.no/nyheter/energi/article40717.ece#> (Lesedato: 21.03.2011)
- ³¹ - Jordanger, E., Møller-Holst, S., Maurstad, O., Brevik, D.A. (2002), "Energi- og utslippsregnskap for utvalgte energikjeder", SINTEF, Hydrogen som energibærer, URL: http://www.klif.no/nyheter/dokumenter/hydrogen_energibaerer.pdf (Lesedato: 21.03.2011)
- ³² - V. Yartys, 2011b. Hydrogen storage compressed H₂. Forelesning i faget hydrogenteknologi, brenselceller og solceller på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- ³³ - V. Yartys, 2011c. Hydrogen storage 4 metall hydrides and applikasjons. Forelesning i faget hydrogenteknologi, brenselceller og solceller på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- ³⁴ - V. Yartys, 2011d. Hydrogen safety. Forelesning i faget hydrogenteknologi, brenselceller og solceller på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- ³⁵ - Gil, H.A., Joos, G. (2008), "Models for Quantifying the Economic Benefits of Distributed Generation," Power Systems, IEEE Transactions on , vol.23, no.2, pp.327-335
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4494597&isnumber=4494587> (Lesedato 28.03.2011)
- ³⁶ - Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE, 2011), "Energistatus", URL: http://www.nve.no/Global/Publikasjoner/Publikasjoner%202011/Diverse%202011/NVE_Energistatus2011.pdf (Lesedato: 31.03.2011)
- ³⁷ - Wind Energy – The Facts (2008), "The EU Energy Mix", URL: <http://www.wind-energy-the-facts.org/en/part-4-industry--markets/chapter-1-wind-in-the-european-power-market/the-eu-energy-mix.html> (Lesedato: 29.03.2011)