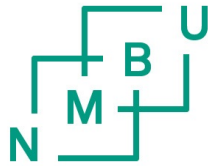




NORGES MILJØ- OG BIOVITENSKAPELIGE
UNIVERSITET

FAKULTET FOR MILJØVITENSKAP OG TEKNOLOGI

INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG OG TEKNOLOGI



Fossilfri, frostsikker og energiautonom hytte

En mulighetstudie

Forfatter:
Marit TELNESET

Veiledere:
Petter H HEYERDAHL
(NMBU)
Ivar BLIKØ
(Arena Smartgrid)

15. juni 2014

Forord

Masteroppgaven er med på sette siste punktum på en fem-årig mastergrad i Miljøfysikk og fornybar energi på Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT) på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). I oppdrag fra Arena Smartgrid ble oppgaven gitt i begynnelsen av februar 2014 som førte til en måneds forskjøvet innleveringsfrist. Den har hatt et omfang på 30 studiepoeng.

Det å skrive om et hyttefelt med løsninger av fornybar energi har vært en motiverende drivkraft ettersom jeg selv har tilbrakt mange sommere på hytte som ikke er koblet til kraftnettet. Samtidig har det vært interessant å se hvordan oppgaven har vekket engasjement hos bekjente og tilfeldige interesserte. Det er tydelig at mange har erfaringer og meninger om hytteliv som har bidratt som inspirasjon til arbeidet.

Først og fremst vil jeg takke hovedveileder, Førstemanuensis Petter H Heyerdahl, for god veiledning og sitt glødende engasjement for oppgaven. Deretter vil jeg rette en takk til Ivar Blikø i Arena Smartgrid som presenterte denne oppgaven da en tidligere påstartet oppgave ikke kunne gjennomføres, og som i tillegg har fungert som biveileder. Takk til korekturleser, Arne Marius Hallum-Telneset og faglige innspill fra medstudenter på lesesalen.

Årene på NMBU har gått fort og med stor glede vil jeg tenke tilbake på det faglige og sosiale jeg har opplevd. Et uvurderlig miljø og gode venner har vært avgjørende og motiverende for en fullført mastergrad på NMBU. Sangkoret Lærken skal ha takk for innslag av useriøshet i en ellers seriøs studiehverdag.

Sammendrag

Statskog, som Norges største eiendomsforvalter, har regulert et område i Midtre-Gauldal for *Nognillosen Hytteområde* uten infrastruktur for vann og elektrisitet. Med hjelp fra Arena Smartgrid ønsker Statskog innspill til utføring av framtidens miljøvennlige hyttefelt ved bruk av dagens teknologi. Denne oppgaven har vurdert hva som kreves av komfort på en hytte og en metode for holde ei hytte frostfri uten høyt energiforbruk. Teknologier som solceller (PV), småskala vindturbin og termoelektrisk generator er vurdert i samspill med batterilagring for å dekke et typisk elektrisitetsforbruk. Oppgaven er begrenset til å se på autonom løsning for strømgenerering i hver enkelt hytte i motsetning til fellesløsning for hele hyttefeltet.

I oppgaven er det gjort enkle beregninger og estimeringer på forbruk og strømproduksjon som vil virke som veiledning.

Det er beregnet at hyttebrukere med høy komfort og stort energiforbruk vil ha et behov på 19 kWh på ei uke. En bruker med lavere komfortstandard og et mer bevisst forbruk kan ha et energiforbruk på 6 kWh for samme periode.

Rask tilgang på vann for matlaging og vasking er ønsket komfort på ei hytte, noe som krever frostsikring for enkel drift. Det er vurdert at hytter som ikke er koblet til det elektriske kraftnettet, ikke kan holdes frostfrie med strøm. Oppgaven presenterer en løsning på dette ved å pumpe vann med tilstrekkelig temperatur fra en brønn, og la det sirkulere i rør på innsiden av et rom i ei hytte. Et godt isolert rom vil holde en temperatur på 5 °C dersom vann sirkulerer i rør med volumstrøm på 0,88 l/min. Den lave volumstrømmen kan gi en naturlig sirkulasjon og har kun behov fra en pumpe med en effekt på 2,29 mW for å sette igang sirkulasjonen. For å pumpe vann i veggen trengs det en pumpe på 5,56 mW.

Klimatiske ressurser fra PVGIS og Kjeller Vindteknikk er brukt for å beregne produksjonen til PV-anlegg og vindturbin. Årlig solinnstråling på horisontal flate for Nognillosen er 890 kWh/m². For best produksjon fra PV på vinterhalvåret på grunn av skygetap fra snø, er det vurdert som hensiktsmessig å ha vertikal helningsvinkel på PV-moduler. Et anlegg på 690 Wp er beregnet til å produsere 385,5 kWh i året. Gjennomsnittlig vindhastighet for Nognillosen var 5,28 m/s for 10 meters høyde i 2013. I april vil en 500 W vindturbin ha en produksjon på 251 kWh.

En termoelektrisk generator bruker varme fra en varmekilde og genererer strøm. Uavhengig av klimatiske forhold vil den gi en jevn strøm når det fyres i en vedovn. Effektiviteten

til en termoelektrisk generator er relativ liten slik at den har et begrenset effektbidrag i et hybridsystem. Likevel er den vurdert som et godt bidrag i samspill med vind og PV på vinterhalvåret hvor behovet er størst.

Blyakkumulator er foreslått som lagringsløsning, og skal holde ei hytte autonom med strøm i en uke uten bidrag fra PV og vindturbin. Det er på grunn av batteriets høye lagringskapasitet og lav innkjøpskostnad. Med et høyt strømforbruk vil det være behov for sju batterier, mens med et lavere forbruk kun vil være behov for tre batterier.

Det er derfor vist muligheter for å holde ei hytte selvforsynt med elektrisk energi fra dagens teknologier og samtidig med et miljøvennlig forbruk holde på en grønn profil. Videre viser det at hytta kan holdes frostfri med liten energibruk, og det vil gi en økt trivsel og komfort ved hyttebesøk på vinterhalvåret.

Abstract

The state-owned enterprise, Statskog SF, is the largest landowner in Norway. Currently, Statskog owns a property lacking the infrastructure for water and electricity in Sør-Trøndelag County, Norway. In this area, Statskog plans to develop a small community of environmental friendly cabins that are sustained by renewable energy technologies. This thesis investigated the possibilities of energy generation from solar cell (Photovoltaics), wind turbine and thermoelectric generator for the proposed development, Nognillosten. Also, estimates were made for the amount of electricity needed to power the cabin, depending upon the diverse energy consumption of cabin users. During periods of low temperatures, freezing problems may occur when water is stored inside the cabin. Therefore, a low-energy solution to protect the cabins from frost was also presented. The goal was to explore an autonomous solution in each cabin in contrast to looking at a common solution for the whole community.

The energy consumption for high demand users at a cabin was estimated to be 19 kWh during a week. For lower demands, the energy consumption is estimated to be 6 kWh for the same period of time.

A common demand of a cabin users is to have easy-access throughout the year, without being concerned that the water is frozen. It has been evaluated that off-grid cabins cannot be frost protected by electric power. As a solution, this thesis proposed using geothermal energy to collect heat by water and circulating the water through pipes inside the walls of an insulated room. To keep the temperature at 5 °C inside the room, the required water flow was calculated to be 0,88 l/min. Due to natural convection the low water flow will provide an automatic circulation in the water well. A pump should be used to start the circulation in the well, and was calculated to have minimum consumption of 2,29 mW. To pump water through pipes inside the walls of the room, a minimum of 5,56 mW would be required.

In order to calculate power generation from solar cells and wind turbines at Nognillosten, solar radiation data was extracted from PVGIS and wind measurements is provided by Kjeller Vindteknikk. Solar radiation on a horizontal surface at Nognillosten is measured to 890 kWh/m² for a whole year. It was suggested to place solar modules with 90° declination angle on the south-end wall of the cabin for optimal power generation during winter. This would decrease the power loss from snow accumulation on the modules. The power production was calculated to be 385,5 kWh for a whole year with 690 Wp solar modules. Average wind velocity at Nognillosten in 2013 was 5,28 m/s in a height of ten meters above the ground. During April, a 500 W wind turbine is calculated to generate 251 kWh of

energy.

A thermoelectric generator uses heat from a heated source to generate electricity. By placing it on a wood stove, a small but steady power production could be provided, irrelevant of climatic conditions. Because of high power consumption during winter, a thermoelectric generator was determined as an asset to wind and solar generation.

Lead-acid batteries were suggested as an energy storage because of high capacity and low cost. To keep the storage autonomous for a week, it was estimated that seven batteries for high-energy consumption and three for low-energy consumption.

In the light of the solutions mentioned, the thesis presents the possibilities for an off-grid cabin to be self-sustaining, and have low-carbon footprint, at the same time. Furthermore, it shows a solution of frost protection that will provide high comfort and low maintenance.

Innhold

| | |
|--|-------------|
| Forord | i |
| Sammendrag | ii |
| Abstract | v |
| Figurer | xi |
| Tabeller | xiii |
| 1 Introduksjon | 1 |
| 1.1 Motivasjon | 1 |
| 1.2 Historikk og bakgrunn | 2 |
| 1.3 Beskrivelse av området | 2 |
| 1.4 Oppgavebeskrivelse og oppbygging | 5 |
| 1.5 Avgrensing av oppgaven i samråd med hoved- veileder | 7 |
| 2 Teori | 9 |
| 2.1 Solenergi | 9 |
| 2.1.1 Photovoltaics (PV) | 9 |
| 2.2 Geotermisk varme | 14 |
| 2.2.1 Geotermisk lagring | 15 |
| 2.2.2 Geotermisk energi og tap | 15 |
| 2.3 Småskala vindenergi | 16 |
| 2.3.1 Komponenter i en vindturbin | 17 |
| 2.3.2 Tap med ising | 18 |
| 2.4 Energikrav i bygg | 18 |
| 2.5 Termoelektrisk generator (TEG) | 18 |
| 2.6 Batterilagring | 20 |
| 2.6.1 Blyakkumulator | 21 |
| 2.6.2 Nikkelbatteri | 22 |
| 2.6.3 Litiumionbatteri | 22 |
| 2.6.4 Batterikapasitet | 23 |
| 2.6.5 Gjenoppliving av brukte blyakkumulatorer | 23 |
| 2.7 Kraftelektronikk i frittstående hybridanlegg | 24 |
| 2.7.1 Regulator | 24 |
| 2.7.2 Inverter eller DC-DC omformer | 24 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.7.3 | Ohmske tap i ledninger | 25 |
| 3 | Ressursgrunnlag | 27 |
| 3.1 | Vurdering av forbruk i hytter og fritidsboliger | 27 |
| 3.1.1 | Tidligere forskning | 27 |
| 3.1.2 | Egen vurdering | 28 |
| 3.2 | Klimadata | 28 |
| 3.2.1 | PVGIS | 28 |
| 3.2.2 | Værdata fra NASA | 29 |
| 3.2.3 | Værstasjon på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (FAG- KLIM) | 29 |
| 3.2.4 | Bruk av vindressurskart i Norge for vindmålinger på Nognilloen | 30 |
| 4 | Metodikk | 33 |
| 4.1 | Ulike driftsprofiler og bruksmønstre for hytta | 33 |
| 4.2 | Frostsikring av hytte | 36 |
| 4.2.1 | Brønndybde, naturlig sirkulasjon og varmeoverføring | 36 |
| 4.2.2 | Sentrifugalpumpe | 37 |
| 4.2.3 | Ny type kollektorrør samt to løsninger med kollektor | 37 |
| 4.3 | Mulighet for oppvarming av hytte med vedkomfyr med vannkappe | 39 |
| 4.4 | PV-system - kostnader og beregning av produksjon | 40 |
| 4.4.1 | Modul- og systemkostnad samt LCOE | 40 |
| 4.4.2 | Beregning av energiproduksjon fra PV | 41 |
| 4.5 | Valg av vindturbin og metode for beregnet vindenergi | 42 |
| 4.5.1 | Aeolos-H 500 W vindturbin | 43 |
| 4.6 | Termoelektrisk generator - TEG | 44 |
| 4.7 | Valg av batterier - kostnad, energitetthet og levetid | 45 |
| 4.7.1 | Blyakkumulatorer | 46 |
| 4.7.2 | Litium-ion batteri | 46 |
| 4.8 | CO ₂ utslipp ved bruk av gasskomfyr, gasskjøleskap og dieselaggregat | 47 |
| 4.9 | Grov økonomisk budsjettering av foreslåtte løsninger | 48 |
| 4.10 | Strømbalanse ved ulike driftssituasjoner | 49 |
| 5 | Resultater | 55 |
| 5.1 | Forbruksberegninger | 55 |
| 5.2 | Frostsikring av hytte | 55 |
| 5.3 | PV produksjon | 58 |
| 5.4 | Vindenergiproduksjon for april | 59 |
| 5.5 | Lagringsløsning | 59 |
| 5.6 | CO ₂ utslipp ved bruk av gasskomfyr, gasskjøleskap og dieselaggregat | 60 |
| 6 | Diskusjon | 61 |
| 6.1 | Forbruk | 61 |
| 6.2 | Frostsikring | 61 |
| 6.3 | Oppvarming med vedkomfyr med vannkappe | 63 |
| 6.4 | Solenergi i form av PV | 63 |
| 6.5 | Vindkraft | 64 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 6.6 | Termoelektrisk generator | 65 |
| 6.7 | Lagringsløsning | 65 |
| 6.8 | CO ₂ -utslipp ved bruk av gass og diesel | 66 |
| 6.9 | Kostnader | 66 |
| 7 | Konklusjon | 67 |
| | Bibliografi | 69 |
| | Tillegg A Teknisk datablad for anbefalt utstyr | 73 |
| | Tillegg B Tabeller brukt i beregninger | 77 |

Figurer

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Antall fritidsboliger i Norge per år for de siste ti årene. | 2 |
| 1.2 | Kart over Sør-Trøndelag med Nognillosen merket av. | 3 |
| 1.3 | Kart over midlertidig løsning av Nognillosen hyttefelt med 15 oppmålte tomter. | 4 |
| 2.1 | Elektrisk karakteristikk for en solcelle | 10 |
| 2.2 | V-I kurve for PV modul | 12 |
| 2.3 | Oppbyggingen av et PVanlegg | 12 |
| 2.4 | Orienteringsvinkel og helningsvinkel på PV-modul illustrert. | 14 |
| 2.5 | Komponenter på en vindturbin (NORWEA, 2012) | 17 |
| 2.6 | Termoelektrisk modul | 19 |
| 2.7 | Skjematisk tegning av et batteri ved opplading og utlading | 21 |
| 3.1 | Global solinnstråling på horisontalflate | 30 |
| 3.2 | Vindhastighet for Nognillosen i 2013. | 31 |
| 3.3 | Hyppighet av vindretninger for Nognillosen i 2013. Figuren viser at vinden på Nognillosen kommer fra sør-øst til nord-vest. Over 25 % av vindhastighetene kom fra sør-øst i 2013. | 32 |
| 4.1 | Forenklet skisse av broenn med to loesninger og tverrsnitt av kollektorroer | 39 |
| 4.2 | Ampair 600 vindturbin (Ampair, 2012) | 43 |
| 4.3 | Effektproduksjon for Ampair 600 ved ulike vindhastigheter | 43 |
| 4.4 | Aeolos-H 500W vindturbin | 44 |
| 4.5 | Effektkurve for Aeolos-H 500W. | 44 |
| 4.6 | Bilde av Devil Watt 45 W TEG. | 45 |
| 4.7 | Montering av en Devil Watt 45 W TEG. | 45 |
| 4.8 | En skjematisk figur av ei hytte med PV, vindturbin og brønn. | 47 |
| 4.9 | Strømbalanse for driftssituasjon 1: Vinterkveld. | 49 |
| 4.10 | Strømbalanse for driftssituasjon 2: vinterdag med sol,vind og TEG produksjon. | 50 |
| 4.11 | Strømbalanse for driftssituasjon 3: vintermorgen med ingen PV produksjon, full fyr i ovnen og høy vindproduksjon | 51 |
| 4.12 | Strømbalanse for driftssituasjon 4: sommerdag med mye sol og ingen laster i bruk. | 51 |
| 4.13 | Strømbalanse for driftssituasjon 5: sommermorgen med overskyet og litt vind. | 52 |
| 4.14 | Strømbalanse for driftssituasjon 6: sommerkveld med lav sol og ingen vind. | 53 |
| 5.1 | Varmetap fra kollektor i W ved ulike tykkelse på isolasjon. | 57 |

| | | |
|-----|--|----|
| A.1 | Siemens produktdatablad for A+++ merket oppvaskmaskin. Hentet fra http://www.siemens.com | 73 |
| A.2 | Virkningsgrad for REC moduler | 74 |
| A.3 | Teknisk beskrivelse av Rolls batteri. Hentet fra http://www.rollsbattery.com | 75 |
| A.4 | Teknisk data for Suntek batterier. I denne oppgaven brukes batteriene for 200 Ah. Hentet fra http://www.getek.no | 75 |
| A.5 | Teknisk beskrivelse av Li-ion SmartBattery. Hentet fra http://www.lithiumion-batteries.com | 76 |
| A.6 | Teknisk data for Sunwind gasskomfyr. Hentet fra http://www.sunwind.com | 76 |
| B.3 | Utslipp fra ulike gasser | 78 |
| B.1 | U-verdi for isolasjon fra Glava brukt for å beregne varmetap fra frostsikkert rom. Hentet fra www.glava.no | 79 |
| B.2 | Tabell over tettheten til vann ved ulik temperatur som brukes for å regne ut tap og trykktap i brønn | 80 |

Tabeller

| | | |
|-----|--|----|
| 3.1 | En antagelse av energiforbruk til en hytte. | 28 |
| 3.2 | Forklaring av vindretning i grader og navigasjon. | 31 |
| 4.1 | Antagelser gjort for å estimere forbruket til hytta | 35 |
| 4.2 | Priser og LCOE (Levelized Cost of Energy) for PV systemer og moduler | 41 |
| 4.3 | Virkningsgrad til Ampair 600 vindturbin ved ulik vindhastighet | 43 |
| 4.4 | Virkningsgrad til Aeolos-H 500W vindturbin ved ulik vindhastighet | 44 |
| 5.1 | Energiforbruk hos to ulike brukere A og B for tre ulike scenario | 55 |
| 5.2 | Trykkforskjell på vann ved ulik temperatur i brønn | 56 |
| 5.3 | Produksjon fra PV for hver måned og hele året i kWh. | 58 |
| 5.4 | Batterikapasitet beregnet ut fra forbruket til hyttebruker A og B for Scenario 2 som er en uke i påske/jul. | 59 |
| 5.5 | Beregnet antall batterier med hensyn på forbruk | 60 |
| 5.6 | CO ₂ -utslipp ved bruk av gasskomfyr, -kjøleskap og dieselaggregat | 60 |
| A.1 | Spesifikasjoner for Termorosa vedkomfyr med vannkappe. | 74 |
| B.1 | Gjennomsnittlig global solinnstråling for Nognillosen fra PVGIS brukt til beregninger for produksjon fra PV. | 77 |

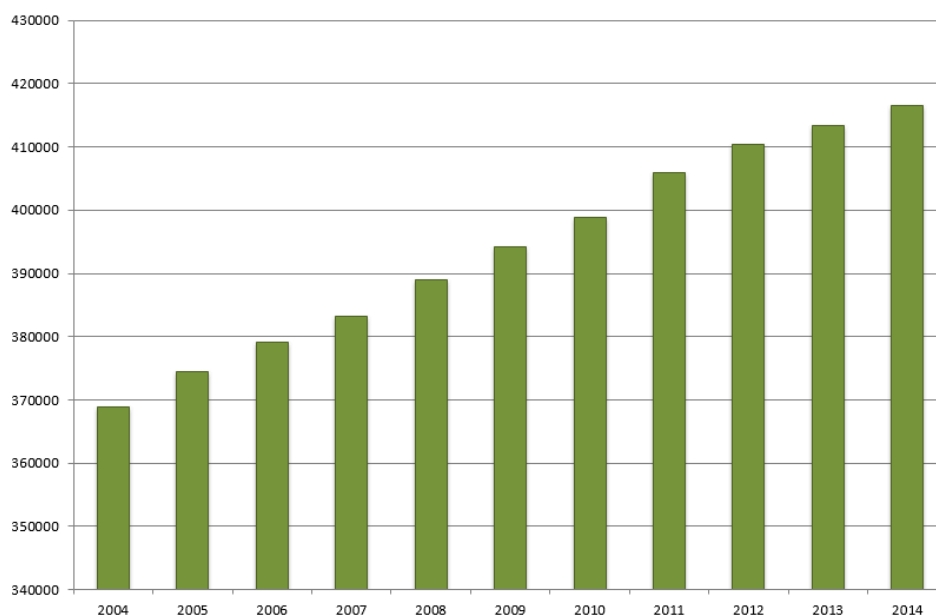
1 | Introduksjon

1.1 Motivasjon

Norge har hatt en lang tradisjon for fritidsboliger. Originalt ble de bygget til tilknytning til gårdsbruk og brukt av gårdeiers familiemedlemmer som hadde jobb i urbane strøk (Farstad et al., 2008). Etter andre verdenskrig foregikk det en byggeboom i fritidsboliger, med alt fra sommerhus ved sjøen til hytte på fjellet. I følge Statistisk sentralbyrå (SSB) har byggingen av nye fritidsboliger økt hvert år, som vist i figur 1.1 under. I nabolandene Sverige og Finland har de flere fritidsboliger, men de er fordelt på en større folkemengde. I Finland har antall fritidsboliger økt per år siden 1970 men ikke med like stor grad økning som på 1990-tallet (Statistics Finland, 2013).

Ifølge TNS Gallup (2013) var kvadratmeterprisen på fritidsboliger på fjellet 19 913 NOK i 2012. Dette viser at nordmenn er villig til å betale for en kostbar fritidsbolig. Av fritidsboliger som var lagt ut til salg på FINN.no, var 56 % uten innlagt strøm og 63 % uten innlagt vann, i følge TNS Gallup (2013). Dette viser at det fortsatt er et stort marked for fritidsboliger som ligger utenfor infrastruktur slik som Nognillosen.

Selv om denne oppgaven tar utgangspunkt i Nognillosen som hovedfokus, vil oppgaven være relevant for andre situasjoner uten infrastruktur for strøm, som øysamfunn og rurale steder.



Figur 1.1: Antall fritidsboliger i Norge de siste ti årene på y-aksen med årstall på x-aksen. Her regnes hytter og sommerhus som fritidsboliger, ikke helårsboliger eller våningshus som brukes som fritidsboliger (SSB, 2014).

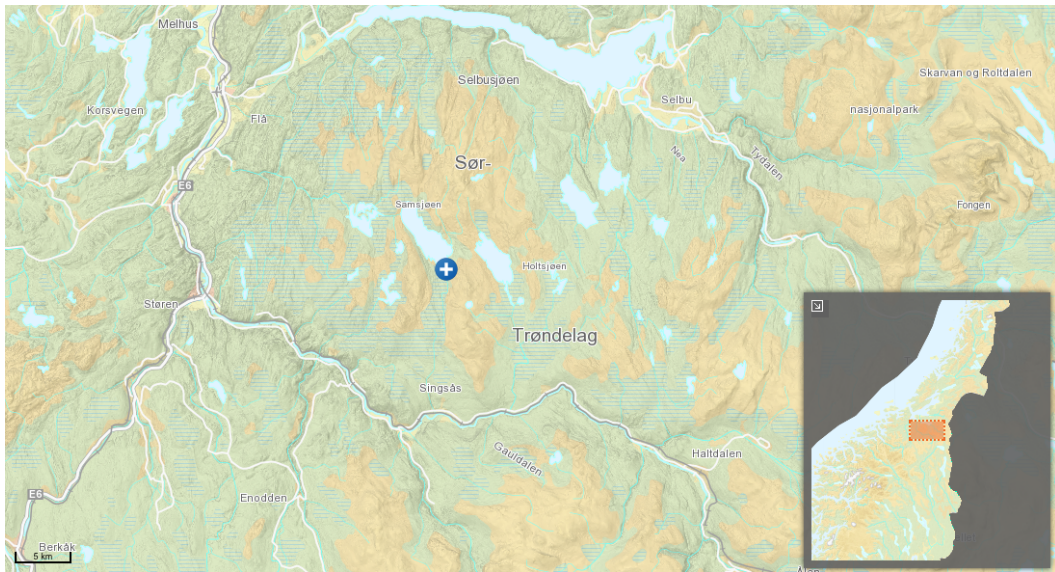
1.2 Historikk og bakgrunn

Statskog har som Norges største grunneier og eiendomsforvalter, et stort antall prosjekter for utvikling av hyttefelt. Statskog legger til rette for friluftslivet gjennom å regulere områder til fritidsbebyggelse. Fritidsbebyggelsen ligger ofte langt fra infrastruktur for elektrisitet og vann. Statskog ønsker innspill på hvordan et slikt hyttefelt kunne vært utviklet med dagens teknologi eller teknologi som snart er tilgjengelig. Som case har de valgt ut Nognillosen Hytteområde i Midtre Gauldal kommune i Sør-Trøndelag. Nognillosen er under arealmessig regulering og godkjenning, men ikke påstartet utredet. I samarbeid med Arena Smart Grid er det et ønske om å utrede *framtidens miljøvennlige hyttefelt*. Hyttefeltet består av 15 tomter.

Arena Smartgrid Services holder til i Midt-Norge og er en klynge med 60 bedrifter som leverer produkter og tjenester til smarte nett. Sammen med Smart Water Cluster, en bedriftsklynge som leverer tjenester for smarte vannløsninger, samarbeider de om å finne smarte løsninger for hyttefeltet.

1.3 Beskrivelse av området

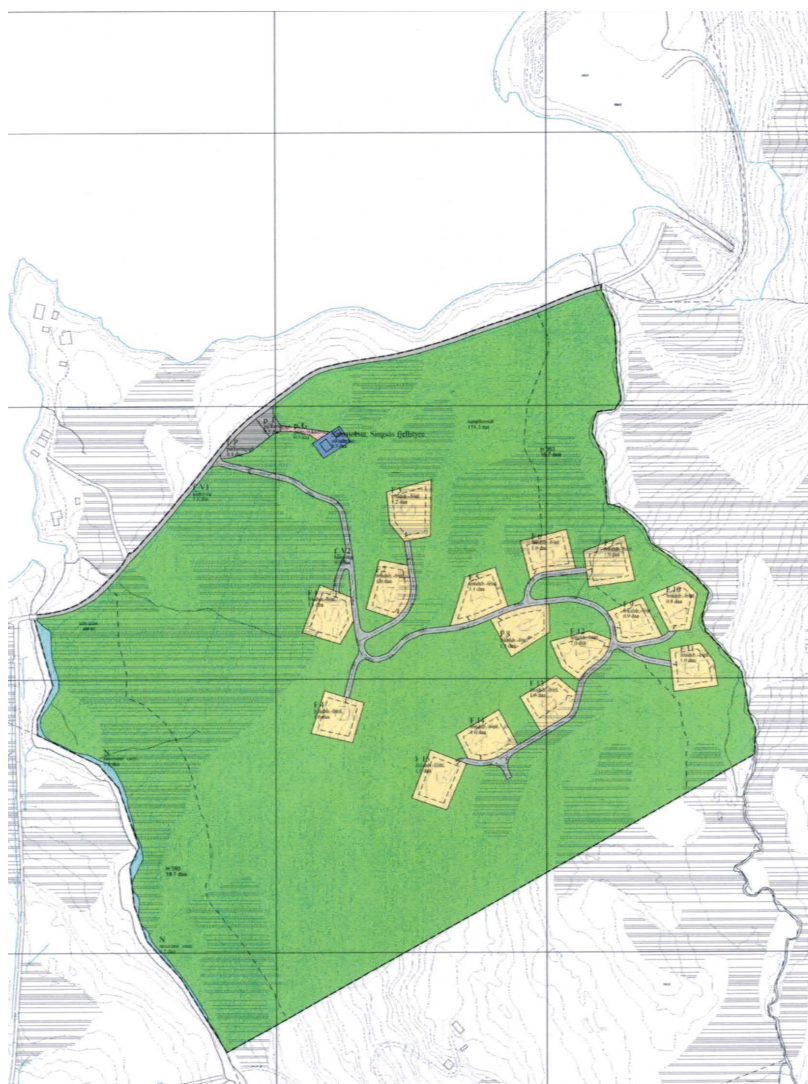
Nognillosen Hytteområde er et oppmålt område i Midtre Gauldal. Midtre Gauldal er en kommune som ligger i Sør-Trøndelag fylke som vist i figur 1.2. Hyttefeltet ligger ved



Figur 1.2: Kart over Sør-Trøndelag med Nognilloen merket av, hentet fra *Kartverket (2014)*.

Samsjøen, en regulert innsjø med kraftverk eid av TrønderEnergi. Nognilloen ligger sør-øst for Samsjøen og er derfor ikke en del av det vernede Samsjøen naturreservat. Veien opp til hyttefeltet er åpen sommerstid men stengt vintertid, noe som krever alternativ transportløsning enn bil inn til hyttefeltet. Dette vil antagelig endres etter utføring av dette prosjektet. Figur 1.3 viser hvordan det regulerte hyttefeltet med hyttetomter er planlagt å se ut.

I følge et oppmålt polygon i Norgeskart (*Kartverket, 2014*), har hyttefeltet en omkrets på ca 2 km og areal på 0,241 km² eller 241 mål. Nognilloen ligger på 525 m.o.h., og de nærmeste fjelltoppene er Samsjøvola (870 m.o.h), Storfjellet (870 m.o.h) og Annfinnfjellet (858 m.o.h).



Figur 1.3: Kart over midlertidig løsning av Nognillsosen hyttefelt med 15 oppmålte tomter.

1.4 Oppgavebeskrivelse og oppbygging

Hytter i dag trenger ikke å dekke alle behov som man har i husstanden. Hytteeiere klarer å begrense sitt energiforbruk og vannforbruk fordi de vet at tilgangen er begrenset. Likevel har kravene til hytteliv endret seg. Noen grunnleggende behov som forventes at en hytte skal tilfredsstillende kan formuleres som følger:

- Hytta skal være enkel å drifte.
- Den skal være enkel å reise til uten mye planlegging, til alle årstider.
- Den bør være relativt rask å varme opp når man ankommer.
- Det er ønskelig å ha rask tilgang på vann til matlaging og vasking.
- Det bør tilbys enkel og behagelig toalettløsning som helst ikke bruker strøm.

Dersom det skal være tilgang på vann i hytta uavhengig av årstid, må man ta hensyn til frostsikring av vannanlegget. Det være om hytta har systerne for lagring av større vannmengder og eventuelt en liten varmtvannstank. Det er kun én komponent i et vannanlegg som skal være frosset i stykker før det blir store problemer og ergrelser for de som ankommer hytta. En løsning for å ha en enkel oppvarmet hytte med tilgang på vann, er å bygge inn et godt isolert rom et sted i hytta med vanntank for lagring av bruksvann. Rommet kan være av tungt materiale og kan muligens med fordel ha direkte kontakt med grunnen under hytta. En løsning for å holde rommet frostfritt, vil være å utnytte varme fra en energibrønn. Sirkulerende vann på 8 °C fra brønn pumpes opp og videre inn i rør på innsiden av vegg til det isolerte rommet. Da kan rommet holdes på en temperatur over 0 °C, og således være frostfri hele året. Dette bør helst bruke så lite energi som mulig. Dette vil gjøre det enklere å ha innlagt vann i rør og tank slik at hyttebrukere slipper å tappe det tomt for vann hver gang de forlater hytta for en lengre periode, når det er fare for frost.

Hyttes planløsning bør lages slik at alt vannbehov knyttes til det evig frostsikre rommet. Det er viktig at alle rør og armatur som har med vann å gjøre holdes frostfritt. Hele hytta bør ha en lavenergihusstandard. Det vil nok være gunstig å utføre bygningskroppen i massivtre som kan holde på mye varme. Sørvendte vindusflater vil fange inn passiv solenergi. Videre oppvarming av ei hytte kan dekkes av en komfyr med varmekappe som forsyner varme til oppvarming av rom og til bruksvann. Bruk av vedovn som oppvarming vil ta tid for å oppnå komforttemperatur ved ankomst på en kald dag. Dette vil imidlertid gi deler av ei hytte akseptabel temperatur på noen timer.

For å dekke det elektriske energibehovet kan man se på flere teknologier. PV-anlegg og mikrovindturbin sammen med en veldimensjonert lagringsløsning, vil kunne dekke forskjellige hytteforbruk. En annen teknologi for strømgenerering er termoelektrisk generator (TEG) knyttet til en varmekilde som vedovn. Teknologien er under utvikling og en kan vente vesentlig høyere effektivitet innen relativt få år, men foreløpig er strømforsyningen fra en TEG relativt lav. Fordelen med TEG er at det genereres strøm samtidig som det produseres varme, uavhengig av klimatiske forhold.

I isolerte hybridenergisystemer benyttes ofte batterier som lagringsløsning. Det vil vurderes ulike batteriteknologi og videre dimensjonere batterikapasitet i forhold til forbruk.

For å dimensjonere det elektriske energibehovet bør det avklares hvor mye en hytte forbruker. I denne oppgaven vil det bli sett på to ytterpunkter av forbruk ved tre ulike scenarier. Videre vil det i oppgaven bli tatt for seg en energiproduksjon og lagringsløsning for hver enkelt hyttetomt.

Ved bruk av et system med PV anlegg og batterilagring vil det være naturlig å ha et likestrømsnett i hytta. Dette er fordelaktig når forventede laster er LED belysning, TV, PC, og muligens EL-biler som bruker likestrøm. Man må derfor finne ut hva slags spenningsnivå dette bør ligge på. Dersom laster i ei hytte krever vekselspanning trenger man en DC-AC omformer. Med kun likespenningslaster vil det kun være behov for en DC-DC omformer og en regulator som bør plasseres mellom energigenererende komponenter og lagringsenhet.

Dersom hyttfeltet skal se på miljøvennlige løsninger bør det oppfordres til lite eller intet forbruk av fossilt brensel. Derfor vil denne oppgaven se på løsninger med minst mulig fossilt brenselforbruk.

Oppgaven vil være en mulighetsstudie for ulike teknologier for Nognilloen og vil ikke gjennomgå en grundig analyse ved alle teknologier. Derfor vil mye av resultatene være kun for veiledning og bære preg av større usikkerheter.

Oppgavens oppbygging er som følger:

Innledning - Beskrivelse av oppgave, bakgrunn og motivasjon

Teori - Teorien til de ulike teknologiene som blir foreslått for hyttfeltet. Oppgaven vil se på PV, mikrovind og termoelektrisk generator til strømgenerering. Deretter vil den se på ulike typer batterier som lagring. I tillegg sees det på geotermisk varme for frostsikring.

Ressursgrunnlag - Beskriver de ulike kildene til solinnstråling og vindhastigheter. Videre beskriver grunnlaget til estimering av strømforbruket til en hytte.

Metodikk - Beskrivelse av metoder som er brukt for å komme frem til vurdering strømforbruk for hytte, vurdering av optimal strømgenerering og batteriløsning. Metode for å finne frostsikring av hytte med geotermisk varme med lav energibruk. Estimering av CO₂-utslipp fra gass og diesel fra hytteprodukter. Metodikken vil også vise strømbalanse for ulike driftsituasjoner.

Resultat - Presentere resultater fra beregninger beskrevet i metodikken.

Diskusjon - Diskusjon av usikkerheter i beregning og svakheter med metoder.

Konklusjon - Oppsummert resultat fra oppgaven og anbefalte løsninger.

1.5 Avgrensning av oppgaven i samråd med hoved- veileder

For å avgrense oppgavens omfang begrenses den til å omhandle en autonom energiløsning for en enkelt hytte, selv om hytta befinner seg i et område med flere hytter eller et hyttefelt. Dette bygger mye på erfaring fra det virkelige hytteliv. Veileder har vært hytteeier 40 år og har vært formann i en hytteforening i Hurum med 100 hytter i 8 år og formann i en hytteforening med 100 hytter på Nordseter i 4 år. Erfaringene herfra er: Der det er knapphet på ressurser vil det lett oppstå konflikter som kan forsure stemningen i foreningen. Et godt eksempel er vann. Dersom det er sommervann i feltet og det er interne høydeforskjeller i feltet vil de øverste hyttene kunne raskt bare få luft i kranen mens vannsprederen står på hos de lavereliggende hyttene. I en forening på 100 medlemmer er det som regel minst halvparten som ikke bryr seg så mye om fellesskapet eller drift av dette. Disse medlemmene tar oftest heller ikke hensyn i forhold til knappe ressurser.

Hyttefeltet i Nognillosten skal ikke være tilkoblet elektrisk nett og det skal ikke tilføres fossile energiresurser. Feltet vil dermed kunne sies å ha begrensede energiresurser. Hvis man legger opp til å ha felles energiløsninger som samtidig er basert på knappe ressurser, vil det kunne oppstå situasjoner der anlegget tømmes for energi. Dette kan skyldes for eksempel feil bruk, tankeløshet, sløsing, glemsel eller mangel på forståelse av hvor energien kommer fra og hvor mye som finnes. Å komme til en hytte uten tilgang på energi er en lite hyggelig opplevelse.

Veileder har derfor lagt vekt på at oppgaven skal finne løsninger for energiforsyning til hytta som kan gi akseptable krav til komfort med et minimum av fellesløsninger. En fordel med dette er at løsningene kan tilbys enkelthytter og at man kan tillate en stykkevis utbygging av et hyttefelt uten å måtte investere i omfattende infrastruktur ved oppstart av utviklingen av feltet. Dette gir utbygger økonomisk frihet. I tillegg vil brukerne av hytta få økt bevissthet om energi og andre ressurser, samt kunne regulere kostnader uifra eget forventet forbruksmønster.

Energi og vann henger nøye sammen. Når hytta ikke er tilkoblet strømmettet kan den ikke holdes frostfri. Fryser hytta må et vannanlegg tømmes fullstendig for vann når den ikke er i bruk. Dette er ikke enkelt å få gjennomført og særlig ikke i en hektisk avreisetasjon. Det er slett ikke sikkert at alle hyttas brukere har tilstrekkelig innsikt i anleggets funksjoner og kan reparere dette eller at man vil eller får tak i reservedeler på lørdag etter ankomst for en langhelg. Derfor anbefales det å forsyne hytta med et frostsikkert rom som kan inneholde alle vannfunksjoner for hytta. Det fokuseres på en slik løsning i denne oppgaven.

Det frostfrie rommet kan inneholde en susterne på for eksempel hundre liter. Hvis det finnes en felles vannpost i feltet kan vann bæres over terskelen i kanner og susterne kan fylles manuelt. Med denne løsningen tillater mange kommuner at vannet kan slippes ut i et enkelt filtrasjonsanlegg uten renselanlegg. Herved spares vesentlige kostnader til utbygging av renselanlegg. Veileders erfaring er at et vannforbruk på 15-20 liter per person per døgn kan gi fullgod vannkomfort i hytta. En dusj med lavt trykk bruker 8-12 liter for en tilfredsstillende dusj etter en skitur. Vannanlegget kan være trykkløst eller nesten trykkløst

og vannpumpen kan aktiveres kun når det er behov for vann. Det vil kreve svært små energimengder for å drifte et slikt anlegg.

2 | Teori

2.1 Solenergi

Sola er den største energikilden til jorda med en innstråling på ca $1000\text{W}/\text{m}^2$. Photovoltaics er en teknologi som konverterer direkte sollys til elektrisk energi ved bruk av solceller. Selv med en lav effektivitet i de første utgavene er solcelleteknologien en av den mest voksende og fornybare teknologien i dag. På 1980-tallet økte kompetansen i silisium teknologien og i 1985 nådde solcelleindustrien en milepæl da solcellene målte en effektivitet på 20 %.

2.1.1 Photovoltaics (PV)

Prosessen som konverterer solenergi til elektrisk energi kalles fotoelektrisk effekt. Når et foton med tilstrekkelig energi treffer elektronene i solcella vil det føre til eksitasjon av elektronene. Den energien som kreves for at eksitasjonen skal skje, kalles båndgapet. Båndgapet er energien mellom valensbåndet til ledningsbåndet, som deler de bunnede og frie elektronene (Chen, 2011).

Et foton fra solinnstrålingen vil eksitere elektronet fra valensbåndet til ledningsbåndet dersom fotonet har høyere eller lik energi som båndgapet til materialet, som vist her

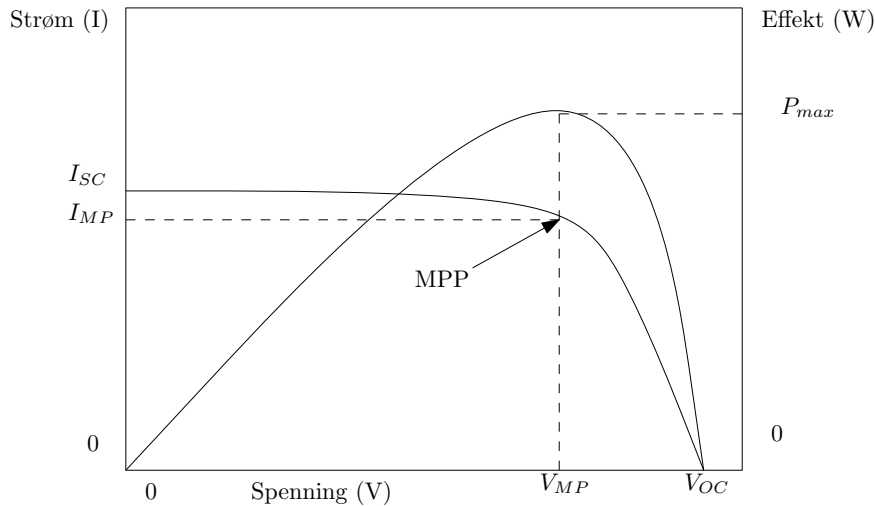
$$hv \geq E_g$$

hvor h er Plancks konstant, v er frekvensen til fotonet og E_g er energien til båndgapet (Chen, 2011).

Virkningsgrad til celle

Effektiviteten er forholdet mellom innstrålt energi og elektrisk energi levert til last. På en solcelle kan effektiviteten måles ved å påføre $1000\text{W}/\text{m}^2$ på cellen, måle en I-V kurve og finne Maximum Power Point (MPP) (Honsberg and Bowden, 2014). MPP er punktet på

I-V kurven som gir størst rektangel under kurven. For å oppnå høyest mulig effektivitet er MPP driftspunktet til solcella der solenergien konverteres til elektrisitet. Ligning (2.1) og ligning (2.2) viser hvordan maksimal effekt (P_{max}) og effektivitet (η) regnes ut. Kortslutningsstrømmen (I_{SC}) og spenning ved åpen krets (V_{OC}) er den høyeste teoretiske strømmen og spenningen som en solcelle kan oppnå. Figur 2.1 viser en elektrisk karakteristikk for en solcelle med en strøm-spenningskurve (I-V kurve) og effektkurve.



Figur 2.1: Elektrisk karakteristikk for en solcelle. MPP er ønskelig arbeidsområde for maksimal effekt P_{max} . Dette oppnås når spenningen er V_{MP} og strømmen er I_{MP} . V_{OC} er spenning ved åpen krets og I_{SC} er kortslutningsstrøm.

Den maksimale effekten til en solcelle kan uttrykkes ved

$$P_{max} = V_{OC}I_{SC}FF = V_{MP}I_{MP} \quad (2.1)$$

der P_{max} er effekten modulen vil ha når den når MPP. FF er fyllfaktor som er forholdet mellom maksimal effekt gitt med V_{MP} og I_{MP} og den teoretisk maksimale effekten gitt ved spenning ved åpen krets og kortslutningsstrøm. Med den maksimale effekten kan virkningsgraden regnes ut med

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inn}} \quad (2.2)$$

der P_{inn} er solinnstråling.

Effektiviteten på en solcelle er en av de viktigste parameterne for å etablere teknologien på markedet. Faktorer som påvirker effektiviteten til en celle er

- celledetemperatur
- spekteret og intensiteten til innstrålt sol
- rekombinasjon

Når temperaturen øker, minker båndgapet til solcella (Honsberg and Bowden, 2014). På grunn av dette vil antall ladningsbærere fra valensbåndet til ledningsbåndet øke fordi mer sollys vil bli absorbert, men med lavere energi. Økende temperatur vil også påføre vibrasjon i materialet. Dette vil påvirke ladningsbærerne og øker sannsynligheten for rekombinasjon. Rekombinasjon er når elektronene fyller elektronhullene. Dette er ikke ønskelig fordi det hindrer elektronene i lage strøm i den eksterne kretsen. Dette påvirker negativt på spenningen ved åpen krets og effekten. Det er derfor viktig å ha solceller med mulighet for god ventilering for å opprettholde lav celletemperatur.

Andre effekter som gir rekombinasjon er høy konsentrasjon av urenheter i halvlederne og defekter som plastisk deformasjon ved høy temperatur.

Virkningsgrad til modul

Mengden strøm som blir generert i en solmodul er proporsjonal med mengden innstrålt sol. Kortslutningsstrømmen blir derfor redusert når en solcellemodul mottar mindre innstrålt sol. Intensiteten på innstrålt sol mot jordas overflate blir påvirket av atmosfæriske effekter som spredning, absorpsjon og refleksjon. Effektene er avhengig av hva atmosfæren består av og lengden strålingen fra sola må reise gjennom atmosfæren til jorda. Veilengden er beskrevet i begrepet luftmasse (Air Mass, AM) som representerer en relativ lengde lyset må reise gjennom atmosfæren før den treffer jorda, og defineres som

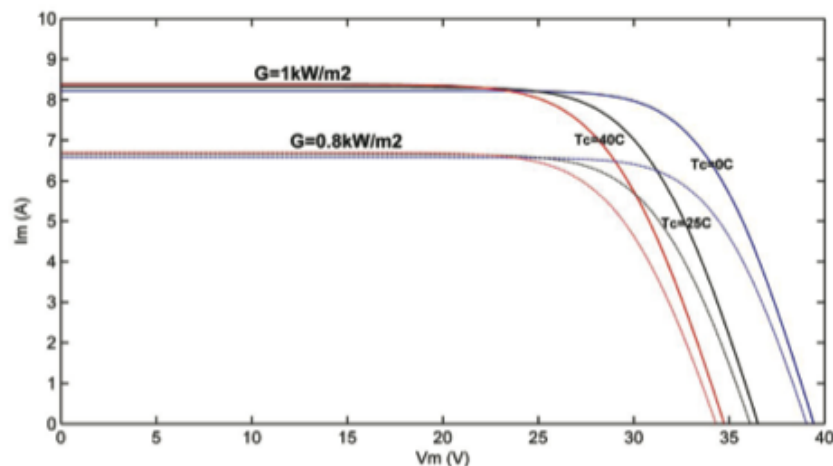
$$AM = \frac{1}{\cos(\Theta)} \quad (2.3)$$

der Θ er vinkelen fra vertikalen hvor sola står direkte over jorda, også kalt zenith. AM0 refereres til solinnstråling utenfor atmosfæren og AM1,5 er solinnstråling på jordas overflate ved $\Theta = 48,2^\circ$ (Honsberg and Bowden, 2014). Dette er standardverdi som moduler vurderes opp mot.

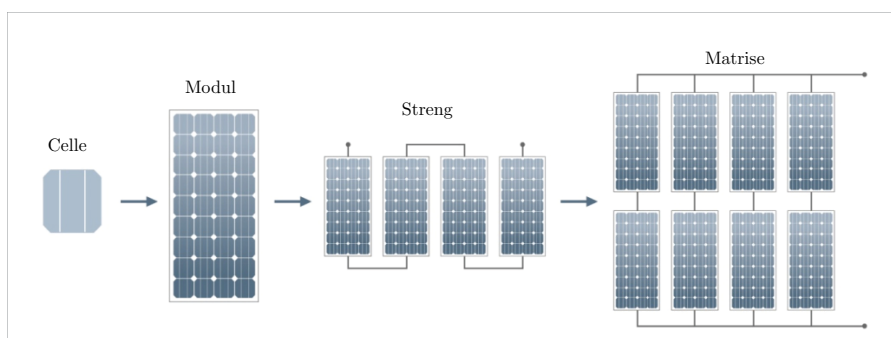
På grunn av absorpsjon og spredning endres strålingsspekteret. Denne effekten blir større desto større veilengden gjennom atmosfæren er. Dette fører til at fotoner med høy energi kan bli spredt når de går gjennom skyer. Figur 2.2 viser den elektriske karakteristikken til en PV-modul med ulik innstrålt effekt og ulik celletemperatur.

Oppbygging

En modul består av flere celler koblet i serie. Modulene kobles sammen med flere i serie og danner en streng. Flere strenger kan kobles i parallell til ei matrise som vist i figur 2.3. Dersom en celle har en spenning på rundt 0,5 V får en modul med 30 celler koblet i serie en spenning på 15 V. Strømmen er gitt ved den cellen eller modulen med lavest strøm. Videre er maksimal spenning i ei matrise som har parallellkoblede strenger gitt av strengen med lavest spenning, og maksimal strøm er summen av strøm fra alle strengene. Dette fører til at en skade eller skygge på en celle vil påvirke effekten til resten av en modul, streng og matrise.



Figur 2.2: V-I kurve for to ulike nivåer med innstrålt effekt og tre ulike celledemperaturer på en PV modul (Tesfahunegn, 2012).



Figur 2.3: Oppbyggingen av et PV anlegg med celler som kobles i serie til en modul og moduler som kobles i serie til en streng. Dette gjøres for å øke spenningen. Strengen kobles i parallell til ei matrise for å øke strømmen.

Når en modul er oppgitt med en effekt, er den oppgitt i W_p som er står for Watt peak. Dette er størrelsen på et solcelleanlegg og blir bestemt ved å måle strøm- og spenningskarakteristikk ved varierende motstand under standard test conditions (STC). Testforholdene er under konstant solinnstråling på 1000 W/m^2 , lufttetthet på $1,5\text{ kg/m}^3$ og 25°C . I tillegg vil PV-moduler bli oppgitt med en energiproduksjon ved nominell opererende celledetemperatur (NOCT) som er definert ved en lufttemperatur på $T=20^\circ\text{C}$, en innstråling $G=800\text{ W/m}^2$ og vindhastighet på 1 m/s .

Skyggetap og hot-spots

Skygging av en celle på modulen vil føre til en nedgang i strømuttaket. Strømmen synker proporsjonalt med mengde skygging. Skygging på moduler plassert på hus kan komme fra blant annet trær, blader, pipe, andre takelementer eller snø. Siden cellene er koblet

i serie på en modul vil totalstrømmen på modulen være lik strømmen til cellen som blir skygget. Dersom modulen er koblet til andre moduler i serie i en streng, vil hele strengen ha lavt strømuttak. Et dårlig effektuttak kan også komme av en defekt celle. På samme måte som skygging vil en defekt celle påvirke resten av modulen, som ikke er sterkere enn sitt svakeste ledd. Dette gjør at den defekte cellen blir en last og effekten generert blir gjort om til varme. En delvis skygget celle kan også oppføre seg som en last slik at den effekten kommer ut som varme. Dette kalles hot-spots, og temperaturøkningen kan føre til deformasjon av cellen og materialet rundt.

For å unngå hot-spot oppvarming, kobles det til en bypass diode på grupper av celler. En bypass diode beskytter en celle fra hot-spot oppvarming ved å tilby en utvei på lav last for strømmen generert i celler som ikke skygget. Siden en bypass diode er kostbart vil det ikke være hensiktsmessig å plassere en diode for hver celle. I følge en studie gjort i 2009 ([Silvestre and Chouder](#)) er det optimalt å bruke én bypassdiode for 16 celler og videre to bypass dioder for en modul med 32 celler.

Optimal vinkel og orientering på PV-modul

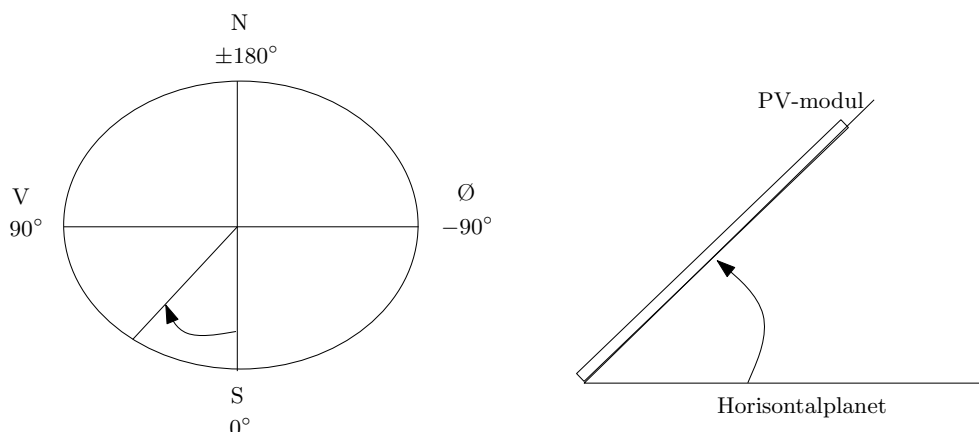
Med optimal vinkel på en PV-modul menes at modulen har en helning i forhold til horisontalplanet slik at det fanger opp mest mulig innstrålt sol. For storskala generering av solenergi vil det vært optimalt med tracking system hvor modulen følger solens plassering på himmelen på døgnet og årstiden. På en fritidsbolig derimot, står modulene på et fiksert plan slik at brukere skal slippe å forholde seg til vedlikehold og endring av vinkel. Derfor er det viktig å finne en vinkel for modulen for hele året som produserer maksimalt. I forhold til skygging fra snø bør PV-modulen ha en bratt vinkel slik at snøen lettere kan falle av. En bratt helningsvinkel kan påvirke energiproduksjonen over lengre tid, men tapet vil være mindre i forhold til skyggetap med snø.

Som tommelfingerregel bør modulene ha en helningsvinkel lik breddegraden til området. Stor breddegrad vil gi stor forskjell på sommertid og vintertid. Siden det er høyest produksjon på sommertid bør modulene ha en helningsvinkel 10-15° mindre enn breddegraden ([Luque and Hegedus, 2011](#)).

Orienteringen til en modul vil si vinkelen langs horisonten i horisontalkoordinater, også kalt asimutvinkel. På den nordlige halvkule er solen på sitt høyeste mot sør, og derfor vil det være mest solinnstråling på modulene med orientering mot sør. Dette er forklart i figur 2.4.

Direkte og diffus stråling

Solinnstråling på en overflate er en blanding av direkte og diffus stråling. Diffus stråling er reflektert eller spredd stråling av komponenter i atmosfæren. Diffus stråling påvirker i betydelig grad produksjon i PV moduler. Utførte eksperimenter viser at gjennomsnittlig andel diffus solinnstråling er 15% av total solinnstråling ([Chen, 2011](#)). Dersom dette stemmer kan man si at et PV anlegg vil kunne produsere 15% av maksimal mulig produksjon



Figur 2.4: Orienteringsvinkel og helningsvinkel på PV-modul illustrert.

på en overskyet dag.

Utvikling av PVmoduler med hensyn på virkningsgrad og kostnad

I 2010 ble det produsert 23,5 GW fra PV som tilsvarer 0,1 % av verdens energimiks (Tyagi et al., 2013). PV-industrien den raskest voksende industrien i produksjon med 35-40 %. Silisium er fortsatt det materialet med høyest virkningsgrad men koster mer å produsere. Tynnfilm solceller er billigere å produsere på grunn av mindre materiale men har en lavere virkningsgrad. Monokrystallinske solceller har oppnådd en virkningsgrad på 28 % (Tyagi et al., 2013).

Energiproduksjon fra PVanlegg

Hvor mye energi som produseres fra et anlegg kan beskrives ved ligningen

$$E = \eta A P_{inn} S_{tap} \quad (2.4)$$

hvor A er arealet PVanlegget dekker i m^2 , η er virkningsgrad/effektivitet til solcellen, P_{inn} er solinnstråling og S_{tap} er systemtap i ledninger og elektronikk (Photovoltaic-software, 2014).

2.2 Geotermisk varme

Geotermisk varme er energi lagret i jord, berggrunn eller grunnvann, og er hovedsaklig varme fra etter jordens dannelse og lagret solenergi med varmebidrag fra radioaktiv nedbryting av naturlig grunnstoffer i berggrunnen. Borehull i fjell med lukket kollektor og bruk av pumpet grunnvann er den vanligste måten å utnytte geotermisk varme på. Et

lukket anlegg vil si å utnytte bergvarme gjennom en et rør eller en slange (kollektor) som føres ned i et borehull. Vanligvis fylles kollektoren med vann eller en frostsikker væske som sirkulerer i kollektoren. Den henter opp varme som leveres til varmepumpe eller romoppvarming i vannbåren radiatorsystemer. Boredybden kan variere mellom 100-250 meter og kostnadene med boring i fast fjell varierer mellom 150-250 NOK/m (Ramstad, 2011). Boring av løsmasse kan gi usikkerhet i kostnader og kan være 3-5 ganger dyrere. Grunnen til det er at et foringsrør i stål må senkes i løsmassen for å stabilisere borehullet. Borehull bruker å ha en diameter på 11,5 eller 13, 9 cm (Ramstad, 2011).

2.2.1 Geotermisk lagring

Et geotermisk anlegg kan brukes som uttak for varme (kjøling) eller som et energilagring med uttak og tilbakeføring av varme. Slik kan borehullet brukes som et batteri der over-skuddsvarme fra sommeren kan lagres og brukes til kalde vinterdager. Ved energilagring i fjellgrunn bores flere hull tett inntil hverandre. Energilagring i grunnvann derimot, har to brønner, én kald og én varm på hver sin side av et grunnvannsmagasin.

2.2.2 Geotermisk energi og tap

Potensiell energi fra brønnen kan beskrives ved ligningen

$$W_Q = c_p Q \Delta T \eta - P_{pumpe} \quad (2.5)$$

hvor W_Q er varmeeffekten hentet ut i W [J/s], c_p er spesifikk varmekapasitet for arbeidsvæsken [kJ/kgK], Q er strømningshastighet [g/s]), ΔT er varmen utvunnet fra væsken i brønnen beskrevet som $T_{reservoir} - T_{vske}$, η er effektiviteten med hvilken varmeenergi kan benyttes og P er tap fra eventuell pumpekraft til arbeidsvæsken i W [J/s] (Huddleston-Holmes and Hayward, 2011).

En pumpe som skal brukes til en geotermisk brønn må balansere trykktapene som en væske vil få i et rør. Den teoretiske effekten [W] som en slik pumpe krever med 100 % effektivitet kan beskrives med ligningen

$$P_{pumpe} = Q \Delta p_{tap} \quad (2.6)$$

hvor Q er strømningshastigheten [$\frac{m^3}{s}$] til et medie og Δp_{tap} er trykktapet beskrevet som Darcy-Weisbach ligningen (Banks, 2012). Darcy-Weisbach ligning gir trykktapet i Pa og viser at

$$\Delta p_{tap} = \frac{\rho Q^2 L}{4\pi^2 r^5} C_{DW} \quad (2.7)$$

hvor ρ er tettheten til arbeidsvæsken [$\frac{kg}{m^3}$], L er lengden til røret [m], r er radiusen til tverrsnittet av røret [m] og C_{DW} er den dimensjonsløse Darcy-Weisbach konstanten som avhenger av væskens turbulens og rørets ruhet. For laminær strømning kan Darcy-Weisbach konstanten regnes ut som

$$C_{DW} = \frac{64}{Re} \quad (2.8)$$

hvor Re er Reynoldstallet som bestemmer om strømningen er turbulent eller laminær. Reynoldstallet er dimensjonsløst og kan regnes ut ved

$$Re = \frac{DQ}{\nu A} \quad (2.9)$$

hvor D er diameteren til tverrsnittet av røret [m], ν er kinematiske viskositeten til væsken [$\frac{m^2}{s}$] og A er arealet til tverrsnittet av røret [m^2]. I et sirkulært rør er væskestrømningen laminær dersom $Re < 2300$ (Banks, 2012). Dersom $2500 < Re < 4000$ er strømningen turbulent. Mellom 2300 og 2500 begynner strømningen å tendensere mot turbulent strømning.

2.3 Småskala vindenergi

Energiinnholdet i vind kan beskrives med tredje potens av vindhastigheten og derfor er vindhastigheten så viktig for å estimere eventuelt bruk av vindturbiner eller valg av vindturbin typer. Generatoren til en vindturbin omdanner den mekaniske energien fra rotorbladene til elektrisk energi. Effekten til en vindturbin kan beskrives i ligningen

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A U^3, \quad (2.10)$$

der C_p er effektkoeffisienten, ρ er tettheten til luft [$\frac{kg}{m^3}$], A er sveipearealet til rotorbladene [m^2] og U er vindhastigheten [$\frac{m}{s}$] (DNV og Risø, 2002). Effektkoeffisienten, C_p , er produktet av mekanisk virkningsgrad, elektrisk virkningsgrad og aerodynamisk virkningsgrad. Effektkoeffisienten er avgrenset av Betz kriterium som sier at $C_{pmax} = \frac{16}{27} \approx 0,59$. Det vil si at effektiviteten til en vindturbin må ligge mellom 0 og 0,59.

Siden vindhastigheten har stor betydning for energiproduksjonen er det viktig å se på vindmålinger fra området. Lufttettheten påvirker energiproduksjonen, som igjen blir påvirket av trykk og temperatur. Ved lave temperaturer vil lufttettheten øke;

$$\rho = \frac{p}{RT}. \quad (2.11)$$

Der er p er trykket i [Pa], R er den ideelle gasskonstanten og T er temperatur i Kelvin.

Trykket minker med økende høyde over havet og kan bestemmes for en høyde med

$$p_{luft} = p_0 e^{-(\rho_0/p_0)gh} \quad (2.12)$$

hvor p_0 er trykk på havnivå som er 101325 Pa, ρ_0 er lufttetthet på havnivå for 20°C som er $1,20 \frac{kg}{m^3}$, g er gravitasjonsakselerasjonen, $9,81 \frac{m}{s^2}$ og h er høyde over havet i meter (Tipler, 2008).

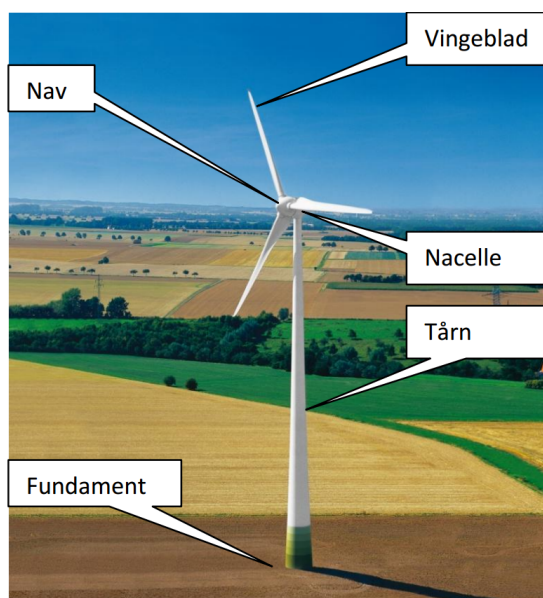
Med trykket regnet over regnes lufttettheten med

$$\rho = \frac{p_{luft}M}{RT} \quad (2.13)$$

hvor M er molekylærvekten til tørr luft som er 0,0289644 kg/mol, R er gasskonstanten på $8,314472 \frac{J}{mol \cdot K}$ og T er lufttemperatur i Kelvin (Olsen, 2013).

2.3.1 Komponenter i en vindturbin

En vindturbin består av en rotor som ofte har tre blad. Bladene driver en generator som leverer elektrisitet. Bladene er festet til et nav som utgjør rotoren. Rotoren er festet via hovedakslingen til nacellen som er en lukket kapsel med alle genererende komponenter. Større vindturbiner som er koblet til kraftnettet er avhengig av gir mellom rotor og generator. Det er for å holde rotorhastighet i generatoren på en frekvens på 50 Hz uansett vindhastighet (NORWEA, 2012).



Figur 2.5: Komponenter på en vindturbin (NORWEA, 2012)

Rotoren og nacellen er festet toppen av et tårn. Siden vindhastigheten stiger med høyden over bakken, bør tårnet være høyt.

2.3.2 Tap med ising

Ising er et begrep hvor is fester seg til bladene. Dette forekommer i områder med lave temperaturer og som ligger høyt over havet. Den økte vekten av is på bladene kan føre til lavere produksjon eller full stopp av turbinen. I tillegg kan det gi slitasje på blader og hovedaksling (NORWEA, 2012). Ising kan gi fare for iskast, hvor is løsner fra bladene.

2.4 Energikrav i bygg

I følge lovdata og byggt teknisk forskrift skal byggverk planlegges med hensyn på lavt energibehov og miljøriktig energiforsyning (Lovdata, 2010). Det betyr at et bygg skal ha så lavt varmetap som mulig. Beregning for varmetap kan gjøres ved

$$P_Q = uA\Delta T \quad (2.14)$$

hvor u er u -verdi ($\frac{W}{m^2K}$) eller varmegjennomgangskoeffisient som angir en bygningsdels varmeisolerende evne per areal. A er overflaten til en bygningsdel i m^2 og ΔT er temperaturforskjellen mellom innsiden og utsiden av bygningsdelen.

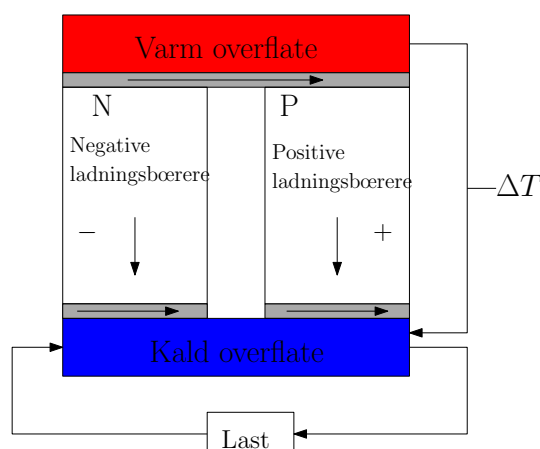
2.5 Termoelektrisk generator (TEG)

På hytter og fritidsboliger som ikke er koblet til kraftnettet er vedovn et godt alternativ for oppvarming. For full utnyttelse av varmen fra ovnen kan det brukes en Termoelektrisk generator (TEG) som omdanner termisk energi til elektrisk energi. En TEG jobber stille, er kompakt og har ingen bevegelige deler og krever derfor lite vedlikehold. Med lav effektivitet og produksjon, er den ikke den største bidragsyteren til et hverdagsforbruk. På en annen side er den en sikker energikilde fordi den ikke er avhengig av klimatiske forhold som sol og vind.

En TEG utnytter Seebeckeffekten. Seebeck oppdaget at materialer med frie ladningsbærere kan omdanne varmeflyt til elektrisk energi (Kjeldstad, 2012). Dette skjer fordi elektriske ladningsbærere vil diffundere raskere fra den varme til den kalde siden. Dette fører til høyere konsentrasjon av frie ladningsbærere på den kalde siden som gir et elektrisk felt. TEG genererer elektrisitet ved å sette en termoelektrisk modul hvor to materialer med negativ og positive ladningsbærere er plassert ved en kilde med høy temperatur på den ene siden og et sluk med lav temperatur på den andre siden av modulen. Når varme flyter fra varm til kald side, flyter også frie bærere (elektroner og hull) i halvlederen til den kalde siden. Spenningen (V) er proporsjonal med temperaturforskjellen (ΔT) ganget med Seebeckkoeffisienten.

$$V = \alpha \Delta T \quad (2.15)$$

Seebeckkoeffisienten beskriver hvor mange Volt hver Kelvin i temperaturforskjell kan genereres når to ulike materialere med ulik temperatur settes sammen. En elektronledende halvleder (n-type) og hull-ledende halvleder (p-type) føres sammen elektrisk i serie og termisk i parallell, som vist i figur 2.6. Spenningen gir en strøm som driver en last koblet til modulen. Jo flere PN-koblinger som er koblet i serie desto høyere spenning blir det. En god termoelektrisk modul har en Seebeckkoeffisient på mellom $100 \mu V/K$ og $300 \mu V/K$ (Snyder, 2008).



Figur 2.6: En termoelektrisk modul som består av to materialer som har positive og negative ladningsbærere koblet i serie. Den varme og kalde overflaten gir en temperaturforskjell ΔT . Varmen sender ladningsbærerne til den kalde siden som setter opp et elektrisk felt som gir en spenning. En strøm driver en last i en ekstern krets.

Materialer for positiv og negativ ladningsbærere må ha høy elektrisk ledningsevne, σ , og lav varmeledningsevne, κ , for være gode termoelektriske materialer. Elektrisk ledningsevne er avhengig av ladning, konsentrasjon og mobilitet, som igjen er avhengig av temperatur, båndgap og spredningsmekanismer (Kjeldstad, 2012). Effektiviteten til en TEG er relativt liten og er bl.a. avhengig av temperaturforskjellen mellom varm overflate og kald overflate til modulen. Som alle varmemotorer kan den aldri bli høyere enn en Carnotsyklus ($\Delta T/T_h$) og er derfor beskrevet som

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_h} \cdot \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + T_c/T_h} \quad (2.16)$$

der ZT er effekttallet og T er gjennomsnittstemperaturen av varm og kald overflate. Dersom begge materialene har lik κ , σ og α blir effekttallet for hvert materiale

$$zT = \frac{\alpha^2 \sigma T}{\kappa}. \quad (2.17)$$

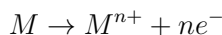
Et materiale som skal være i kommersiell bruk bør ha en $zT > 1$ (Kjeldstad, 2012). Som materiale bruker TEG ofte halvledere som bismut telluride (Bi_2Te_3) fordi det tåler høye temperaturer opp til 260 °C over lengre tid og maks 380 °C (Champier et al., 2011).

Det er likevel ikke oppgitt hva effektiviteten til en TEG for kommersiell bruk. Forskning viser at de kan oppnå mellom 15-20 % effektivitet (Snyder and Ursell, 2003).

2.6 Batterilagring

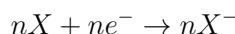
Lagring i form av batterier bruker kjemisk energi generert av elektrokjemiske reaksjoner. Dette skjer ved at to elektroder senkes i en elektrolytt. Når en last er koblet til terminalen av cellen skjer det elektronoverføring fra den ene elektroden til den andre gjennom en påført krets. Hver battericelle har en anode, katode, separator og en elektrolytt. Anoden er den positive elektroden under utlading (last) og negativ under lading. Katoden er den negative elektroden under utlading (last) og den positive under lading. På grunn av forskjellig ladning i elektrodene gir det et potensial i spenning. Den aktive massen er betegnelsen på materialet i elektroden som tar del i den elektrokjemiske reaksjon som lagrer/leverer elektrisk energi. Elektrodene må være plassert så nærme hverandre som mulig for å minst mulig intern resistans. Separatoren er tynn, porøs, og av materiale med isolerende egenskap for å unngå kortslutning mellom elektrodene og at elektronen ikke går gjennom elektrolytten i stedet for den påførte kretsen. Porene til separatoren er fylt med elektrolytt slik at ionene kan overføres gjennom separatoren fra elektrode til elektrode. Hver elektrode gjennomgår en halvreaksjon.

Negativ elektrode:



Hvor M er et metall og e^{-} er et elektron.

Positiv elektrode:

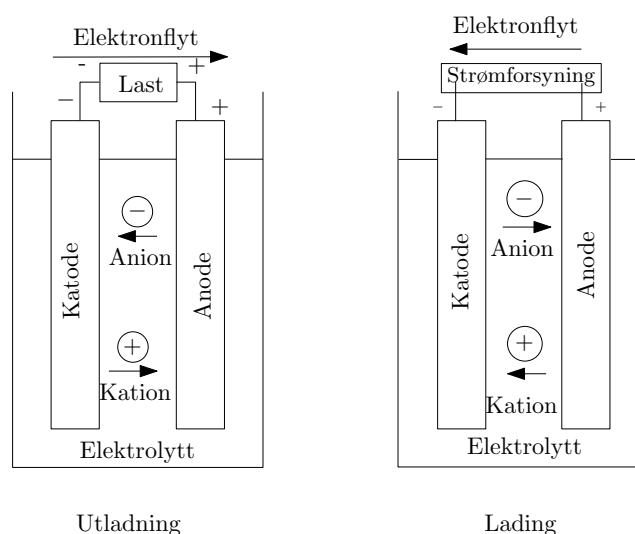


Hvor X er et stoff med oksideringsegenskaper.

Under utlading vil negative ioner (*anioner*) trekkes mot den negative elektroden og positive ioner (*kationer*) trekkes mot den positive elektroden som vist i figur 2.7. Dette reverseres under opplading av batteriet. Under utlading skjer det en oksidering hos den negative elektroden som frigjør elektroner, den positive elektroden får en reduksjon som tar opp elektroner.

Metaller som har gode egenskaper for å brukes som negative elektrode i en battericelle er sink (Zn), kadmium (Cd), bly (Pb) og litium (Li) (Dell and Rand, 2001). Den positive elektroden består som regel av et oksid av mangan (MnO_2), nikkel ($NiOOH$) eller bly (PbO_2).

For lagring av større mengder med energi er det tre typer oppladbare batterier som er mye brukt. De er blyakkumulator (bly-syre batteri), nikkel batterier og litium-ion batterier.



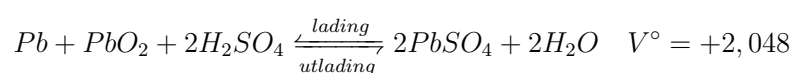
Figur 2.7: Skjematisk tegning av et batteri ved opplading og utlading

Med ulike egenskaper er disse egnet til ulikt forbuk.

2.6.1 Blyakkumulator

Blyakkumulatoren er av den eldste typen av oppladbar batteriteknologi som brukes i dag. Katoden består av blydioksid (PbO_2), anoden er bly (Pb) og elektrolytten er svovelsyre (H_2SO_4). Energitettheten til blyakkumulator ligger rundt 30 Wh/kg med en effekttetthet på rundt 170 W/kg (Dell and Rand, 2001).

Den totale cellereaksjonen er:



hvor V° er standard cellespenning. Den er ikke lik spenningen under last som vil bli lavere på grunn av polarisasjonstap ved elektrodene, og recessive tap i ledere, elektrolytten og aktiv masse (Dell and Rand, 2001). For en 12 V blyakkumulator er ladespenningen på 14,4 V.

Blyakkumulator har høy energieffektivitet mellom 85 og 90 %, er lett å installere og krever lite vedlikehold (Hadjipaschalis et al., 2009). Selvutladingen til blyakkumulator er lav på rundt 2 % av kapasiteten per måned ved vanlig romtemperatur. Dette gjør det ideelt for lagring over lengere tid. Blyakkumulatoren er populær på grunn av billig teknologi, høy spenning ved åpen krets og at den er robust.

På en annen side er levetiden og ladingssyklusen til en blyakkumulator lav med rundt 1200 og 1800 lading/utladingssykluser eller 5-15 års levetid (Hadjipaschalis et al., 2009).

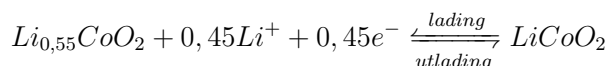
Dette blir påvirket av dyputlading og temperaturen. Full utlading kan skade elektrodene og reduserer så levetiden. Høy temperatur kan øke batterikapasitet men redusere levetid og energieffektivitet. På grunn av den lave gravimetrisk energitettheten gir det begrensninger for bruk hvor vekt spiller stor rolle. For stasjonært bruk har ikke det så mye å si, slik som på et hyttefelt.

2.6.2 Nikkelbatteri

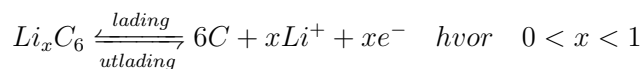
De vanligste nikkelbatteriene er nikkeldkadmium, nikkelmetallhydrid og nikkelsink. De tre nevnte typene har samme materiale i positiv elektrode og elektrolytt. Den målte spenningen for batteriene er 1,2 V (1,65V for Nikkelsink). Energitettheten til nikkelbatterier er høyere enn blyakkumulatorer på rundt 50Wh/kg for nikkeldkadmium, 80Wh/kg for nikkelmetallhydrid og 60 Wh/kg for nikkelsink (Hadjipaschalis et al., 2009). Antall ladesykluser for nikkelbatterier er også høyere enn for blyakkumulator, og ligger på mellom 1500 og 3000. På en annen side kan kostnadene for nikkelbatterier være 10 ganger høyere og effektiviteten lavere enn for blyakkumulator. I tillegg har nikkelbatterier en større selvutlading.

2.6.3 Litiumionbatteri

Litium-ion celler består av en negativ elektrode av karbon og en positiv elektrode av lett litium (Dell and Rand, 2001). I en organisk elektrolytt flyter litium-ioner frem og tilbake mellom elektrodene ved opplading og utlading. Dette gir en veldig høy cellespenning på maksimum 4 V, avhengig av hva slags stoff som elektrodene består av. I kommersielle litium-ion celler er det koboltoksid (CoO_2) i den positive elektroden. Da blir den positive elektrodereaksjonen



hvor $0,45Li^+$ er maks andel litium-ioner som kan komme fra $LiCoO_2$. Koboltoksid er det dyreste alternativet som positiv elektrode. Et billigere alternativ er nikkelloksid (NiO_2) eller manganoksid (MnO_2). Den negative elektroden består som regel av grafit eller koks. Karbon som negativ elektrode er fordelaktig fordi det er det lett å få tak i, er relativt billig og har lav masse. Videre absorberer det lett litium, og med rett mengde litium med rett spenning gir det en cellespenning som starter på 4 V fullt ladet, men 3 V ved utlading. Den negative elektrodereaksjonen blir da



Med den høye cellespenningen har litium-ion batterier en høy energitetthet. Derfor brukes

de som oftest i elektronikk der plassbesparelse og lav masse er ønskelig. Fordelene med litium-ion celler oppsummert, er

- høy gravimetrisk energitetthet ~ 125 Wh/kg og volumetrisk energitetthet ~ 300 Wh/dm³
- høy gjennomsnittlig driftsspenning på 3,6 V
- bra lading og utladings karakteristikk med mer enn 500 sykluser
- lav selvutlading
- ingen minneeffekt (dårligere kapasitet ved delvis utlading pga at batteriet husker lavere kapasitet)
- tryggere enn litium-metall celler
- hurtig lading: 2-3 timer.

I forhold til blyakkumulator er litium-ion batterier kostbart og brukes mest som mindre celler. De brukes derfor ikke ofte til lagring av stor mengde energi, men teknologien er stadig i utvikling.

2.6.4 Batterikapasitet

Dersom et batteri er utladet ved en konstant strøm er lagringskapasiteten produktet av den konstante strømmen og antall timer den kan stå å levere til den når en avkuttingspenning. Dersom strømmen ikke er konstant, som er mer reelt, er batteriets kapasitet lik integralet for strømmen over utladingstiden. Dette måles i Ampere-hour [Ah] som i SI enhet er lik 3600 Coloumb. Kapasiteten er avhengig av temperaturen, alder til batteriet og utladingshastigheten. Desto høyere hastighet desto lavere kapasitet. Et batteri med kapasitet på 100 Ah som lades ut i 5 timer, vil få lavere kapasitet dersom det lades ut på en halv time. I tillegg vil spenningen til batteriet falle med høyere utladingshastighet på grunn av polarisasjon. Dette vil påvirke energien levert fra batteriet fordi

$$Wh = V * Ah. \quad (2.18)$$

Derfor leveres batterier vanligvis med en nominell eller merkekapasitet under spesifikke utladingsforhold. Som oftes er det 5 timer ved 25 °C til en bestemt utladingsspenning hvor batteriet kobles ut. C-rate brukes ofte for merkekapasiteten, der C/5 betyr utlading over 5 timer og 2C betyr kapasitet med utlading over en halv time.

Depth of discharge (DoD) er hvor mye som er utladet av et batteri i forhold til kapasiteten med samme utladingshastighet. State of Discharge er hvor mye som er igjen av batteriet ved videre utlading, SoC = [100 - (%DoD)]% .

2.6.5 Gjenoppliving av brukte blyakkumulatorer

Under utlading på blyakkumulatorer vil det dannes et produkt av elektrolytten, en sulfatering, som legger seg som et finkrystallisk belegg på elektrodene. Dette isolerer og

blokkere porene i den aktive massen og minsker levetiden til batteriet. Blyakkumulator som utsettes for ufullstendig lading over tid vil oppleve at sulfateringen vil vokse i volum. Dette vil sprenges på separatoren og cellekar som deformeres. Vanligvis vil dette bli tilbakeført under opplading, men over lenger tid vil sulfateringen bli så fast at batteriet blir sulfatert. For å motvirke sulfatering og desulfatere batterier kan det kobles til en komponent som tilfører strømpulser 5000 ganger i sekundet mot den positive og negative elektroden (Dalløkken, 2011). Denne komponenten kalles Megapulse FAB og er utviklet av en norsk produsent, Kleven Trading. Gjenoppliving av brukte batteriene istedet for erstatning med nye batterier vil gi betraktelig lavere kostnader.

2.7 Kraftelektronikk i frittstående hybridanlegg

2.7.1 Regulator

Energiforsyningsanlegg som benytter batteri som energilager trenger en regulator som forhindrer overlading, dyputlading og sørger for sikker og optimal drift til enhver tid. Regulatoren har en innebygd batterilader som kan forlenge levetiden til batteriet og sørger for sikker strømforsyning. I tillegg kan den ha en lastregulator som kobler ut forbruk før batteriet utlades.

I tillegg til å sørge for riktig drift av batteriet kan en regulator ha *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) for optimal drift av en PV-modul. Figur 2.1 viser at maximum power point (MPP) sørger for maksimal effekt fra en PV-modul. Figur 2.2 viser at ved gitt innstrålt effekt og temperatur vil gi et MPP hvor modulen vil levere maksimal effekt. Temperaturen og innstrålingen på et PV anlegg vil aldri være konstant på grunn av variasjoner i værforholdet. Et PV anlegg vil levere effekt ut ifra lastlinjen og kobles en last direkte til PV anlegget, vil anlegget arbeide ut ifra lasten og ikke i MPP. For å spore PV anleggets MPP uten hensyn til værforhold og lastlinje bør det kobles til en MPPT mellom PV anlegget og lasten. Denne funksjonen gjør at solcellemodulen alltid tilpasser seg sin maksimale effekt. Det vil redusere modulspenningen til litt over batterispennning, og strømmen inn til batteriene vil øke.

2.7.2 Inverter eller DC-DC omformer

Omformere i kraftelektronikk sørger for å kontrollere flyten av effekt mellom en elektrisk kilde og en last, slik at lasten er forsynt med riktig strøm, spenning og/eller frekvens som den trenger. Dette bør skje med minst mulig effekttap eller høyest mulig effektivitet. I et system hvor det antas at det vil kun være behov for likestrøm bør en DC-DC omformer brukes. Den vil sette ned eller øke utgangsspenningen, alt ettersom det er en step-up eller step-down omformer. En omformer fra Eltek er oppgitt med en effektivitet på 96 % med 200 VDC input og koster rundt 320 USD som er rundt 2000 NOK (Elt).

2.7.3 Ohmske tap i ledninger

Ledninger mellom elektriske kraftkomponenter vil ha tap i W på grunn av motstanden i ledningsmaterialet. Tapet kan beskrives med ligningen

$$P_{kabel} = I_{kabel}^2 R_{kabel} \quad (2.19)$$

hvor I_{kabel} er strømmen i ledningen i [A] og R_{kabel} er motstanden i [ω]. Motstanden kan beregnes med

$$R_{kabel} = \rho_{kabel} \frac{l}{A} \quad (2.20)$$

hvor ρ_{kabel} er ledningsevnen til materialet til ledningen i [ω/m], l er lengden til ledningen i [m] og A er tversnittarealet i [m^2] (Paynter and Boydell, 2005).

3 | Ressursgrunnlag

Dette kapitlet vil ta for seg hvor data for beregninger til strømforbruk, sol- og vind-energiproduksjon er hentet fra. I tillegg vil det se på grunner til hvorfor de er brukt.

3.1 Vurdering av forbruk i hytter og fritidsboliger

3.1.1 Tidligere forskning

I 2009 gjorde Statistisk sentralbyrå en undersøkelse på elektrisitetsforbruk i hytter, og fant ut at det var 758 kWh per hytte i 2009 (Bøeng, 2009). Trenden fra målinger helt fra 1990 viser at strømforbruket har økt fra 385 kWh per år per fritidsbolig til nesten det dobbelte de siste 20 åra.

I 2003 ble det utarbeidet en rapport om energi- og miljøriktig fritids- og turistutbygging (Christensen, Tom og Bak H, Unn og Gurigard, Kjell, 2004) av Oppland, Hedmark og Buskerud Fylkeskommune sammen med NVE, Enova og Miljøverndepartementet. Ønsket med denne rapporten var å gjøre tiltak mot overforbruk av energi på hyttene som de så som en økende trend. I den rapporten ble det gjort effekt og energimåling av utvalgte hyttefelt som var koblet til kraftnettet. I denne rapporten viser de at det gjennomsnittlige forbruket fra 1994-2001 hadde økt fra 3965 kWh per kunde per år til 4761 kWh.

Disse tallene vil likevel ikke være så representative for denne oppgaven siden dette er målinger gjort fra hytter som er koblet til kraftnettet. Hytter koblet til nett vil ha et høyere forbruk fordi mye av elektrisitetsforbruket vil gå til oppvarming. En annen grunn kan være at brukere av hytter som er tilkoblet kraftnettet ikke har et forhold til energisparing slik som i husholdningen. Brukerne vil ikke se på det som dyrt med den strømmen de bruker på ei hytte fordi den er så liten i forhold til i husholdningen. Denne oppgaven vil se på andre oppvarmingsløsninger uten bruk av elektrisitet.

3.1.2 Egen vurdering

Ettersom det ikke finnes konkrete tall på et typisk forbruk hytter som passer til Nognilosen gjøres det en vurdering med energiforbruk fra typiske laster i en hytte. Tallene er hentet fra ulike hytteproduktleverandører og andre produktleverandører. Ved å multiplisere med antall timer eller antall ganger de blir brukt og summerer har man forbruket i Wh for et døgn. Tabell 3.1 viser ulike hyttelaster, hva slags forbruk de har eller hvor mye energi som forbrukes for én gang.

Tabell 3.1: *En antagelse av energiforbruk til en hytte. Av hvitevarer er det sett på kun de som har høyest energimerking. Stekeovn vil antagelig bruke gass. Til lys brukes kun LED pærer og med ruter menes internettruter. Lader er diverse lading av telefon, PC og nettbrett.*

| Laster | Effekt (W) | Forbruk (Wh) | Leverandør/kilde |
|----------------------------|------------|--------------|---------------------|
| Kjøleskap | 25 | | Sunwind DC 12 138 l |
| Stekeovn | Gass | | |
| Oppvaskmaskin ⁱ | | 750 | Siemens A+++ |
| Vaskemaskin ⁱ | | 750 | Siemens A+++ |
| Kjøkkenapparater | 1500 | | Moccamaster |
| Støvsuger ⁱⁱ | | 24 | Electrolux |
| Lys (10stk 3W LED) | 30 | | Sparelys |
| TV (12V LED) | 20 | | Finlux |
| Ruter | 60 | | ICE nett |
| Lader | 20 | | |
| Vannpumpe (trykkvann) | 140 | | Aquatec hyttepumpe |

3.2 Klimadata

3.2.1 PVGIS

Når man skal estimere PV panel og solfangere som bidrag til levert varme og elektrisitet bidrag er det viktig å se på solinnstråling på lokasjonen. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) er en kartbasert database med solinnstråling og kan brukes til vurderinger av elektrisk generering fra PV systemer i Europa, Afrika og Sør-Vest Asia. For Europa har PVGIS et månedlig gjennomsnitt for daglig global- og diffusstråling fra

ⁱDe fleste oppvaskmaskin og vaskemaskin krever innlagt oppvarmet vann, og vekselspanning på 230 V. Det vil derfor være behov for en inverter mellom batteri og last. Det finnes likevel oppvaskmaskiner og vaskemaskiner som bruker 12 V men det er ikke tatt med i vurdering.

ⁱⁱDet er sett på støvsuger som går på batteri forbruket er hentet fra [Energimyndighetene \(2010\)](#).

566 metrologiske stasjoner distribuert over hele regionen ([Joint Research Centre, 2012](#)). Målingene er fra perioden 1981-1990. PVGIS er gratis og er tilgjengelig for alle. I Norge har PVGIS kun målinger fra én målestasjon. I tillegg til å gi solstrålingsdata tilbyr PVGIS en kalkulator for solinnstråling på optimal vinkel og 90° vinkel. PVGIS oppgir en årlig innstråling på horisontal flate på 890 kWh/m².

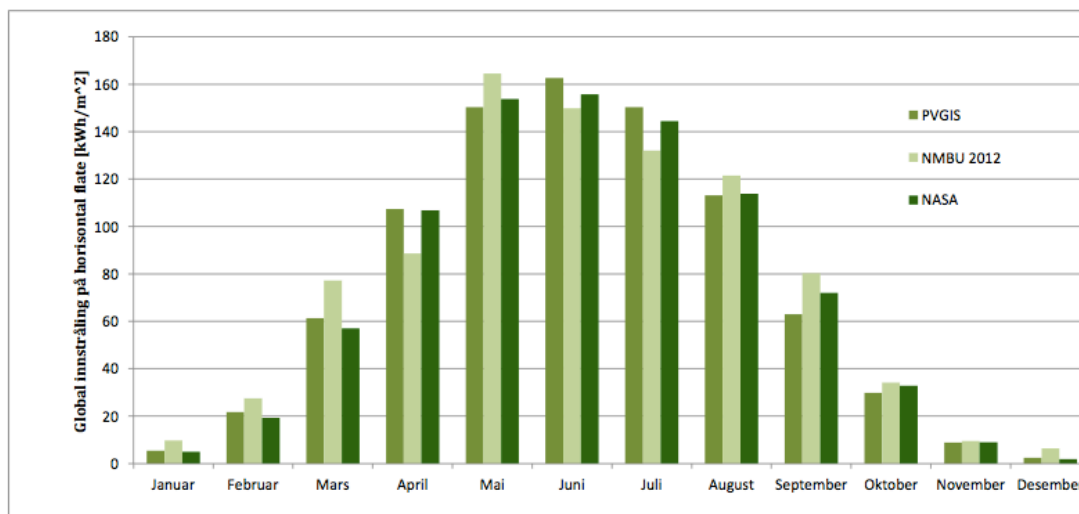
3.2.2 Værdata fra NASA

NASA bruker satellitter og værmodeller som bidrar til solstrålingdata over hele verden. I 2008 utga de datasett for 22 års periode (juli 1983 til juni 2005) med månedlige og årlige gjennomsnitt av solstråling. Datasettet er laget for et rutenett av 44 016 regioner, med en oppløsning på én lengdegrad og én breddegrad. Dette er gratis og ligger tilgjengelig på nettet.

3.2.3 Værstasjon på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (FAGKLIM)

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) i Ås har foretatt kontinuerlig meteorologiske observasjoner siden 1859. Observasjonene er blant de lengste i Norge. Stasjonen kalles FAGKLIM som står for feltstasjon for agroklimatiske studier. FAGKLIM er i dag et fullautomatisert feltlaboratorium utstyrt med omfattende måleutstyr for registrering av solinnstråling og andre meteorologiske observasjoner. For å måle globalstråling inn på horisontal flate, bruker værstasjonen på NMBU et pyranometer.

Figur 3.1 viser en sammenligning av solinnstråling fra alle tre databasene nevnt ovenfor. Selv om solinnstrålingsdataene fra NMBU (FAGKLIM) er fra Ås som har en breddegrad på 59 °, viser sammenligningen at satellittbaserte beregninger ikke avviker stort fra reell måling av solinnstråling i Norge. PVGIS oppgir at årlig global solinnstråling på horisontal flate er 890 kWh/m² for Nognilloen.



Figur 3.1: Sammenligning av global solinnstråling på horisontal flate fra tre ulike kilder for hver måned. PVGIS og NASA bruker satellitter og tilnærminger for Nognilloen. NMBU (FAGKLIM) bruker dagsmålinger fra Ås.

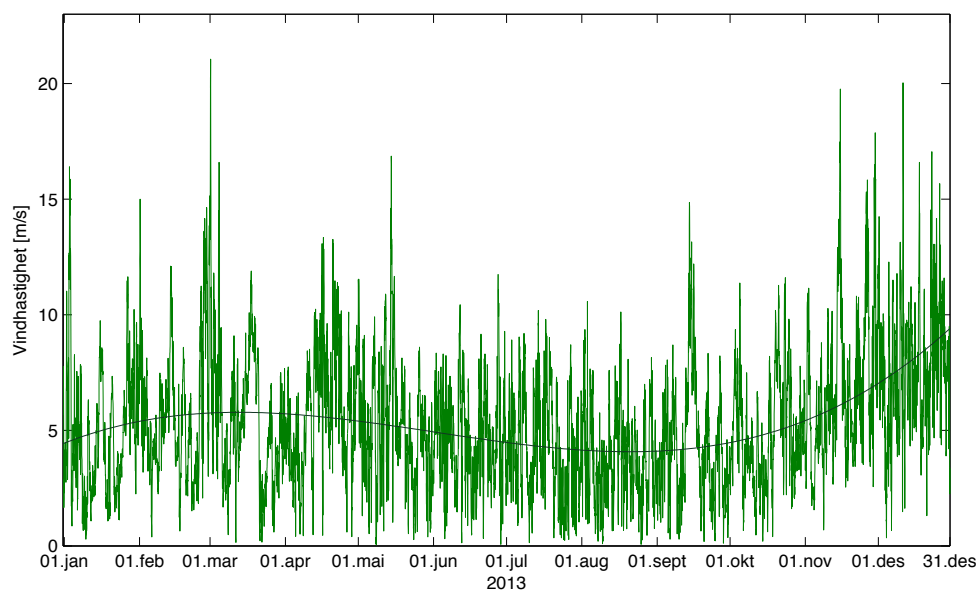
3.2.4 Bruk av vindressurskart i Norge for vindmålinger på Nognilloen

Kjeller Vindteknikk jobber med vindmåling og vindanalyse i Norge og Sverige. De har målinger fra målemaster de selv installerer og intrumenterer, i tillegg utfører de målinger med LIDARⁱ og SODARⁱⁱ. På oppdrag fra NVE har de laget et vindressurskart for Norge med å bruke en mesoskalamodell kalt Weather Research and Forecasting (WFR) (Byrkjedal, 2009).

Data fra Kjeller Vindteknikk som er brukt i denne oppgaven er en simulering for Nognilloen fra de siste 14 årene med en oppløsning på 4 km x 4 km. Grunnen til at denne simuleringen er brukt er fordi den gir målinger fra 2013 som er det året som brukes for å finne vindturbinproduksjon i denne oppgaven. Dataene er oppgitt med vindhastigheter med tilhørende vindretning for 10, 20, 40, 60 og 100 høydemeter over bakken. Siden det blir sett på småskalavind i denne oppgaven vil kun data fra 10 meters høyde bli brukt. Data for 10 meters høyde fører med seg større usikkerheter i og med at topografien ikke er godt beskrevet i modellen. Figur 3.2 viser vindhastigheter for Nognilloen i 2013 med gjennomsnittsverdier for hver time. Gjennomsnittshastighet for vind på Nognilloen i 2013 var 5,28 m/s.

ⁱLIDAR er et optisk fjernmålingsinstrument som sender laserstråling i bølger og måler spredt returrerende stråling.

ⁱⁱSODAR er et fjernmålingsinstrument som sender et kort akustisk sinus puls som lytter etter returrerende signaler for en tidsperiode. Signalene blir spredt tilbake av turbulens i vinden.



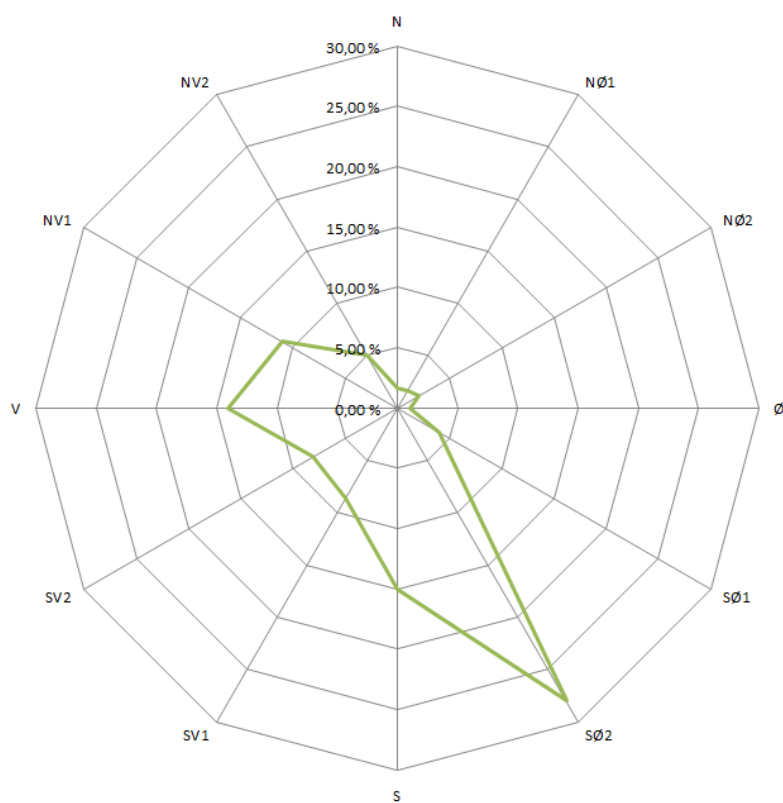
Figur 3.2: Vindhastighet for Nognilloosen i 2013. X-aksen viser er oppløst i timer i året hvor datoene på akse er for kl 12:00 på dagen. Y-aksen viser gjennomsnittlig vindhastighet for hver time i en høyde på 10 meter. Figuren viser også en 3. grads tilpassing som viser at gjennomsnittshastighet for hele året ligger på rundt 5 m/s.

Vindretning brukes til plassering av vindturbin for optimal produksjon. I dataene fra Kjeller Vindteknikk er det oppgitt vindretning i grader, der nord er 0° og sør er 180° . Dette forklares i tabell 3.2.

Tabell 3.2: Forklaring av vindretning i grader og navigasjon.

| Grader $^\circ$ | Retning |
|-----------------|-------------|
| 345 - 15 | Nord |
| 15 - 45 | Nord-Øst 1 |
| 45 - 75 | Nord-Øst 2 |
| 75 - 105 | Øst |
| 105 - 135 | Sør-Øst 1 |
| 135 - 165 | Sør-Øst 2 |
| 165 - 195 | Sør |
| 195 - 225 | Sør-Vest 1 |
| 225 - 255 | Sør-Vest 2 |
| 255 - 285 | Vest |
| 285 - 315 | Nord-Vest 1 |
| 315 - 345 | Nord-Vest 2 |

Figur 3.3 viser fordeling av vindretning for vindhastigheter. Der ser man at det kommer vind fra sør-øst og til nord-vest, mest vind fra sør-øst på $135-165^\circ$.



Figur 3.3: Hyppighet av vindretninger for Nognillosen i 2013. Figuren viser at vinden på Nognillosen kommer fra sør-øst til nord-vest. Over 25 % av vindhastighetene kom fra sør-øst i 2013.

4 | Metodikk

Forbruk med ulik grad av komfort kan deles inn i to ytterpunkter av hytteforbruk. Hyttestandarden i Nognilloen vil da ligge et sted mellom ytterpunktene. Det ene ytterpunktet er hvor hytta har omtrent lik standard som i husholdningen, og det andre ytterpunktet hvor hytta har en primitiv standard med moderat bruk av strøm. Man antar at Nognilloen vil ha hytteeiere som krever innlagt vann, enkel oppvarming og mulighet for bruk av moderne utstyr som blant annet internett, TV og nettbrett. Likevel vil hyttefeltet ha ulike type eiere som vil bruke hytta med forskjellig forbruk og varierende frekvens av persondøgn. Dette krever en metodikk for å dimensjonere for både ulikt forbruk og frekvens av hyttebesøk. Derfor vil dette kapittelet ta for seg ulike driftsprofiler av hytter. Videre vil det se på en mulighet for frostsikring, deretter se på energieffektive løsninger for oppvarming. Til slutt vil kapittelet bruke oppdaterte nøkkeltall for dimensjonering og kostnader for teknologier som PV, mikrovindturbin, termoelektrisk generator og batterier.

4.1 Ulike driftsprofiler og bruksmønstre for hytta

I mål om å finne et driftsmønster på hyttefeltet antas det to ytterpunkter av forbrukere av hytta. Det ene ytterpunktet er en forbruker, A, som vil ha høy komfortstandard, den andre, B, vil ha en lavere komfortstandard. Avsnittene nedenfor vil forklare hva som menes høy og lav komfortstandard. I tillegg vil det bli sett på ulike bruksmønstre med tre scenarier. Dette er gjort etter idé fra samtale med Gunnar Vist som er representant fra prosjektledelsen i Arena Smartgrid.

A - Hyttebruker med høy standard

I tabell 3.1 er det gjort en vurdering på hva slags hytteprodukter som er forventet av enkelte på ei hytte. Hyttebruker A vil ønske å bruke alle disse produktene på hytta. Det antas at hyttebruker A ønsker en komfort ikke ulikt sin egen husholdning. Likevel er det være begrenset hvor mye ei hytte kan ha likt forbruk som i egen husholdning når det er begrenset med strømtilgang.

B - Hyttebruker med lav standard

På den andre siden av skalaen vil hyttebruker B befinne seg. Hyttebruker B defineres som en som ønsker å bevare den primitive livsstilen på hytta, og velger å ikke ha alle produkter som er nevnt i tabell 3.1. I tillegg vil brukeren være forsiktig med bruk av produktene. Mulig har hyttebrukeren et ønske om et minste utslipp av uønskede klimagasser fra fossilt brensel.

Scenario 1 - Langhelg i tre dager (heretter brukes *Langhelg* for dette scenarioet)

Ofte vil folk ha muligheten til å benytte seg av hytta i helgene. Ettersom hyttefeltet ligger omtrent en time fra Trondheim vil dette være en mulighet i dette tilfellet. I denne oppgaven er langhelgen antatt å være når som helst på året, slik at det er estimert for et vinterforbruk som er det høyeste forbruket som vil være. Det er i tillegg gjort noen praktiske antagelser som at vaskemaskinen ikke vil bli brukt pga et kort opphold.

Scenario 2 - Jul og påske i en uke (heretter brukes *Påske* for dette scenarioet)

Som oftest vil ei hytte bli brukt i påsken og jula. I jula vil det være høyest forbruk ettersom det antagelig er kjøligere og mørkere dager. Ettersom det er en ukes opphold forventes det at blant annet en vaskemaskin vil bli brukt.

Scenario 3 - Sommerferie i tre uker (heretter brukes *Sommer* for dette scenarioet)

Scenario 3 beskriver bruk av ei hytte om sommeren, som vil være den lengste perioden av alle scenarioene. Det er antatt at sommeren vil gi lavere forbruk på grunn av mildere vær og lysere dager. I denne antagelsen av bruksmønster og driftsprofiler er det ikke tatt hensyn til brukere som vil bruke hytta over lenger tid enn en uke resten av året om sommeren, med andre ord er det ikke tatt hensyn til f.eks pensjonerte brukere.

Tabell 4.1 viser hvordan driftsprofilene og bruksmønstrene er satt opp mot hverandre. Den viser hva slags antagelser som er gjort for estimering av forbruket til de ulike. Dette vil bli vist i resultatdelen.

Tabell 4.1: En forklaring på antagelser gjort ved estimering av forbruket til hyttebruker A og B ved langhelg, påske og sommerferie.

| Produkter | Langhelg | Påske | Sommer |
|---|---|---------------------------------|---|
| A Kjøleskap ⁱ | ÷ Vaskemaskin | Bruk av vaskemaskin | Antar mindre bruk av lys og TV pga lysere årstid og andre aktiviteter |
| Oppvaskmaskin | Bruker oppvaskmaskin én gang om dagen | Like antagelser som til venstre | |
| Vaskemaskin | Høyt forbruk av lys og TV | | |
| Støvsuger | Høyere forbruk av vannpumpe | | |
| Kjøkkenmaskiner | | | |
| LEDlys og TV Ruter og lader Vannpumpe | | | |
| B Kjøleskap ⁱ | Bruker færre apparater enn A | Like antagelser som til venstre | Likt som over men fortsatt mindre forbruk enn A |
| Støvsuger LEDlys og TV | ÷ Støvsuger Lavere forbruk av lys, TV, internett og vann | Bruker støvsuger | |
| Ruter, lader | Antar likt forbruk av lading som A | | |
| Vannpumpe | | | |

Effekt eller energiforbruket til hytteapparatene blir enten oppgitt i W for hver gang de brukes eller i Wh. Som oftes oppgir de maksimum og minimum forbruk fordi det endres ved ulike forhold som temperatur og ved oppstart. For å forholde seg til ett tall brukes gjennomsnittet til maks og min. I vurderingen av forbruket regnes alt om til kWh der energiforbruket i Wh blir multiplisert med antall ganger brukt og effektforbruket i W blir multiplisert med antall timer det blir brukt.

Eksempel med 3 W lyspære som står på i tre timer:

$$3W * 3h = 9Wh$$

ⁱAntar at kjøleskap står på under hele oppholdet for begge type brukere.

4.2 Frostsikring av hytte

Frostsikring av hytta er essensielt for god komfort og enkel drifting av hytta. Dette bør gjøres uten bruk av mye elektrisk energi til oppvarming. Som en løsning vil oppgaven se på et godt isolert rom i hytta for lagring av husholdningsvarer som er sensitive for frost og hvor alle komponenter i et vannanlegg befinner seg. Dette rommet kan i tillegg brukes som et teknisk rom. Dette kan gjøres ved å bore en brønn ned i berggrunnen for å hente varmt vann som sirkulerer i veggene til rommet. Med dette vannet bør rommet overholde en temperatur på rundt 5 °C. For å finne ut hvor mye energi som trengs, finner en overflaten til hele rommet i m². Som et eksempel har rommet en størrelse på 3 m bredde, 2 m lengde og 2,5 m høyde.

Isolasjon for rommet dimensjoneres for en kontinuerlig temperatur inne i ei hytte på $T_h = -15^\circ\text{C}$. Inne i det isolerte rommet bør temperaturen være på $T_5 = 5^\circ\text{C}$. Dette gir en temperaturforskjell $\Delta T = 20\text{ K}$. En god isolert vegg med 150 mm tykkelse vil ha en u -verdi på $u = 0,25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ med tall hentet fra figur B.1. For finne ut hvor mye energi i form av varme som lekker ut av rommet brukes ligning 2.14.

For å holde temperaturen i rommet konstant på 5 °C, trengs det en ekstern varmekilde. Ved bruk av geotermisk varme kan varme fra brønn fraktes i vann som pumpes i rør i veggene til rommet. Dersom rørene i veggene holder en temperatur på 5 °C antas det at rommet også vil holde samme temperatur. Videre går vannet i rørene ned i brønnen på 5 °C som varmer opp vannet til 8 °C. Med den temperaturen pumpes vannet opp igjen til rørene i veggene til rommet. For å finne ut hvor stor volumstrøm av vann som trengs for å holde rommet på 5 °C brukes ligning

$$Q = \frac{P_Q}{\Delta T c_p} \quad (4.1)$$

hvor P_Q er energi i form av varme som lekker ut av rommet, ΔT er temperaturforskjellen på vannet som sendes ned i brønnen og kommer opp til rommet, og c_p er spesifikk varmekapasitet til vann.

4.2.1 Brønndybde, naturlig sirkulasjon og varmeoverføring

En fjellbrønn har en temperaturgradient på 1-3 K per 100 m (Banks, 2012). Temperaturøkningen skjer først etter 50 m dybde. For å øke temperaturen på vannet fra 5 til 8 °C antas det at det holder å bore 150 meter ned i fjellgrunnen. Et kollektorrør med stor diameter vil kunne gi naturlig konveksjon på grunn av tetthetsforskjellen til det kalde vannet og det varme vannet. For å finne ut om tetthetsforskjellen til det kalde og det varme vannet i kollektorrøret gir naturlig sirkulasjon, brukes trykkforskjell ved hydrostatisk likevekt (Finnemore and Franzini, 2002).

$$\Delta p = p_{ned} - p_{opp} = (\rho_{ned} - \rho_{opp})gh \quad (4.2)$$

Da er p_{ned} trykket som vannsøylen til nedstrømsvannet trykker på vannsøylen til oppstrømsvannet, p_{opp} er trykket som vannsøylen til oppstrømsvannet trykker på nedstrømsvannet, ρ_{ned} er tettheten til nedstrømsvannet og ρ_{opp} er tettheten til oppstrømsvannet. Verdier for tetthet i vann er hentet fra figur B.2. Konstanten g er gravitasjonsakselerasjonen og h er dybden til brønnen.

Turbulens i strømmingen på grunn av kollektorrørens diameter vil gi et trykktap gitt ved ligning (2.7). Dersom trykkforskjell Δp er større enn trykktapet Δp_{tap} vil sirkulasjonen i brønnen gå naturlig. Desto større diameter det er, jo mindre tap vil det være. Ved trykktap høyere enn trykkforskjell vil det være behov for en pumpe. Hvor stor effekt den pumpe trenger kan regnes ut med ligning (2.6).

Rommet som skal holdes frostsikkert med en temperatur på 5 °C vil ha rør i veggen hvor vannet sirkulerer. Rørene som antas å ha en diameter på 20 mm vil få et trykktap. Dersom rørene er spredt i veggen med seks tur-retur rør som er koblet inn hverandre vil dette gi en rørlengde på $6 \cdot 2 \text{m} (\text{veggens lengde}) \cdot 4 (\text{tak, gulv, to vegger}) + 6 \cdot 3 \text{m} (\text{bakvegg}) = 66 \text{ m}$. Trykktapet vil regnes ut med ligning (2.7). For mindre tap kan rørene kobles i grener.

4.2.2 Sentrifugalpumpe

Dersom det vil være behov for en pumpe er det viktig at den ikke er overdimensjonert for behovet. Ved behov for liten pumpekraft er det mulig at en pumpe kun brukes for å sette i gang sirkulasjonen. Derfor er det viktig at en pumpe vil slippe vann gjennom når den er skrudd av. En sentrifugalpumpe er mest anvendt for væskesirkulasjon (Johnson, 2014). Den består av en impeller som roterer inni et lukket pumpehus. Selv om den roterende delen av sentrifugalpumpe kalles impeller må den ikke forveksles med en impellerpumpe. Vann som kommer inn i senteret til en roterende impeller vil bli slynget ut langs impellerens blader på grunn av sentrifugalkreftene, og deretter samlet opp i pumpehuset med høyere trykk og hastighet. For å unngå skade er det viktig at pumpen alltid er fylt med væske under kjøring av pumpe.

4.2.3 Ny type kollektorrør samt to løsninger med kollektor

I denne beregningen vil det brukes en ny type kollektor som er et rør-i-rør-system for en enklere og billigere montering av røret. Den er laget av et vannbestandig materiale med lav ledningsmotstand. Røret er laget slik at det innvendige røret er festet til det utvendige slik at de føres ned i brønnen samtidig ved montering. På grunn av det fleksible materialet vil røret følge konturene til brønnhullet slik at det vil ha mest mulig kontakt og gi god varmeoverføring.

Den nye typen kollektor er laget for at nedstrømsvannet skal gå inn i det innvendige røret og oppstrømsvannet i det utvendige røret. For å se hva som gir best resultat vil det også bli sett på at nedstrømsvannet går i det ytterste røret og oppstrømsvannet går i det innerste røret.

Løsning 1 - nedstrømsvann i innerste rør og oppstrømsvann i ytterste rør

Løsning 2 - oppstrømsvann i innerste rør med isolasjon i hele røret og nedstrømsvann i ytterste røret med isolasjon 50 m og 100 meter uten isolasjon

For at det skal bli enklere å regne på rør-i-rør systemet gjøres det en forenkling med regne på det som et tradisjonelt u-rør. Figur 4.1 viser en skisse av brønnen med løsning 1 og løsning 2, og tverrsnitt av det nye kollektorrøret.

Siden nedstrømsvannet og oppstrømsvannet kun vil være separert av et tynt lag med kollektormateriale, vil de med stor sannsynlighet varmeveksle med hverandre. Derfor vil det være hensiktsmessig å isolere rørene til en viss dybde slik at oppstrømsvannet ikke avkjøles fra nedstrømsvannet. Ofte brukt isolasjonsmateriale for kollektorrør er polyuretanskum som er vanligvis brukt til å isolere rundt vinduer. Ettersom isolasjonen vil føre til forminskning av diameteren vil det bli sammenlignet varmeoverføring av kaldt rør til varmt rør ved ulik tykkelse av isolasjon som ikke vil gi altfor store trykktap. For finne varmetapet brukes Fourier varmeledningslov (Schroeder, 2000).

$$\frac{q_{tap}}{\Delta t} = \frac{\lambda A \Delta T}{d} \quad (4.3)$$

hvor λ er den termiske varmeledningsevnen til isolasjonsmaterialet [$\frac{W}{mK}$], A er arealet til overflaten, ΔT [K] er temperaturforskjellen på hver side av isolasjonen og d er tykkelsen til isolasjon [m]. Lengden på røret hvor det vil varmeveksle er 100 meter utifra hvor det er brukt isolasjon i løsning 2. Dermed er temperaturgradient og areal delt opp i 16 deler på 100 meter av røret. Det antas da at temperaturgradienten øker med 0,2 Kelvin for hver 6,25 meter. For å regne ut arealet for hver del er det brukt 40 mm diameter som gir et areal på 0,39 m². Varmeledningsevnen til polyuretanskum 0,024 [$\frac{W}{mK}$]. For å se på varmetapet uten isolasjon er det brukt varmeledningsevne til et polyetenrør som tradisjonelt brukes som kollektor, som er 0,33 [$\frac{W}{mK}$].

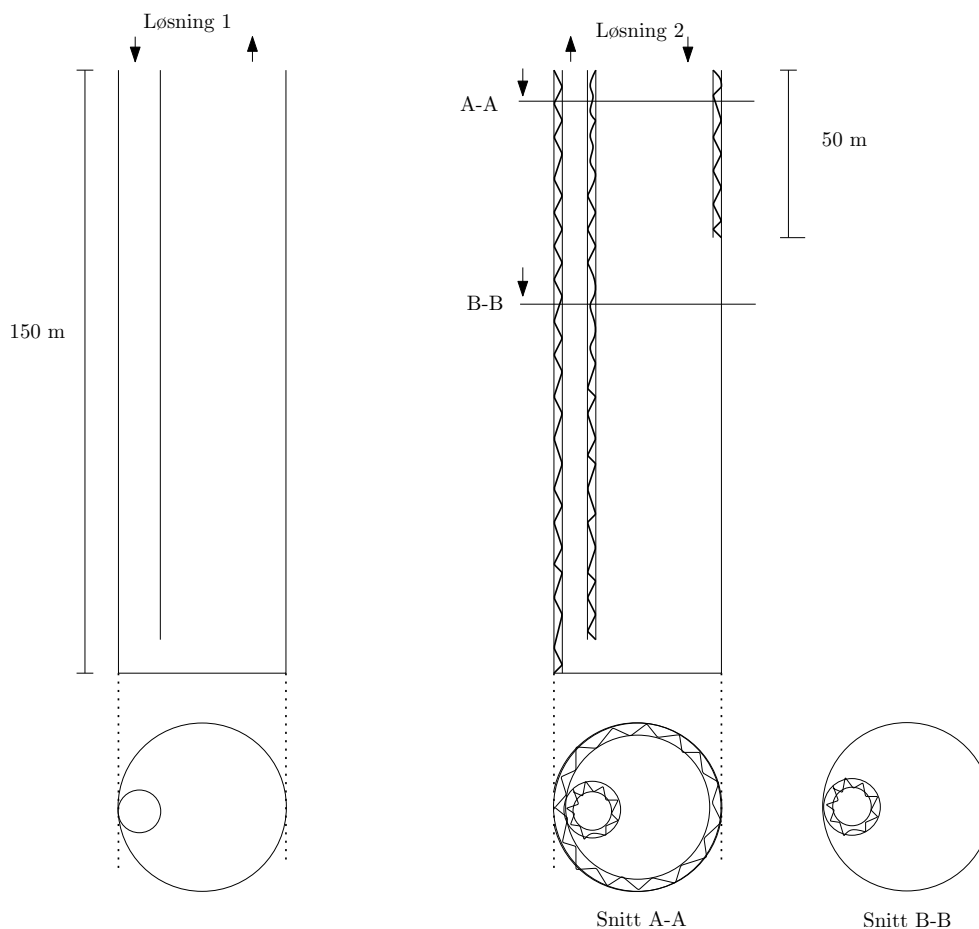
Ved bruk av isolasjon i kollektorrøret kan det oppstå et problem med oppdrift når det er vann i kollektoren. Derfor vil det være behov for et lodd som kan festes på enden av kollektoren. Massen loddet må ha for holde kollektoren i brønnen må være høyere enn massen til kollektorens volum i vann og isolasjonens egenvekt. Ettersom polyuretanskum har en tetthet, $\rho_p = 30 \text{ kg/m}^3$ som er lavere enn vannets tetthet, $\rho_{vann} \approx 1000 \text{ kg/m}^3$ vil det oppstå oppdrift. Volumet til isolasjonen med tykkelse på 5 mm med og dybde på 150 meter på det ene røret og 50 meter på det andre røret er:

$$V_1 = \left(\frac{0,04m^2}{2} - \frac{0,03m^2}{2} \right) \pi 150m = 0,0825 [m^3]$$

$$V_2 = \left(\frac{0,04m^2}{2} - \frac{0,03m^2}{2} \right) \pi 50m = 0,00865 [m^3]$$

Massen til isolasjonen vil være

$$m_{isolasjon} = (V_1 + V_2) * \rho_p = 2,73 [kg]$$



Figur 4.1: Skisse av brønnen med løsning 1 og løsning 2 med ulik retning på av vannsirkulasjon. I løsning 2 er det illustrert isolasjon av polyerutanskum 149 m ned i det innerste røret og isolert 50 meter i det ytterste røret. Diameteren uten isolasjon er 116 mm i det ytterste og 40 mm i den innerste.

Massen til det fortrenget vannet med isolasjonens volum blir

$$m_{vann} = (V_1 + V_2) * \rho_{vann} = 91,2 \text{ [kg]}$$

Massen til loddet må derfor være høyere enn

$$m_{lodd} = m_{vann} - m_{isolasjon} = 88,5 \text{ [kg]}$$

4.3 Mulighet for oppvarming av hytte med vedkomfyr med vannkappe

Det vil sees som et krav at hytta er bygget med en energieffektiv standard med lavt forbruk til oppvarming. En vedkomfyr med vannkappe kan brukes til oppvarming av rommet den

står i, til matlaging på kokeplater og i stekeovn, og oppvarming av forbruksvann. Siden en slik vedkomfyr vil gi mye varme til det rommet den står i, vil det være fordelaktig at den står i en sentral del av hytta og helst nært knyttet til rommet som skal holdes frostsikkert. I tillegg kan det brukes en vanlig peis eller vedovn for bedre spredning.

Blant utvalget av vedkomfyrer med vannkappe velges det å se på en fra Termorosa TR02 som leveres av Ole Christian Bye på Rakkestad. Den er av støpejern og stål med to kokeplater og en stekeovn på ca 40 liter med innebygd termometer. Den gir en varmeeffekt på 9 kW til vann og 6,5 kW til luft (Tabell A.1). I tillegg har den en virkningsgrad på 80%.

Som en tommelfingerregel anslås forbruket i en hustand til å være omtrent 50 l per person per døgn (Andresen, 2008). Dersom det regnes med at behovet vil være lavere på ei hytte og kan det anslås til å være halvparten slik at det blir 25 liter per person per døgn. Dersom fire personer er på hytta samtidig vil de ha et forbruk på 100 liter per døgn. Et tankvolum bør da være 1-2 ganger det daglige varmtvannsforbruket i liter. På en annen side kan hytter med ubegrenset tilgang på innlagt vann og oppvarmet vann føre til varmtvannsforbruk like høyt som i hjemmet. Det bør derfor utfordres til å bruke varmtvann med fornuft dersom det blir ubegrenset tilgang på innlagt vann.

4.4 PV-system - kostnader og beregning av produksjon

Hvilken type modul, og størrelse på et PV-anlegg, er avhengig av behovet for strøm og forholdene som råder på lokasjonen. Med tanke på skygging av snø på vintertid kan det være en mulighet å ha moduler på sørvendt vegger med helningsvinkel mellom 80-90°. Faktorer som kostnad og effektivitet påvirker valg av system og størrelse.

4.4.1 Modul- og systemkostnad samt LCOE

Energikostnadene (LCOE - Levelized Cost of Energy) er kostnad per produsert energienhet over PV-anleggets levetid og for PV-anlegg har disse vært høye over lang tid. Kostnadene er likevel på vei ned og fra 1980 har de sunket 97 % (Thorud, 2013). For Europa og Nord-Amerika er LCOE for PV fortsatt ganske høy men de har hatt synkende progressjon. I Asia og spesielt i Kina og India er LCOE under USD 0,10/ kWh fordi de har tilgang til rimeligere moduler, utstyr, har lavere investering og driftskostnader (Salvatore, 2013). I følge Bloomberg New Energy Finance (BNEF) ligger prisindeksen på polykrySTALLINSKE, silicium moduler på 0,78 USD/Wp i Europa og på 0,70 USD/Wp i Kina. Disse lave prisene kommer av at overproduksjon i PV-industrien har ført til avganger i celle-, wafer- og modulfabrikk. Det er lite sannsynlig at det vil få så stor nedgang i kostnader i fremtiden, hevder BNEF (Salvatore, 2013).

Enova og Multiconsult (SF Enova og Multiconsult, 2013) gjorde en undersøkelse på systempriser på PV-anlegg i Norge og hentet prisinformasjon fra leverandører med tre ulike anleggstyper: bakkemontert kraftverk, næringsbygg og enebolig. Tabell 4.2 gir en sam-

menligning av priser og LCOE for PV-systemer og PV-moduler fra Norge og i utlandet. Det er mest interessant å sammenligne med land som Kina og India med lave produksjonskostnader. Tallene fra BNEF ble oppgitt i USD/kWh og ble omregnet til NOK/kWh med en valuta på 1 USD = 5,9 NOK er gjennomsnittlig valuta for 2013 da rapporten (Salvatore, 2013) ble utført.

Tabell 4.2: Sammenligning av priser og LCOE for PV systemer og moduler i Norge og andre land. LCOE er et gjennomsnitt for høyest og lavest LCOE for området.

| PV | Sted | Bruk | Priser | LCOE (Gj.snitt) |
|---------------------|----------|-------------------------|--------|-----------------|
| | | | NOK/Wp | NOK/kWh |
| System ⁱ | Kina | Kraftverk | 7,38 | 0,66 |
| | India | Kraftverk | 9,85 | 0,66 |
| | Tyskland | Kraftverk | 9,62 | 1,33 |
| | Norge | Enebolig 7kW | 26,00 | 2,74 |
| | | Trondheim ⁱⁱ | | 2,45 |
| | | Industribygg 100kW | 16,00 | 2,21 |
| | | Kraftverk 1 MW | 13,00 | 1,47 |
| Modul | Kina | | 4,13 | |
| | Europa | | 4,60 | |
| | Norge | | 7,20 | |

4.4.2 Beregning av energiproduksjon fra PV

For å finne potensiell energiproduksjon fra PV-anlegg på Nognilloen brukes ligning (2.4) og data fra REC230AE PV modul. Se figur A.2 for tekniske data for modulen. PV-moduler fra REC har høy kvalitet, lang levetid og er lett tilgjengelig på det norske markedet. Med en effektivitet på 13,9 % ligger ikke REC lang unna de effektiviteten til de største PV-produzentene. I utregningen for energiproduksjon vil det bli brukt solinnstrålingsdata fra PVGIS. Grunnen til at PVGIS brukes er fordi de oppgir solinnstrålingsdata på optimal og 90 graders helningsvinkel. Beregningen vil ikke ta hensyn til skygging fra andre bygninger og vegetasjon. Derfor bør det være en forutsetning at vegetasjon, horisont, fjell og andre bygninger ikke skal skygge for modulene for at resultatene fra energiproduksjon skal være reelle. Beregningene tar heller ikke hensyn til albedoeffekten som kan påvirke innstrålingen ved mye snø. I ligning (2.4) er det et eget ledd for tap. I dette estimatet brukes et tap på 30 % som er et sammenlagt tap med hensyn på tilsmussingstap, ohmske tap i ledninger, inverter effektivitet og batterieffektivitet. I en masteroppgave (Olsen, 2013) om PV-anlegg for hytter med beregninger gjort i simuleringsprogrammet PVsyst, havnet systemtapet til anlegget på ca. 33 %, slik at 30 % ikke er så urealistisk.

ⁱSystem vil si alle komponenter som trengs til et solcelleanlegg.

ⁱⁱKun for Trondheim ligger LCOE for et PVsystem for enebolig på 2,45 NOK/kWh.

Hvor mange moduler det er behov for er avhengig av hvor ofte hyttene blir brukt, slik at modulene får tid til å lade opp batteribanken til neste gang. I følge en spørreundersøkelse i 2007 (Farstad et al., 2008) var gjennomsnittlig bruk av fritidsbolig i Norge på 36 dager i året, hvor 5 % brukte hytta mer enn 100 dager i løpet av året. Dette viser at brukshyppighet varierer kraftig. Brukes hyttene ofte vil det være behov for store areal med moduler. Brukes hyttene få ganger men har høyt forbruk, trenger de større lagringskapasitet. Beregningene vil gi eksempler med produksjon fra PV med moduler på fem og ti m² med optimal helningsvinkel, som PVGIS fant til å være 42°. I tillegg vil det bli beregnet med produksjon på moduler med helningsvinkel på 90°.

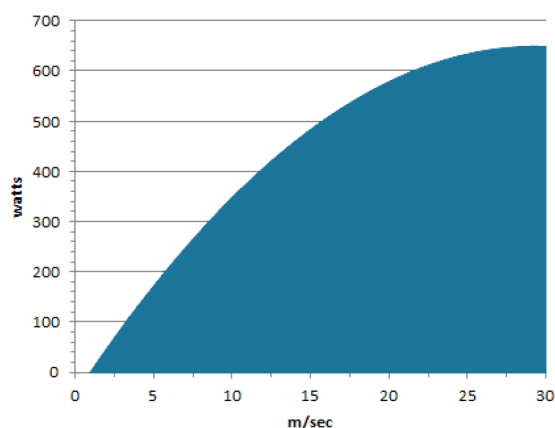
4.5 Valg av vindturbin og metode for beregnet vindenergi

En vindturbin bør plasseres på egnede områder og et par ting bør overveies før anskaffelse av en vindturbin. Plasseres og monteres den riktig kan en vindturbin gi mer strøm enn et stort solcellepanel, særlig når behovet er størst om høsten og vinteren. Der turbinen plasseres bør det være en jevn vind. Kastevind og fallvind kan redusere levetiden, og gi lavere strømproduksjon. Vindens karakter avgjøres av topografien til området. Trær og bygninger kan gi turbulens og derfor er vindstrømmingen sterkere og mer stabil jo høyere opp fra bakken en kommer. Det vil gi en høyere strømproduksjon. Vindturbinen kan avgi vibrasjoner og bør ikke ha kontakt med hytta. Ideelt bør en vindturbin plasseres 6 meter over en hindring i en radius på 75 meter.

For å finne energiproduksjonen fra en vindturbin brukes en effektkurve (figur 4.3) som oppgir effekt produsert for gitt vindhastighet. En effektkurve er teknisk data som følger med alle vindturbiner. Ampair 600 vindturbin (figur 4.2) er ofte brukt til områder uten infrastruktur for strøm og områder med hardført klima som ekstrem vind og lave temperaturer. Den har høy effektivitet for lave vindhastigheter og starter å produsere med vindhastighet 3 m/s. Den produserer 600 W ved en vindhastighet på 22 m/s. Det er en horisontalakset vindturbin med tre svarte rotorblader med diameter på 1,76 meter. Ampair kan installeres på en bolig og på bakken, med høyde på 8, 10 og 12 meter. Ampair vindturbin kan skaffes hos leverandører i Norge og vil bli brukt i denne oppgaven for å se på vindproduksjon.



Figur 4.2: Ampair 600 vindturbin (Ampair, 2012)



Figur 4.3: Effektproduksjon for Ampair 600 ved ulike vindhastigheter

Med effektkurven regnes virkningsgraden til vindturbinen med ligningen:

$$\eta = \frac{P_{\text{levert}}}{\frac{1}{2}A\rho U^3} \quad (4.4)$$

hvor P_{levert} er effekten levert fra turbinen og det under brøkstreken er potensiell effekt i vinden uten effektkoeffisienten fra ligning (2.10). Virkningsgraden η vil da erstatte c_P i ligning (2.10). Virkningsgraden er ulik for ulik vindhastighet og er beregnet med hensyn på havhøyde. Det antas at virkningsgraden er lik for havoverflate som på 525 m.o.h, som Nognillosen ligger på.

Tabell 4.3: Virkningsgrad til Ampair 600 vindturbin ved ulike vindhastighet

| Vindhastighet [m/s] | η |
|---------------------|--------|
| 3 - 7 | 0,8 |
| 7 - 11 | 0,28 |
| 11 - 15 | 0,15 |
| 15 - 25 | 0,05 |

Ettersom virkningsgraden for vindhastighet mellom 3 og 7 m/s er over Betz kriteriet, som nevnt i delkapittel 2.3 er 0,59, gir det grunn til å betvile effektkurven som er levert fra produsenten til Ampair 600. Det skal ikke være fysisk mulig å levere effekt fra en vindturbin med en virkningsgrad høyere enn 0,59. Siden dataene fra Ampair 600 virker mindre troverdig, er det valgt å se på en tilsvarende vindturbin fra en annen produsent.

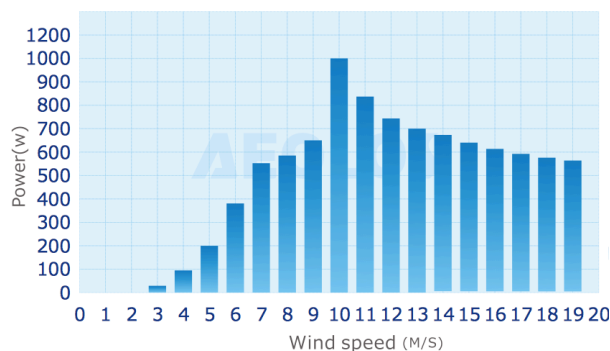
4.5.1 Aeolos-H 500 W vindturbin

Aeolos-H 500 W er en horisontalaket vindturbin med tre rotorblad med 2,7 diameter. Den har en trefase permanentmagnetisk generator som konverteres til 24 V DC spenninguttak. Den tåler vindhastighet opp til 45 m/s som er mindre enn Ampairs 75 m/s. Aeolos-H

er da ikke like robust for hardført klima. Oppgitt årlig produksjon for turbinen med gjennomsnittlig vindhastighet på 5 m/s er 1752 kWh.



Figur 4.4: *Aeolos-H 500W vindturbin*



Figur 4.5: *Effektkurve for Aeolos-H 500W.*

Virkningsgraden til Aeolos-H er regnet ut på samme måte som for Ampair 500W beskrevet tidligere i delkapittelet.

Tabell 4.4: *Virkningsgrad til Aeolos-H 500W vindturbin ved ulik vindhastighet*

| Vindhastighet [m/s] | η |
|---------------------|--------|
| 3 - 7 | 0,43 |
| 7 - 11 | 0,33 |
| 11 - 15 | 0,11 |
| 15 -25 | 0,04 |

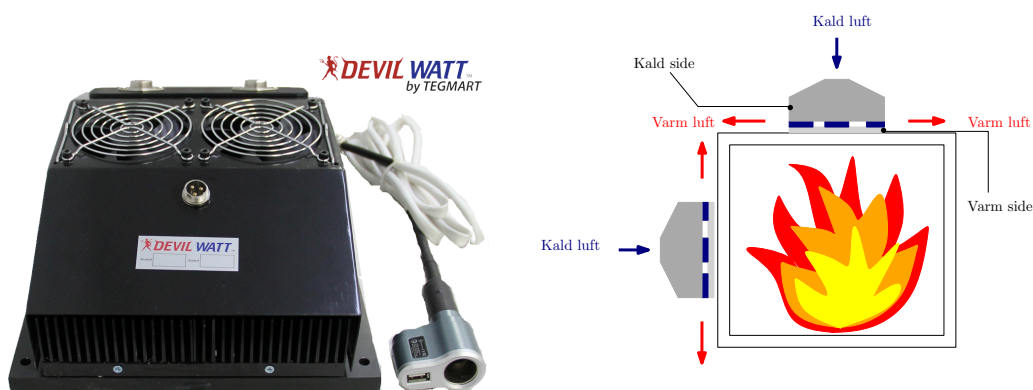
Virkningsgraden til Aeolos-H holder seg under Betz kriteriet og oppgaven velger å regne videre på produksjon av denne vindturbinen.

Lufttettheten med høyden for Nognillozen regnes ut med ligning (2.13). Energiproduksjonen regnes ut med ligning (2.10) med lufttettheten for Nognillozen og η erstatter c_p . Ettersom energibehovet for hyttefeltet er størst for påskeperioden, vil oppgaven se på produksjon for april. Det antas at PV og vind vil kunne produsere tilstrekkelig for resten av året. Siden datasettene for vind er så store er det brukt MATLAB, et programmeringsverktøy, for å beregne produksjonen.

4.6 Termoelektrisk generator - TEG

I dag er termoelektrisk generator (TEG) mest kjent i produktet EcoFan som brukes for å spre varmen fra en varmeovn ut i rommet. En TEG som brukes til strømgenerering er mer skjeldent å bruke. Devil Watt 45 W (figur 4.6) er en TEG som kan monteres på

toppen eller på siden av en vedovn som vist på figur 4.7. Den har et spenningsuttak på enten 12 V, 5V fra USBport eller 13 V til lading av batteri. Maks produksjon fra Devil Watt er 45 W med en temperatur på 449 °C, den tåler en makstemperatur opp til 450 °C. Den veier 7,7 kg og er 33cm x 22cm x 10,8 cm stor. Den bruker vifter for å kjøle ned den kalde siden som samtidig sprer varmluft i rommet. Flere TEG kan kobles sammen i serie for å øke produksjon.



Figur 4.6: Bilde av Devil Watt 45 W TEG.

Figur 4.7: Montering av en Devil Watt 45 W TEG på en vedovn, med to ulike muligheter.

Det finnes TEG med større effektproduksjon men som krever kjøling fra vann i en ekstern beholder for å øke effektiviteten.

4.7 Valg av batterier - kostnad, energitetthet og levetid

Tidligere er det blitt sett på forbruket ved ulike scenarior. For å finne andel lagringskapasitet som kreves, dimensjoneres det i forhold til forbruket i antall dager uten mulighet for strømgenerering. I denne oppgaven velges det at lagringen skal levere autonomt i sju dager og derfor vil forbruket beregnet for Påske (scenario 2) brukes. Kapasiteten til batterier blir som oftest oppgitt i Ah, og et batteri kan som oftest ikke ha en utlading dypere ned til 30% (SoC). En måte å estimere kapasiteten som trengs er

$$W_{ideell} = IEt = \int IEdt \quad (4.5)$$

$$W_{reell} = 0,7 * W_{ideell} \quad (4.6)$$

hvor W_{ideell} er kapasitet i elektrisk energi i et batteri, E er utladingspenning til batteriet, I er strøm og t er tiden batteriet bruker til det er ferdig utladet. W_{reell} er det reelle energien og tilgjengelige kapasiteten i batteriet før det er utladet til 70% i kWh. For å få kapasiteten i Ah deler man W_{reell} på spenningen E .

4.7.1 Blyakkumulatorer

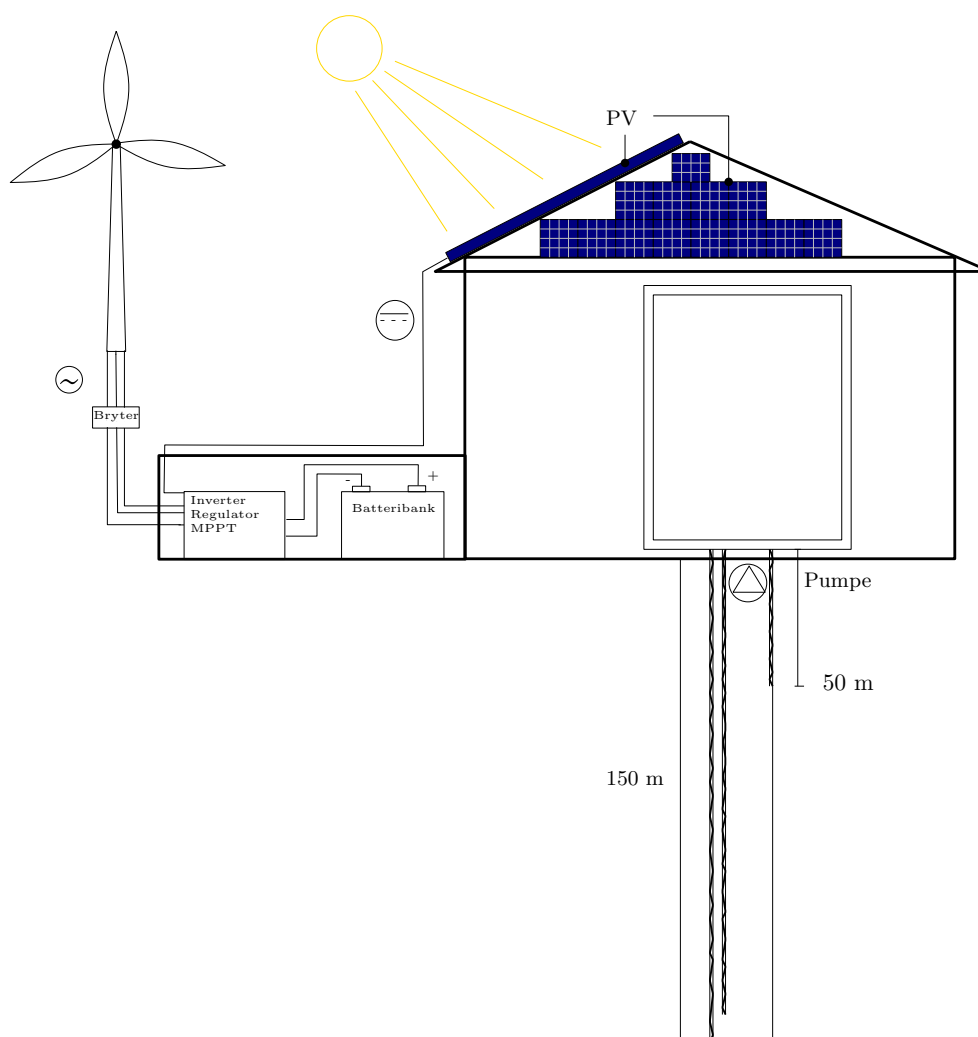
Surette Rolls 12V 357 Ah er et syrebatteri med 10 års garanti. Dette batteriet er lagd for fornybare energiløsninger fordi det tåler dype ladesykluser. Det har en lagringskapasitet på 357 Ah med en utladning på 20 timer (figur A.3). Denne typen batteri har en flytende elektrolytt som må sjekkes periodevis for væsknivået og vann må etterfylles ved behov. På grunn av den flytende svovelsyren som elektrolytt må batteriet aldri flyttes og bli plassert med riktig side opp. I forhold til blybatterier av annen type er den flytende typen litt billigere. På www.ecodirect.com koster dette batteriet 1088,26 USD som regnes om til NOK med en valuta på 1 USD = 5,9 NOK. Da blir det 6421 NOK. Med en utladning (DoD) på 70 % vil batteriet ha en levetid på 2500 ladesykluser.

SUNTEK 12 V 200 Ah har en separator av absorberende glassfiber matte (AGM) med høy holdbarhet hvor elektrolytten er absorbert i separatorene. Av den grunn slippes faren med flytende svovelsyre. I tillegg tåler det lave temperaturer uten fare for kapasitetstap. Hos leverandøren Getek i Norge koster dette batteriet 4850 NOK. SUNTEK har en levetid på 1900 ladesykluser med 70 % utlading (DoD).

4.7.2 Litium-ion batteri

Som nevnt tidligere har litium-ion batterier en mye høyere energitetthet enn blyakkumulator. Smart Battery 12V 300 Ah er et li-ion batteri med høy lagringskapasitet med mulighet for dyp utladning. På www.lithiumion-batteries.com koster batteriet 3 500 USD som blir 20 650 NOK. Dette batteriet har forventet levetid med 3000-5000 ladesykluser.

Figur 4.8 viser en skisse av foreslåtte løsninger som PV, vindturbin og batterier, samt frostsikring på ei hytte.



Figur 4.8: En skematisk figur av ei hytte med PV, vindturbin og brønn.

4.8 CO₂utslipp ved bruk av gasskomfyr, gasskjøleskap og diesellaggregat

For hytter som ikke har innlagt strøm er det vanlig å bruke kjøleskap med gass. Dersom kjøleskapet står på 24 timer i døgnet ganger antall døgn man er på hytta vil det føre til utslipp av CO₂ som vil være i konflikt med en miljøvennlig hytte. Dersom PV- og vindproduksjon ikke skulle dekke det elektriske forbruket er det mulig å bruke et diesellaggregat. Bruk av diesellaggregat skaper støy og vil føre til utslipp av CO₂. Denne delen vil se på hvor mye stort utslipp av CO₂ et diesellaggregat, gasskjøleskap og gasskomfyr vil ha.

Et Dometic RGE 300 gasskjøleskap har et propanforbruk på $\dot{m}_{propan}=380$ g/døgn (Hytte-torget, 2014). En gasskomfyr har oppgitt forbruk i W per brenner. Dersom stekeovn, medium, stor, liten brenner står på brukes rundt 7000 W. En propantank på 11 kg har

kan forsyne 140 kWh, som blir 12 Wh/g. Komfyren får da et forbruk $\dot{m}_{propan}=583$ g/t. For å regne ut CO₂utslipp fra gasskomfyr og kjøleskap, brukes figur B.3 som gir andel karbon i propan. Den molekylære massen til karbon er $M_C=12$ g/mol og den molekylære massen til CO₂ er $M_{CO_2}=44$ g/mol. For å regne ut utslipp av CO₂ ved bruk av gasskomfyr og -kjøleskap brukes

$$\dot{m}_{CO_2} = \dot{m}_{propan} * \% \text{ karbon i propan} * \frac{M_{CO_2}}{M_C} \quad (4.7)$$

Et Dometic TEC 30 diesellaggregat kan levere 2500 W og har et forbruk av diesel på 0,7 l/h. En liter diesel veier 835 g slik at det vil ha et forbruk på 584,5 g/h. Diesel har et CO₂-utslipp på 2670 g/l (IEEP and European Commission, 2009). Beregningene vil bli presentert i resultatkapittelet.

4.9 Grov økonomisk budsjettering av foreslåtte løsninger

Ettersom Nognillosen hyttefelt er i en tidlig konseptuell idéfase vil det være vanskelig å gjøre en total grundig økonomisk analyse av teknologiene nevnt i denne oppgaven. Det vil derimot bli gjort en grov økonomisk vurdering med nåverdi av systemene uten driftskostnader. Den økonomiske vurderingen vil gi et en pekepinn og et kostnadsvindu for hva dette vil ligge på.

I 2012 hadde hytter en kvadratsmeterpris på rundt 20 000 kr og et gjennomsnittlig hytteareal på 85 m² (TNS Gallup, 2013). Det gir en pris på 1,7 millioner kr for ei hytte.

For et PV-system med 630 Wp og 1150 Wp vil innkjøpskostnadene ligge mellom 16 000-30 000 NOK uten lagring, med systempris hentet fra tabell 4.2. For en vindturbin kan systemprisen ligge på 20 000 NOK. Devil Watt TEG koster rundt 3100 NOK. Batteribanken er avhengig av antall batterier og mengde kapasitet, og er regnet ut til å ligge på mellom 20 000-60 000 NOK ved bruk av blyakkumulator. Til sammen vil hele systemet med PV, vindturbin, TEG og batterier ligge på $66\ 100 \pm 27\ 000$ NOK, uten hensyn til monterings- og driftskostnader.

En vannbrønn på 120 meter med 3 meter føringsrør for løsmasse koster 42150 NOK i følge Odd Arne Hustøft hos Trøndelag Brønnboring. Merprisen for dypere brønn er 250 NOK/meter, slik at en brønn på 150 meter koster rundt 50 000 kr. Et kollektorrør kan koste mellom 10 000 og 12 000 NOK. En sentrifugalpumpe med 12 V likespenning på ca 15 W fra aliexpress.com ligger på rundt 200 kr. Til sammen vil hele brønnen koste omtrent 61 000 NOK.

Et godt isolert rom med rør i veggen som skal holdes frostsikkert hele året er en usikker kostnad ettersom det er få tilfeller hvor dette er gjort. Kostnadene for vannrør ligger på rundt 10 NOK/m som vil bli 700 NOK for 66 meter. Veggisolasjon med med lav u-verdi

ligger på ca 100 NOK/m². Med et areal på 37 m² vil rommet ha en merkostnad på 4400 NOK. Hele systemet som skal holde ei hytte frostsikker vil til sammen koste rundt 66 300 NOK.

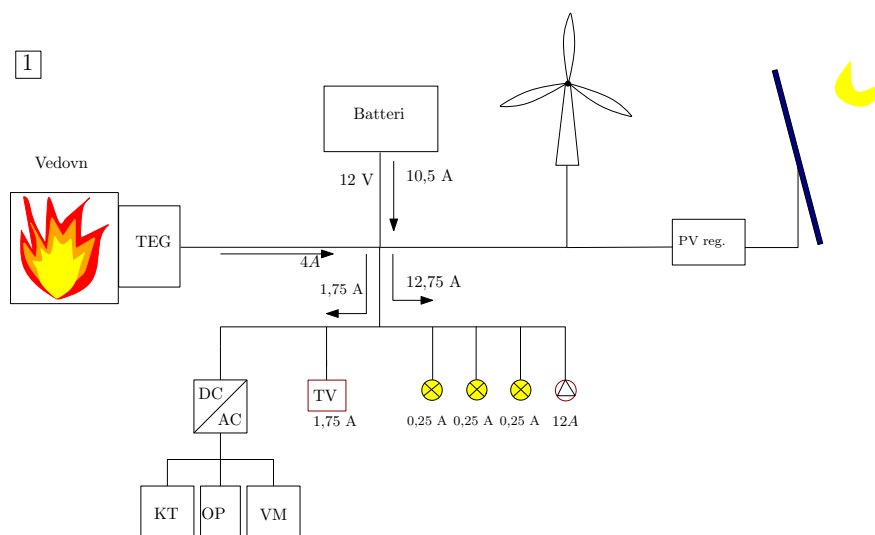
En Termorosa vedkomfyr med vannkappe nevnt i delkapittel 4.3 koster 30 000 NOK. En vanlig vedovn uten vannkappe som leverer samme effekt koster rundt 15 000 NOK.

4.10 Strømbalanse ved ulike driftssituasjoner

For å vise samspeillet mellom PV, vindturbin og TEG i forhold til batterilagring og laster er det illustrert strømbalanse for ulike driftssituasjoner. Det antas at driftsspenningen i hytte følger batterispenningen. Ved liten last og høy produksjon vil driftsspenning ha 14,4 V som kreves for opplading av batteriet. Ved utlading vil driftsspenningen være 12 V. Ved bruk av oppvaskmaskin, kaffetrakter eller vaskemaskin kreves det omformer som er illustrert som DC/AC.

Situasjon 1: Vinterkveld - full fyring i vedovn

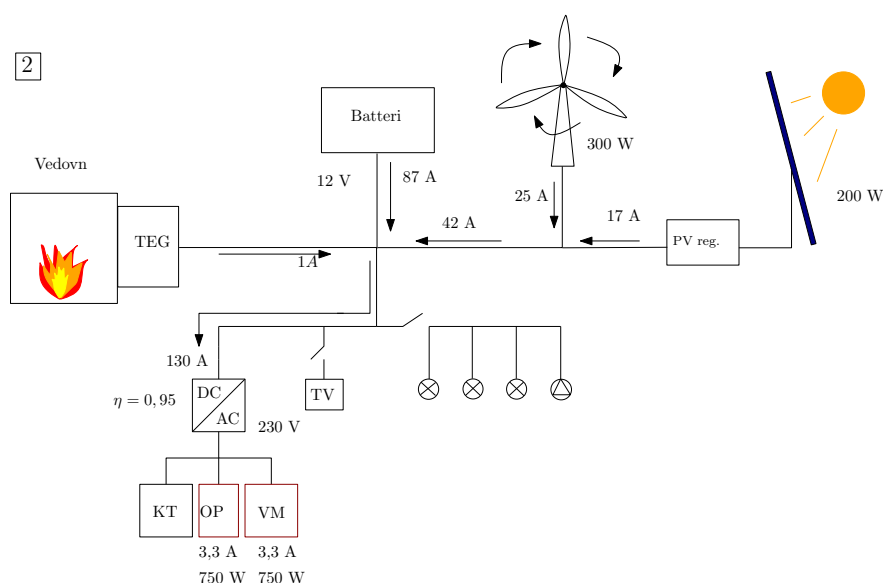
På en vinterkveld er det ingen produksjon fra PV og uten vind vil det heller ikke produsere noe fra vindturbin. Det brukes LED lys, dusj og TV. TEG vil produsere 45 W ved full fyring som leverer til laster sammen med batterier. Driftsspenningen er på 12 V. Dette er illustrert i figur 4.9.



Figur 4.9: Strømbalanse for hybridssystem med laster og lagring. Driftssituasjon 1 er for en vinterkveld med fyring i ovn og bruk av dusj, TV og lys.

Situasjon 2: Vinterdag - vind og sol med litt fyring

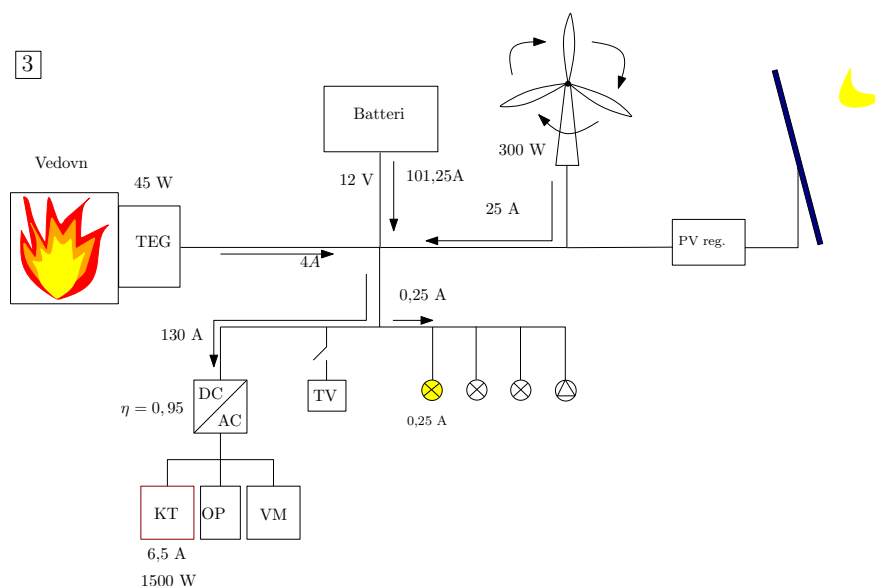
På en vinterdag med både vind og sol hvor det er mye uteaktiviteter med ingen laster som brukes. Med en fulladet batteribank og god produksjon vil det være mulig å bruke store laster som oppvaskmaskin (OP) eller vaskemaskin (VM). For å holde innertemperaturen på et komfortnivå fyres det litt i en vedovn. På grunn av at oppvaskmaskin og vaskemaskin er så store laster vil produksjon fra vind, PV og TEG levere rett til omformer sammen med bidrag fra batteri vist i figur 4.10. Dette krever bevissthet fra brukes som sjekker batterikapasiteten og estimerer for produksjon til opplading av batteribanken for bruk av laster på et senere tidspunkt.



Figur 4.10: Strømbalans for driftsituasjon 2: vinterdag med produksjon fra vind og PV. TEG gir et lite bidrag og oppvaskmaskin (OP) og vaskemaskin (VM) brukes.

Situasjon 3: Vintermorgen - ingen sol samt full ovnfyring

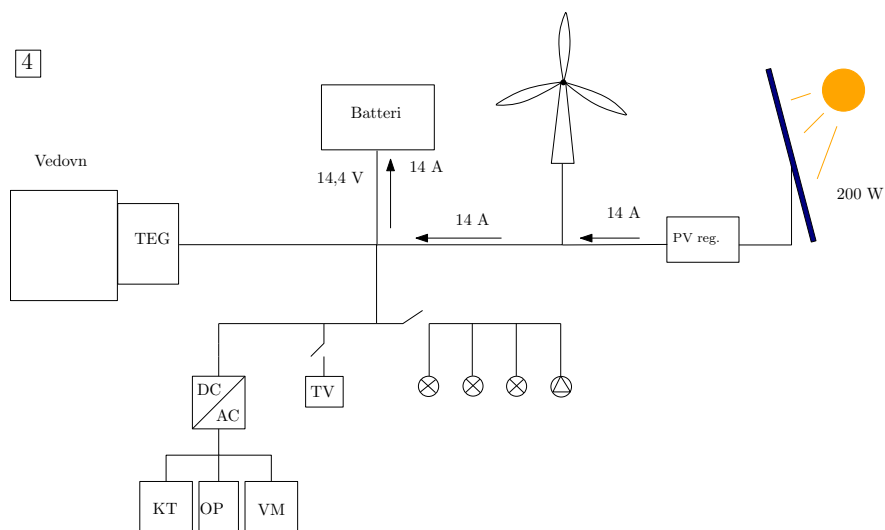
Eksempel på forbruk på morgenen på vinteren er kaffetrakter (KT) og bruk av et lys, vist i figur 4.11. Det er det for tidlig at sola har stått opp og slik at det er ingen PV produksjon. Det er kraftig vind slik at vinturbin gir godt bidrag. Kaffetrakteren er en stor last men brukes kun i kort periode.



Figur 4.11: Strømbalanse for driftssituasjon 3: vintermorgen med ingen PV produksjon, full fyr i ovnen og høy vindproduksjon. Driftsspenning på 12 V og bruk av kaffetrakter (KT) i en kort periode.

Situasjon 4: Sommerdag - sol, ingen vind og ingen fyring

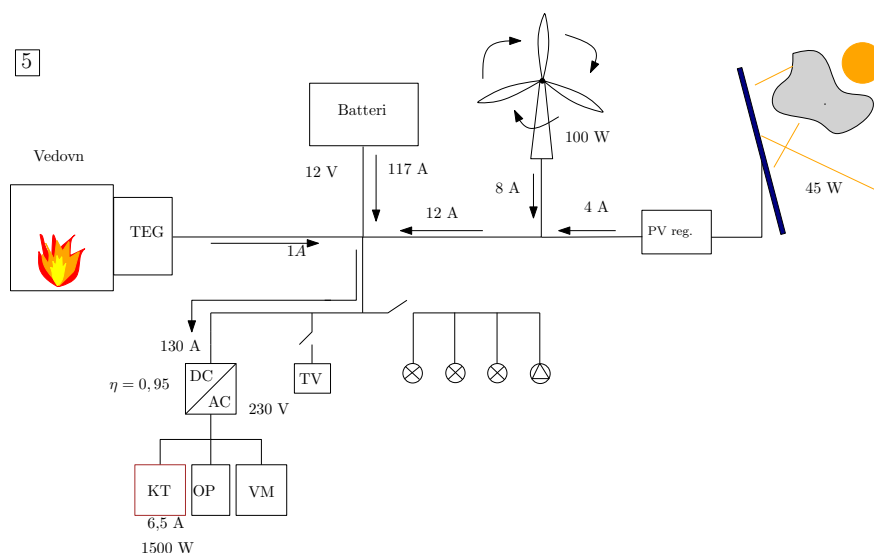
På sommeren er ikke behovet stort for fyring, og spesielt ikke midt på dagen ved fint vær. Som eksempel brukes ingen laster slik at PV lader opp batteriene med en driftsspenning på 14,4 V som vist i figur 4.12.



Figur 4.12: Strømbalanse for driftssituasjon 4: sommerdag med mye sol og ingen laster i bruk.

Situasjon 5: Somtermorgen - overskyet med vind og litt fyring

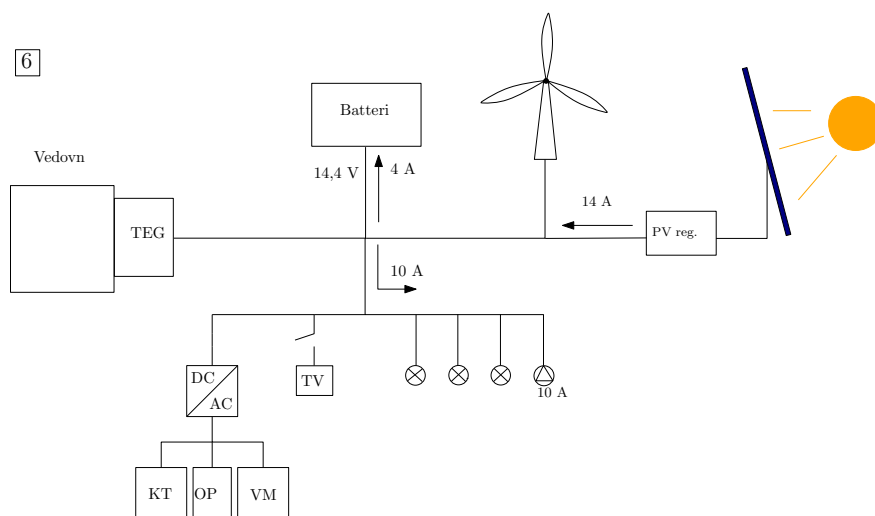
På en overskyet morgen vil PV produsere med 15 % på grunn av bidrag fra diffus stråling (delkapittel 2.1.1). Dersom batteribanken er fulladet vil det gå bra med kort bruk av kaffetrakter (KT). Det er litt bidrag fra vind og TEG bidrar med lav effekt fra litt fyring i vedovn. Ingen andre laster brukes. Dette er illustrert i figur 4.13.



Figur 4.13: Strømbalanse for driftsituasjon 5: somtermorgen med overskyet og litt vind.

Situasjon 6: Sommerkveld med sol og ingen vind

En sommerkveld i Norge har lav sol som vil produsere godt for en vertikal modulflate. Den er likevel ikke så sterk slik at det ikke vil bli maks produksjon. Det fyres ikke i ovn og eksempel på last som brukes er vannpumpe til dusj. Figur 4.14 viser at PV produserer mer enn lasten slik at batteriet lades og systemet vil ha en driftspenning på 14,4 V.



Figur 4.14: Strømbalanse for driftssituasjon 6: sommerkveld med lav sol og ingen vind.

5 | Resultater

5.1 Forbruksberegninger

Det elektriske energiforbruket for to ulike hytteeiere ved tre ulike scenarioer er beregnet nedenfor i tabell 5.1. Antagelsene som er gjort for hytteeiere A og B og scenarioene er nevnt i tabell 3.1 og i delkapittel 4.1.

Tabell 5.1: Elektrisk energiforbruk (kWh) hos to ulike hyttebrukere, A (høyt forbruk) og B (lavt forbruk), for tre ulike scenario hvor langhelg er sammenlagt forbruk for tre dager, påske er sammenlagt for en uke og sommer er sammenlagt forbruk for tre uker.

| | | Langhelg | Påske | Sommer |
|---------------|---|----------|-------|--------|
| Forbruk (kWh) | A | 6,91 | 18,72 | 52,90 |
| | B | 2,59 | 6,18 | 17,15 |

A og B er to ytterpunkter av drift på hytta, og det er tenkt at hyttefeltet på Nognilossen vil ha et forbruk som ligger mellom disse to.

Forbruket brukes for å estimere lagringskapasitet for batteriene og hvor mye energi som skal dekkes av PV og vindturbin.

5.2 Frostsikring av hytte

For at et rom skal holdes med en jevn temperatur er det sett på hvor stort varmetap et rom vil ha med en u-verdi fra isolasjon, overflateareal og temperaturforskjell. Dermed er det beregnet en nødvendig volumstrøm vann i veggen må ha for å dekke varmetapet. Resultatene for overflatearealet A , varmetapet P_Q og volumstrømmen Q :

$$\begin{aligned} A &= 37 && [\text{m}^2] \\ P_Q &= 185 && [\text{W}] \\ Q &= 1,476 * 10^{-5} && [\text{m}^3/\text{s}] = 0,88 \text{ [l/min]} \end{aligned}$$

Samme volumstrøm er brukt for å regne ut trykket i brønnen. Siden det er vanskelig å anta hva slags temperatur ned- og oppstrømsvannet vil ha er det beregnet med ulik temperaturforskjell. For å se på effekten på ΔT på ned- og oppstrømsvannet får man trykkforskjell Δp og trykkforskjell i dybde h :

Tabell 5.2: Trykkforskjell ved ulik temperatur på nedstrømsvann og oppstrømsvann i brønn, med en høyde på 150 m og tetthet hentet fra figur B.2.

| T_{ned} | T_{opp} | Δp | h |
|--------------|-----------|------------|-------|
| | [°C] | [Pa] | [m] |
| 5,8 | 7,2 | 79 | 0,008 |
| 5,6 | 7,4 | 102 | 0,010 |
| 5,4 | 7,6 | 125 | 0,013 |
| 5,2 | 7,8 | 147 | 0,015 |
| 5 | 8 | 171 | 0,017 |
| 4,8 | 8 | 175 | 0,018 |
| 4,6 | 8 | 178 | 0,018 |
| Gjennomsnitt | | 140 | 0,014 |

En gjennomsnittlig trykkforskjell på 140 Pa vil si at nedstrømsvannet dytter med 140 Pa på oppstrømsvannet på grunn av tetthetsforskjell i vannet, som igjen er avhengig av temperatur. En gjennomsnittlig dybde, h , på 0,014 m vil si at man trenger 0,014 m med vann for på oppstrømsiden for å jevne ut trykkforskjellen.

På grunn av diameteren til kollektørene så vil det dannes trykktap. Trykktapet Δp_{tap} er regnet med 40 mm diameter (D_i) for det indre røret og 116 mm (D_y) for det ytre røret. Siden ligning (2.7) regner trykktap for vann i rør uten å ta hensyn til et innvendig rør, vil det reelle trykktapet ha høyere verdier enn det som blir beregnet.

Trykktap for løsning 1 uten isolasjon

| D_i/D_y | $\Delta p_{tap, ned}$ | $\Delta p_{tap, opp}$ | Sum Δp_{tap} |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 40/116 | 53,51 | 0,71 | 54,22 |

Trykktapet er lagt sammen for opp- og nedstrømsvannet til Sum Δp_{tap} . Sammenlagt trykk for kollektorrør uten isolasjon blir da

$$p = \Delta p - \Delta p_{tap} = 140 - 54,22 \approx 86 [Pa]$$

Trykktap for løsning 2 med 5 mm isolasjon

I løsning 2 er det valgt å se på nedstrømsvann i det ytre røret med større diameter og oppstrømsvannet i det indre røret med mindre diameter. Samtidig er det beregnet med 5 mm isolasjon på 50 meter av det ytre røret og 149 meter i det indre røret som vil påvirke diameteren. Trykktap for løsning 2 er regnet ut til å bli

| D_i/D_y | Δp_{tap} opp (149 m) | Δp_{tap} ned (50 m) | Δp_{tap} ned (100 m) | Sum Δp_{tap} |
|-------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------|
| 40 (30)/116 (106) | 153,91 | 0,34 | 0,68 | 154,93 |

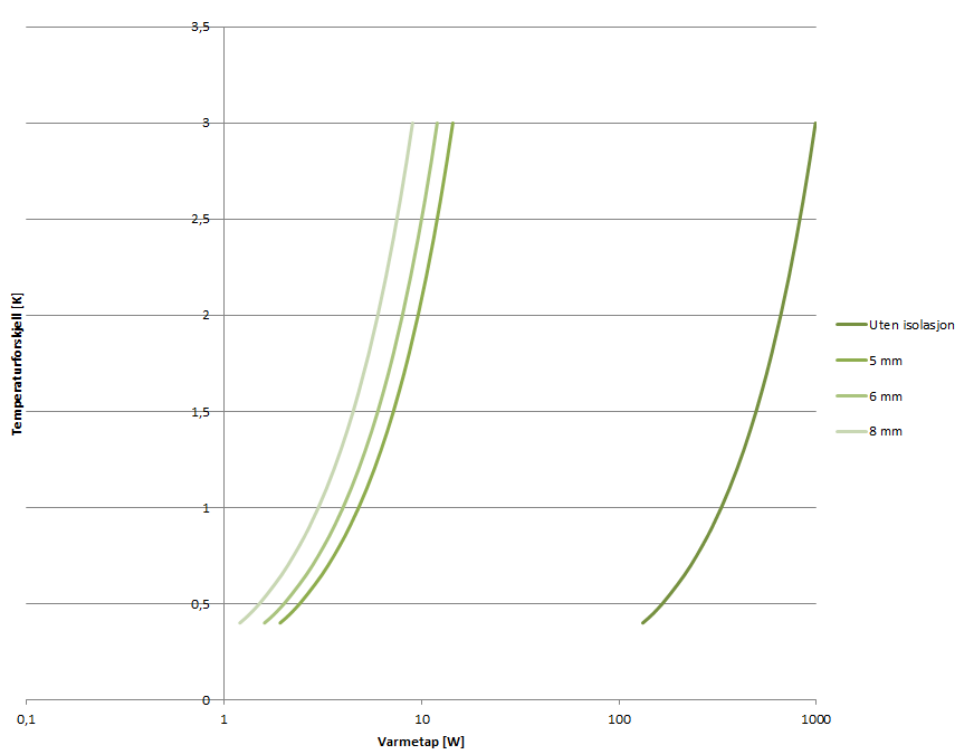
Sammenlagt trykk med kollektorrør for løsning 2 med isolasjon blir da

$$p = \Delta p - \Delta p_{tap} = 140 - 154,93 = -15[Pa]$$

Siden det blir et negativt resultat vil det ikke bli naturlig sirkulasjon. Behovet for effekt fra ideell pumpe blir da

$$P_{pumpe} = Q * \Delta p_{tap} = 1,476 * 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s} \right] * 154,93[Pa] = 2,3 * 10^{-3}[W] = 2,3[mW]$$

Uten isolasjon i røret vil det som nevnt gå varmetap fra oppstrømsvannet til nedstrømsvannet. Figur 5.1 viser ulike varmetap ved ulik tykkelse isolasjon og uten isolasjon i forhold til temperaturforskjell i nedstrømsvann og oppstrømsvann.



Figur 5.1: Varmetap fra kollektor i [W] ved ulik tykkelse isolasjon og uten isolasjon. Varmetapet er sett i forhold til temperaturforskjell på nedstrømsvann og oppstrømsvann. X-aksje har logaritmisk skala.

Trykktapet i det frostsikre rommet med en rørlenge på 66m vil være

$$\Delta p_{tap} = 337[Pa]$$

Trykktapet vil gi en pumpeeffekt på

$$P_{pumpe} = 1,476 * 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s} \right] * 337[Pa] = 5,56[mW]$$

I beregninger for trykktapet er det ikke tatt hensyn til tap i bend og høydeforskjeller, samtidig er effekten utregnet for en ideell pumpe uten tap. Derfor vil den reelle effekten som det kreves fra en pumpe bli høyere.

5.3 PV produksjon

For beregnet produksjon fra PV anlegg er det valgt fem og ti m² med REC 230 W PV moduler med en helningsvinkler på 42 ° og 90 °.

Tabell 5.3: *Produksjon fra PV for hver måned og hele året i kWh. E₄₂ er produksjon med 42 ° helningsvinkel og E₉₀ er produksjon for 90 ° helningsvinkel for to ulike areal med PV moduler.*

| | E ₄₂ [kWh] | | E ₉₀ [kWh] | |
|-----------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| | 5 m ² | 10 m ² | 5 m ² | 10 m ² |
| Januar | 7,63 | 15,26 | 7,18 | 14,36 |
| Februar | 23,43 | 46,86 | 22,20 | 44,40 |
| Mars | 47,96 | 95,92 | 49,98 | 99,96 |
| April | 65,53 | 131,06 | 49,91 | 99,82 |
| Mai | 77,82 | 155,64 | 50,98 | 101,96 |
| Juni | 78,52 | 157,04 | 48,31 | 96,62 |
| Juli | 74,20 | 148,40 | 46,90 | 93,80 |
| August | 61,68 | 123,37 | 43,43 | 86,86 |
| September | 42,03 | 84,07 | 34,88 | 69,76 |
| Oktober | 25,49 | 50,98 | 23,53 | 47,06 |
| November | 10,80 | 21,60 | 11,44 | 22,88 |
| Desember | 3,09 | 6,18 | 3,76 | 7,52 |
| År | 518,18 | 1036,38 | 385,50 | 771,00 |

Tabell 5.3 viser potensiell produksjon fra REC 230 Wp moduler med eksempel med to ulike modulareal og to forskjellige helningsvinkler. Tabellen viser at en estimert produksjon fra PV med 10 m² modulareal med helningsvinkel 42° kan være 131 kWh for april. Det vil gi et gjennomsnitt på 4,36 kWh per dag. Et modulareal på 10 m² vil være 6 moduler, som er 1380 Wp installert effekt med REC 230 Wp moduler. Et modulareal på 5 m² med samme helningsvinkel vil produsere halvparten, som er 65,53 kWh for april med

et gjennomsnitt på 2,18 kWh per dag. Et 5 m² modulareal vil være tre REC 230 W moduler med en installert effekt på 690 Wp. Energiproduksjon fra 5 m² modulareal med 90° helningvinkel for april er 49,91 kWh, med et gjennomsnitt på 1,66 kWh per dag. Følgelig vil energiproduksjonen med 6 moduler gi dobbelt energiproduksjon for 90° helningsvinkel.

5.4 Vindenergiproduksjon for april

Sammenlagt vindproduksjon er beregnet med ligning (2.10) der effektivitetskoeffisienten, C_p , er byttet ut med virkningsgrad η beregnet og presentert i tabell 4.4. Dermed er det brukt vindhastigheter fra 2013 presentert i figur 3.2. Trykk for 525 meter høyde over havet er beregnet til å være 91,5 kPa, som gir tetthet i luft, $\rho_{luft}=1,237$ kg/m³. MATLAB er brukt for å gruppere timevindmålinger til ulike vindhastigheter som regnes med hver sin virkningsgrad. Til slutt er det lagt sammen for hele april.

Beregnet vindenergi fra en AEOLOS-H 500 W vindturbin for april på Nognilloen er

$$\begin{aligned} \text{Energiproduksjon (mnd)} &= 251,00 \quad [\text{kWh}] \\ \text{Energiproduksjon (dag)} &= 8,37 \quad [\text{kWh}] \end{aligned}$$

5.5 Lagringsløsning

For å finne ut hvor mye lagringskapasitet for batterier man trenger for én hytte, er det blitt vurdert ut fra scenario 2 som er en ukes forbruk i jul eller påske. Tabell 5.4 viser beregnet behov for batterikapasitet for ytterpunktsforbrukerne A og B. Metoden for beregningen av batterikapasiteten tar utgangspunkt at det er liten eller ingen strømproduksjon på sju dager, at utladingen (DoD) ikke kan gå dypere enn 70 % og at batterispenningen er på 12 V.

Tabell 5.4: Batterikapasitet beregnet ut fra forbruket til hyttebruker A og B for Scenario 2 som er en uke i påske/jul.

| Type bruker | Forbruk [kWh] | Batterikapasitet [Ah] |
|-------------|---------------|-----------------------|
| A | 19,45 | 2315 |
| B | 6,48 | 771 |

Tabell 5.5 viser sammenligning av tre ulike batterier med ulik lagringskapasitet og pris. Der er det beregnet antall batterier det er behov for for de to ulike brukertypene. I tillegg er det sett på hvor mye batteriløsningene vil koste, hvor mye de vil veie og hvor mye plass de vil ta.

Tabell 5.5: Beregnet antall batterier med hensyn på brukertype (A/B) for tre ulike batterityper hvor to er blyakkumulatorer og et er li-ion batteri. Kostnadene er regnet ut med prisen for ett batteri ganget med antall batterier. Det samme er gjort for vekt, størrelse og kapasitet.

| Batteri | Type bruker | Antall | Kapasitet [Ah] | Vekt [kg] | Størrelse [m ³] | Pris [NOK] |
|------------------------|-------------|--------|-------------------|--------------|--------------------------------|---------------|
| Blyakkumulator | | | | | | |
| Surette Rolls (357 Ah) | A | 7 | 2499 | 861 | 0,52 | 44 945 |
| | B | 3 | 1071 | 369 | 0,22 | 19 262 |
| Suntek (200 Ah) | A | 12 | 2400 | 720 | 0,18 | 58 200 |
| | B | 4 | 800 | 240 | 0,06 | 19 400 |
| Li-ion batteri | | | | | | |
| Smart Battery (300 Ah) | A | 8 | 2400 | 336 | 0,23 | 165 152 |
| | B | 3 | 900 | 126 | 0,09 | 61 932 |

5.6 CO₂utslipp ved bruk av gasskomfyr, gasskjøleskap og dieselaggregat

Ved bruk av beregningsmetode i delkapittel 4.8, er det regnet ut CO₂-utslipp ved bruk av gasskomfyr, -kjøleskap og dieselaggregat. Resultater er presentert i tabell 5.6.

Tabell 5.6: CO₂-utslipp ved bruk av gasskomfyr, -kjøleskap og dieselaggregat

| | \dot{m}_{propan} | \dot{m}_{CO_2} | Enhet |
|----------------|--------------------|------------------|----------|
| Gasskomfyr | 583 | 1746 | [g/t] |
| Gasskjøleskap | 380 | 1138 | [g/døgn] |
| Dieselaggregat | 585 | 1869 | [g/t] |

6 | Diskusjon

6.1 Forbruk

Som et grunnlag for vurdering av energiløsninger er det gjort antagelser av et typisk energiforbruk på en hytte. Ettersom dette er en stor variasjon hos hyttebrukere er det antatt to ytterpunkter av brukere. A er en bruker som ønsker komfort ikke ulik som i egen husholdning. Mange vil mene at dette ikke er passende på ei hytte og at det vil ødelegge det primitive levestandarden som ei hytte ofte har. Derfor er det andre ytterpunktet, B, noe som gjenspeiler denne primitive standarden. I tillegg er det brukt tre ulike scenarioer hvor videre beregninger har tatt utgangspunkt i scenario 2. Scenario 2 er jul og påske hvor hyttebesøket er over en uke. Det er likevel et ønske med oppgaven å motivere for et begrenset forbruk på ei hytte.

Laster som vaskemaskin og oppvaskmaskin er komfort noen ønsker og derfor tatt med som forbruk med noe begrenset bruk. Likevel fører vaske- og oppvaskmaskin med seg infrastruktur som innlagt oppvarmet vann. En løsning på dette har ikke fått mye fokus i denne oppgaven. Et alternativ som er nevnt, er å forvarme vann med vedkomfyr med vannkappe som lagrer varmt vann i en akkumulatortank. Likevel fører bruken av slike apparater til et høyt vannforbruk.

I tillegg til høyt vannforbruk er vaskemaskin og oppvaskmaskin høye laster som vil kreve vekselspanning av en DC-AC omformer. Med en mindre batteribank kan bruk av dette sammen med andre laster føre til tapping av banken. Dette krever at et en bruker er bevisst på kapasiteten til batteriene og følger med om været vil gi produksjon fra PV og vindturbin for å lade opp batteriene.

6.2 Frostsikring

Det ligger mange usikkerheter ved beregningene gjort for frostsikring av hytte. Derfor er det viktig å påpeke at dette ikke er et forsøk som er utført men kun et estimat og mulighetsvurdering. Alle opplysninger som ligger til grunn for beregningene er likevel hentet fra sikre kilder. Siden dette ikke er et forsøk som er gjort spesifikt for Nognilloen vil dette være en løsning som kan adopteres overalt. De største usikkerheten ligger i temperaturen til grunnfjellet og trykktapet i kollektorrøret.

Teoretisk sett vil temperaturen i en brønn øke med 1-3 K per 100 meter, men dette kan bli påvirket av berggrunnens varmeledningsevne. Dette avhenger av berggrunnstypen og bevegelsen til grunnvann hvor varme kan lekke ut. I denne oppgaven er det sett på 150 meter brønndybde som et eksempel men det kan vurderes en dypere brønndybde for å sikre høyere temperaturøkning på vannet. Merknadene for dypere brønn ligger på 250 kr/m, og derfor er det ikke snakk om høye kostnader for å sikre nødvendig temperaturøkning. På grunn av at det trekkes svært lave temperaturer fra brønnen er det ikke fare for at det tappes for varme i brønnen, slik at den vil være i lang tid. Dersom det ønskes varmere vedlikeholdstemperatur i rommet kunne det blitt installert en solfanger som kan etterfylle brønnen med sommervarme. Skal en solfanger etterfylle varme i brønnen er det foreslått vann som medie i solfangeren. Dette krever at solfangeren brukes i frostsrie perioder og tappes for vann når den ikke skal være i bruk. Et annet forslag er separate rør for solfanger i brønnen som bruker glykolblanding som arbeidsmedie som ikke vil fryse.

Trykktapet er beregnet med et kollektorrør som er et rør-i-rør system. Det ytre røret med størst diameter vil oppleve større strømningsmotstand om det ikke hadde hatt et rør innvendig. Dette er på grunn av tap fra friksjon på grunn av mer areal med to rør. Dette er ikke tatt i betraktning ved utregning av trykktap (Δp_{tap}), men på grunn av en veldig lav volumstrøm vil det tilsynelatende ha liten innvirkning. Med den volumstrømmen som er beregnet vil det ta over et døgn før vannet har gått i en sirkulasjon. Derfor vil den pumpa som det eventuelt vil være behov for behøve svært lav effekt.

Det er gjort beregninger med to ulike løsninger med kollektoren, der løsning 2 er kollektor med isolasjon. Det er da sett på varmetap med ulik tykkelse av isolasjon på kollektor. Med isolasjon vil røret få en mindre diameter som igjen vil gi høyere trykktap. Det er valgt å beregne trykktap med 5 mm isolasjon ettersom det ga lite varmetap samtidig som lite trykktap. Figur 5.1 viser hvor stor effekt isolasjonen har på varmetapet men samtidig hvor liten forskjell det er i forhold til tykkelse på isolasjonen. Samtidig viser figuren at det vil være hensiktsmessig å isolere kollektoren for at varmetapet mellom ned- og oppstrømsvannet i kollektoren ikke skal bli så stort. Selv om løsning 1 ga en naturlig sirkulasjon ut i fra beregninger, vil varmetapet være så stort at løsning 2 med isolasjon vil være et bedre alternativ.

Beregningene til trykktapet i rørene til det frostsikre rommet er gjort uten hensyn på tap i bend og trykktap på grunn av høydeforskjeller. Dette gir et mindre reelt beregnet trykktap. Den lave volumstrømmen gir derfor et lavt resultat for effekt fra pumpe, $P_{pumpe} = 5,56$ [mW]. Ved bruk av en sirkulasjonspumpe vil det være vanskelig å finne en pumpe med effekt på den størrelsen, slik at man er nødt til å bruke en overdimensjonert pumpe. Derfor ville et høyere trykktap på grunn av tap i bend og høyde ikke vært avgjørende for at dette skal fungere.

Dette systemet krever autonomitet og få feil. En sprekk i rør i det frostsikre rommet kan føre til store problemer. Derfor vil det kreve at noen med rask tilgang til området kan utbedre eventuelle feil før frostsikring vil forekomme. Her kan det brukes en alarm som går av når temperaturen nærmer seg frysepunkt med signaler som sendes til bruker. En frostsikring med vannbrønn vurderes til å være en mer autonom løsning enn om hytta skal holdes varm med oppvarming fra elektrisitet.

Kostnader ved installering av en energibrønn er variert. Den største usikkerheten ligger i berggrunnstypen og installasjonen. Med en ny type kollektor beskrevet i denne oppgaven, er det forventet at installasjonen vil bli lettere, og bruke kortere tid. Hele løsningen for den frostsikre løsningen er vurdert til å koste rundt 66 300 NOK med et lett overslag. Dette er 4 % av prisen for ei hytte.

6.3 Oppvarming med vedkomfyr med vannkappe

Som energibidrag i form av varme er det forslått en vedkomfyr med vannkappe som tillegg til varme, sørger for varmt vann. På en annen side kan en vedkomfyr med vannkappe gi for høyt bidrag i ei hytte med en tett bygning og lavt varmebehov. I tillegg vil noen synes at det er tidskrevende å varme opp ei hytte etter ankomst med å fyre i en vedovn. Alternativet er å bruke en panelovn med høyt elektrisk behov eller en gass/parafinovn, hvor det kan brukes en ring-hytta-varm funksjon. Med hensyn på fossilt utslipp og brannfare, vil disse alternativene stille svakt. Derimot vil en tett hyttebygning med lavere bruksareal bruke kortere tid til å varme opp med en vedovn. Når det først er oppnådd komforttemperatur, kan likevel en vedkomfyr med vannkappe gi for høyt bidrag. Dette bør vurderes i planleggingsprosessen når den tid er moden.

6.4 Solenergi i form av PV

PV-anlegg på hytter har lenge vært i bruk og er en metode for utnyttelse av solenergi. Sammen med batteri er det et velfungerende system for et hyttefelt uten infrastruktur for strøm. Som grunnlag for beregning av energiproduksjon er det brukt solinnstrålingsdata fra PVGIS. Sammenlignet med konservative målinger fra FAGKLIM på NMBU gir den satellittbaserte målingen fra PVGIS ikke store avvik og av den grunn er den brukt som solstrålingsgrunnlag. Likevel bringer modellen som brukes i PVGIS med seg usikkerheter. PVGIS bruker målingsdata fra én stasjon i Norge og med interpoleringsteknikker regner det seg frem til solinnstråling for et gitt koordinat. Det er ingen tvil at dette stiller svakere enn konservative målinger, men for denne oppgaven ble PVGIS vurdert som det beste alternativet.

Beregningen som er brukt har tatt hensyn til et samlet tap i hele systemet på 30 %. Dette tapet er hentet fra tidligere masteroppgaver med bruk av simuleringsverktøyet PVsyst. For en mer nøyaktig beregning for Nognilosen vil det være hensynsmessig å bruke et slikt simuleringsverktøy som neste steg. Disse kan være kostbare og har derfor ikke blitt brukt i denne oppgaven. Med hensyn på skygetap fra snø og horisontskygging, albedobidrag (refleksjon fra snø) vil en simulering gi en mer reell produksjon fra PV. Likevel kan en simuleringen gi usikkerheter og kan ikke konkurrere med ekte verdier fra et PV-modul satt opp på det bestemte området.

I denne oppgaven er det sett på to størrelser av et PV-system med 5 m² (690 Wp) og 10 m² (1380 Wp). Størrelsen på et anlegg bestemmes av forbruket. Er besøkene ofte på ei hytte

men har et lavt forbruk, kan det installeres et stort anlegg med lav lagringskapasitet. Er forbruket høyt men færre besøk, bør det være færre moduler med høyere lagringskapasitet. Grunnen til det er at med færre besøk vil en stor batteribank få muligheten til å fullade mellom hvert besøk og batteriene vil holde på levetiden. Følgende, med hyppig besøk men et lavt forbruk, vil flere moduler kunne lade opp en mindre batteribank på kortere tid. Av den grunn vil brukere som har et høyt forbruk og hyppige besøk behøve både flere moduler og stor batteribank. Ifølge kostnader brukt i oppgaven er enhetsprisen på en ekstra modul lavere enn et ekstra batteri. Derfor er det økonomisk å ha et stort PV-anlegg mot en stor batteribank.

Samtidig er det sett på potensiell produksjon fra moduler med 90° helningsvinkel. Det vil kunne monteres på rett på en endevegg rettet mot sør. Dette er gjort med hensyn på minst mulig skyggetap fra snø. I tabell 5.3 kan kolonnene med modulareal på 5 m^2 for optimal og 90° helningsvinkel sammenlignes. De viser at sammenlagt produksjon for hele året vil moduler med optimal helningsvinkel produsere ca 25 % mer enn de med 90° . Likevel gir modulene lik produksjon for de månedene der det er størst sannsynlighet for snøfall, som er november, desember, januar, februar og mars. Det er i sommermånedene at moduler med 90° helningsvinkel vil gi dårligere produksjon. På en annen side er ikke forbruket like stort i sommermånedene som vintermånedene. Den lavere produksjonen med vertikale moduler om sommeren vil gi et mindre tap enn skyggetap fra snø om vinteren. Derfor viser denne sammenligningen at produksjonsmessig vil det være mer lønnsomt å bruke moduler med 90° helningsvinkel.

Et undervurdert ledd er bidrag av diffus stråling på PV-moduler. Siden gjennomsnittlig andel diffus stråling av globalstrålingen er 15 %, tilsier det at det 15 % av produksjonen på PV kommer fra diffus stråling. Derfor kan bidraget på en vertikal modul på en overskyet dag være relativt stort.

En faktor som ikke er tatt i betraktning er skyggetap ved lav sol fra fjell i horisonten. Dette kan påvirke solinnstrålingen til en modul og påvirke produksjonen. Dette er noe som bør sees nærmere på ved en realisering av prosjektet.

6.5 Vindkraft

Som et supplement til solenergi og PV-anlegg er produksjon fra vindturbin et godt bidrag for vinterhalvåret. Ampair 600 vindturbin ble vurdert som passende for bruk i Nognilloen på grunn av robust konstruksjon i hardført klima. Likevel ga den vedlagte effektkurven en virkningsgrad som var usannsynlig høy for lave vindhastigheter. På grunn av virkningsgrad høyere enn Betzkriteriet, ble det nødvendig å se på en annen vindturbin. Valget falt derfor på Aeolos-H 500 W vindturbin, som ikke er like robust men i samme størrelsesorden. Det er dermed regnet vindproduksjon for denne turbinen med virkningsgrad fra en effektkurve. På grunn av erfaring med Ampair, ligger det usikkerheter i hvorvidt generell bruk av tekniske spesifikasjoner fra en produsent kan brukes som kilde.

En annen usikkerhet ligger i måledata som er hentet fra Kjeller Vindteknikk hvor det brukes vindhastigheter for 10 meters høyde. Som nevnt i delkapittel 3.2.4, blir ikke topografi

i området beskrevet godt i modellen til Kjeller Vindteknikk. En alternativ løsning for vinddata kan være å gjøre egne målinger av turbulens og vindhastigheter med eget måleutstyr. En annen løsning vil være å sørge for å sette opp en vindturbin på god avstand fra hindringer som bygninger og vegetasjon. For å unngå skyggekast fra en vindturbin er det en mulighet å plassere turbinen på nordsiden av ei hytte slik at sola ikke vil lage skygger på hytta.

6.6 Termoelektrisk generator

En termoelektrisk generator vil som nevnt kunne forsyne uten påvirkning av vær, men ved bruk av en varmekilde. En annen fordel er at den har vifter som sprer varme ut i rommet fra varmekilde. Likevel er opererer dagens tilgjengelige generatorer med liten effektivitet slik at de leverer liten effekt. Sammenlignet med vind og PV er kostnaden høy per effekt levert for tilgjengelige elementer. Likevel vil den være en stabil bidragsyter på vinterhalvåret hvor det sannsynligvis er kontinuerlig fyring i en vedovn. Den vil derfor være i et godt samspill med både vind og PV.

6.7 Lagringsløsning

For full utnyttelse av et energisystem med væravhengig produksjon er en effektiv lagringsløsning avgjørende. Tidlig i denne oppgaven ble batterier vurdert som beste lagringsløsning for en autonom hytte. Derfor er det gjort en sammenligning av forskjellige typer batterier, to blyakkumulatorer fra ulike produsenter og et litium-ion batteri. I oppgaven er autonomien for lagring i en hytte er satt til én uke. Med et høyt elektrisitetsforbruk vil det medføre en stor batteribank.

Bruk av blyakkumulatorer er kjent teknologi for frittstående energisystem på grunn av toleransen for lav utlading. SUNTEK er et batteri med AGM-teknologi som tåler lave temperaturer. På grunn av AGM-teknologien er det omtrent vedlikeholdsfritt. Surrette Rolls blyakkumulator på en annen side, har flytende elektrolytt og krever vedlikehold ved å sørge for riktig væsknivå i elektrolytten. En må i tillegg være mer forsiktig med forflytting på grunn av den flytende elektrolytten for Surette Rolls. For litium-ion batterier er det ikke behov for vedlikehold.

Med hensyn på energitetthet er den betraktelig høyere for litium-ion batteriet enn for blyakkumulatorene. Dette er en fordel dersom plass er et problem i forhold til bruksareal på ei hytte. Likevel er det tydelig at de høye kostnadene for litium-ion batteri er en avgjørende faktor for valget mellom blyakkumulatorene og litium-ion batteriet. Allikvel er levetiden for litium-ion lengre med flere ladesykluser slik at driftskostnader for litium-ion blir lavere. Et alternativ er bruk av en gjenoppliver som nevnt i delkapittel 2.6.5, som kan senke driftskostnader og innkjøpskostnader for blyakkumulatorer.

6.8 CO₂-utslipp ved bruk av gass og diesel

Dersom hyttefeltet skal ha en grønn miljøprofil bør det være et mål om å bruke minst mulig fossil brensel. Dette er imidlertid en utfordring for hytter uten tilgang til elektrisitet, hvor mange av hytteprodukter som er på markedet er gassdrevet eller bruker diesel. Som et alternativ til gasskjøleskap er det i denne oppgaven sett på kjøleskap som går på 12 V likespenning. Fordelen med det er at man unngår et utslipp på 1138 g CO₂ per døgn og kostnader ved innkjøp av propan. Ulempen er at det utgjør en stor del av elektrisitetsforbruket. Fordi forbruket er forventet å være høyere om vinteren kan det være et alternativ å bruke andre kjølemetoder enn kjøleskap om vinteren. Siden vinteren fører med seg lave temperaturer kan lagring i kjeller med god isolering, holde en lav temperatur og samtidig være frostsikker.

Ved matlaging på hytte brukes det ofte komfyr på gass. En fordel med gasskomfyr er at den har kort oppvarmingstid og derfor vil matlaging gå fort. Likevel viser beregninger at en gasskomfyr bruker 1746 g CO₂ per time som er mer enn hva et gasskjøleskap bruker på et døgn. Alt tatt i betraktning er utslippsberegningene er gjort for maksimal bruk av komfyr med alle koketopper og stekeovn. Det er ikke ofte dette dette er et tilfelle ved matlaging. Som et fossilfritt alternativ til gasskomfyr er det foreslått en vedkomfyr med vannkappe. I tillegg til å forsyne varmt vann og varme til rommet, kan den brukes til matlaging. Ulempen er at den vil ha lengre oppvarmingstid som er lite ønskelig ved ankomst. Dessuten vil det være unødig å bruke vedkomfyr for matlaging i milde perioder hvor det ikke er behov for varme.

Et dieselaggregat kan brukes for nødstrøm og ved høye laster. Dette er en fordel dersom batteribanken til anlegget er utladet eller det skal brukes laster med høy vekselsspenning. Ulempen er at dieselaggregat støyer og i følge beregninger vil ha et utslipp på 1869 g CO₂ per timer. Samtidig krever det at en bruker er bevisst på behovet for et nødsaggregat og ikke bruker det for små laster.

6.9 Kostnader

Et felles anlegg for energiløsning for hele hyttefeltet fører med seg mye infrastruktur fra første spade tak. Med det menes at det må gi mulighet for tilkobling fra et eventuell felles, teknisk bygning til hver enkelt hyttetomt fra starten av. Kabler må graves ned for at det skal være minst mulig sjenerende. Dette kan føre til en veldig høy oppstartskostnad i motsetning til autonome løsninger på hver tomt.

Hele den autonome løsningen foreslått i denne oppgaven for energiforsyning og frostsikring er grovt vurdert til å koste rundt 130 000 NOK. Noen vil mene at dette er en høy oppstartskostnad, men alternativet med å få infrastruktur for strøm til hyttefeltet vil være av en annen og høyere dimensjon.

7 | Konklusjon

Forbruket til en bruker med høy komfortstandard (A) på en hytte er beregnet til å være rundt 19 kWh for en uke i påske eller jul. En bruker med lavere komfortstandard (B) vil ha et forbruk på rundt 6 kWh for tilsvarende periode.

Hytter med innlagt vann krever frostsikring for å unngå komplikasjoner med frossede komponenter som må skiftes ut. En foreslått løsning er bruk av geotermisk varme fra en brønn som pumper opp vann på 8 °C som sirkulerer i veggen i et godt isolert rom. Ved å sirkulere vann på 5 °C i rør med en volumstrøm på 0,88 l/min i veggen, vil et rom kunne holde en tilsvarende temperatur. Den lave volumstrømmen vil kunne gi en naturlig sirkulasjon, men vil ha behov for en pumpe for å sette i gang sirkulasjonen. En ny type kollektor av et fleksibelt vannbestandig materiale, bør ha isolasjon på grunn av varmetap mellom oppstrøms- og nedstrømsvann. Beregnet minimum effekt fra en pumpe er 2,29 [mW]. Pumpebehovet for sirkulasjon i det frostsikre rommet er beregnet til 5,56 [mW].

Et slikt foreslått system for frostsikring er vurdert til å koste rundt 66 300 NOK.

For at et hyttefelt uten infrastruktur for strøm skal kunne være selvforsynt med energi er det viktig med tilstrekkelig vind og sol. Kilder oppgir for Nognilloen at gjennomsnittlig vindhastighet i 2013 var 5,28 m/s for 10 meters høyde, og en årlig global solinnstråling på horisontalflate er 890 kWh. På grunn av ulike målemetoder følger det usikkerheter med kildene.

Med dette ressursgrunnlaget er det beregnet potensiell produksjon fra et PV-anlegg på Nognilloen med ulik modulareal og helningsvinkel, ved bruk av REC 230 W moduler. For å minske skyggetap på modulene fra snø på vinterhalvåret er det foreslått at modulene har en 90° helningsvinkel. For fem m² (690 Wp) og med 90° helningsvinkel vil et REC PV-anlegg produsere 385,5 kWh i året. Med et dobbelt moduleareal med seks moduler (1380 Wp) vil produksjonen være 771 kWh i året.

En Aeolos-H 500 W vindturbin med oppgitt 1752 kWh årlig energiproduksjon for 5 m/s vindhastighet, er beregnet til en produksjon på 251 kWh i april i 2013 på Nognilloen. Til sammen for april vil PV med 5 m² og 90° helningsvinkel og vindturbin produsere 300 kWh.

Montert til en varmekilde som vedovn vil en termoelektrisk generator (TEG) produsere 45 W ved full fyring og være et jevnt bidrag til vinterhalvåret. Kostnadene til en TEG er estimert til å ligge på 3100 NOK.

For en lagringsløsning som skal holdes autonomt i en uke vil er det foreslått Surette Rolls blyakkumulatorer av hensyn på innkjøpskostnad. Med et høyt forbruk vil det være behov for 7 batterier med en lagringskapasitet på 357 Ah. Lavere forbruk vil kreve 3 batterier med tilsvarende batteriegenskaper.

Samspeilet mellom TEG, PV, vindturbin og batterier viser å være godt for en energiautonom hytte, og kostnadene vil ligge på rundt $66\,100 \pm 27\,000$ NOK.

Bibliografi

Flatpack2 48/1500 HE Solar.

Ampair (2012). Ampair600. <http://www.ampair.com/wind-turbines/ampair-600>. Besøkt:10.05.2014.

Andresen, I. (2008). Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus. En introduksjon.

Banks, D. (2012). *An introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling*. John Wiley & Sons, 2nd edition.

Byrkjedal, Øyvind og Åkervik, E. (2009). Vindkart for Norge.

Bøeng, A. C. (2009). Energiforbruk i boliger og hytter/fritidsboliger per husholdning 1990-2009. URL <http://www.ssb.no/a/kortnavn/husenergi/tab-2011-04-19-09.html>. Besøkt: 23.03.14.

Champier, D., Bédécarrats, J., Kouksou, T., Rivaletto, M., Strub, F., and Pignolet, P. (2011). Study of a TE (thermoelectric) generator incorporated in a multifunction wood stove. *Energy*, 36(1):1518–1526.

Chen, C. J. (2011). *Physics of Solar Energy*, volume 1. John Wiley & Sons.

Christensen, Tom og Bak H, Unn og Gurigard, Kjell (2004). Energi- og miljøriktig fritids- og turistutbygging. <http://www.hytteveilederen.no/docs/prosjektrapport.pdf>, 1. Besøkt: 22.02.14.

Dalløkken, P. E. (2011). Tar pulsen på batteriet. <http://www.tu.no/industri/motor/2011/06/15/tar-pulsen-pa-batteriet>. Besøkt: 30.04.2014.

Dell, R. M. and Rand, D. A. J. (2001). *Understanding Batteries*, volume 1. RSC Paperbacks.

DNV og Risø (2002). *Guidelines for design of Wind Turbines*, volume 2. DNV/Risø.

Energimyndighetene (2010). Highlighting options for a possible commission regulation implementing ecodesign directive and energy labelling directive with regard to vacuum cleaners. https://www.energimyndigheten.se/Global/Företag/Ekodesign/Ekodesign/Dammsugare/Vacum%20Cleaner%20for%20CF%2025%20June_VCs%20v0.pdf. Besøkt: 10.05.2014.

Farstad, M. R., F, J., and Almås, R. (2008). Fritidsboligfenomenet i Norge.

- Finnemore, E. J. and Franzini, J. B. (2002). *Fluid Mechanics with Engineering Applications*. MacGraw-Hill, 10th edition.
- Hadjipaschalis, I., Poullikkas, A., and Efthimiou, V. (2009). Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7):1513 – 1522.
- Honsberg, C. and Bowden, S. (2014). PVeducation. URL <http://www.pveducation.org/pvcdrom/>. Besøkt : 15.02.2014.
- Huddleston-Holmes, C. and Hayward, J. (2011). The potential of geothermal energy. Technical report, CSIRO.
- Hyttetorget (2014). Dometic RGE 3000. <https://www.hyttetorget.no/hvitevarer-gass/kjoleskap/kjoleskap-rge-3000>.
- IEEP and European Commission (2009). Environmentally Harmful Subsidies: Identification and Assessment. <http://ec.europa.eu/environment/enveco/taxation/pdf/Annex%20-%20Calculations%20from%20the%20case%20studies.pdf>. Besøkt: 01.02.2014.
- Johnson, D. G. (2014). Pumpe. <http://snl.no/pumpe>. Besøkt: 01.06.2014.
- Joint Research Centre (2012). Solar Radiation (Europe) in PVGIS. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solrespvgis.htm>. Besøkt: 05.02.2014.
- Kartverket (2014). Norgeskart. <http://www.norgeskart.no/>. Besøkt: 26.05.2014.
- Kjeldstad, T. (2012). Termisk ledningsevne og nanostruktur i La_{0,7}, Sr_{0,2} CoO₂. Masteroppgave, Universitetet i Oslo.
- Lovdata (2010). Forskrift om tekniske krav til byggverk. <http://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-489>. Besøkt: 05.03.2014.
- Luque, A. and Hegedus, S. (2011). *Handbook of photovoltaic science and engineering*. John Wiley & Sons.
- NORWEA (2012). Vindkraftens ABC.
- Olsen, H. R. (2013). Mulighetsstudie: Bruk av distribuert fornybar energiforduksjon på norske turisthytter.
- Paynter, R. T. and Boydell, B. T. (2005). *Electronics Technology Fundamentals*. Pearson Prentice Hall, 2nd edition.
- Photovoltaic-software (2014). Calculator. <http://photovoltaic-software.com/PV-solar-energy-calculation.php>.
- Ramstad, R. K. (2011). Grunnvarme i Norge - Kartlegging av økonomisk potensial. Technical report, NVE og Asplan Viak.
- Salvatore, J. (2013). World energy perspective cost of energy technologies.
- Schroeder, D. V. (2000). *An Introduction to Thermal Physics*. Addison Wesley Longman.
- SF Enova og Multiconsult (2013). Kostnadstudie, Solkraft i Norge 2013.

- Silvestre, S Boronat, A. and Chouder, A. (2009). Study of bypass diodes configuration on PV modules. *Applied Energy*, 86(9):1632 – 1640.
- Snyder, G. J. and Ursell, T. S. (2003). Thermoelectric Efficiency and Compatibility. *Physical Review Letters*, 91.
- Snyder, J. G. (2008). Small Thermoelectric Generators.
- SSB (2014). Bygningssmasse. www.ssb.no. Besøkt: 27.05.14.
- Statistics Finland (2013). Buildings and Free-time Residences 2013. http://www.stat.fi/til/rakke/2013/rakke_2013_2014-05-23_en.pdf. Besøkt: 27.05.14.
- Tesfahunegn, S. G. (2012). Fuel Cell Assisted PhotoVoltaic Power Systems.
- Thorud, B. (2013). Solceller i Norge – Når blir det lønnsomt? URL http://smartgrids.no/wp-content/uploads/2013/10/7_3_Thorud.pdf. Besøkt: 08.05.2014.
- Tipler, Paul A og Mosca, G. (2008). *Physics for Scientists and Engineers*. WH Freeman and Company, 6th edition.
- TNS Gallup (2013). Fritidsboliger på fjellet. http://www.nef.no/nef/xp/pub/mx/filer/vedlegg/Rapport-fritidsboliger-paa-fjellet-2013_626727.pdf. Besøkt: 27.05.14.
- Tyagi, V., Rahim, N. A., Rahim, N., Jeyraj, A., and Selvaraj, L. (2013). Progress in solar PV technology: Research and achievement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20(0):443 – 461.

A | Teknisk datablad for anbefalt utstyr

SIEMENS

Produktdatablad i henhold til EU direktiv nr 1059/2010

| |
|--|
| Varemerke: Siemens |
| Modellidentifikasjon: SN45M231SK |
| Nominell kapasitet i kuverter, for en standard oppvasksyklus: 13 |
| Energiklasse: A+++ |
| Årlig energiforbruk 215 kWh/annum, basert på 280 standard oppvaskykluser med kaldtvannstilkobling og strømforbruk i laveffektmodus. Det faktiske energiforbruket avhenger av hvordan maskinen brukes. |
| Energiforbruk i standard oppvasksyklus: 0,75 kWh |
| Strømforbruk i av-modus og standby-modus: 0,1 W / 0,1 W |
| Årlig vannforbruk 2800 l/annum, basert på 280 standard oppvaskykluser. Det faktiske vannforbruket avhenger av hvordan maskinen benyttes. |
| Tørkeevne A på skalaen A (mest effektiv) til G (minst effektiv). |
| Standardprogrammet (Eco 50) er standard oppvaskprogrammet som energimerket og opplysningsskjemaet henviser til; dette programmet er egnet til oppvask av normalt tilsmusset servise, og er det mest effektive programmet med hensyn til det kombinerte energi- og vannforbruket. |
| Programvarighet for standard oppvasksyklus: 160 min |
| Varighet av standby-modus: 0 min |
| Støy: 44 dB |
| Innbygging |

Figur A.1: Siemens produktdatablad for A+++ merket oppvaskmaskin. Hentet fra <http://www.siemens.com>.

Tabell A.1: Spesifikasjoner for Termorosa vedkomfyr med vannkappe. Hentet fra <http://bye.no/detaljer/332440/vedkomfyr-termorosa-tr02-bordeaux>.

| Termorosa | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| Materiale | Støpejern/stål |
| Varmeeffekt kW til vann | 9kW |
| Varmeeffekt kW til luft | 6,5 kW |
| Type brensel | Ved |
| Maks ved lengde | 35 cm |
| Virkningsgrad | 79,9 % |
| Mål brennkammer HxBxD (mm) | 327x265x408 |
| Mål stekeovn HxBxD (mm) | 300x330x400 |
| Avstand til brennbart materiale | side 200 mm / bak 200 mm |
| Avstand til ikke brennbart materiale | side 100 mm / bak 100 mm |
| Møbleringsavstand foran ovnen | min 1000 mm |
| Vekt | 196/218 kg |
| Røykrør | 150 mm |
| Røykuttak | Topp/bak |

| Tekniske data | | MODELLER: | REC205AE | REC215AE | REC220AE | REC230AE |
|--|--|--|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Maks effekt: | | 205 W | 215 W | 220 W | 230 W |
| | Effekt-toleranser: | | +/- 5 % | +/- 5 % | +/- 5 % | +/- 5 % |
| | Spenning ved maks effekt: | | 27,2 V | 28,0 V | 28,4 V | 29,1 V |
| | Strøm ved maks effekt: | | 7,6 A | 7,7 A | 7,8 A | 7,9 A |
| | Kortslutningsstrøm: | | 8,3 A | 8,3 A | 8,4 A | 8,4 A |
| | Ubelastet spenning: | | 36,0 V | 36,3 V | 36,4 V | 36,8 V |
| | Gj.snitt lading, [midt-norge, 45° vinkelmontert mot S] Wt/døgn | | | | | |
| | NOV-JAN / FEB-APRIL | | 77,90 / 432,55 | 81,70 / 453,65 | 83,60 / 464,20 | 87,40 / 485,30 |
| | MAI-JULI / AUG-OKT: | | 647,80 / 375,15 | 679,40 / 393,45 | 695,20 / 402,60 | 726,80 / 420,90 |
| | Antall celler / materiale: | | 60 / multikrystalin | | | |
| Virkningsgrad effekt/areal: | | 13,9% | | | | |
| Effekt garanti: | | 10 år 90% / 25 år 80% | | | | |
| Maks system spenning: | | 1000 V | | | | |
| Mål (LxBxH) i mm: | | 1665x991x43 | | | | |
| Vekt: | | 22 kg | | | | |
| Anbef. min. kabeltvernsnitt v/10m lengde: | | 4mm ² | | | | |
| Tilkobling: | | MCIII hurtig kobl | | | | |
| Temp. område: | | -40/+80°C | | | | |
| Fuktighet: | | 100% | | | | |
| Vindhastighet: | | 197 km/t | | | | |
| <p>Med forbehold om trykfeil og endringer i produktdata.</p> | | | | | | |
| <p>Certification / standards Complies to IEC 61215 2. edition and TÜV Safety Class II</p> | | <p>Pga modulenes tekniske beskaffenhet kan disse solcellemodulene kun benyttes i kombinasjon med en MPPT-regulator dersom de skal brukes til å lade batterier. Energitek sin OPTIMIZER er ypperlig til dette bruket. Den gjør solcellemodulene super effektive i forhold til standard anlegg</p> | | | | |

Figur A.2: Datablad fra www.getek.no med virkningsgrad for REC moduler



DEEP CYCLE
SERIES: 5000
MODEL: 12 CS 11P

BATTERY ENGINEERING
WWW.ROLLSBATTERY.COM MADE IN CANADA

BATTERY TYPE: 12 VOLTS

WEIGHTS:

| | | | | |
|--------|--------|---------------|--------|----------|
| LENGTH | 559 MM | 22 INCHES | 100 KG | 220 LBS. |
| WIDTH | 286 MM | 11 1/4 INCHES | 123 KG | 273 LBS. |
| HEIGHT | 464 MM | 18 1/4 INCHES | | |

CONTAINER CONSTRUCTION:

CONTAINER (INNER): POLYPROPYLENE
COVER (INNER): POLYPROPYLENE - HEAT SEALED TO INNER CONTAINER
CONTAINER (OUTER): HIGH DENSITY POLYETHYLENE
COVER (OUTER): HIGH DENSITY POLYETHYLENE SNAP FIT TO OUTER CONTAINER

TERMINALS: FLAG WITH STAINLESS STEEL NUTS AND BOLTS

HANDLES: MOLDED

ecoDIRECT

CLEAN ENERGY SOLUTIONS
 www.ecodirect.com 1-888-899-3509

PLATES:

| | | | | |
|----------------------------------|--------------|---------|---------------|----|
| POSITIVE PLATE DIMENSION: | | | | |
| HEIGHT | 10750 INCHES | 6 CELLS | 6 PLATES/CELL | 11 |
| WIDTH | 6265 INCHES | | | |
| THICKNESS | 0.265 INCHES | | | |
| NEGATIVE PLATE DIMENSION: | | | | |
| HEIGHT | 10750 INCHES | | | |
| WIDTH | 5.625 INCHES | | | |
| THICKNESS | 0.185 INCHES | | | |

CAPACITY:

| | | | | |
|---------------------|------|-----------------------------|----------|-------------|
| CRANK AMPS: | | | | |
| COLD (CCA) | 845 | ELECTROLYTE RESERVE: | 95 MM | 3.75 INCHES |
| MARINE (MCA) | 1054 | RESERVE CAPACITY: | RC @ 25A | 768 MINUTES |

20 HR RATE: 357

| CAPACITY @ | HOUR RATE | SPECIFIC GRAVITY | CAP / AH | CURRENT / AMPS |
|--------------|---------------|------------------|----------|----------------|
| 1,280 SP GR. | 100 HOUR RATE | 1,280 SP GR. | 503 | 5.03 |
| 1,280 SP GR. | 72 HOUR RATE | 1,280 SP GR. | 475 | 6.59 |
| 1,280 SP GR. | 50 HOUR RATE | 1,280 SP GR. | 459 | 8.78 |
| 1,280 SP GR. | 24 HOUR RATE | 1,280 SP GR. | 371 | 15.5 |
| 1,280 SP GR. | 20 HOUR RATE | 1,280 SP GR. | 357 | 17.9 |
| 1,280 SP GR. | 15 HOUR RATE | 1,280 SP GR. | 332 | 22.1 |
| 1,280 SP GR. | 10 HOUR RATE | 1,280 SP GR. | 316 | 29.6 |
| 1,280 SP GR. | 8 HOUR RATE | 1,280 SP GR. | 278 | 34.8 |
| 1,280 SP GR. | 6 HOUR RATE | 1,280 SP GR. | 253 | 40.2 |
| 1,280 SP GR. | 5 HOUR RATE | 1,280 SP GR. | 239 | 48 |
| 1,280 SP GR. | 4 HOUR RATE | 1,280 SP GR. | 221 | 55 |
| 1,280 SP GR. | 3 HOUR RATE | 1,280 SP GR. | 200 | 67 |
| 1,280 SP GR. | 2 HOUR RATE | 1,280 SP GR. | 171 | 86 |
| 1,280 SP GR. | 1 HOUR RATE | 1,280 SP GR. | 121 | 121 |



1 STATION RD. SPRINGHILL, NOVA SCOTIA, CANADA B0M 1X0 1.800.681.9914

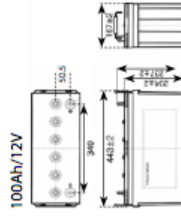
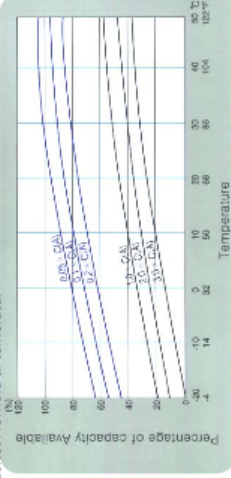
800
 Jan 10
 05:11 P

Figur A.3: Teknisk beskrivelse av Rolls batteri. Hentet fra <http://www.rollsbattery.com>.

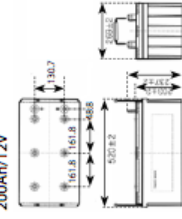
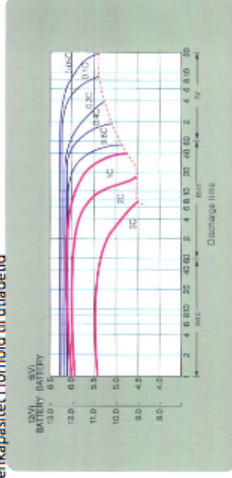
Mål og tekniske data

| Batteri type | Volt | 100 t 1,7V/C | 20 t 1,7V/C | 10 t 1,7V/C | 5 t 1,7V/C | 1 t 1,6V/C | Lengde | Bredde | Høyde | T-høyde | Kg |
|--------------|------|-----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|--------|--------|-------|---------|----|
| 100Ah | 12 | 120 | 110 | 102 | 88 | 63,2 | 443 | 167 | 204 | 237 | 32 |
| 200Ah | 12 | 240 | 216 | 204 | 175,5 | 126 | 520 | 269 | 203 | 237 | 60 |

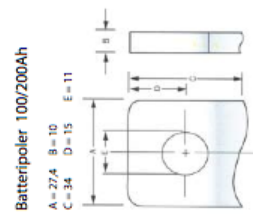
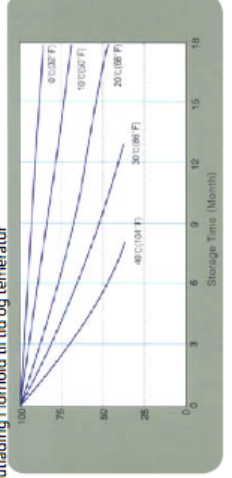
Kapasitet i forhold til temperatur



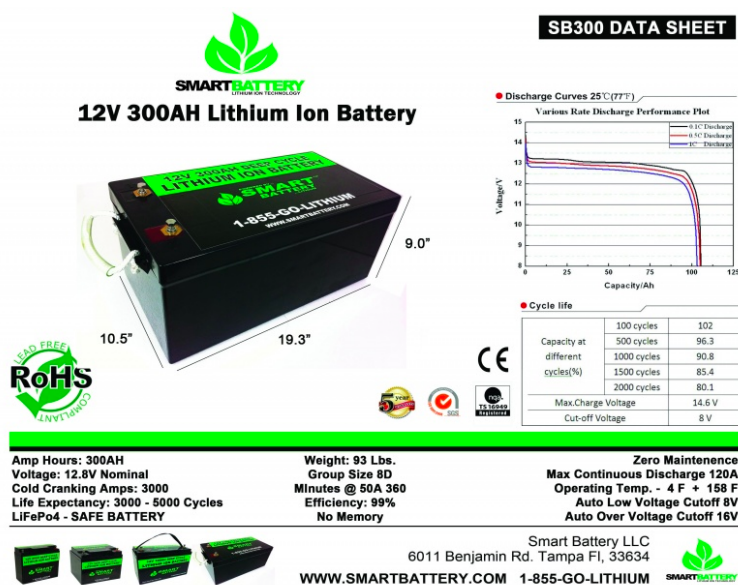
Batterikapasitet i forhold til utladetid



Selvtlading i forhold til tid og temperatur



Figur A.4: Teknisk data for Suntek batterier. I denne oppgaven brukes batteriene for 200 Ah. Hentet fra <http://www.getek.no>



Figur A.5: Teknisk beskrivelse av Li-ion SmartBattery. Hentet fra <http://www.lithiumion-batteries.com>.

2 – TEKNISKE SPESIFIKASJONER

| SPESIFIKASJONER | 50*60 | 60*60 |
|----------------------|--------------|--------------|
| UTVENDIG BREDDER | 500 mm | 600 mm |
| UTVENDIG DYBDE | 630 mm | 630 mm |
| UTVENDIG HØYDE | 855 mm | 855 mm |
| INNVEDIG BREDDER | 360 mm | 460 mm |
| INNVEDIG DYBDE | 400 mm | 400 mm |
| INNVEDIG HØYDE | 350 mm | 350 mm |
| STEKEOVNSVOLUM | 54 lt. | 64 lt. |
| STEKEOVNSBELYSNING | 15 W | 15 W |
| GRILLBRENNER | 1,48 kW | 1,48 kW |
| STEKEOVNSBRENNER | 2,25 kW | 2,66 kW |
| ELEKTRISK TILKOBLING | 230 V, 50 Hz | 230 V, 50 Hz |

Før du kobler til komfyren og tar den i bruk

Før du kobler til komfyren og tar den i bruk, studer monterings- og bruksanvisningen nøye. Avvisningen inneholder viktig sikkerhets, bruks- og vedlikeholdsinformasjon. Oppbevar anvisningen på et egnet sted for fremtidig bruk.

| DYSER I HENHOLD TIL GASSTYPER | | LPG G 30 | Naturgass G 20-20 mBar | Naturgass G 25-25 mBar | |
|---------------------------------|------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|
| Stor brenner 50x60-60x60 | Dyse | mm | 0.75/0.80 | 1.15/1.30 | 1,15/ 1,40 |
| | Gass-strøm | m ³ /h gr/h | 0,06/0,082 | 0.217/0,289 | 0,23/ 0,31 |
| | Effekt | kW | 2,00/2,600 | 2,00/2,700 | 1,85/ 2,52 |
| Medium brenner | Dyse | mm | 0.65 | 0,92 | 0,92 |
| | Gass-strøm | m ³ /h gr/h | 0,046 | 0,143 | 0,168 |
| | Effekt | kW | 1,500 | 1,330 | 1,366 |
| Liten brenner | Dyse | mm | 0.50 | 0,75 | 0,75 |
| | Gass-strøm | m ³ /h gr/h | 0,028 | 0,080 | 0,12 |
| | Effekt | kW | 0,900 | 0,760 | 0,95 |
| Grillbrenner 50x60-60x60 | Dyse | mm | 0.65 | 0,95/1.00 | 0,95/1.00 |
| | Gass-strøm | m ³ /h gr/h | 0,046 | 0,139 | 0,168 |
| | Effekt | kW | 1,48 | 1,315 | 1,366 |
| Stekeovnsbrenner 50x60-60x60 | Dyse | mm | 075 / 0,85 | 1,20 / 1,30 | 1,15 / 1,35 |
| | Gass-strøm | m ³ /h gr/h | 0,075/0,082 | 0,215 / 0,263 | 0,225/0,282 |
| | Effekt | kW | 2,25 / 2,66 | 2,2 / 2,475 | 2,15 / 2,28 |

Konvertering til annen gasstypet:

For å konvertere til annen gasstype, juster flammen på minimum nivå ved hjelp av en skrutrekker på ventilen slik figuren viser. Bytt dyser i henhold til tabellen over de ulike

| | Fra LPG til Naturgass | Fra naturgass til LPG |
|----------------|-----------------------|-----------------------|
| Stor brenner | 3 runder mot klokka | 3 runder med klokka |
| Medium brenner | 2,5 runde mot klokka | 2,5 runde med klokka |
| Liten brenner | 2 runder mot klokka | 2 runder med klokka |

Figur A.6: Teknisk data for Sunwind gasskomfyr. Hentet fra <http://www.sunwind.com>.

B | Tabeller brukt i beregninger

Tabell B.1: Gjennomsnittlig global solinnstråling for Nognillosen fra PVGIS brukt til beregninger for produksjon fra PV.

| | Global innstråling [Wh/m ² /dag] | | |
|-----------|---|------|------|
| | Horisontal | 42° | 90° |
| Januar | 176 | 506 | 476 |
| Februar | 774 | 1720 | 1630 |
| Mars | 1980 | 3180 | 2850 |
| April | 3580 | 4490 | 3420 |
| Mai | 4850 | 5160 | 3380 |
| Juni | 5420 | 5380 | 3310 |
| Juli | 4850 | 4920 | 3110 |
| August | 5420 | 4090 | 2880 |
| September | 4830 | 2880 | 2390 |
| Oktober | 3650 | 1690 | 1560 |
| November | 2100 | 740 | 784 |
| Desember | 963 | 205 | 249 |

| Brensel | Tilstand | Vekt % | brennverdi kWh/kg | Tetthet kg/m ³ | Utslipp. gram/kWh | | | |
|--|----------|----------|----------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|-----------|
| | | | | | CO ₂ | NO _x ⁴⁾ | SO ₂ | Partikler |
| Hydrogen | g | C = 0 | 33,6 | 0,09 | 0 | ~0 | 0 | 0 |
| | | H = 100 | | | | | | |
| | | S = 0 | | | | | | |
| Naturgass | g | C = 75 | 13,7 | 0,8 | 201 | 0,07 | ~0 | ~0 |
| | | H = 24 | | | | | | |
| | | S ~ 0 | | | | | | |
| Propan | g/v | C = 81,7 | 12,8 | g = 2,0 | 234 | 0,18 | ~0 | ~0 |
| | | H = 18,3 | | v = 0,51 | | | | |
| | | S ~ 0 | | | | | | |
| Butan | g/v | C = 82,7 | 12,7 | g = 2,7 | 239 | 0,18 | ~0 | ~0 |
| | | H = 17,3 | | v = 0,59 | | | | |
| | | S ~ 0 | | | | | | |
| Fyringsparafin | v | C = 86,5 | 11,9 | 0,8 | 269 | 0,25 | 0,03 | 0,02 |
| | | H = 13,5 | | | | | | |
| | | S = 0,02 | | | | | | |
| Fyringsolje, lett | v | C = 86,4 | 11,9 | 0,835 | 269 | 0,25 | 0,08 | 0,03 |
| | | H = 13,4 | | | | | | |
| | | S = 0,05 | | | | | | |
| Fyringsolje, tung | v | C = 85,4 | 11,6 | 0,95 | 272 | 0,43 | 1,72 | 0,11 |
| | | H = 13,6 | | | | | | |
| | | S = 1,0 | | | | | | |
| Ved, bjørk 20% fukt ¹⁾ (husholdning) | fs | C = 49,5 | 4,1 | 0,6 | (449) | 0,17 | 0,24 | >1,2 |
| | | H = 6,3 | | | | | | |
| | | S = 0,05 | | | | | | |
| Kull, svart ²⁾ (varierende) | fs | C = 81 | 7,9 | 0,7 | 378 | 0,57 | 2,53 | ~0,18 |
| | | H = 5 | | | | | | |
| | | S = 1 | | | | | | |
| Brunkull (varierende) ³⁾ | fs | C = 69 | 4,1 | 0,8 | 620 | 1 | 20 | >0,7 |
| | | H = 5 | | | | | | |
| | | S = 4 | | | | | | |

Variierende oksygeninnhold: ¹⁾ 38-40%, ²⁾ 3-11%, ³⁾ 20-30%
Kilde: SSB og Eiliv Sandberg.

Figur B.3: Oversikt over utslipp og brennverdig for ulike gasser. Hentet fra <http://www.flogas.no/om-gasol/miljo>, 01.05.14.

Figur B.1: U-verdi for isolasjon fra Glava brukt for å beregne varmetap fra frostsikkert rom. Hentet fra www.glava.no.

| Isolasjonstykkelse Utv. + innv. [mm] | Utvendig isolasjonsklasse [W/mK] | U-verdi [W/m ² K] ved oppfyllingshøyde | | |
|---|-------------------------------------|--|------|------|
| | | 0 m | 1 m | 2 m |
| 50 + 50 | 35 | 0,35 | 0,33 | 0,28 |
| 50 + 70 | 35 | 0,30 | 0,28 | 0,24 |
| 50 + 100 | 35 | 0,25 | 0,24 | 0,21 |
| 80 + 50 | 35 | 0,27 | 0,25 | 0,23 |
| | 37 | 0,28 | 0,26 | 0,23 |
| 80 + 70 | 35 | 0,24 | 0,23 | 0,20 |
| | 37 | 0,25 | 0,24 | 0,21 |
| 80 + 100 | 35 | 0,21 | 0,20 | 0,18 |
| | 37 | 0,21 | 0,20 | 0,18 |
| 100 + 0 | 35 | 0,32 | 0,30 | 0,25 |
| | 37 | 0,33 | 0,31 | 0,26 |
| 100 + 50 | 35 | 0,24 | 0,23 | 0,20 |
| | 37 | 0,24 | 0,23 | 0,20 |
| 100 + 70 | 35 | 0,21 | 0,20 | 0,18 |
| | 37 | 0,22 | 0,21 | 0,18 |
| 100 + 100 | 35 | 0,19 | 0,18 | 0,16 |
| | 37 | 0,19 | 0,18 | 0,16 |
| 120 + 100 | 37 | 0,17 | 0,16 | 0,14 |

Tabellen viser to ulike isolasjonsklasser for utvendig isolasjon. For innvendig isolasjon er $\lambda = 0,035$ W/mK. U-verdien gjelder for grunnforhold av løsmasser. Ved fjell/berg vil vi få et tillegg i U-verdien på opptil 0,1 W/mK.

Density of Water at Different Temperatures

| Temp (°C) | Density g/cm ³ | Temp (°C) | Density g/cm ³ | Temp (°C) | Density g/cm ³ | Temp (°C) | Density g/cm ³ |
|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|
| 0.0 | 0.999841 | 7.6 | 0.999872 | 15.2 | 0.999069 | 22.8 | 0.997585 |
| 0.2 | 9854 | 7.8 | 9861 | 15.4 | 9038 | 23.0 | 7538 |
| 0.4 | 9866 | 8.0 | 9849 | 15.6 | 9007 | 23.2 | 7490 |
| 0.6 | 9878 | 8.2 | 9837 | 15.8 | 8975 | 23.4 | 7442 |
| 0.8 | 9889 | 8.4 | 9824 | 16.0 | 8943 | 23.6 | 7394 |
| 1.0 | 9900 | 8.6 | 9810 | 16.2 | 8910 | 23.8 | 7345 |
| 1.2 | 9909 | 8.8 | 9796 | 16.4 | 8877 | 24.0 | 7296 |
| 1.4 | 9918 | 9.0 | 9781 | 16.6 | 8843 | 24.2 | 7246 |
| 1.6 | 9927 | 9.2 | 9766 | 16.8 | 8809 | 24.4 | 7196 |
| 1.8 | 9934 | 9.4 | 9751 | 17.0 | 8774 | 24.6 | 7146 |
| 2.0 | 9941 | 9.6 | 9734 | 17.2 | 8739 | 24.8 | 7095 |
| 2.2 | 9947 | 9.8 | 9717 | 17.4 | 8704 | 25.0 | 7044 |
| 2.4 | 9953 | 10.0 | 9700 | 17.6 | 8668 | 25.2 | 6992 |
| 2.6 | 9958 | 10.2 | 9682 | 17.8 | 8632 | 25.4 | 6941 |
| 2.8 | 9962 | 10.4 | 9664 | 18.0 | 8595 | 25.6 | 6888 |
| 3.0 | 9965 | 10.6 | 9645 | 18.2 | 8558 | 25.8 | 6836 |
| 3.2 | 9968 | 10.8 | 9625 | 18.4 | 8520 | 26.0 | 6783 |
| 3.4 | 9970 | 11.0 | 9605 | 18.6 | 8482 | 26.2 | 6729 |
| 3.6 | 9972 | 11.2 | 9585 | 18.8 | 8444 | 26.4 | 6676 |
| 3.8 | 9973 | 11.4 | 9564 | 19.0 | 8405 | 26.6 | 6621 |
| 4.0 | 9973 | 11.6 | 9542 | 19.2 | 8365 | 26.8 | 6567 |
| 4.2 | 9973 | 11.8 | 9520 | 19.4 | 8325 | 27.0 | 6512 |
| 4.4 | 9972 | 12.0 | 9498 | 19.6 | 8285 | 27.2 | 6457 |
| 4.6 | 9970 | 12.2 | 9475 | 19.8 | 8244 | 27.4 | 6401 |
| 4.8 | 9968 | 12.4 | 9451 | 20.0 | 8203 | 27.6 | 6345 |
| 5.0 | 9965 | 12.6 | 9427 | 20.2 | 8162 | 27.8 | 6289 |
| 5.2 | 9961 | 12.8 | 9402 | 20.4 | 8120 | 28.0 | 6232 |
| 5.4 | 9957 | 13.0 | 9377 | 20.6 | 8078 | 28.2 | 6175 |
| 5.6 | 9952 | 13.2 | 9352 | 20.8 | 8035 | 28.4 | 6118 |
| 5.8 | 9947 | 13.4 | 9326 | 21.0 | 7992 | 28.6 | 6060 |
| 6.0 | 9941 | 13.6 | 9299 | 21.2 | 7948 | 28.8 | 6002 |
| 6.2 | 9935 | 13.8 | 9272 | 21.4 | 7904 | 29.0 | 5944 |
| 6.4 | 9927 | 14.0 | 9244 | 21.6 | 7860 | 29.2 | 5885 |
| 6.6 | 9920 | 14.2 | 9216 | 21.8 | 7815 | 29.4 | 5826 |
| 6.8 | 9911 | 14.4 | 9188 | 22.0 | 7770 | 29.6 | 5766 |
| 7.0 | 9902 | 14.6 | 9159 | 22.2 | 7724 | 29.8 | 5706 |
| 7.2 | 9893 | 14.8 | 9129 | 22.4 | 7678 | 30.0 | 5646 |
| 7.4 | 9883 | 15.0 | 9099 | 22.6 | 7632 | | |

Figur B.2: Tabell over tettheten til vann ved ulike temperaturer som brukes for å regne ut tap og trykktap i brønn. Hentet fra <http://lilt.ilstu.edu/ewpeter/geo360/water%20density%20table.pdf>, 24.04.14



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no