



År: 2004

Høgskolen i Telemark

Tittel:

INTRODUKSJON AV FORNYBAR ENERGI I FJELLET

Rauhelleren turisthytte, Hardangervidda



Forfattere/
Studentnr.: Hans Olav Lægreid
U991750

Fagkode:

Oppgavetype: Hovudoppgåve

Vekttall: 10

Studium: Institutt for natur-, helse og miljøvern fag

Konfidensiell:



Avdeling for allmenne fag

Hallvard Eikas plass, 3800 Bø

Forord

Blaugselskapen i Telemark
Blaugselskapet - Ba

Med bakgrunn i mi rolle som vert på Rauhelleren turisthytte var det naturleg å velje ei oppgåve relatert til staden. Tema for oppgåva er ei vidareføring av mi interesse for energi og energibruk i fjellet.

Det var på sett og vis nokså tilfeldig eg kom over problemstillinga via internett på søk etter energitekniske løysingar, aktuelle for turisthytter i fjellet. På IFE (Institutt for Energiteknikk) sine heimesider var det slått opp som nyheit at dei var tildelt part i eit større EU finansiert Prosjekt. Dette prosjektet skal undersøkje bruk av hydrogen i åleineståande anlegg HSAPS (hydrogen in stand alone power system).

IFE responderte raskt på min førespurnad og kunne fortelja at Rauhelleren var interessant som ”site” for deira prosjekt. Eg presenterte dette for Arne Myhre ved høgskulen. Han meinte det ville la seg gjere å bruke dette som emne for ei hovudoppgåve, sjølv om det tematisk fall noko utanfor det oppgåvane ved institutt for natur og miljø tradisjonelt har omhandla.

Eg vil rette takk til IFE, først til Rolf Jarl Aaberg for hans raske respons og så til Ronny Gløckner for god rettleiing etter at han overtok som prosjektkoordinator. Vidare vil eg takke IFE for lån av utstyr for logging. Gjennom IFE har eg og fått samarbeide godt med Andreas Rinnan, student ved NTNU i Trondheim, som skreiv sin diplom om modellering av eit slikt anlegg på Rauhelleren. Øystein Ulleberg, også han ved IFE, har gjeve nyttig informasjon omkring PV (photo voltaic). Kjeller vindteknikk har med sin kompetanse på vind og vindmåling rettleia meg på rett spor ved tolking av vinddata.

Utan gode vene kan det vera vanskeleg å få gjennomført det ein brenn for. Og utan Ingebjørn Aasheim si gode hjelp kunne eg ikkje fått i stand logging av solinnstråling og vind. Han reiste 5-6 gonger eins ærend frå Os ved Bergen til Rauhelleren for å installere måleutstyr og hjelpe til med drifting av installasjonane. Også takk til hans kjenning Truls Rasmussen som konstruerte ein spesial regulator til solcellepanelet, som gjorde det mogeleg å logge straumproduksjonen.

Til slutt vil eg takke Arne Myhre for all hjelp gjennom arbeidet med oppgåva. Det har vore til umåteleg inspirasjon takka vere hans genuine interesse for miljø og miljøvenlege løysingar. Det å kunne dra vekslar på den kunnskapen han ber på og den tolmodige velvilje han har vist til å rettleie, har vore avgjerande for meg.

1 Innleiing

Elektrisk energibruk i sårbare naturområde har tradisjonelt vore basert på lite miljøvenlege, støyande diesellaggregat. Ved dei fleste høve er heller ikkje energiøkonomiske løysingar, som bruk av overskotsvarme frå motoren, installert. Når mange slike åleineståande anlegg i tillegg krev transport av drivstoff vekk frå allfarveg, synest det teneleg å sjå på alternative energikjelder. Den forholdsvis kostbare energibruken med dagens anlegg bør gje økonomisk insitament til å investere i åleineståande energisystem basert på fornybare ressursar.

Ved å nytte energien i sol og vind kan det produserast elektrisk kraft til spalting av vatn til hydrogengass og oksygengass ved elektrolyse. Hydrogengass (H_2) er svært energirik og inneheld om lag 3 gonger så mykje energi per masseining som diesel. Ved å bruke H_2 som drivstoff i brenselceller kan det dannast elektrisk energi til forbruk. I tillegg til elektrisk energi frigjer denne prosessen mykje varme som kan nyttast til oppvarming.

For å vurdere om dei naturgjevne forholda ligg til rette for bruk av ny teknologi ved Rauhelleren turisthytte, er det gjort innleiande undersøkingar på det energetiske potensialet i sol og vind i tillegg til bruk av elektrisk energi i noverande system. Målet er å finne ut korleis energibruken kan tilpassast bruk av fornybar energi. På lengre sikt er målet at denne tilpassinga legg til rette for bruk av hydrogen som energiberar. Det er i dette arbeidet ikkje utført nokon økonomisk analyse av nytt energisystem, fordi det ville ført til ei arbeidsmengd langt ut over dei 10 vekttala oppgåva er tenkt å dekka. Likevel er det til ein viss grad gjort økonomiske vurderingar basert på tilgjengeleg kunnskap.

2 Samandrag

Denne undersøkinga har som mål å greie ut om fornybare energikjelder, og teknologien rundt bruk av hydrogen som energiberar, kan dekke behovet for elektrisk energi på Rauhelleren turisthytte. Sidan 1981, då Rauhelleren fekk installert den første dieselgeneratoren, har fossilt brensel vore kjelda for elektrisk energi. Sidan den gongen har det skjedd ei rivande utvikling innan fornybare energikjelder som sol- og vindenergi og brenselcelleteknologien. Utfordringa so langt har vore å lagre energien, slik at forbruket kan skje ved behov uavhengig av dei fysiske forholda.

Det er utført målingar av ressursgrunnlaget for sol- og vindenergi og logging av effektbruk. Produksjonspotensialet for vindenergi er basert på både eigne målingar og data gjevne av Meteorologisk institutt (DNMI). Målingane vart utført over 3 månadar på Rauhelleren, og dei er korrelerte mot DNMI-data frå Finse for å kunne lage tidsserie for eit heilt år. Med utgangspunkt i produksjonskurva til ein 22 kW vindturbin kan det produserast 66 MWh elektrisk energi frå vindenergi over eit år på Rauhelleren.

Problem knytt til målingar av solinnstråling gjorde at desse ikkje kunne brukast i analysen. Grunnlaget for analysen er difor måledata henta frå SOLIS-prosjektet med 9 målestasjonar i Sør-Noreg i perioden 1994-2001. Resultatet av målingane viser eit årleg potensial på 138 kWh/m². For å produsere 66 MWh tilsvarande som frå vindturbinen krev det eit solcelleareal nær 500 m².

Dieselgeneratoren produserer 27,2 MWh elektrisk energi årleg, dette er gjennomsnittet av ein 5 års referanseperiode frå 1997-2001. Forbruket er prega av hyppige og store sprang i effektbruken der toppane ligg tett opp mot yteevna til generatoren. Dette vart stadfesta av målingar utført vinteren 2003.

Målingane som er utført, er ikkje tilstrekkelege som grunnlag for val av løysingar. Til det er det for korte måleperiodar og unøyaktige målingar. Arbeidet har derimot avdekt eit stort potensiale for optimalisering av dagens energibruk, noko som også legg grunnlaget for vidare undersøkingar. Optimalisering inneber endring av energibruk ved å erstatte elektrisk energi til oppvarming av vatn med gass og ulike former for biologisk brensel. For å auke verknadsgraden til dieselgeneratoren når den går, kan i tillegg energi lagrast i batteri til

mindre forbruk. Det vil medføre minimal bruk av fossilt brensel, samtidig som forbruket vert tilrettelagt for ein seinare introduksjon av fornybare energikjelder og hydrogen som energiberar. Reduserte effekttoppar og generelt lågare forbruk av elektrisk energi reduserer både omfanget av eit hydrogenanlegg og med det framtidige investeringeskostnader. På kort sikt vil det også bli lågare driftskostnad.

3 Summary

The goal of this enquiry is to find out whether renewable energy sources with supporting technology can supply the needs of electrical power at Rauhelleren tourist cabin. Since 1981, when the first diesel genset was installed, energy from fossil fuel has been the main source of electrical power. Since then there has been an enormous development in use of renewable sources like sun- and wind energy and fuel cell technology. The storage of energy has been the main challenge so far, because of the need for consumption to occur independently of physical environmental circumstances.

The physical sources of sun- and wind energy have been investigated together with power consumption. Potential production from wind energy has been based on both data from measurements on site and data from the Norwegian Meteorological Institute (DNMI). Logging on site was done for 3 months in winter 2003, and has been correlated with data from DNMI in order to create a one-year scenario. With the production curve from a 22 kW wind turbine as reference, a possible annually production to be reached is about 66 MWh.

Owing to difficulties with logging solar radiation, data from 9 sites in Southern Norway (1994-2001), in the so-called SOLIS-project, is used to make an overview at Rauhelleren. This shows an annual radiation corresponding to an electrical production at 138 kWh/m^2 . To produce 66 MWh, as is possible with the 22 kW wind turbine, we need to cover area of nearly 500 m^2 with solar cells.

The diesel genset has during the last 5 years provided an annual electrical production at about 27,2 MWh. Correlated data from winter 2003 show frequently and large jumps in consumption, where peaks are up to the limit of the genset.

The accomplished logging is not adequate for which system to pick out. Too short logging period and inexact data gave us too unreliable foundation. The work has on the other hand visualised a great potential for improving today's energy consumption, which also create a new base for further inquiries. In detail, this means to replace electrical power for heating water, with gas (LPG) and different kinds of biological firewood. To increase the efficiency of the genset when running, there is also an opportunity to store electrical energy in batteries for small-scale consumption. This will bring the use of fossil fuel to a minimum, and

also arrange for introduction of renewables and hydrogen as energy carrier in the future. Reduced peaks and overall lower electrical consumption, reduces the storage capacity of hydrogen and with that also construction costs. In short sight it will give the benefits of low operation costs.

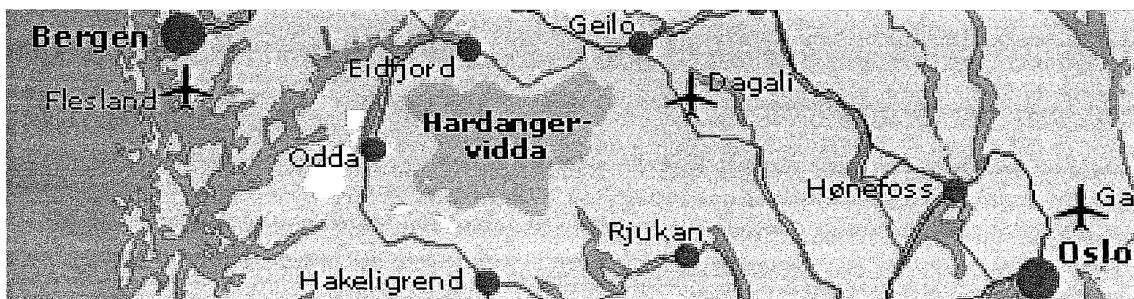
Innhold

1	Innleiring	.....	s. 3
2	Samandrag	.....	s. 4
3	Summary	.....	s. 6
4	Lokalitetsbeskriving	.....	s. 9
	4.1 Hardangervidda	.....	s. 9
	4.2 Rauhelleren	.....	s. 9
	4.3 Naturgeografi	.....	s. 10
	4.4 Energisituasjonen i dag	.....	s. 10
5	Aktuelle alternative energikjelder	.....	s. 12
	5.1 Solenergi	.....	s. 12
	5.2 Vindenergi	.....	s. 12
6	Energiomformarar	.....	s. 14
	6.1 Solceller	.....	s. 14
	6.2 Vindturbin	.....	s. 15
	6.3 Elektrolyse og elektrolysør	.....	s. 20
	6.4 Lagring av H ₂	.....	s. 21
	6.5 Brenselceller	.....	s. 24
7	Måleutstyr og metode	.....	s. 25
	7.1 Vind	.....	s. 25
	7.2 Solenergi	.....	s. 27
	7.3 Bruk av elektrisk energi og effekt	.....	s. 27
8	Resultat	.....	s. 29
	8.1 Vindenergipotensialet	.....	s. 29
	8.2 Energipotensial frå sol	.....	s. 33
	8.3 Effektforbruk	.....	s. 35
9	Diskusjon	.....	s. 41
	9.1 Vind	.....	s. 41
	9.2 Sol	.....	s. 42
	9.3 Kombinasjon av sol og vind	.....	s. 43
	9.4 Reduksjon av effekttoppar	.....	s. 43
10	Konklusjon	.....	s. 45
	Kjelder	.....	s. 47
	Vedlegg	.....	s. 48

4 Lokalitetsbeskriving

4.1 Hardangervidda

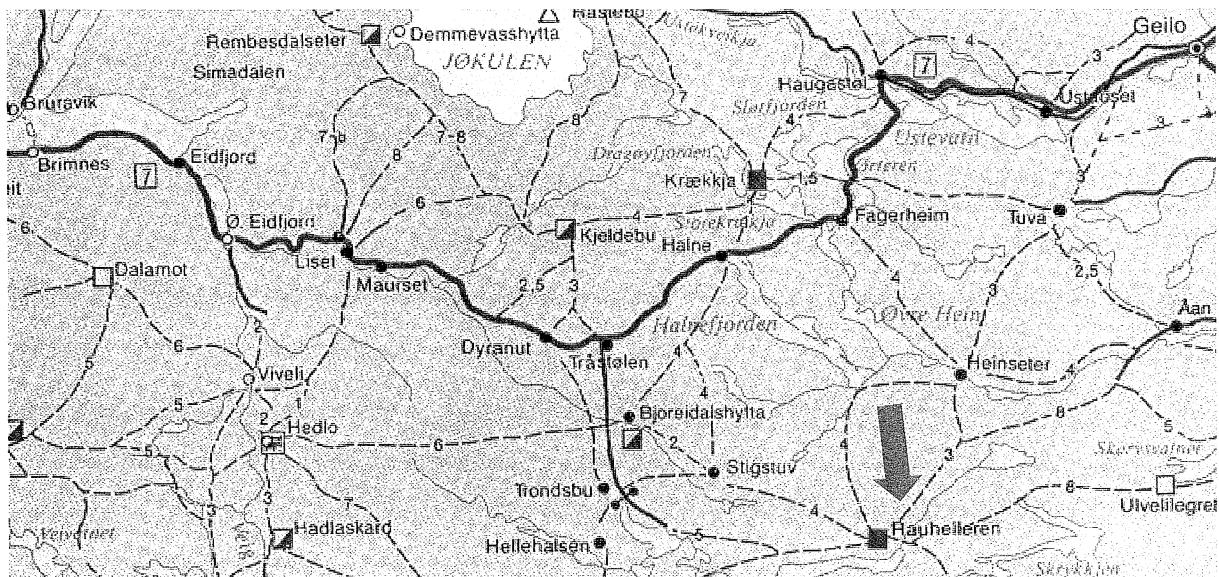
Hardangervidda er Nord Europas største høgfjellplatå, med eit samla areal tett oppunder 10.000 km^2 . I 1981 vart 3.430 km^2 freda som nasjonalpark som ledd i å bevara eit særmerkt naturområde. Føremålet med fredinga er etter § 2 i forskrift om vern for Hardangervidda nasjonalpark, ”å verne ein del av eit særleg verdfullt høgfjellsområde på ein slik måte at landskapet med planter, dyreliv, natur- og kulturminne og kulturmiljøet elles vert bevart, samstundes som området skal kunne nyttast for landbruk, naturvenleg friluftsliv og naturoppleveling, jakt og fiske, og undervisning og forsking.”



Figur 4.1: Figuren viser Hardangervidda

4.2 Rauhelleren

Rauhelleren (UTM 32V 04 36 300E 66 80 500N) er ei turisthytte med 52 senger. Standarden er enkel med delvis sentral oppvarming og felles sanitæravdeling. Totalt er bruksarealet om lag 900 m^2 fordelt på ei sanitæravdeling og ein 2 etasjars hovudbygning. Sanitærbygget vart oppført i 1997 og inneholdt toalett, dusj, tørkerom, klesvaskerom og ei teknisk avdeling med aggregatrom og verkstad. Hovudbygget vart fyrste gong oppført i 1925 og har etter den tid vorte bygd på fleire gonger. Siste ombygginga skjedde i år 2000 då nytt kjøkken og oppussing av matsal og resepsjon fann stad. Kortaste avstand til veg om vinteren er 25 km og om sommaren 13 km. Drifta fordeler seg på 6 veker vintersesong og 10 veker sommarsesong med eit gjennomsnittleg årleg besøk på ca. 3.500 gjestedøgn.



Figur 4.2: Figuren viser lokalisering av Rauhelleren på Hardangervidda

4.3 Naturgeografi

Området rundt Rauhelleren er prega av eit roleg, bølgjande landskap som er sterkt eksponert for vêr og vind. Sjølve hytta ligg i ei sørsvendt li ved Langesjøen. Berggrunnen består stort sett av grunnfjell dekka av morene. Lokalt førekjem restar av fyllittiske bergartar slik som i Rauhellerskorane rett nord for hytta. Klimaet er prega av overgangen frå oseanisk til kontinentalt, og der den oseaniske påverknaden er størst frå sørvest og den kontinentale frå nordaust (NOU, 1974 30 B).

4.4 Energisituasjonen i dag

Rådgjevande ingeniør Dagfinn H. Jørgensen (1995) har utført ei forenkla effekt- og energivurdering med utgangspunkt i ein utetemperatur på -17°C . Dette estimatet gir eit totalt effektforbruk til oppvarming på 23 kW fordelt på 13 kW vassbåren og 10 kW elektrisk. I tillegg kjem elektrisk effektforbruk til maskiner og utstyr som i rapporten er sett til å vere maksimum 35 kW med 60 % samtidsbruk. I og med at desse tala representerer effektbehovet ved lågaste temperatur og med usikker samtidbruk, må verdiane i beste fall berre reknast som rettleiande.

I perioden 1997-2002 var driftstida til dieselgeneratoren 9994 timer og samla produksjon av elektrisk energi 136,6 MWh. Frå aggregatleverandøren vert det opplyst at dieselforbruket til motoren er 0,377 L/kWh. Det gir eit totalt forbruk på 51.504 L i perioden og 10.300 L årleg. I elektrisk energi gir dette 27,2 MWh i året. Dersom utnyttinga av spillvarme frå motoren vert teken med, vil årleg tilgjengeleg energi utgjere omlag 52,3 MWh. I tillegg kjem ca. 1.000 L diesel til fyrkjel for forbruksvatn, som utgjer ca. 5,1 MWh. Vedforbruket varierer, men vert sett til 1 famn i året som tilsvarar i overkant av 2,1 MWh. Estimert mengd avfall er ca. 1.500 kg og utgjer 1,8 MWh. All matlaging skjer med gass, og i seinare tid har det også kome til noko romoppvarming med gass. Totalt er forbruket av propan ca. 900 kg, som tilsvarar 10,4 MWh.

Tabell 4.1: Oversikt over dagens energibruk på Rauhelleren. (EBL, 2004; Mathisen, S.A., 2004).

Kjelde	Mengde	Energiinnhold	Verknadsgrad (η) varme	Energi elektrisitet	Energi el MWh	Energi varme MWh
Gass	900 Kg	12,8 MWh/tonn	0,9			10,4
Diesel Gen	10300 L	10,15 kWh/L	0,5	0,26	27,2	52,3
Ved	800 Kg	4,3 MWh/tonn	0,6			2,1
Avfall	1500 Kg	3 MWh/tonn	0,5			2,3
Diesel fyr	1000 L	10,15 kWh/L	0,9			9,1
					27,2	76,1
				Total tilgang per år (MWh)		103,3

Tabellen viser den totale tilgangen på høg og lågverdi energi og kor mykje av tilført energi som vert omdanna (η) til varme og elektrisitet. Den totale tilgangen speglar ikkje nødvendigvis det aktuelle behovet. Skal all energien kunne brukast, må det vera proporsjonalitet mellom behovet for elektrisk energi og energi til oppvarming av rom og vatn. I periodar med lite belegg vil arbeidsoppgåver som krev mykje elektrisk energi, gje eit overskot av varme som er større enn behovet. Derfor vil ein del av energitilgangen ikkje kunne nyttast.

Kalkulasjonar bygd på Jørgensen si energivurdering, viser eit årleg energibehov på 79,5 MWh for dei periodane i løpet av eit år turisthytta er open.

5 Aktuelle alternative energikjelder

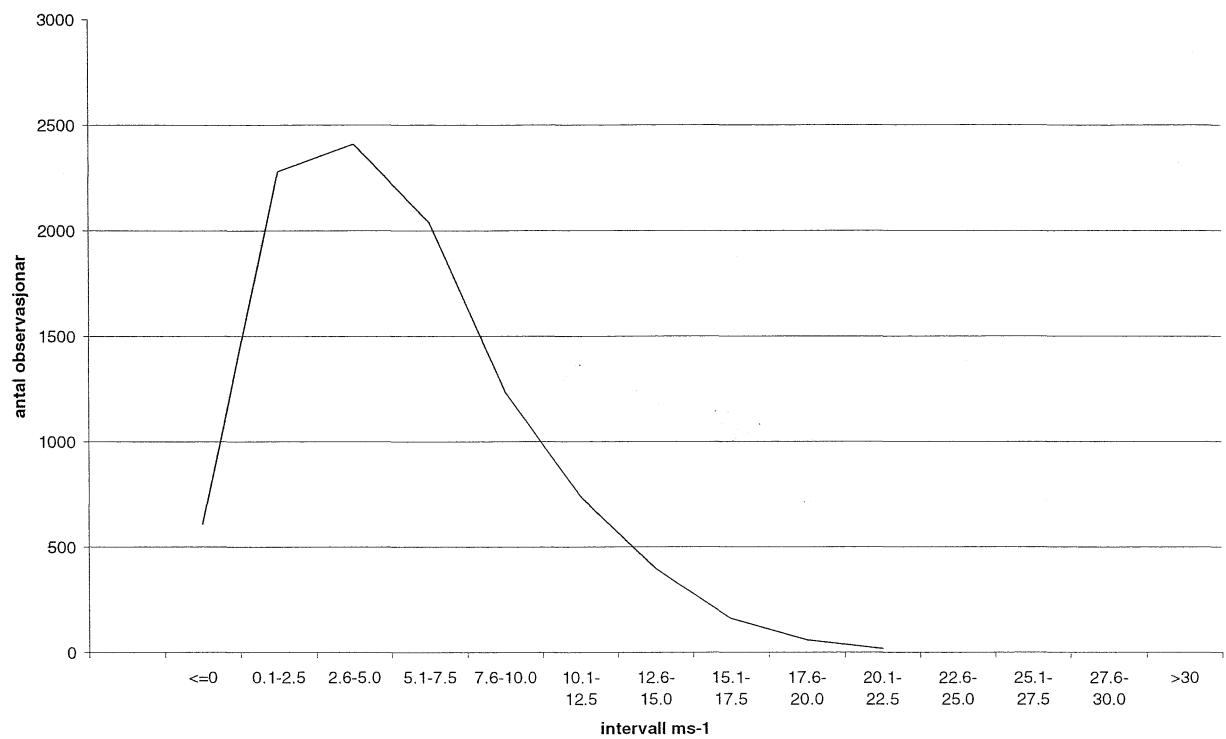
5.1 Solenergi

Solenergi representerer ei energiform som mennesket i uminnelige tider har gjort seg nytte av. Mengda av solenergi som treffer jorda er av omfang så stor at den åleine kan dekke verdas energibehov 13.500 gonger (Myhre, A., 2003). Sjølv om me ligg høgt på den nordlege halvkule, kan årleg akkumulert solinnstråling over Sør-Noreg koma opp imot 1100 kWh/m^2 (Salvesen, F., red, 2001). For å få den beste utnyttinga av solenergi er det viktig at ikkje skyer hindrar strålinga. Det er difor stor skilnad i effekten av solenergi alt etter kvar i landet ein er. Fjellstroka i Sør-Noreg er påverka av både kontinentalt klima med mykje klart vær og oseanisk klima med meir skyer. Det kontinentale klimaet er mest gunstig for energipotensialet, då det inneber fleire soltimar. Frå SOLIS-prosjektet er det henta data frå 9 ulike lokalitetar i Sør-Noreg i perioden 1994-2001. Desse er basert på 78.858 målingar, og viser i gjennomsnitt samla årleg innstrålt energi på 923 kWh/m^2 . Høgaste gjennomsnitt var det ved Møglestu vidaregåande skule i Lillesand kommune i Aust Agder, med 1097 kWh/m^2 . Det lågaste gjennomsnittet var ved Ulstein vidaregåande i Ulstein kommune i Møre og Romsdal med 783 kWh/m^2 (SOLIS databasen, 2003).

5.2 Vindenergi

Vind er luft i rørsle og reint fysisk eit indirekte produkt av solstråling. Sola varmar opp lufta ulikt, og det vil oppstå trykkskilnadar med høgtrykk og lågtrykk. Vinden som oppstår vil alltid blåse frå område med høgare trykk mot område med lågare trykk. Noreg er spesielt eksponert for vind, både på grunn av geografisk plassering i vestavindsbeltet og den lange kyststripa. Dei beste lokalitetane for å utnytte vindkraft er naturleg nok i havgapet der vinden ikkje har topografiske hinder, men også fjellstrøka i innlandet kan ha område med gode vindressursar. Drift av installasjonar for å utnytte vinden i fjellstrok gjev spesielle utfordringar. Installasjonane er ofte vanskeleg tilgjengelege, og dei blir ståande ubemanna delar av året. Samanlikna med kysten vil sjølv sterkt vindeksponerte stadar i fjellet som regel ha mindre vind som følge av vegetasjon og topografi (Myhre, A., 2003).

Meteorologisk institutt har fleire observasjonsstasjonar rundt Hardangervidda. Den nærmeste til Rauhelleren er Finse som ligg om lag 50 km mot nordvest. Denne stasjonen hadde gjennomsnittleg vindstyrke på $5,4 \text{ ms}^{-1}$ med standardavvik på $4,1 \text{ ms}^{-1}$ i perioden 1995-2001. Sterkast vind på 51 ms^{-1} vart målt 08.10 1995 (DNMI, 2003).



Figur 5.1: Fordeling av observasjonar i $2,5 \text{ ms}^{-1}$ intervall frå Meteorologisk institutt sin stasjon på Finse.

6 Energiomformarar

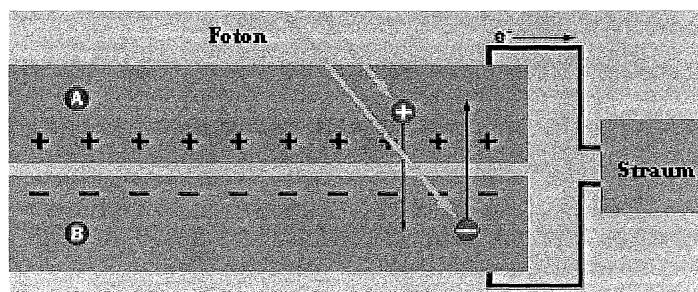
6.1 Solceller

I solceller vert sollys omforma til elektrisk energi. Solcellene er bygd opp av halvleiatar som leier straum betre enn isolatorar og därlegare enn metall. Den mest nytta halvleiaren for produksjon av solceller er silisium, men germanium kan også brukast. Silisium har fire valenselektron som er med i fire like sterke kovalente bindingar. Er temperaturen høg nok, kan dei termiske rørslene til elektona bli så kraftige at elektronen riv seg laus frå dei faste plassane i halvleiaren. Samtidig som det har blitt donna leiingselektron, har det blitt donna ledige elektronplassar. Desse ledige elektronplassane blir kalla hol, og dei kan bli fylt opp med elektron frå naboområda. Ved ei slik flytting av elektron oppstår det nye hol i desse områda. I staden for å seie at det er elektron som flytter seg i ein retning, kan vi seie at det er positive hol som flytter seg i motsett retning. I ein rein Si-krystall er det like mange leiingselektron som positive hol.

Men tilfører vi silisium ørsmå mengder av fosfor eller bor, endrar vi forholdet mellom talet på leiingselektron og hol. Vi seier at vi dopar halvleiaren. Dopar vi silisium med fosfor, får vi ein n-leiar. Fosfor har fem valenselektron, og fire av elektronen er med i fire bindingar med nabatomma. Det blir derfor eit elektron per fosforatom som kan rive seg laus frå dette atomet og deretter flytte seg lett gjennom krystallen. Desse negative elektronen er ladningsberarar i denne typen halvleiatar, og n i n-leiar står for negativ.

Silisium dopa med bor har andre eigenskapar. Bor har tre valenselektron, og det manglar eit elektron på å få fire bindingar rundt B-atomet. Det er ein ledig elektronplass, og denne fungerer som eit hol. Hoppar eit elektron frå naboområdet inn på denne ledige plassen, er dette det same som at eit positivt hol flytter seg i motsett retning. I slike halvleiatar er det positive hol som står for ladningstransporten. Det naturlege namnet på denne typen halvleiatar er derfor p-leiar, der p står for positiv. Både n-leiarar og p-leiarar er elektrisk nøytrale sjølv om dei har fått fleire ladningsberarar enn i reint silisium.

Ei solcelle består av eit tynt p-dopa overflatelag og eit n-dopa lag lengre nede i cella. I området der p-leiaren og n-leiaren er i kontakt med kvarandre, er det eit overgangssjikt. Lys som går gjennom p-laget, kan bli absorbert i og omkring dette overgangssjiktet. Dette fører til at det blir dannar eit elektronholpar. Etter dette vandrar hola til p-leiaren og elektrona til n-eiaren. Det blir overskot av positiv ladning på p-leiaren og negativ ladning på n-leiaren. Resultatet er eit lite batteri som kan drive elektrisk straum i ein ytre krins (Øgrim, O. m.fl., 1984). Figur 6.1 viser ein figur av ei solcelle.

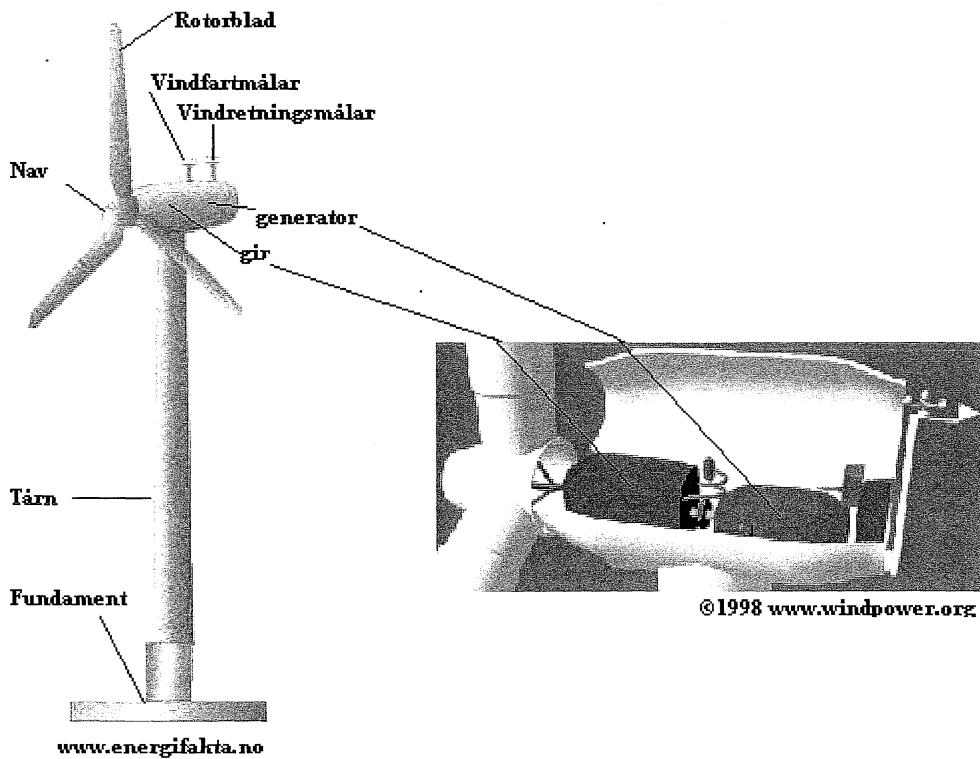


Figur 6.1: Figuren viser ei skisse av ei solcelle. Kjelde: HowStuffWorks, Inc, 2004.

Vanlegvis har ei solcelle eit areal på 50-100 cm² og gir typisk ein straum på 3A med ei spenning på 0,5 V. Ved å kople saman fleire celler parallelt og i serie til solcellepanel kan det produserast straum med dei storleikane det er behov for. Når verknadsgraden er så beskjeden som 15 %, er det viktig at solcellepanelet ikkje vert utsett for skugge. Dersom ei av cellene i eit panel vert skuggelagt, vil verknadsgraden til heile panelet bli redusert. Orienteringa av solcellene i forhold til sola er viktig for å få høgt energiutbytte. Det er mest gunstig at solstrålene kjem loddrett inn på solcellene. Derfor er det fordelaktig at panela vender mot sør og med ei helling som varierer med årstida (Salvesen, F., red, 2001).

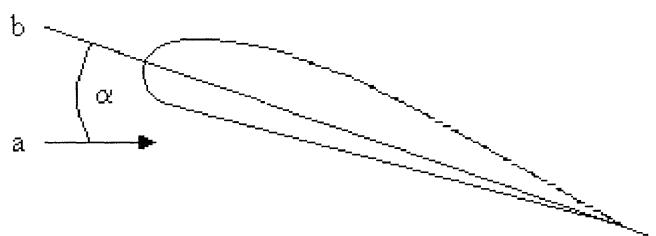
6.2 Vindturban

Vindturbinar omdannar noko av rørsleenergien i lufta til elektrisk energi. Konstruksjonen er anten horisontalaksla eller vertikalaksla. Den horisontalaksla turbinen, som også er mest vanleg, består av eit tårn med maskinhus og turbin (rotorblad). Denne typen vindturbin er vist i figur 6.2. Maskinhuset inneholder girkasse og generator i tillegg til diverse instrument og elektronikk. Vindturbinen stiller seg heile tida vinkelrett på vindretninga.



Figur 6.2: Prinsippskisse av ein tradisjonell hoisontalaksla vindturbin.

Når lufta treffer rotorbladet, vert det danna eit undertrykk på oversida av bladet som får rotoren til å gå rundt. Dette er det same prinsippet som dannar løftet til flyvengar. Angrepssvinkelen α , som er vist i figur 6.3, er vinkelen mellom retninga a til luftstraumen og kordlina b frå framkant til bakkant av rotorbladet. Denne vinkelen er med og bestemmer trykkskilnaden på over og undersida av rotorbladet, og med det kor stor kraft luftmassen øver på turbinen. For ein gitt vindstyrke aukar rotasjonsfarten med aukande angrepssvinkel opp til ein bestemt verdi. Over denne α -verdien oppstår det turbulens over vengen, og rotasjonsfarten avtek.



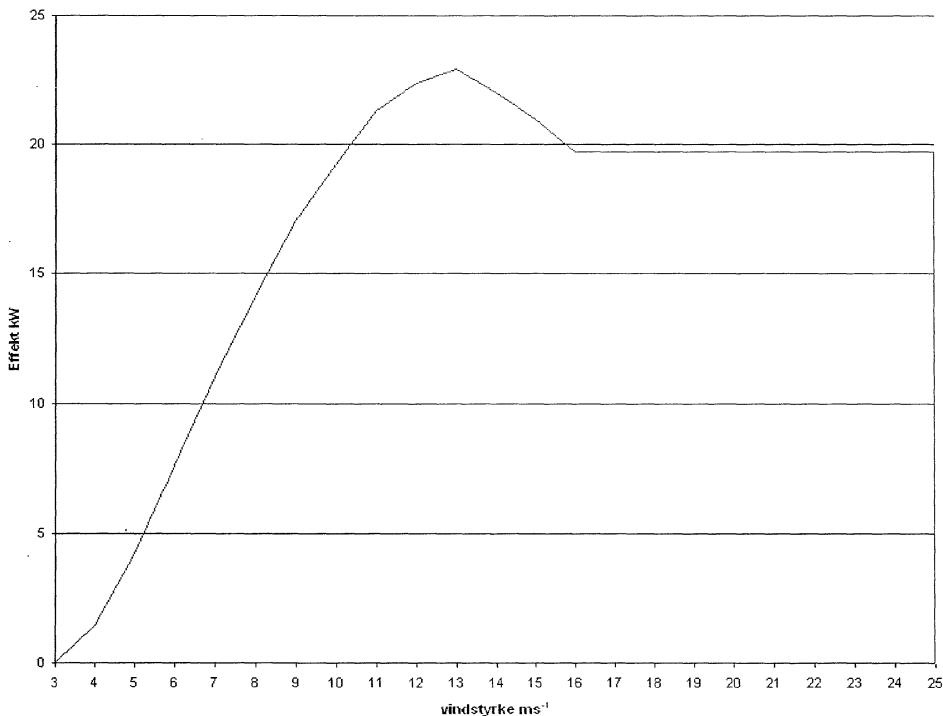
Figur 6.3: Figuren viser angrepssvinkelen α . Kjelde: Piggott, H, 2003.

Generatoren i vindturbinar er normalt ikkje konstruert for høgare vindstyrkar enn $12-15 \text{ ms}^{-1}$.

For å redusere rotasjonsfarten brukast i hovudsak 3 metodar (Salvesen, F., red, 2001):

1. Stall regulering: Stall oppstår når angrepssvinkelen rotorbladet har mot luftstraumen vert så stor at det oppstår turbulens på oversida av bladet. Sidan angrepssvinkelen aukar med vindstyrken, kan vengen si aerodynamiske form utnyttast for å redusere effekten.
2. Semi-stall: Her nyttar ein det same aerodynamiske prinsippet som ved stall regulering, men rotorblada kan samstundes vridast mot auka angrepssvinkel slik at det vert lettare turbulens. Med dette systemet kan ein lettare produsere elenergi med maksimal effekt utan omsyn masstettleik og turbulens til luft.
3. Pitch-regulering: Rotorblada vert vridne mot lågare angrepssvinkel og gir med det mindre effekt.

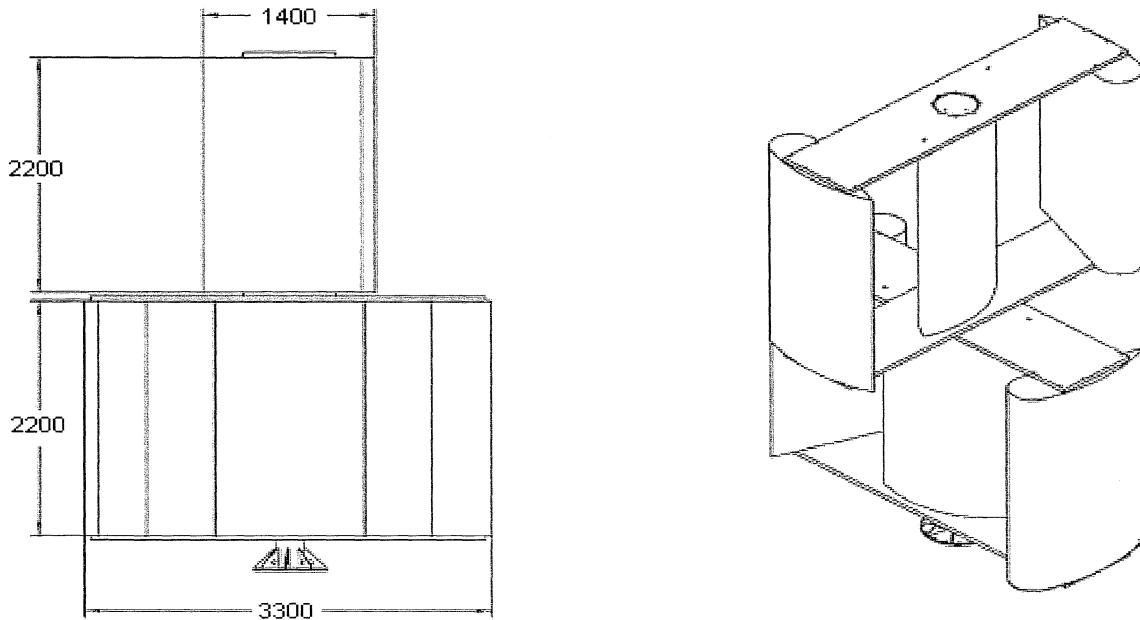
Med slik avgrensing av effekten vil ikkje turbinen nytte potensialet i vinden fullt ut over ein gjeven vindstyrke slik somvist for GenVind Engineering APS sin 22 kW turbin i figur 6.4. Maksimal effekt på 22,9 kW vert oppnådd ved 13 ms^{-1} , for så å stabilisere seg på 19,7 kW etter oppbremsing. Når vindstyrken når 25 ms^{-1} , stoggar turbinen ved å vri rotorblada slik at løftet opphøyrer.



Figur 6.4: Effektkurve for GenVind Engineering APS 22 kW vindturbin.

Kjelde: GenVind Engineering APS, 2003.

Generatortypene som til vanleg vert nytta i horisontalaksla turbinar må gå med konstant turtal. Sidan rotoren går med ulik fart alt etter vindstyrke, regulerer eit girsystem omdreiingstalet inn på generatoren uavhengig av rotorfarten. Girsystemet er ein komponent som er utsett for stor påkjenning og slitasje. Dersom generatoren vert laga med tilstrekkeleg mange polar er det ikkje nødvendig med gir. Slike generatorar må ha stor diameter, og dette er ei ulempe ved plassering i toppen av eit tårn.



Figur 6.5: Prinsippskisse av vertikalaksla vindrotor. Kjelde: Ropatec AG, 2004.

Ein vertikalaksla vindturbin eller vindrotor som den og vert kalla, dreiar omkring ein vertikal akse med generatoren plassert på bakkenivå. Til denne typen vindturbin kan det difor brukast ein multipola generator som gjer gir overflødig. Eit døme er vindturbinen til firmaet Ropatec AG, som er vist i figur 6.5. Etter lengre tids utvikling vart denne presentert i Italia i 1996. Frå 2001 har desse vore tilgjengelege på den kommersielle marknaden, og dei har i det siste også vorte installert i Noreg. Forutan konstruksjonen utan gir har denne typen vindturbin fleire interessante eigenskapar. Dei fungerer uavhengig av vindretning og vert difor ikkje påverka av turbulens. Desse vindturbinane tåler vindstyrkar på opp til 70 ms^{-1} og treng difor ikkje bremsesystem og overrusingskontroll. At turbinen utnyttar høge vindstyrkar, gjev fordelar framfor tradisjonelle horisontalaksla turbinar der rotoren vert bremsa heilt opp i sterkt vind. Getek AS i Trondheim som importerer turbinen, opplyser at verknadsgaden er låg når

vindstyrken er under 4 til 5 ms^{-1} (Gaustad, M., 2004). Produsenten Ropatec opererer med teknisk verknadsgrad som grunnlag for effektkurva til turbinen. Den elektriske verknadsgaden er difor 20-30 % lågare.

Med vindfarten v , massettleiken d til lufta og det sveipa arealet A er vindeffekten $P = \frac{1}{2} d A v^3$. Det sveipa arealet er arealet til den flata som vengane sveipar over ved eit omløp. Denne formelen gjeld bare for det tilfellet at vindfarten står vinkelrett på flata. P vert målt i W , d i kg/m^3 , v i m/s og A i m^2 .

Vindturbinen greier ikkje å gjera seg nytte av all energien i luftstraumen, fordi 100 % utnytting betyr det same som at luftstraumen stansar, med det resultat at turbinen også vil stoppe. I fylgje Betz' lov er den teoretisk maksimale verknadsgraden på 59 %. Med dagens teknologi er det vanleg at typisk verknadsgrad for vindturbinar er rundt 40 % (Salvesen, F., red, 2001).



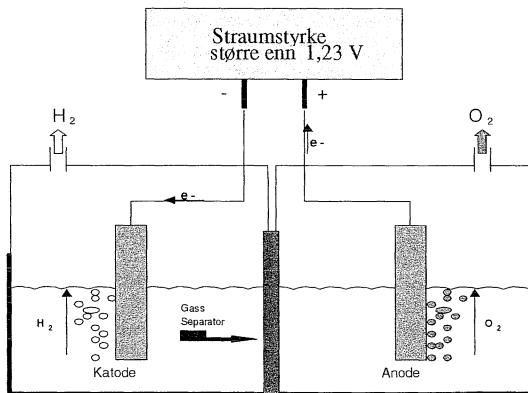
Figur 6.6: Bilete av vindturbinen ved Heinseter turisthytte, Hardangervidda.

Som for solceller er plassering av eit vindturbinanlegg viktig for god utnytting av vindenergien. Vindforholda varierer sterkt, også lokalt, og nøye kartlegging av topografi og

vindforhold er nødvendig. Terrengformasjon, vegetasjon, bygningar og ei rekke andre forhold verkar inn, og dei aller fleste av desse faktorane er med å bremse opp vinden. På ein bakketopp er det gunstig for der er vindstyrken større enn i områda omkring (Vindmølleindustrien, 2003).

6.3 Elektrolyse og elektrolysør

Elektrolyse av vatn er ein gammal og kjent teknologi. Det finst fleire metodar, men den mest geniale har naturen sjølv nytta i millionar av år gjennom fotosyntesen. Den metoden som i dag er mest brukt og som har den høgaste verknadsgraden på over 80 %, er alkalisk elektrolyse. Figur 6.7 viser prinsippet enkelt skissert. Det vert tilført likestraum gjennom ein elektrolytt mellom ein positiv anode og ein negativ katode. Norsk Hydro som er den største aktøren på elektrolyse i Noreg, nyttar ei blanding av lut (KOH) og vatn i sine elektrolyssørar. Når straum går gjennom elektrolytten, vert bindingane mellom hydrogen og oksygen brotne. Positive H-ion flytter seg mot katoden, og negative O-ion går mot anoden, og dei vert til O_2 -gass og H_2 -gass. I karet vert gassane separert og samla opp i lagringsmedium utanfor elektrolyssøren.



Figur 6.7: Prinsippskisse av elektrolyse i ein elektrolysør. Kjelde: Rinnan, A., 2003.

6.4 Lagring av H₂

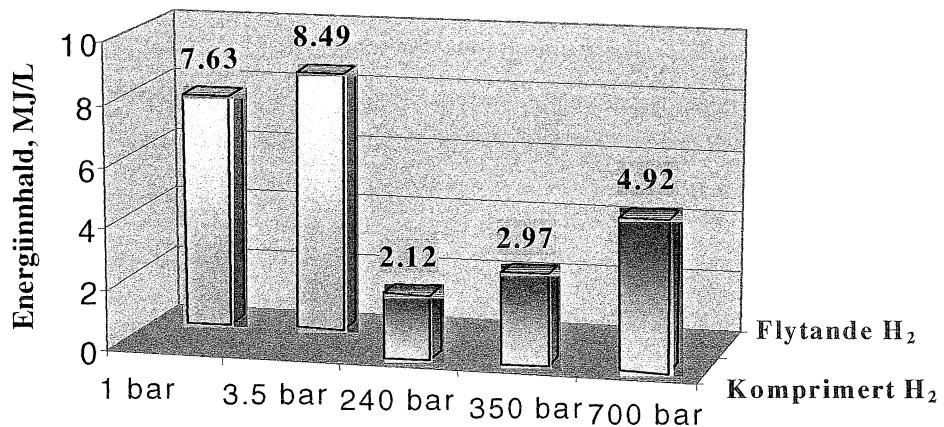
Den største utfordringa ved bruk av hydrogen som energiberar er lagring av gassen. Institutt for energiteknikk (IFE) er leiande innan forsking på dette området. Dei har vore med å greidd ut om dette i eit særskilt vedlegg til hydrogenutvalet si innstilling om hydrogen som framtidas energiberar (NOU 2004: 11). Omtala i dette avsnittet er i hovudsak bygd på denne rapporten.

H₂ er ein gass med høgt energiinnhald per kg, men sett i forhold til volumet er det lågt.

Volumet i normaltilstanden (STP) til 1 kg H₂ er heile 11,12 m³. For effektivt å kunne nytte H₂ er det difor behov for å redusere lagringsvolumet. Dei tre mest aktuelle lagringsformene i dag er:

- Flytande
- Komprimert
- Metallhydrid

Figur 6.8 viser energiinnhaldet per liter for flytande og komprimert hydrogen ved ulike trykk. Energien som går med til desse prosessane, varierer med metode. Mest energikrevjande er lagring av gassen i flytande form (LH₂), dvs. under -253 °C. Denne lagringsforma krev energi både til nedkjøling, kondensering og lagring, og det reknast med at om lag 30 % av energien i H₂ går med til prosessane.

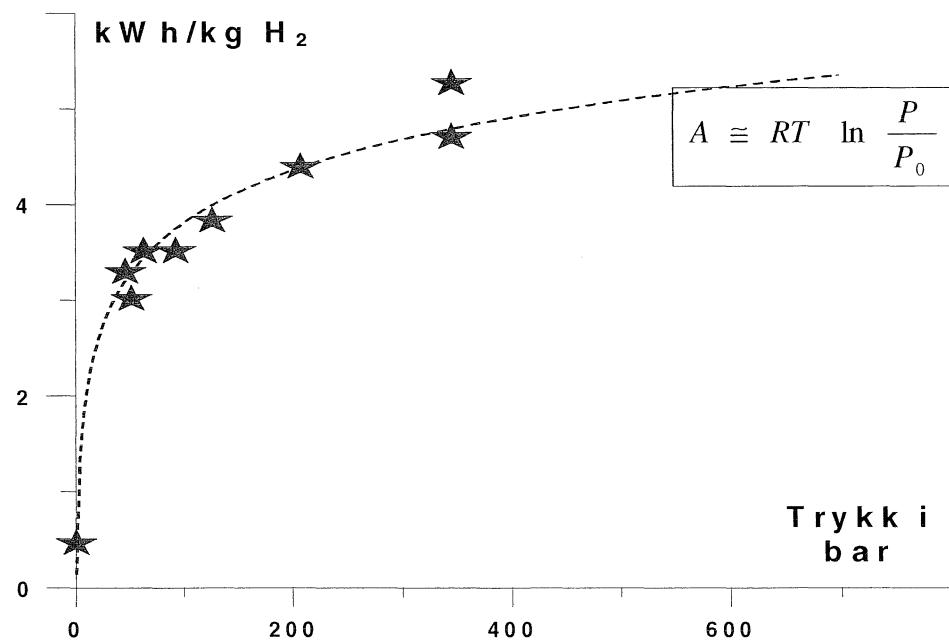


Figur 6.8: Energiinnhald i MJ/L for flytande og komprimert hydrogen ved ulike trykk.

Kjelde: NOU: 11, 2004.

Komprimert H₂ er i dag den mest brukte lagringsforma. Dette heng saman med at teknikken har vore nytta kommersielt i lang tid til industrielle føremål. Lagring av komprimert H₂ skjer

på ståltankar med trykk opp til 200 bar. Ei vesentleg avgrensing for denne lagringsmetoden er den store massen til ståltanken. Sjølv for store lagringstankar er massen av komprimert H₂ berre 2-3 % av massen til tanken. I den seinare tid er det framstilt små sylinderar av lettmetall eller kompositmateriale som tåler trykk på 350 bar. Men her er enno store forbettingspotensial, og forsking på karbonfiber som tankmateriale tek sikte på trykk på 690 bar. Då er forholdet mellom massen av hydrogen og massen til tanken auka til 13,8 %, og massetettleiken til hydrogen er 40 g/L. Sidan energimengda som går med til å auke lagringstrykket, er proporsjonal med logaritmen til trykket, gir det stor gevinst å lagre hydrogen ved høgt trykk. Dette er vist i figur 6.9. Det går med mindre energi til komprimering per trykkeining ved aukande trykk.



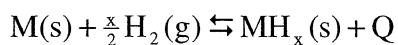
Figur 6.9: Figuren viser straumforbruk per kg H₂ ved kompresjon som funksjon av trykket.

Kjelde: NOU: 11, 2004.

Men det knyter seg også usikre moment til høgkomprimert hydrogen. Hydrogengass er flyktig og består av svært små molekyl. Desse kan lekke ut gjennom tettingar i kompressoren og direkte gjennom porer i materialet.

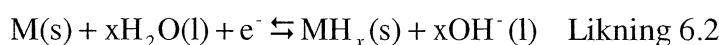
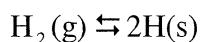
I seinare tid har det skjedd mykje forsking omkring lagring av hydrogen i metall. Med denne metoden kan hydrogen lagrast med høgare massetettleik enn tilfellet er for komprimert og flytande hydrogen. I forsøk er det oppnådd opptil 8 gonger høgare massetettleik av hydrogen

enn med flytande hydrogen. Prinsippet for denne lagringsmetoden er at hydrogenatom fyller tomromma mellom atoma i metallet. Hydrogen kan absorberast i metall direkte frå gassfase (likning 6.1), eller frå ein elektrolytt i ein elektrokjemisk reaksjon (likning 6.2).



eller forenkla

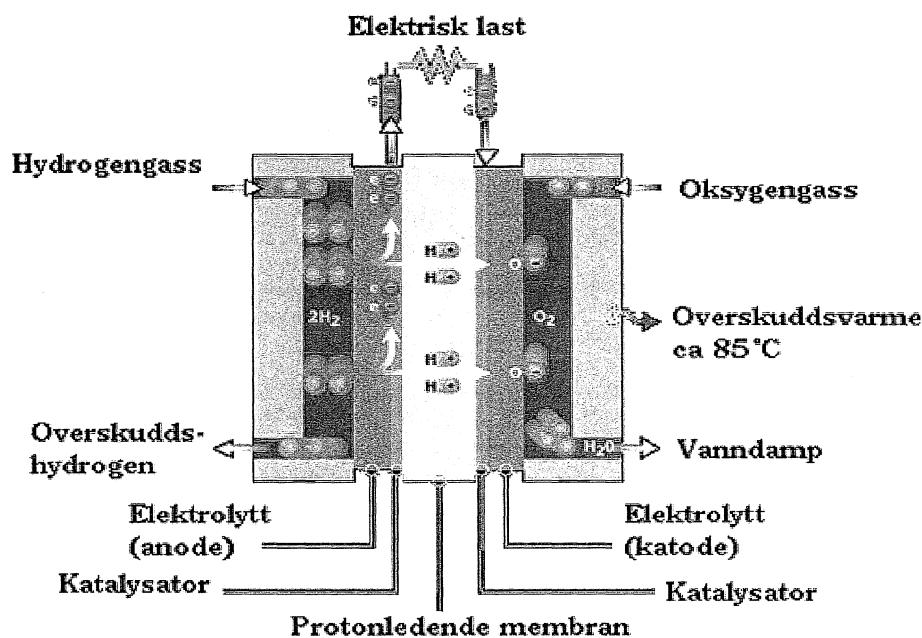
Likning 6.1



Her står M for metallet som vert hydrogenisert og Q for avgjeven varme. Etter tur står s, g og l for fast, gass og flytande. Begge reaksjonane er reversible ved endring av ein ytre påverknad på metallhydridet. Sidan lagring av hydrogen som metallhydrid er relativt sikker og gir fleksible løysingar, skjer det mest forsking retta mot bilindustrien. Difor ser det ikkje ut til at denne teknologien i nær framtid vil bli nytta til lagring av hydrogen i store mengder.

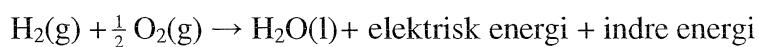
6.5 Brenselcelle

På same måte som blyakkumulatorar er brenselceller galvaniske element som kan produsere elstraum ved elektrokjemiske reaksjonar. Det er i dag fleire typar brenselceller som er klassifiserte etter kva for elektrolytt som vert nytta. I følgje Ronny Glöckner, IFE, vier forskingsmiljøet mykje merksemd til PEM brenselceller (polymer membran exchange). Elektrolytten i desse er ein membran som berre let proton passere, medan elektrona går i ein ytre straumkrins, slik som vist i figur 6.10. Den låge driftstemperaturen saman med liten masse og høg verknadsgrad på ca. 60 % gjer desse brenselcellene fordelaktige i mange samanhengar. Med desse eigenskapane er dei spesielt gunstige i bilar. Det er venta at slike brenselceller vert marknadsleiande og får ei prisutvikling tilpassa kommersiell bruk på litt sikt.



Figur 6.10: Prinsippskisse av brenselcelle. Kjelde: NTNU.

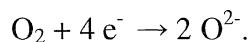
Ved reaksjon mellom hydrogen og oksygen til vatn blir det i tillegg danna elektrisk straum og indre energi.



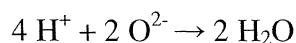
I ei PEM brenselcelle blir hydrogenmolekyl ved anoden omdanna til H^+ -ion etter reaksjonen:



H^+ -iona passerer gjennom membranen medan elektrona flytter seg til katoden gjennom ein ytre krins. På katoden reagerer først 4 elektron med eit oksygenmolekyl frå lufta ved reaksjonen:

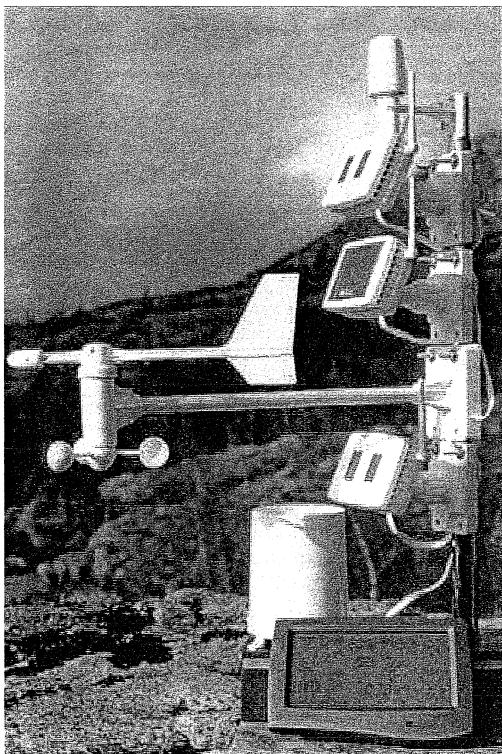


Deretter reagerer 4 H^+ med 2 O^{2-} og dannar vassdamp ved reaksjonen:



7 Måleutstyr og metode

7.1 Vind



Måling av vindstyrke er gjort med vêrstasjonen WMR928 frå Oregon Scientific, saman med tilhøyrande dataprogram Virtual Weather Station versjon 12.03. Systemet består av eit anemometer (vindmålar) plassert i ei mast, ein basestasjon og ei datamaskin. Anemometeret er tilkopla ein solcelledriven radiosendar som sender data trådlauast til basestasjonen. Derifrå vert data sendt via kabel til ei datamaskin for loggføring. Basestasjonen og datamaskina får straum frå batteri som i sin tur vert lada frå solceller og dieselaggregat.

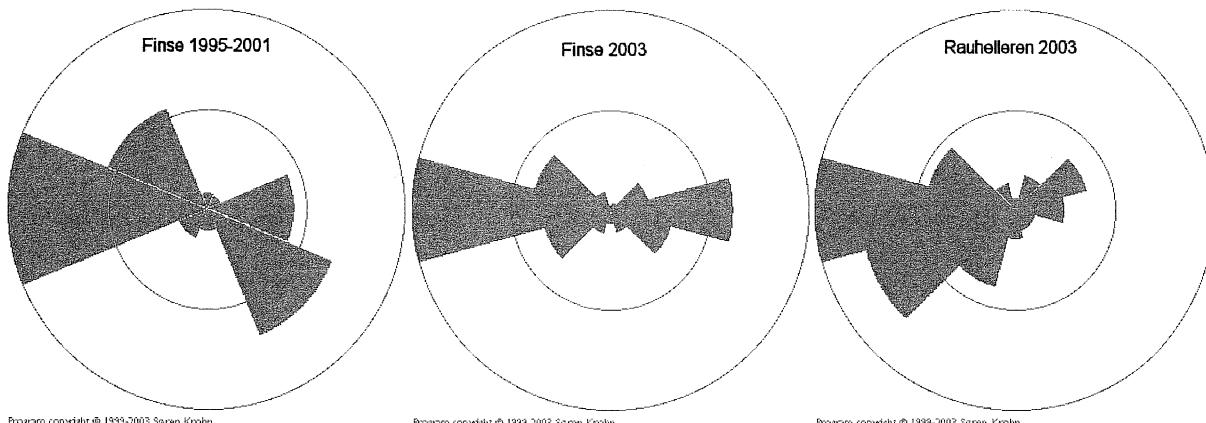
Figur 7.1: Vêrstasjon WMR928 med sensorar for temperatur, vindmåling og nedbørsmåling. Dei tre firkanta boksane med antennar er solceller og radiosendarar. Displayet nedst er basestasjonen.
Kjelde: Sandvik TV-service.

Etter at vêrstasjonen vart installert 15. desember 2002, var det ein periode med låge temperaturar ned mot -25°C og mykje overskya vêr. Dette førte til dårlig lading av batteria både i solcellesendaren og i 12 V batteripakka med sviktande overføring av data som resultat. Vindmålaren var på dette tidspunktet plassert 8,5 m over bakken og ca. 80 m frå baseeininger.

I perioden fram til 10. februar vart det gjort fleire tiltak for å få kontinuitet i observasjonane. Både vindmålingsinstrumentet og baseeininger slutta også å fungere. Desse vart erstatta med nye instrument. Det vart installert lithium batteri for å sikre straumforsyninga både i baseeininger og vindmålar. Batteria vart lada ved hjelp av dieselaggregatet med jamne mellomrom. Vindmålaren vart flytta nærmare baseeininger 4,5 m over bakken. Ei mindre straumkrevjande datamaskin for logging vart og installert.

Etter 10. februar vart det meir stabile forhold, sjølv om det framleis var episodar der vindmålaren hengde seg opp eller at baseininga ikkje viste verdiar. Desse episodane varierte i tid frå eit par timer til eit par døgn. Leverandøren av utstyret kan ikkje seie sikkert kva som var årsaker til problema, men peikar på at klimatiske forhold eller ustabil straumforsyning kan vera sannsynlege forklaringar. Rauhelleren var frå dette tidspunktet bemanna det meste av tida frametter, og dette gav betre kontroll med utstyret.

Sidan måleperioden varte i snaue 3 månadar, gir ikkje dette godt nok grunnlag for å beskrive vindforholda på Rauhelleren direkte. Men Meteorologiske Institutt (DNMI) har måleverdiar på Finse over lengre periodar. Ved å anta at det er ein samanheng mellom vindstyrken og vindretningen på Rauhelleren og på Finse kan det lagast vindprofil over eit heilt år for Rauhelleren. Topografisk sett er områda rundt Rauhelleren og Finse ganske ulike. Finse har Hardangerjøkulen i sør og fjelltoppar i nordvest som kan verke inn på vindforholda. Som vindrosene i figur 7.2 viser, er hovudtyngda av vindretningane i 2003 vestlege begge stadar. Berekingane er utført med program utvikla av Søren Krohn (Vindmølleindustrien, 2003). Dette samsvarar godt med data frå Finse i perioden 1995-2001. Sjølv om det er noko varierande forhold, er ikkje skilnaden signifikant. Det er relativt god samvariasjon mellom vindforholda på Finse og Rauhelleren.



Figur 7.2: Vindroser for Finse 1995-2001 til venstre og Finse og Rauhelleren 10.02-03.05-2003 til høgre.

På grunn av vanskane med målingane frå starten er ikkje data før 10. februar tekne med. Oppgåva behandlar difor data frå 10.februar til 3. mai og frå 1. juli til 20.september. Manglar i loggen er tetta ved å leggja inn trendar basert på føregåande loggingar. Skilnaden i målehøgde

over bakken på Rauhelleren og Finse gjorde det nødvendig å korrigere verdiane på Finse før dei blei korrelert mot dei på Rauhelleren. Det vidare arbeidet med å kartleggje vindforholda på Rauhelleren er gjort ved å ekstrapolere dei målte verdiane på Rauhelleren med verdiane frå Finse.

7.2 Solenergi

Til logging av solinnstråling er brukt eit 55W Noack Solar solcellepanel, ein spesialkonstruert regulator og metrahit 26M multimeter med BD232 pc-adapter frå Gossen Metrawatt Instruments. Frå pc-adapteret vart måleresultata overført til datamaskina ved høvelege tidspunkt. Målingane er registrert med eitt minutts intervall og presentert som gjennomsnittlege timesverdiar. I utgangspunktet starta målingane rundt årsskiftet 2002/2003, men det var ikkje mogeleg å få samanhengande målingar før 11. mars. Dette skuldast delvis straumforsyninga, men også at det fleire gonger mislukkast å laste over data frå adapteret til pc-en. Det synte seg etter kvart å skuldast feil innstillingar og elles manglande erfaring med bruk av instrumentet.

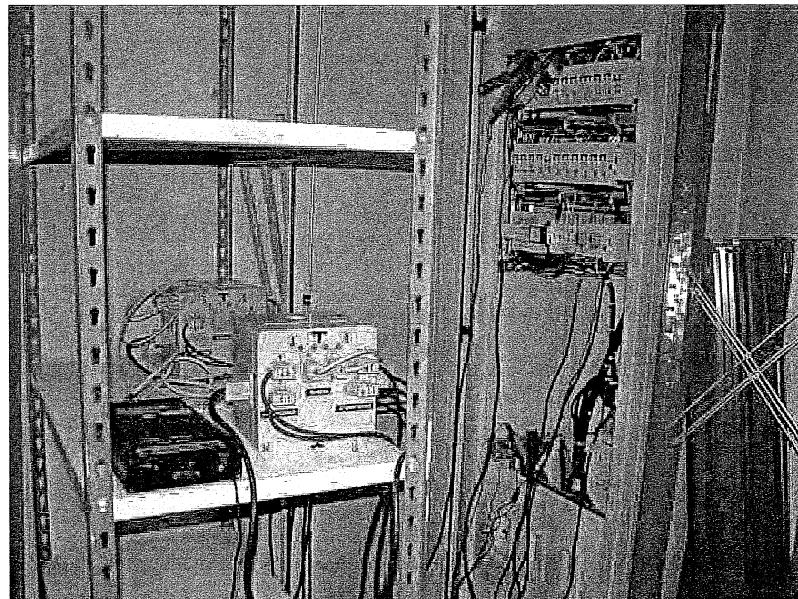
På grunn av problema med feltmålingane, både når det gjeld lengda av måleperioden og kvaliteten, er data for å estimere energipotensialet henta frå SOLIS-prosjektet (solenergi i skolen). Prosjektet er eit samarbeid mellom vidaregåande skular og Fysisk institutt, UiO, og har på det meste omfatta 38 skular rundt om i landet. For dei fleste skulane er det periodar med hol i måleseriane. Men fordi det totale talet på observasjonar er så stort (326.544), kan middelverdiane slik dei er presentert i figur 8.6, reknast som representative.

7.3 Bruk av elektrisk energi og effekt

Logging av straumforbruket skjedde 7 tilfeldige dagar i juli og august 2002 med manuell avlesing av analogt kW-meter. Avlesingane vart gjort kvar halve time mellom kl. 07.00 og kl. 23.00, med unntak av perioden mellom kl.12.00 og kl.16.00 då aggregatet som oftast var slått av.

På ettersommaren 2002 vart det utført eit par prøvemålingar med det same utstyret som blei brukt til måling av solinnstråling. Multimeteret registrerte då signala til effektmålaren i spenningsområdet 0-1V, og det vart logga med oppløysingar på 5 og 30 sekund.

Frå 23. mars til 3. mai i 2003 vart effektbruken målt ved å kople ein transformatorboks til hovudkursen frå generatoren. Den gav kvart minutt signal til ein analog loggar, type ASCII, i området 0 til 1 volt. Med denne oppløysinga blei verdiane lagra i intervall på 15 minutt, og for desse intervalla blei det rekna ut gjennomsnittsverdiar.



Figur 7.3: Logging av effektforbruk vinteren 2003

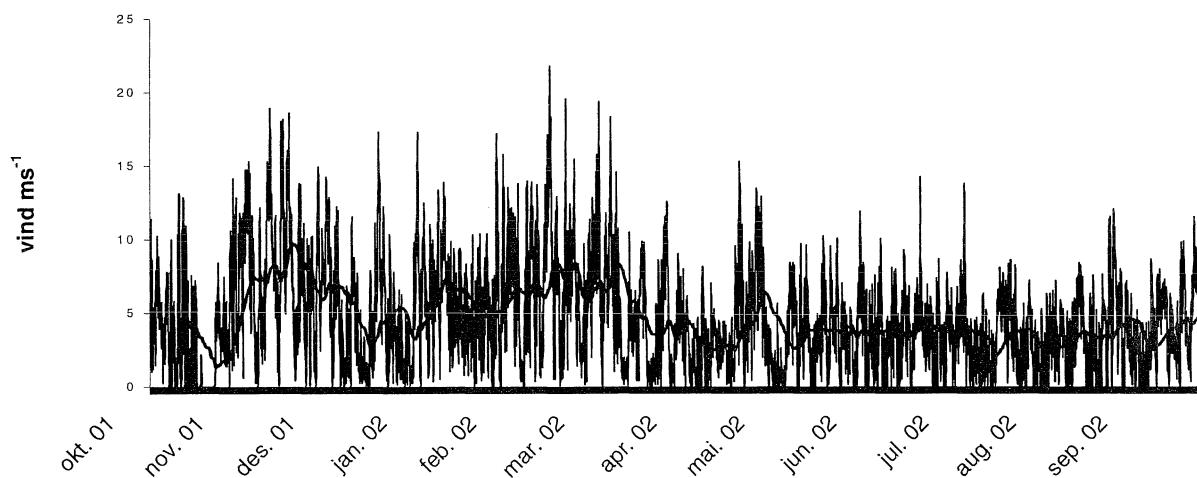
Loggaren var kopla opp mot ein fase på hovudsikringa og mot alle dei tre fasane til straumforsyninga i uthuset. I denne oppgåva er måleverdiane frå hovudsikringa lagt til grunn og med den føresetnad at det er lik fordeling mellom fasane i uthuset.

8 Resultat

8.1 Vindenergipotensialet

Frå DNMI er det opplyst at middelvinden på Finse i perioden 1995-2001 var $5,4 \text{ ms}^{-1}$.

Numeriske data frå 1. oktober 2001 til 30. september 2002 viser same verdi for middelvinden. Det kan derfor tyde på at denne siste perioden er nokolunde representativ for vindforholda på Finse. Ved å korrigere data frå Finse er det mogeleg å lage ein sannsynleg vindprofil for det same tidsrommet på Rauhelleren. I figur 8.1 er dei korrigerte verdiane frå Finse, grunnlag for den ekstrapolerte vindprofilen på Rauhelleren. Figuren viser tydeleg at det er meir vind i vinterhalvåret enn i sommarhalvåret.

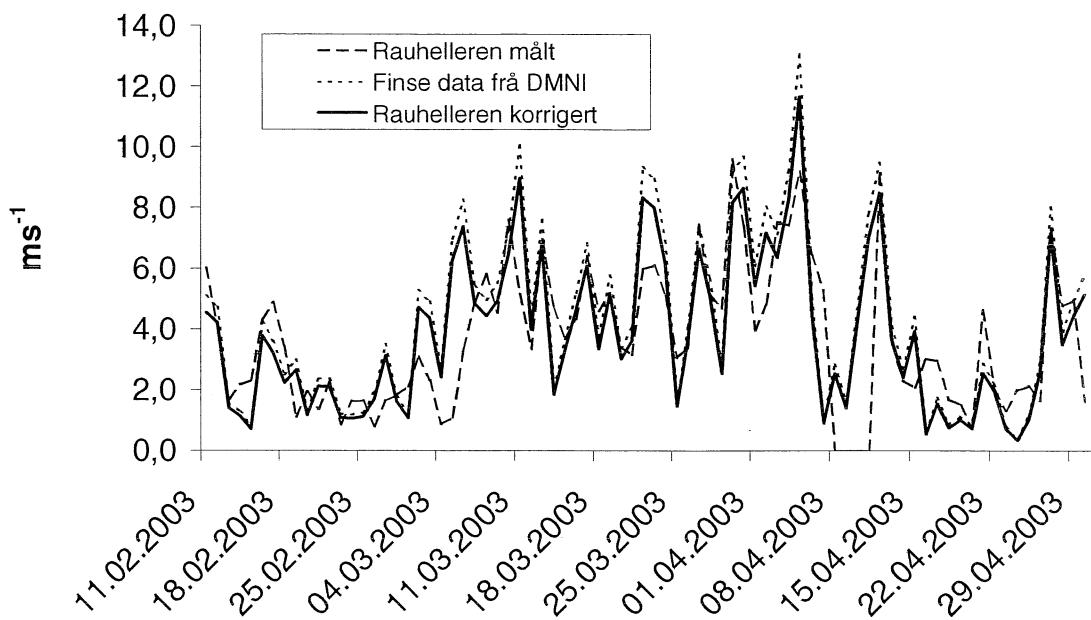


Figur 8.1: Den ekstrapolerte vindprofilen på Rauhelleren basert på korrigerte verdiar frå Finse i perioden 1. oktober, 2001 – 31. september 2002.

Det stemmer godt overeins med generell kunnskap om vindprofilen gjennom året.

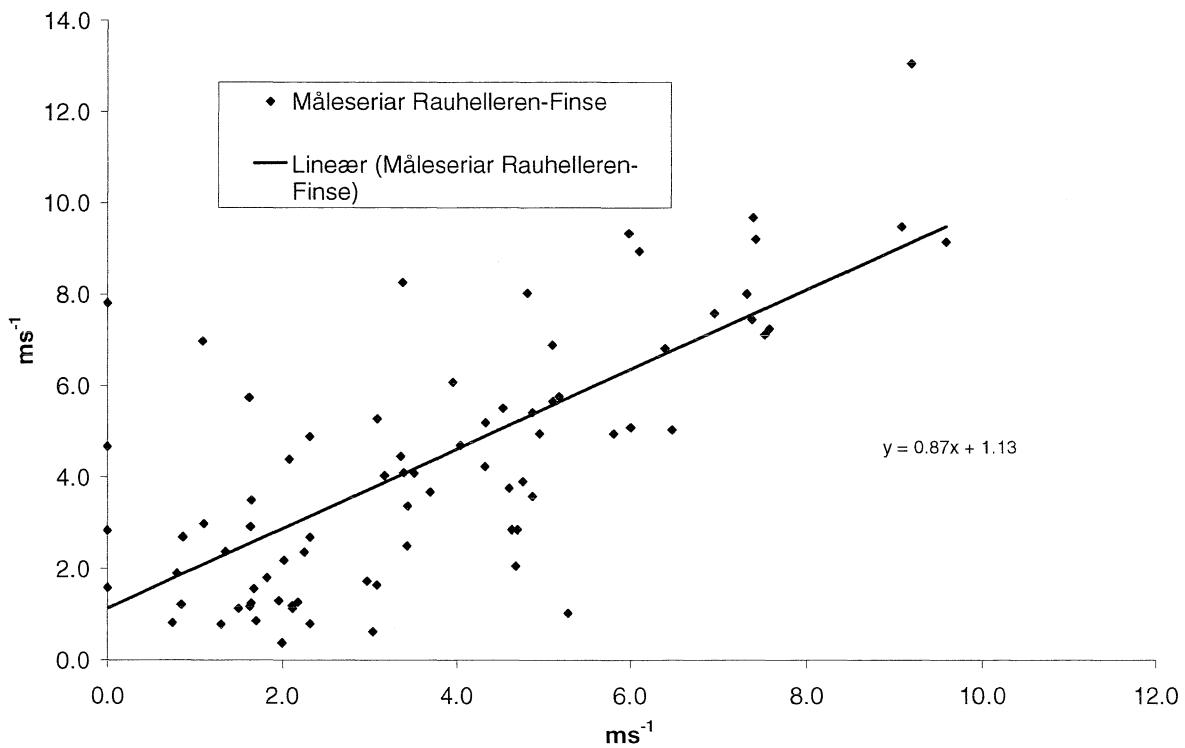
Middelvinden på Rauhelleren i denne perioden, rekna som gjennomsnittet av alle måleverdiane i perioden, er $4,7 \text{ ms}^{-1}$ eller 87 % av middelvinden på Finse. I figuren er kvar enkelt verdi frå Finse difor multiplisert med 0,87 for å lage den korrigerte profilen.

For å underbyggje den ekstrapolerte vindprofilen for Rauhelleren er data frå målingar vinteren 2003 samanlikna med målingar frå Finse i same periode. Dette er vist i figur 8.2. Sjølv om det er noko avvik, er samvariasjonen tilfredstillande og rettleiande for dette arbeidet. I figuren er også den ekstrapolerte vindprofilen teken med, og vindsummen av målte og korrigerte verdiar for Rauhelleren viser ein differanse på 4,9 %.



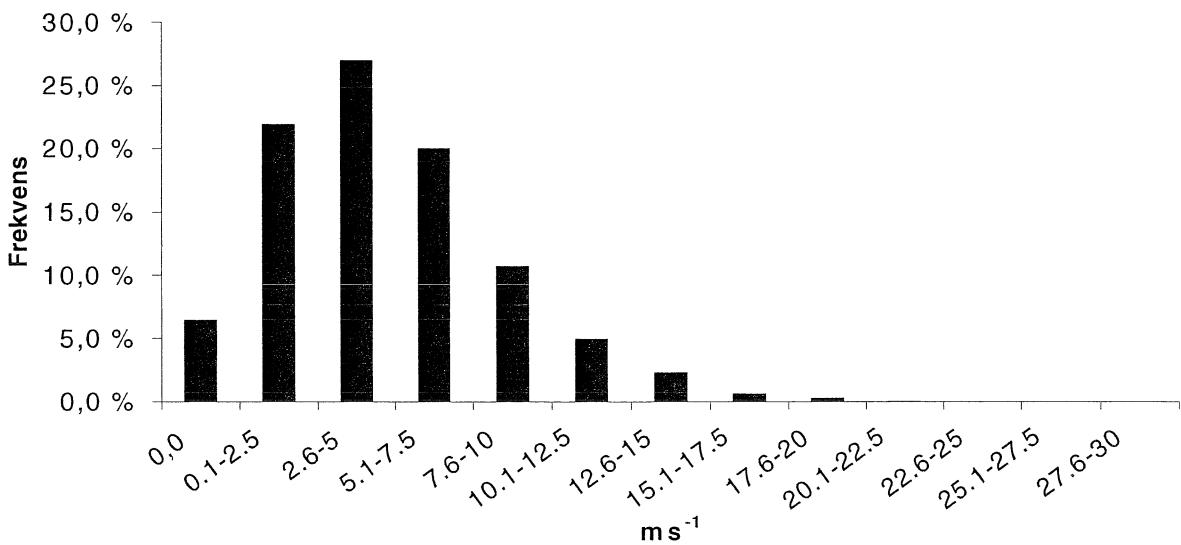
Figur 8.2: Figuren viser vindvariasjonen for Rauhelleren og Finse. Verdiene er timesgjennomsnitt av 10 minuttars intervall.

Korrelasjonen av vindstyrken mellom Finse og Rauhelleren er i figur 8.3 framstilt som funksjon av gjennomsnittleg vindsum over eit heilt døgn. Det viser seg at korrelasjonen har tendens til å auke når fleire målingar vert midla og at det er medverkande til å utjamne effekten av den geografiske avstand mellom målepunktene. Figuren viser ein sterk positiv korrelasjon med faktor 0,71 ved 24 timars middel. Til samanlikning er korrelasjonen 0,51 ved 10 minutts intervall. Av formel for regresjon, som er vist i diagrammet, kan vindstyrken på Rauhelleren tolkast til å vera 13 % under vindstyrken på Finse.



Figur 8.3: Korrelasjonen av vindstyrken mellom Rauhelleren og Finse.

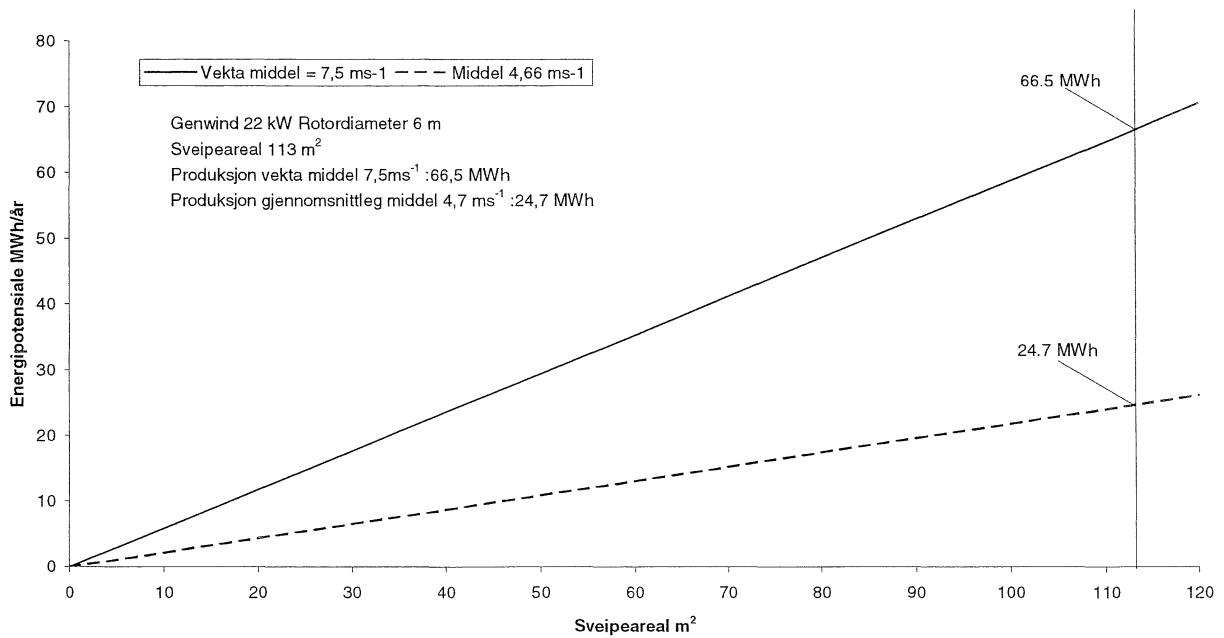
Ved stipulering av potensialet for vindenergoeffekten må ein taka omsyn til at vindeffekten aukar med vindfarten i tredje potens. Figur 8.4 gir oversikt over talet på observasjonar i ulike intervall, og den viser relativt mange observasjonar med låg vindstyrke. Det ser tilsynelatande ut som om vindforholda ikkje er særleg gunstige for produksjon av elektrisk energi, då så mange måleresultat ligg i intervalla under 5 ms^{-1} .



Figur 8.4: Vindstyrken på Rauhelleren fordelt på intervall.

gjennomsnittsvinden er berre $4,7 \text{ ms}^{-1}$, men dette er ein misvisande storleik for å rekne ut potensialet for vindenergi. Ved utrekninga må ein setja inn kvar enkelt måleverdi i effektformelen

$P = \frac{1}{2} \rho v^3 A$ og så summere desse effektane. Ei dobling av vindfarten gjev ikkje ei dobling av effekten, men ein effekt som aukar med faktoren 8. Figur 8.5 illustrerer dette godt. Her er effektpotensialet framstilt som funksjon av det sveipa arealet A. Effektformelen viser at potensialet er proporsjonalt med dette arealet, og kurvene er derfor rette liner. Den nedste lina får ein ved å setja inn gjennomsnittsvinden i effektformelen. Øvste line får ein ved å setje inn enkeltverdian i formelen og så summere. Den øvste lina viser altså det riktige effektpotensialet, og dette er vesentleg høgare enn feilaktig å rekne det ut med gjennomsnittsvinden. Effektpotensiala er rekna ut spesielt for ein 22 kW vindturbin frå produsenten GenVind Engineering APS. Denne har 12 m rotordiameter, og vindturbinen har ein verknadsgrad på 40 %. Med ei driftstid på eit år gjev dette med riktig utrekning eit energipotensial på 66 MWh og med feilaktig utrekning 24 MWh.

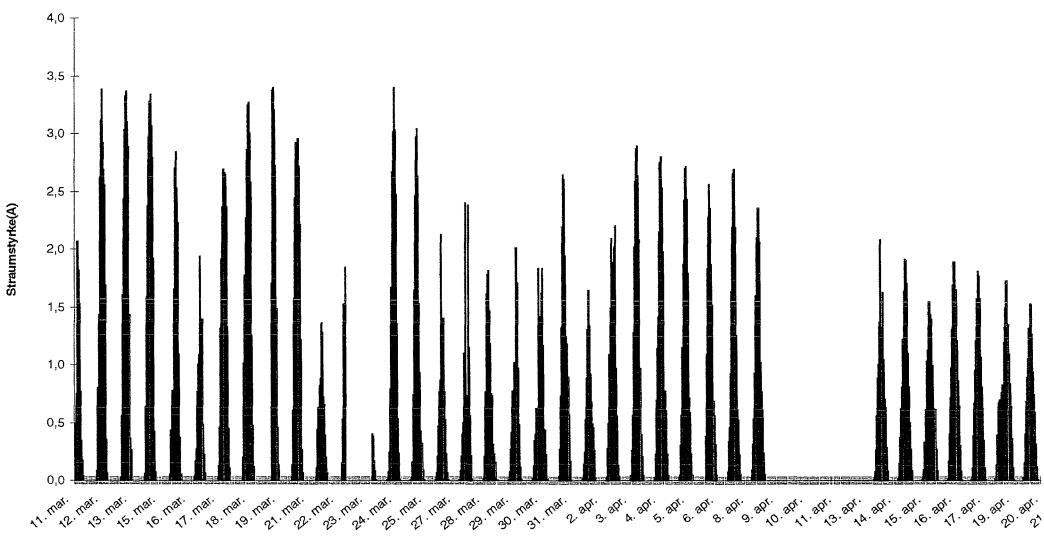


Figur 8.5: Energipotensialet ved ulike sveipeareal med gjennomsnittleg vindfart og vekta
Gjennomsnittsfart.

Produsenten av GenVind turbinen har ei produksjonskurve som gir eit produksjonspotensial på 71,5 MWh, og dette er altså noko meir enn figur 8.5 viser. Det kan tyde på at verknadsgraden til denne turbinen er noko over 40 %, altså noko høgare enn det som ligg til grunn for figur 8.5. For å sikre at ikkje energipotensialet vert overestimert, vert data frå figuren nytta vidare i denne oppgåva.

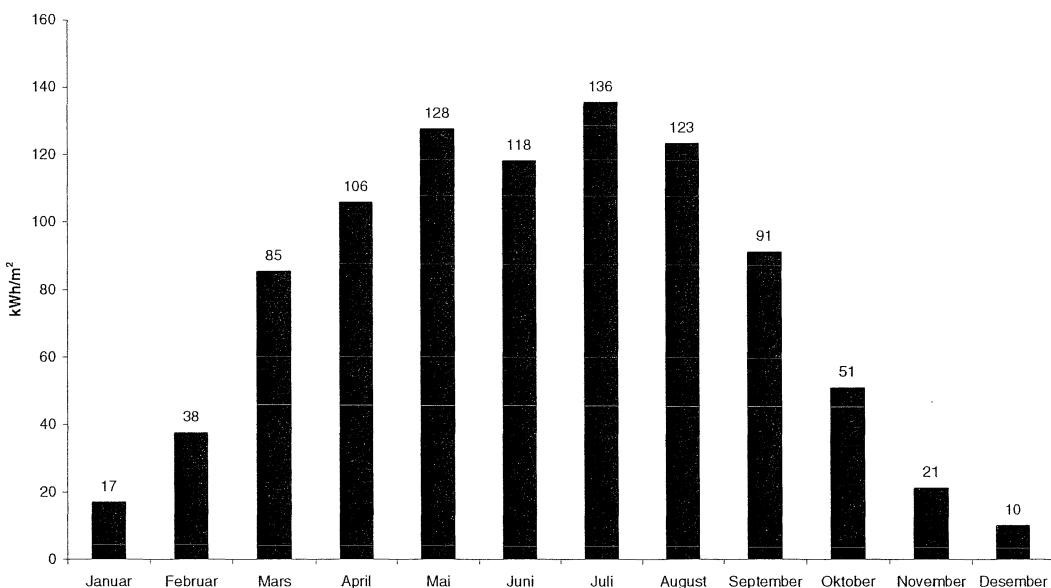
8.2 Energipotensial frå sol

Figur 8.6 illustrerer utviklinga for målingane som er utført på Rauhelleren vinteren 2003. I fyrste halvdel speglar målingane godt den reelle solstrålinga. Deretter viser det seg ein tendens til gradvis minkande verdiar. Det skuldast skygge frå takutstikket over solcellepanelet som dekka panelet i overkant i aukande grad ettersom sola stod høgare på himmelen. I perioden utan verdiar var multimeteret avslått utan at det umiddelbart vart oppdaga og skapte med det hol i dataserien. Framstillinga er ikkje brukt som grunnlag til analyse av ressursgrunnlaget på grunn av dei uheldige avbrekka og den aukande skuggeverknaden.



Figur 8.6: Figuren viser måleresultat av straum med Noack Solar 55 W solcellepanel.

Gjennomgang av datamateriale frå SOLIS-prosjektet viser at Sør-Noreg årleg mottek ein strålingsenergi på 923 kWh/m^2 . Det vil alltid vera relativt store lokale variasjonar. Men sidan utvalet av målestasjonar er prega både av oseansk og kontinentalt klima, og lokaliteten har påverknad frå begge klimatypene, kan verdiane vera ganske representative også for Rauhelleren.

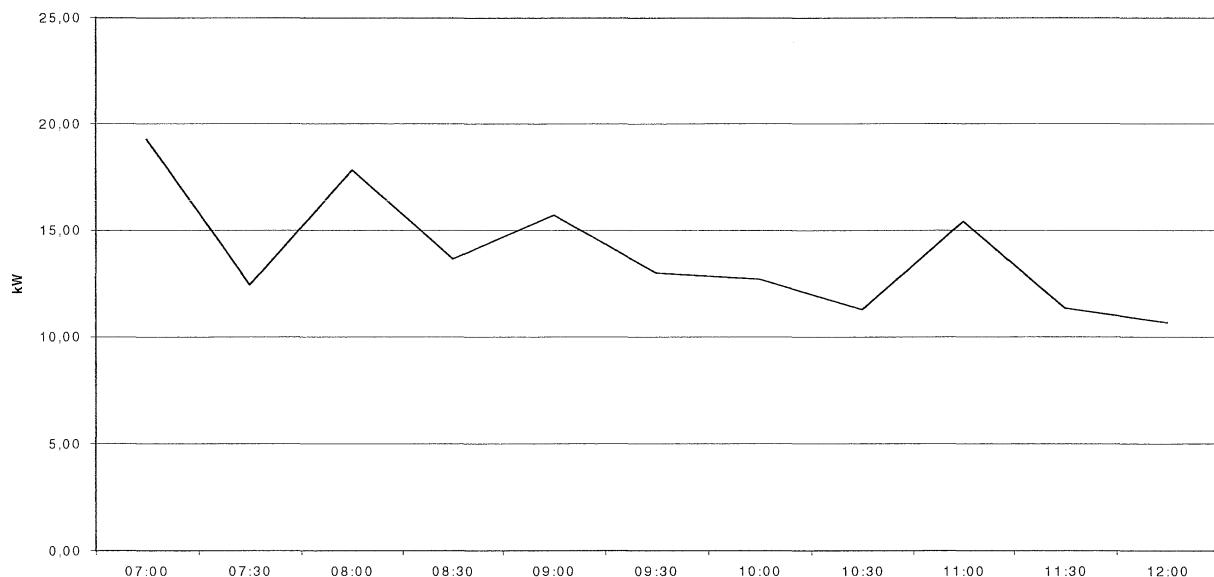


Figur 8.7: Månadleg akkumulert innstråling i kWh/m^2 over Sør-Noreg.

I figur 8.7 er innstrålinga framstilt i månadsintervall og viser klart skilnaden på sommar og vinter. Med utgangspunkt i ein verknadsgrad for solcellepanela på 15 % tilsvrar strålingsenergien ein årleg potensiell straumproduksjon på 138 kWh per m². Av dette er om lag 118 kWh i perioden mars til september. Eit PV-anlegg med tilsvarande energipotensial som vindturbinen frå GenVind Engineering APS på 66 MWh, krev nær opp til 500 m² med solceller.

8.3 Effektforbruk

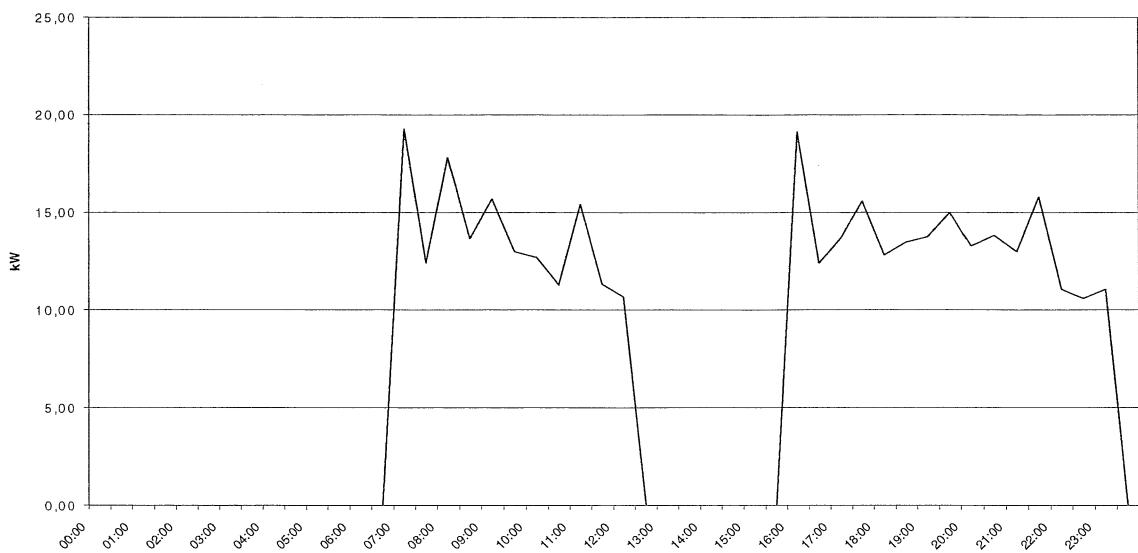
Dei manuelle målingane viser forbruket til bestemte tidspunkt. Manglande registrering av forbruket i tidsromma mellom målingane gjer at denne metoden kan vera misvisande når det gjeld enkeltverdiar og gjennomsnitt. Det har si forklaring i at effekt toppar og botnar manglar i figur 8.8, og med det vil gje utslag på den endelege profilen.



Figur 8.8: Typisk gjennomsnittleg effektforbruk om føremiddagen basert på halvtimes måleintervall.

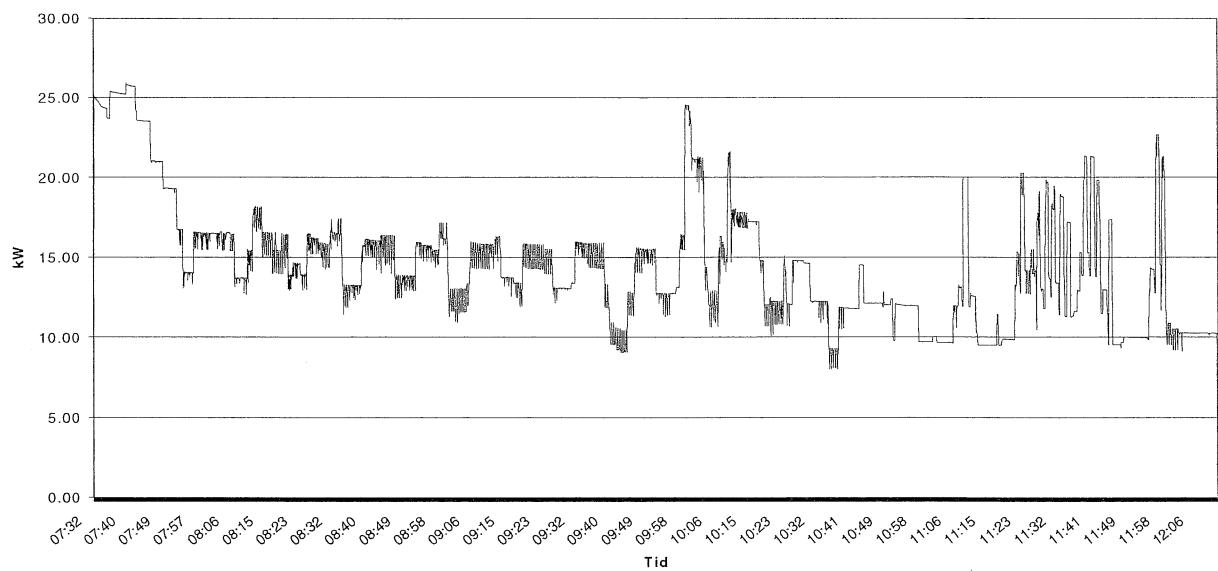
Eit gjennomsnitt av dei manuelle måleresultata, midla over 7 dagar, er presentert i figur 8.9, og svarar til ein dagleg elektrisk energibruk på 179 kWh. Basert på 130 dagars driftstid gir dette eit årleg forbruk på 23,3 MWh. Det er vesentleg mindre enn årleg akkumulert gjennomsnitt på 27,2 MWh avlest av kilowattime teljaren på aggregatet i perioden 1998-2002.

Resultata frå desse manuelle målingane vert difor ikkje brukt som grunnlag for ein simulert profil for heile året.



Figur 8.9: Gjennomsnittleg effektbruk basert på dei manuelle måleresultata sommaren 2002.

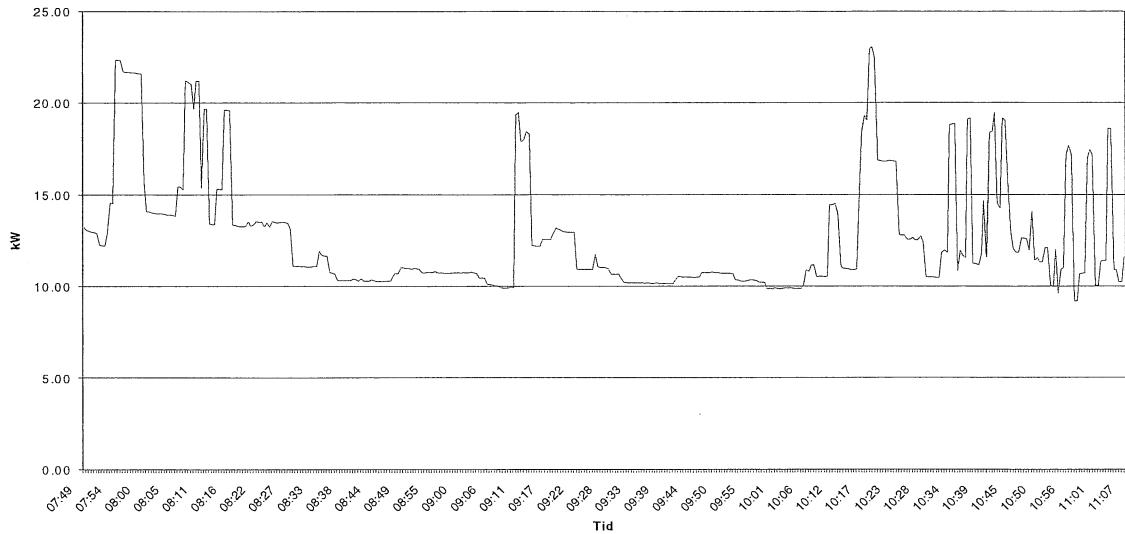
Resultat frå målingane som vart utført med multimeteret med 5 og 30 sekundars intervall, gir eit godt bilet av effektbruken til ei kvar tid og viser tydeleg store, kortvarige sprang i effekt.



Figur 8.10: Resultat av prøvemålingar 03.09.2002 med 5 sekundars intervall.

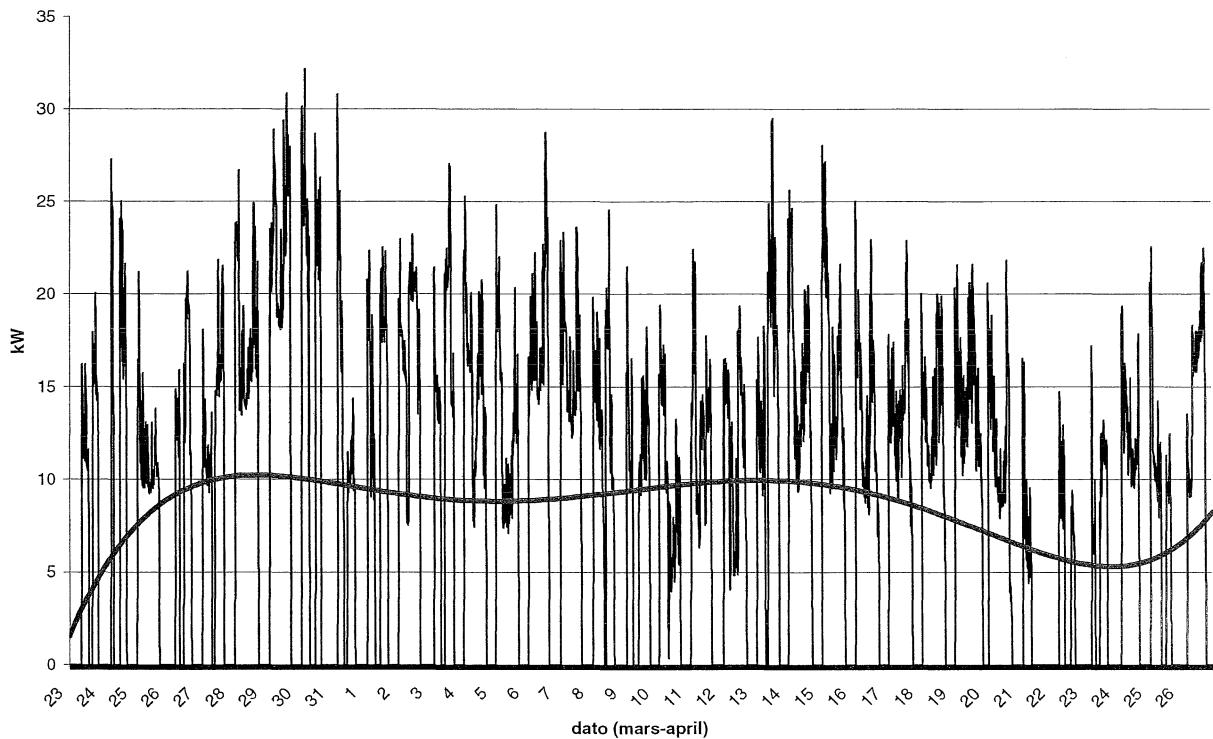
Ved samanlikning av figurane 8.10 og 8.11 ser me at effekttoppane er noko høgare med 5 sekundars intervall enn med 30 sekundars intervall. Sjølv om målingane er tekne på to forskjellige dagar er det dei same rutinane for bruk av elektrisk energi, og effekttoppane burde

difor koma til same klokkeslett med same storleik. Med lengre tidsintervall blei det målt fleire verdiar, og gjennomsnittsverdien for intervallet blei mindre enn ved korte intervall. Den endra gjennomsnittsverdien skuldast fordeling mellom høge og låge verdiar, der den relative del av låge verdiar er størst.



Figur 8.11: Resultat av prøvemålingar 04.09.2002 med 30 sekundars intervall.

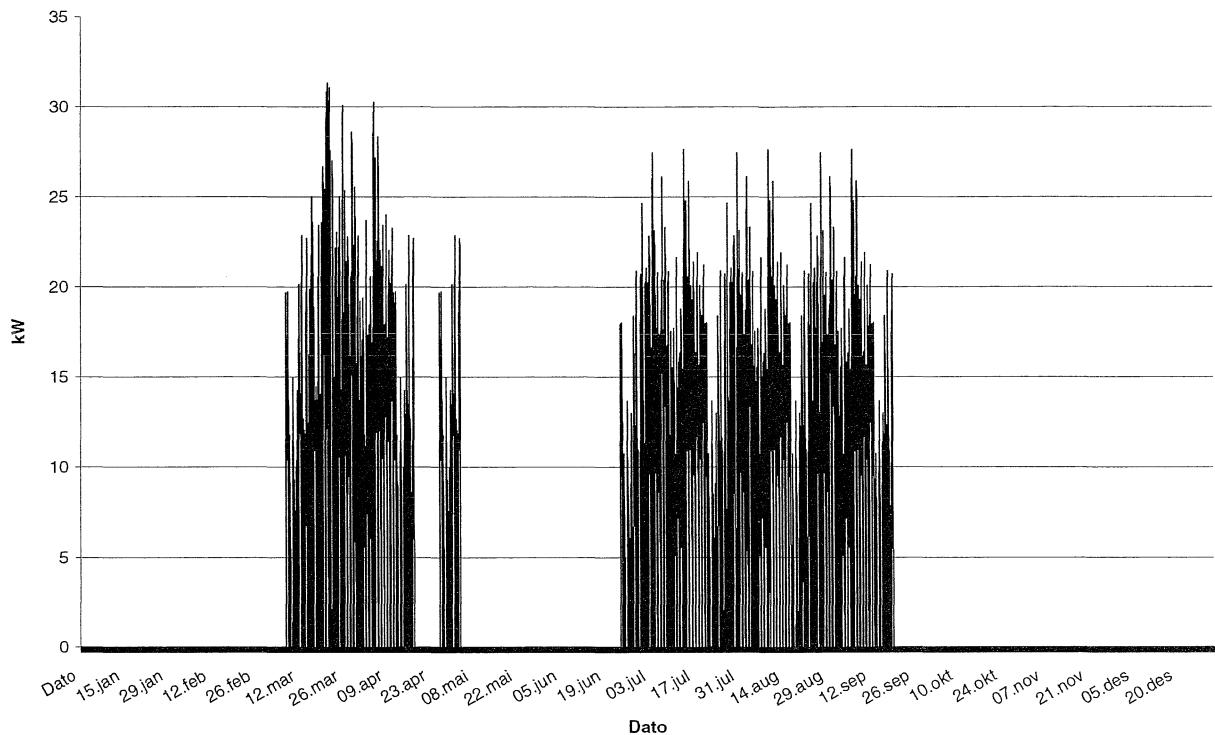
Fig. 8.12 viser resultat frå logginga våren 2003. Mykje tyder på at denne energiutviklinga kan brukast som grunnlag for å simulere ein årsprofil. Profilen inneholder periodar der forbruket ligg forholdsvis høgt, med effektoppar som truleg hadde vist verdiar opp mot 36 kW om dei ikkje hadde representert eit middel over 15 minuttar. Mot slutten av måleperioden er forbruket merkbart lågare, noko som stemmer med at det etter påske var låg aktivitet på hytta.



Figur 8.12: Måleresultat av energibruk fra 23. mars til 26. april våren 2003.

Datagrunnlaget frå målingane våren 2003 er brukt for å lage den simulerte profilen som er vist i figur 8.13. Dersom desse verdiane vert brukt som dei ligg føre, vil den akkumulerte effektbruken verte for liten i forhold til det gjennomsnittlege referanse forbruket. For å korrigere dette er målingane multiplisert med stipulerte faktorar på 1,15 for vinteren og 1,05 for sommaren. Faktorane er basert på erfaringar for energibruk sommar og vinter, og er framstilt på ein slik måte at det samla forbruket over eit år samsvarar med gjennomsnittet av det årlege energibruket for perioden 1998-2002. Det er også lagt inn noko energibruk ut over ordinær opningstid for å få med aktivitetar som skjer utanom sesong.

Summen av kilowattimar i den simulerte energiprofilen ligg tett opp mot det historisk årlege energiforbruket som vist kapittel 4.4. Dersom det ikkje vert utført tiltak for å jamne ut og optimalisere bruk av elektrisk energi, kan dette brukast som grunnlag for framtidig energibruk på Rauhelleren.



Figur 8.13: Simulert effektforbruk over året basert på målingar vinteren 2003.

Effektmålingane viser periodar med store, kortvarige sprang i forbruket som ofte når over dobbelt så høge verdiar som gjennomsnittet for perioden. Dette forbruket knyter seg i all hovudsak til utstyr på kjøkken og vaskeri i tillegg til varmtvasskjelje i sanitærbygget. På kjøkkenet har oppvaskmaskina det høgaste forbruket med eit maksimalt forbruk på 12 kW. Heile 9 kW går med til oppvarming av skolevatn til 90°C for å stetta krava til bakteriekontroll. Dersom ein legg til grunn at maskina vert tilført 65°C varmt vatn og har eit forbruk på 3,8 L/skøling, vil det ta 43 sekundar å heve temperaturen til 90°C etter kvar vaskeomgang (likning 8.1).

Energien som går med til kvar skøling, er

$$25 \text{ K} \cdot 4,19 \text{ J/Kg} \cdot 3,8 \cdot 10^3 \text{ g} = \frac{3,98 \cdot 10^5 \text{ J}}{3,6 \cdot 10^6 \text{ J}} = 0,11 \text{ kWh} \quad \text{Likning 8.1}$$

$$\text{Kvar skøling tek tida } \frac{0,11 \text{ kWh}}{9 \text{ kW}} = 0,012 \text{ h} = 43 \text{ s}$$

Det er ikkje utført effektmålingar knytt direkte til oppvaskmaskina, men basert på erfaring av talet på oppvaskomgangar kan eit estimat bereknast. Går oppvaskmaskina gjennomsnittleg 50

gonger dagleg i 120 dagar, til saman 6000 omgangar, vert det totale forbruket til oppvarming av skòlevatn 660 kWh (likning 8.2).

$$50 \text{ gonger/dag} \cdot 120 \text{ dagar} \cdot 0,11 \text{ kWh/gong} = \underline{\underline{660 \text{ kWh}}} \quad \text{Likning 8.2}$$

660 kWh er om lag 2,4 % av dagens forbruk, noko som ikkje gjer stort utslag på den årlege effektbruken, men som likevel er viktig for å få redusert effektoppane. Ved å byte ut elektrisk energi til varming av skòlevatnet med gass vert belastninga frå oppvaskmaskina redusert med 75 %, og vil med det gje eit vesentleg tilskot til utjamning av effektforbruket. Frå leverandør vert det opplyst at det må pårekna om lag kr 50000.- for oppvaskmaskiner med gassbrennar, mot kr 30000.- for maskiner med elektriske element (Electrolux-1, 2004).

I vaskeriet er det installert ei vaskemaskin med varmeelement på 7,5 kW for oppvarming av vatn ut over den temperaturen tilført vatn har. Ved å erstatte varmeelementet med gassfyrt damp vert behovet for elektrisitet redusert til 750W. Total energibruk for kvar vaskeomgang med normalprogram på 60°C er 0,70 kWh ved elektrisk oppvarming av vatn, og den elektriske energibruken er 0,15 kWh ved tilføring av ekstern damp for heving av temperaturen frå 65°C til 90°C (Electrolux-2, 2004). Behovet for elektrisk effektilgang i vaskeriet vert ved overgang til damp redusert med 90 %. Alt forbruksvatn i sanitærbygget, både til gjestedusjar og vaskeri, vert i dag varma opp av 3 kombinerte kjelar der grunnoppvarminga skjer med overskotsvarme frå aggregatmotoren. Toppoppvarminga skjer med 3 elektriske element på til saman 9 kW. Det er ikkje gjort målingar som direkte syner omfanget av det elektriske forbruket knytt til varmtvasskjelane. Men manuelle observasjonar av temperaturen til forbruksvatnet indikerer relativt ofte temperaturar under 50°C, og då vert alle elementa kopla inn.

9 Diskusjon

I vurderinga om korleis det ligg til rette for innføring av nytt energisystem på Rauhelleren, er det særleg to forhold som er avgjerande: produksjon av elektrisk energi og energi til oppvarming. Begge desse forholda krev meir grundige undersøkingar og utgreiingar enn det som er gjort i denne oppgåva. Desse innleiande undersøkingane og målingane er likevel viktige som grunnlag for seinare utgreiingar. Det er utført feltarbeid for å beskrive vindforhold og solinnstråling i tillegg til å måle effektbruken. Eit sentralt moment viser seg å vera knytt til storleik og omfang av effektoppar. Analysar av feltmålingane viser at effektbruken ikkje er tilstrekkeleg oppdelt for å beskrive effektoppane nøyaktig. Målingane må difor reknast som rettleiande og ikkje som grunnlag for dimensjonering av eit eventuelt nytt energisystem. Effektoppane samvarierer i stor grad med bruken av utstyr som krev mykje elektrisk energi til oppvarming av vatn. Den totale elektriske energibruken og effektbruken vil derfor bli redusert ved overgang til andre energikjelder for oppvarming av vatn. Kor presise målingane må vera, har nær samanheng med totale investeringskostnader og må vurderast i samanheng med prosjekteringsarbeidet. Eirik Berge ved Kjeller Vindteknikk, opplyser at feltmålingar bør gå over minst 1 år. I denne oppgåva vert det lagt til grunn at tilsvarande også gjeld for måling av solinnstråling og effekt. Likevel er målingane som er utført med for kort måleperiode, grunnlaget for det vidare arbeidet. Det har samanheng med at datamengda og referansegrunnlaget kan gje eit truverdig bilet av situasjonen. Arbeidet med kartlegginga av dei fysiske forholda, har vist at sol- og vindressursane er meir enn store nok til å forsyne Rauhelleren med elektrisk energi. I den vidare diskusjonen tek vi etter tur for oss vind, sol, kombinasjon av vind og sol og til slutt reduksjon av effektoppar

9.1 Vind

Vindressursgrunnlaget er tufta på den teoretiske verknadsgraden av eit sveipeareal lik turbinen ved Heinseter turisthytte 14 km nordaust for Rauhelleren. Denne har ei mastehøgde på 18 meter og rotordiameter på 12 meter. Det er truleg lite høveleg med høgare konstruksjonar i fjellet. Dette skuldast sjølve installasjonen og det forholdet at lokaliteten ligg midt i Hardangervidda nasjonalpark der visuell forureining er omsyn som må tilleggjast vekt. Produksjonspotensialet til turbinen er i overkant av 66 MWh årleg, basert på vindprofilen i

fig. 8.1. Dersom all energi vert brukt til produksjon av H₂, kan utbyte av elektrisk energi vera noko over 31 MWh. Detter er om lag 14 % meir enn dagens estimerte forbruk. Utviklinga av varme i elektrolysøren og i brenselcella er på til saman 52 %. Varmeutviklinga blir så stor da verknadsgraden til elektrolysøren er rundt 80 % og brenselcella rundt 60 %. I opningstida kan tapet på 52 % reduserast kraftig sidan det er stort behov for oppvarming av vatn og rom. Dette gir eit vesentleg positivt bidrag til energirekneskapen og dette gjer bruk av H₂ meir fordelaktig her enn til dømes i bilindustrien der overskotsvarmen ikkje vert nytta. Kor mykje av varmen som i praksis kan nyttast, vert påverka av at om lag 10 MWh av den totale vindkraftproduksjonen skjer i opningstida til Rauhelleren. På dagtid kan mykje av den elektriske energien nyttast direkte, og dette reduserer tilgangen på varme. Unntaket er i periodar når elforbruket overstig elproduksjonen og brenselcella må levere elstraum for å dekkje underskotet. Om natta vil det meste av vindenergien gå med til produksjon av H₂ og gje eit visst bidrag til oppvarming, men med den høge verknadsgraden elektrolysøren har, er dette forholdsvis beskjedent. Eit anna moment er at utnytting av varmen berre har verdi i opningstida om ein ser bort frå den fordelen det inneber at bygningane kan ha ei grunnoppvarming heile året. Resultatet er redusert behov for lagring av H₂ og mogeleg redusert omfang av heile H₂-anlegget. Det er eit element som kan vise seg å vera viktig i forhold til realisering av nytt energisystem. For å unngå driftsproblem bør det vurderast om det er teneleg å la vindturbinen produsere heile året. Spesielt kan elproduksjon vere problematisk i periodar om haust og vår med omsyn til tilkomst og værtilhøve.

9.2 Sol

Då den elektriske produksjon i solceller maksimalt er 15 % av innstrålt solenergi, utgjer det med dagens kommersielle celler 138 kWh over året for kvar kvadratmeter solcelleflate. Om solceller åleine skal dekke energibehovet på Rauhelleren, ville det krevje eit areal mykje større enn takflata til huset. Saman med investeringskostnadene som også vert høge ved eit slikt omfang, gir det solenergi därlege odds. På ei anna side skjer 85 % av solinnstrålinga i den perioden av året då forbruket er størst, noko som talar for nærmare utgreiing av sol som energikjelde. Det knyter seg samstundes store fordelar til solcelleanlegg sidan konstruksjonen ikkje inneheld rørlege delar. Driftsstabiliteten er derfor stor gjennom heile året. Dersom 100 m² av det sør vendte takflata vert dekt av solceller, kan produksjonen i opningstida vere 11,7

MWh. Direkte bruk av solenergi gir, som for direkte bruk av vindenergi, lite tilgang på varme sidan det meste av både produksjon og forbruk skjer på dagtid.

9.3 Kombinasjon av sol og vind

Eit alternativ er å kombinere bruk av sol og vind som energikjelde for produksjon av H₂. På denne måten oppnår ein at meir av produksjonen skjer i tidsrommet når hytta er bemanna. Utrekningar basert på kombinasjon av 22 kW vindturbin og 100 m² solceller viser eit produksjonspotensiale på opp mot 22 MWh i sommarhalvåret. Dersom det vert oppnådd ein reduksjon av elektrisk forbruk på 10 MWh, kan ei slik løysing vera aktuell. Å kombinere vind- og solenergi gir auka investeringskostnader, men det vil samstundes minske kravet til storleiken på H₂-anlegget. Korleis det vil slå ut på dei totale investeringskostnadene må utgreiast nærmare. Det må og inngå i analysen at det får verknad for driftskostnadane med omsyn til tilsyn av anlegget ved at produksjonen kan skje i tidsrommet når hytta er bemanna.

9.4 Reduksjon av effektoppar

Det er i dag berre når dieselelektrisk generatoren går at det skjer noko vesentleg forbruk av elektrisk energi. Det vert vekselretta noko sterkstraum frå batteribanken, men dette er i sum svært små mengder. Som vist i figur 8.9, gir dette store sprang i effektbruken, og dette er årsaka til at storleiken på aggregatet er overdimensjonert. Dette har fleire ulemper. Investeringskostnadene er høgare enn nødvendig, og energibruken er ugunstig høg som fylgje av at generatoren på det jamne går med for høg eller for låg belastning. Resultatet er den låge elektriske verknadsgraden på rundt 26 %. Analysar av dei mest energikrevjande behova syner eit stort potensiale for utjamning av effektbruken. Eit viktig bidrag til vesentleg reduksjon av den elektriske effekten er å varme forbruksvatnet til 65°C direkte frå andre energikjelder. Ein allsidig metode er å nytte pellets eller flis i kombinasjon med ved i ein fyrkjel. Slike fyrkjelar kan og brukast til brenning av avfall. Varmeelementa i oppvaskmaskin, klesvaskemaskin og berederar vert på denne måten overflødige. Dette vil ha stor betydning for reduksjon av effektoppane og total effektbruk. Grunnoppvarminga kan og supplerast med direkte bruk av solvarme i solfangarar som blir knytt til sentralvarmeanlegg. Oppvarming av vatn frå 65°C til 90°C kan skje med gass. Av fleire grunnar er gass i denne samanhengen betre miljøval enn diesel. Utsleppa av CO₂ blir vesentleg redusert ved overgang frå diesel til gass.

Elles er dei andre avgassane frå brenning av diesel meir skadelege enn frå brenning av gass. Gass forureinar heller ikkje grunnen ved eventuell lekkasje i motsetnad til diesel. Ein annan fordel er at gass er svært effektiv ved behov for rask oppvarming av vatn. Elektrisk energi til å drive elektriske motorar og elektronikk i ulike hjelpemiddel er vanskeleg å redusere utan vidare. Den daglege drifta krev eit minimum av hjelpemiddel for å stetta dagens krav til effektivitet og bedriftsøkonomi. Det er og knytt effektbruk til utstyr som det er pålegg om å ha frå Mattilsynet. Og i dag finst det ikkje gode alternativ til det utstyret som er i bruk. I fyrste rekke dreier dette seg om kjøle- og fryseanlegg. Det er i handelen kjøleskåp og fryseboksar som nyttar gass som energikjelde. Men desse er små og berekna på hyttebruk, og har derfor ikkje nødvendig kapasitet for storkjøkkendrift. Ein stor del av dette forbruket kan forsynast av vekselretta elstraum frå batteri. Ved å utvide batteribanken kan denne i stor grad dekke behovet for sterkstraum til nødvendig utstyr.

10 Konklusjon

Innføring av nytt energisystem på Rauhelleren synest nødvendig for å møte dei utfordringar som vert stilt til miljøriktig drift og nødvendig standard i fjellet. For å stette krava frå gjester og det offentlege er bruk av fornybar energi ein føresetnad for framtidsretta drift. Det viktigaste for å nå dette målet, er å redusere toppane i den elektriske effektbruken og med det storleiken av hydrogenanlegget. Dette er kostnadsmessig gunstig sidan lagring av store mengder hydrogen av er ein flaskehals i det framtidige prosjektet. Uavhengig av installasjon av utstyr for bruk av sol og vindenergi, vil dette gje redusert forbruk av fossilt brensel.

Av dei innleiande undersøkingane kan ein tolke ressursgrunnlaget som tilstrekkeleg for bruk av fornybar energi i form av vind- og solenergi. Men målingane er ikkje tilstrekkelege som grunnlag for å bestemme kva for type fornybar energi som er gunstigast. Det innleiande arbeidet er derimot svært viktig som styringsreiskap for komande, grundige undersøkingar for val av energikjelde. Til det er det behov for lengre måleseriar for både dimensjonering og avgjerd om anlegg. I desse undersøkingane må også kostnadene ved dei ulike alternativa bereknast. Vidare vurdering av energisystem med H₂ som viktigaste energiberar ligg av den grunn fram i tid. Ein reknar med ei teknologisk utvikling omkring bruk og lagring av H₂, som på sikt vil føre fram til nye og forbetra kommersielle produkt til ein kostnad som er konkurransedyktig. På grunnlag av undersøkingane er det likevel mogeleg å leggje til rette for fornybar energi ved å endre måten energien vert brukt på. Eit viktig poeng i denne samanhengen er at slik tilrettelegging kan reknast som delfinansiering av nytt energisystem. Samtidig kan det reknast som eit sjølvstendig prosjekt der resultatet er eit vesentleg bidrag til miljøvenleg drift av turisthytta.

Størst reduksjon i forbruk av elektrisk energi vert oppnådd ved direkte bruk av annan energi til oppvarming av vatn. Utskifting av utstyr som inneheld elektriske varmeelement, og innføring av biobrensel og gass for oppvarming av vatn må prioriterast. Det bør og undersøkjast nærmere om bruk av solvarme til grunnoppvarming av vatn kan vere aktuelt for å redusere bruken av biologisk brensel. Batteribanken bør utvidast for å forsyne svakstraum til lys og sterkstraum til utstyr som krev 220 V spenning.

Undersøkingane har vist at det mest gunstige for å realisere innføring av fornybar energi, er å redusere effektoppane og bruken av elektrisk energi til eit minimum. Dette er uavhengig av den teknologiske utviklinga innanfor dette området.

Kjelder

DNMI, 2003: Utskrift av logg for Finsevatn 1995-2001.

DNMI, 2003: Utskrift av logg for Finsevatn, Vågslid og Geilo oktober 2001-september 2002.

EBL, 2004: Energibedriftenes Landsforening, www.energifakta.no.

Electrolux 1, 2004: Datablad for oppvaskmaskin, www.foodservice.electrolux.com/electrolux/brandSite/Electrolux/english/pdf_products/ida020.pdf

Electrolux 2, 2004: Datablad for klesvaskemaskin, www.laundrysheets.electrolux.com/node/473.asp?pdfid=2622

HowStuffWorks, Inc, 2004: <http://science.howstuffworks.com/solar-cell5.htm>.

Jørgensen, D.H., 1995: Forenklet energivurdering, 15 s.

Myhre, A., 2003: Klima, energi og miljø. Natur-, helse og miljøvernstudiet, HiT Avdeling for almenne fag, Bø, 254 s.

NOU 2004: 11: <http://odin.dep.no/filarkiv/211296/NOU0404011-TS-saerskiltvedl-1.pdf>

NOU, 1974 30 B: Hardangervidda, natur-kulturhistorie-samfunnsliv. ISBN 82-00-70149-2, 352 s.

Piggott, H, 2003: www.scoraigwind.com/wpNotes/index.htm.

Rinnan, A., 2003: Wind turbine in stand-alone power systems. Diplom fra NTNU, 98 s.

Ropatec AG, 2004: www.ropatec.com/smarteredit/documents/b/Ropatec_Catalog_Windrotor.PDF.

Salvesen, F., red, 2001: Nye fornybare energibarekjelder. Kanenergi AS. ISBN 82-12-01621-8, 68s.

Sandvik TV-service, 2003: www.meteo.no/wmr928demo.htm.

Scanwafer, 2003: www.scanwafer.no/index.php/4905.

SOLIS databasen, 2003: www.miljolare.no/solis.

Vindmølleindustrien, 2003: <http://www.windpower.org/da/tour/wres/hill.htm>.

Vindmølleindustrien, 2003: Søren Khron,
<http://www.windpower.org/da/tour/wres/roseplot.htm>

Øgrim, O., Ormestad, H., Lunde, K. og Jerstad, P., 1984: rom•stoff•tid
2FY Fysikk for den vidaregåande skolen. J. W. Cappelens forlag, 304s.

Personlege opplysningar

Gaustad, M. ,2004: Telefonsamtale 26.11.2004-12-03.

GenVind Engineering Aps, 2003: Sven Irgens-Møller. Effektkurve 22 kW turbin.

Mathisen, S. A. , 2004: Telefonsamtale 06.12.2004, Verknadsgrad forbrenningsovn og fyrkjel.

Vedlegg

Vedlegg 1: ..\Utrekningar\Dieselaggregat nøkkeldata.xls

Vedlegg 2: ..\Utrekningar\Energibehov DHJ.xls

Vedlegg 1:

**Nøkkeltall for dieselagggregatet
på Rauhelleren turisthytte
perioden 1998-2000**

Perioden	5	År
Antal timer	9994	Timar
Gangtid timer/år	1999	Timar
Dieselforbruk totalt L	51504	Liter
Energiinnhold i diesel kWh	10,15	kWh/L
totalproduksjon kWh	136616	kWh
Snittproduksjon kWh/time	13,67	kWh
Snittproduksjon kWh/år	27323	kWh
Dieselforbruk L/kWh	0,377	L/kWh
Dieselforbruk L/år	10301	L/år
Dieselforbruk L/time	5,15	L/time
Verknadsggrad	26	%

Vedlegg 2: Energibehov

Estimert forbruk av energi på Rauhelleren basert på ei forenkla energivurdering av D.H. Jørgensen

Varme	Wh	Elektrisitet
Rom		
Peiestove	4165	Maks kWh 35
Matsal	3040	Samtidsfaktor 65 %
Vindfang	1220	Aggregat timer/år 1999
Vestibyle	525	kWh 45477,25
Opphaldsrom	1225	
Kontor	1225	
Resepsjon	0	
Mat personale	1225	
Kjølerom	110	Gjennomsnitt utetemperatur mars-april -9,3 °C
Lager	375	Gjennomsnitt utetemperatur juli-september 8 °C
WC	105	Ynskjeleg innetemperatur 20 °C
Forgang dusj	25	Åpning vinter 45 dagar
Dusj	225	Åpning sommer 80 dagar
Gang grovkjøkken	520	Totalt dager 125 dagar
Kjøkken	440	Totalt timer 3000 timer
Oppvask	655	ΔT vinter 29,3 °C
Tørkerom	125	ΔT sommar 12 °C
Vaskerom h	605	Tilført energi 622 W/°C
Vaskerom d	605	Energibehov varme vinter 19682,6 kWh
Personale	865	Energibehov varme sommar 14330,9 kWh
Personale	865	Energibehov totalt 34013,4 kWh
Soverom 2	470	
Soverom 1	620	
Vask	210	
Stove/Kjøkken	1590	
Personal/Opphold	1115	
Personal	885	
Wh	23035	

Dersom ΔT er 37°C gir det oppvarmingsbehov lik 622W/°C