



NVE  
NORGES VASSDRAGS-  
OG ENERGIVERK

**NTNF-prosjekt EK 29777**

**Autonomt elforsyningsanlegg med sol/diesel**

## **PROSJEKTRAPPORT**

Saksbehandlere: Rolf Brun, HEAS  
Eilif Hugo Hansen, EFL/NTH  
Nils Vøllestad, Audio-light AS  
Knut Hofstad, NVE (prosjektleder)

**10. mai 1993**

Kontoradresse: Middelthuns gate 29  
Postadresse: Postboks 5091, Maj.  
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95  
Telefax: 22 95 90 00  
Telex: 79397 NVEO N

Bankgiro: 0629.05.75026  
Postgiro: 0803 5052055

## I. INNLEDNING

I forbindelse med elektrifiseringen av landet som foregikk i perioden 1938-1960 ble det bygget en rekke kostbare overføringsanlegg til svært grisgrendte områder. Disse anlegg gir liten inntjening, både i forhold til driftsutgiftene og til nedlagt kapital. Elforsyning av slike områder er m.a.o. rene tapsposter for everkene.

På denne bakgrunn har NVE tatt initiativet til å få utredet alternative løsninger for energiforsyning i avsidesliggende områder. I juli 1992 forelå sluttrapporten fra forprosjektet "Desentral energiforsyning" som ble gjennomført av Energidata. (ref [1] og [2]). Rapporten beskrev mulige lokale energiforsyningssystemer som ikke var basert på strømforsyning gjennom det alminnelige ledningsnettet. Aktuelle steder for å prøve ut disse løsningene i praksis ble identifisert. Ett av stedene, Venberget i Grue kommune i Hedmark [2] ble valgt som åsted for et forsøksanlegg.

I forprosjektet ble det vurdert å basere strømforsyningen på en kombinasjon av dieselaggregat og solcelleanlegg. Mindre solcelleanlegg for forsyning av hytter har vært vanlig i noen år nå, men bruk av større solcelleanlegg til å forsyne ordinære husholdninger må sies å representere en ny problemstilling der vi mangler praktisk driftserfaring. For å styrke det faglige grunnlaget til prosjektet fant en det derfor ønskelig å søke et samarbeid med Norges forskningsråd, avd. NTNF, som er i gang med et eget program for utnyttelse av solenergi. Dette prosjektet er derfor gjennomført i samarbeid med det NTNF-finansierte prosjektet EK 29039 Solcelleanlegg for bygninger, som igjen er knyttet til IEA SHCP Task 16, Photovoltaics in Buildings.

## II. PROBLEMSTILLING

Når et område skal forsynes med elektrisitet basert på en lokal løsning endres rammebetingelsene dramatisk. Mens kostnadene ved energiforsyning av grisgrendte områder fra det alminnelige ledningsnettet vil være bestemt av selve tilknytningskostnadene, vil det for en frittstående og desentral løsning være selve elforbruket som er kostbart. Dette skyldes både høye løpende produksjonskostnader og kapitalkostnadene som blir bestemt av det dimensjonerende årsforbruket. Det er derfor viktig å fokusere på abonnentens elspesifikke forbruk med sikte på å redusere det mest mulig.

Det valgte alternative for lokal elproduksjon må derfor ses i sammenheng med innsats av tiltak på forbrukersiden, slik at en best mulig totaløkonomi oppnås. Alle varmebehov som abonnenten har (romoppvarming, vannoppvarming, kokning) vil normalt være billigere å imøtekommе med annet enn elektrisitet, f.eks. olje, gass eller biobrensel. Dessuten vil flere generelle enøkt tiltak bli aktuelle (f.eks. lavenergilamper) i og med at energikostnadene er høyere og sparemulighetene dermed større.

### III. FORBRUKSANALYSE

Boligen på Venberget har i dag et årlig elektrisitetsforbruk på ca. 5500 kWh i året. All energi for romoppvarming er dekket med ved. På bakgrunn av et intervju med innehaveren har en prøvd å komme fram til et nærmere spesifisert energiregnskap.

#### 1. Energiforbruk

Tabellen nedenfor viser hvordan elforbruket er splittet opp på ulike forbruksinstallasjoner.

| Apparat        | Effekt [kW] | Brukstid          | Energi [kWh] |
|----------------|-------------|-------------------|--------------|
| Vaskemaskin    | 2.000/800   | 6 timer/uke       | 250          |
| Kjøleskap      | 100         | 8 timer/døgn      | 290          |
| Fryser(2)      | 300         | 10 timer/døgn     | 1.080        |
| Motorvarmer    | 700         | 1 t/døgn i 4 mnd. | 84           |
| Komfyr         | 3.000/1500  | 2 t/døgn          | 1.100        |
| Vannoppvarming | 1.200       | 4 t/døgn          | 1.750        |
| Belysning      | 1.000       |                   | 2.300        |
| Div.install.   |             |                   | 1.200        |
| Sum            |             |                   | 8.000        |

Tabell 1

I energiregnskapet er det den gjennomsnittlige effekten som er interessant, mens det for effektdimensjoneringen er maksimaleffekten som teller.

Vaskemaskinen trekker 2 kW i den perioden varmeelementet er innkoplet, mens det gjennomsnittlige forbruket over driftstiden er i størrelsesorden 800W (ifølge leverandørens opplysninger). Tilsvarende skille er gjort for komfyr.

Som en ser er summen av anslagene (8000 kWh) vesentlig større enn det registrerte forbruket. Da effektverdiene er lette å kontrollere, er det rimelig å anta at avviket skyldes innehaverens anslag på brukstider. Når det gjelder fordelingen av elforbruket over året, må en ta i betraktning at elektrisitet ikke brukes til romoppvarming og at forbruket følgelig ikke er avhengig av utedørstemperaturen. For praktiske formål har en derfor antatt jevnt elforbruk over året, dvs.

Elforbruk per dag = 5.500 kWh/365 = 15kWh

## 2. Effektforbruk

Effektbehovet kan beregnes ut fra 3 forskjellige sett med forutsetninger:

### A. Dagens forbruksmønster

Komfyr og varmtvannsbereder har felles sikring (20A) som gir en effektbegrensning på ca. 4,5 kW. Andre store effektforbrukere på kjøkkenet som brødrister, vaffeljern og grill blir trolig i liten grad brukt samtidig med et høyt uttak på komfyren.

Kjøleskap, fryser fjernsyn eller stereoanlegg, vannpumpe og kjøkkenvifte er apparater en må regne med er i drift uavhengig av annet forbruk. Disse har samlet forbruk på ca, 1000W. For lys må en, når en tar hensyn til samtidighet, kunne regne med ca. 1000W.

For de øvrige store forbruksapparatene, vaskemaskin, motorvarmer samt elektroverktøy, kan en sette visse begrensinger på bruken. I effektregnskapet avsettes 1,5 kW til disse formål. Grensen er satt lavere enn summen av apparatenes effektverdier idet en antar en betydelig samlagringsvirkning med de øvrige installasjonene (ikke alle apparatene belastes fullt på samme tid). Dette gir et samlet effektbehov på

|                                 |             |   |
|---------------------------------|-------------|---|
| Komfyr/Vannoppvarming           | 4500        | W |
| Kjøl/frys/div. hushold.inst.    | 1000        | W |
| Belysning                       | 1000        | W |
| Vaskemaskin/Motorvarmer/verktøy | <u>1500</u> | W |
| Totalt effektbehov              | <u>8000</u> | W |

### B. Redusert effektbehov

Ved å innføre effektbegrensninger kan effektbehovet reduseres. Dette innebærer at forbruksmønsteret må endres noe, slik at f.eks. vaskemaskin ikke kan brukes når komfyren toppbelastes. Dette kan automatiseres ved at tilførselen til vaskemaskinen koples ut når effektforbruket på komfyren overstiger en en gitt verdi. Utkopling av varmtvannsberederen kan også styres automatisk. Dette gir et redusert effektbehov på:

|                              |             |   |
|------------------------------|-------------|---|
| Komfyr/vaskemaskin           | 3000        | W |
| Kjøl/frys/div. hushold.inst. | 1000        | W |
| Belysning                    | <u>1000</u> | W |
| Totalt effektbehov           | <u>5000</u> | W |

### C. Min. effektbehov

I dette alternativet har en forutsatt at alt varmebehov (unntatt til vaske-maskinen) skal dekkes med andre energibærere (f.eks. propan) enn elektrisitet. Elektrisiteten skal mao. bare brukes til strengt elspesifikke behov. For koking og vannoppvarming er propan et hensiktsmessig alternativ. Propan kan også om ønskes brukes til romoppvarming. I dag er dette dekket med ved. Minimum effektbehov blir da

|                              |              |          |
|------------------------------|--------------|----------|
| Vaskemaskin                  | 2.000        | W        |
| Kjøl/frys/div. hushold.inst. | 1.000        | W        |
| Belysning                    | <u>1.000</u> | <u>W</u> |
| Totalt effektbehov           | <u>4.000</u> | <u>W</u> |

En omlegging av elektrisitet til propan samt utskifting til lavenergilamper vil også redusere det samlede elektrisitetsforbruket:

|  |              |                        |
|--|--------------|------------------------|
| Dagens elforbruk                         | 5.500        | kWh                    |
| -Redusert forbruk til belysning (anslag) | 900          |                        |
| -Koking, vannoppvarm.                    | <u>2.000</u> | <u>kWh<sup>1</sup></u> |
| Min. elforbruk                           | <u>2.600</u> | <u>kWh</u>             |

### IV. TEKNISK PRINSIPPLØSNING

Ved valg av teknisk løsning har en tatt utgangspunkt i at abonnenten, som har vært tilkoplet det alminnelige ledningsnettet, ikke skal oppleve noen vesentlig forverring av kvaliteten på sin strømforsyning ved overgang til en lokal løsning. Dette gjelder teknisk kvalitet og pålitelighet, såvel som miljømessige forhold.

Et diesel- eller gassaggregat vil avgi noe støy selv om det isoleres godt. Det er derfor ønskelig at gangtiden blir så lav som mulig. Det vil også forlenge aggregatets levetid og redusere servicebehovet. Fra leverandørhold frarådes det dessuten å kjøre aggregatet på døgndrift. For å sikre en kontinuerlig strømforsyning, som abonnenten åpenbart har krav på, har en valgt å utstyre anlegget med batteri og vekselretter. Fig. 1 viser en prinsippskisse for desentral strømforsyning etter denne modellen. Anlegget er også forsynt med solceller for topplading av batteriene og for å redusere bruken av aggregatet. Produksjonsanlegget kan således deles opp i følgende komponenter:

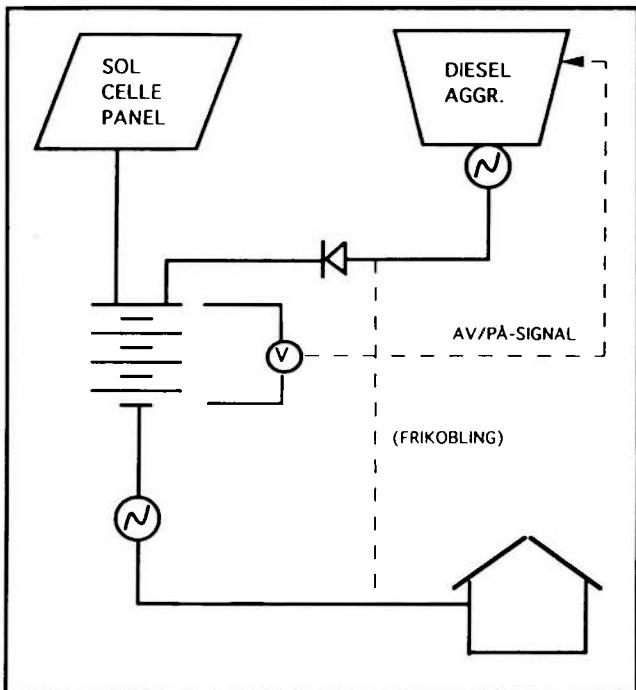
---

<sup>1</sup>=2.900\*5.500/8.000 (Jf. tabell 1.)

1. Aggregat.
2. Batteri.
3. Reguleringsenhet for solcellepaneler
4. Solcellepaneler (med rammeverk for montasje)
5. Likeretter/vekselretter

Den valgte løsningen skal gi en tilfredsstillende leveringssikkerhet. Hvis aggregatet svikter kan abonnenten forsynes lenge fra batteriet (i ca. ett døgn). I sommerhalvåret vil dette kunne forlenges gjennom bidragene fra solcellepanelene. Kvaliteten på strømmen kan imidlertid være et problem. Vekselretteren som er valgt ut, gir bare en trapesformet spenningskurve (se kap. V pkt 5).

Årsaken til dette valget er at vekselrettere med en korrekt sinusformet spenningskurve er vesentlig dyrere.



Figur 1

## V. PROSJEKTERING - TEKNISKE BEGRENSNINGER

### 1. Aggregat

De fleste aggregater som leveres i Norge i dag er basert på dieseldrift. Det er imidlertid ingen ting i veien for at andre aggregattyper kan tas i bruk, f.eks. gass- eller dampdrevne. Velges propan i husholdningen vil et gassdrevet aggregat være mest praktisk. En begrenser seg da til én energibærer og kan klare seg med én drivstofftank.

Hvis aggregatet er tilrettelagt for gjenvinning av tapsvarmen, vil det også være god energiøkonomi å utnytte tapsvarmen. Med en elproduksjon på ca. 3000 kWh vil en få ca. ca. 6000 kWh "gratis" varme til disposisjon for vann- og romoppvarming.

Ut fra leverandørenes anbefalinger har vi valgt et aggregat som er konstruert for "kontinuerlig" drift der motoren arbeider med lavt turtall (dvs. 1500 omdreininger i minuttet). Leverandørene fraråder likevel døgnkontinuerlig drift over lengre tid, særlig p.g.a. soting ved lavlast.

Maksimal virkningsgrad for et aggregat oppnås ved en belastning på 60-80% av maksimal ytelse. Batteriets evne til å motta ladestrøm blir derfor dimensjonerende for valg av størrelse på aggregat. Netto ladestrøm fra aggregatet er gitt

av formelen

$$E_L = 0,9 \times E_D \quad \text{der} \quad E_L = \text{Tilført ladeeffekt til batteri}$$

0,9= gen.effektivitet  
 $E_D$  = avgitt effekt fra generator

To alternativer<sup>2</sup> er valgt (jf. kap. III, pkt. 2):

B. 7,0 kW => netto ladeeffekt 80% last = 5,0 kW

C. 4,5 kW => netto ladeeffekt 60% last = 2,4 kW

der lasten er satt under hensyn til maksimal ladeeffekt (se pkt. 5). For alt. B har en brukt dobbelt sett med veksel/likerettere.

Levetiden for aggregater som er konstruert for "kontinuerlig" drift er ca. 50.000 timer. Med en daglig drift på under 4 timer (se vedlagte tabeller) er det realistisk å regne med at levetiden til aggregatet kan bli 20 år, under forutsetning av at regelmessig servicearbeid blir utført forskriftsmessig.

Utgiftene til service er beregnet som følger:

|                                   |             |                    |
|-----------------------------------|-------------|--------------------|
| 1. Hovedservice hver 10.000 time: | Arbeidslønn | kr. 2.800,-        |
|                                   | Deler       | 2.400,-            |
|                                   | Reise       | <u>2.500,-</u>     |
|                                   | Totalt      | <u>kr. 7.700,-</u> |

|                                |             |                  |
|--------------------------------|-------------|------------------|
| 2. Brukerservice hver 400 time | Oljeskift   | kr. 200,-        |
|                                | Filter      | 200,-            |
|                                | Egeninnsats | <u>300,-</u>     |
|                                | Totalt      | <u>kr. 700,-</u> |

Serviceutgifter per driftstime blir da:

$$\text{kr. } 7.700/10.000 + 700/400 = 2,50 \text{ kr/time (avrundet)}$$

eller regnet per kWh:

$$\text{Alt. B: } (2,5 \text{ kr/time}) / 5,0 \text{ kWh/time} = 0,50 \text{ kr/kWh}$$

$$\text{Alt. C: } (2,5 \text{ kr/time}) / 2,4 \text{ kWh/time} = 1,04 \text{ kr/kWh}$$

For å spare reiseutgifter har en forutsatt at innehaveren selv kan utføre brukerservicen mot en godtgjørelse på kr. 300 per gang.

Virkningsgraden er avhengig av aggregatets størrelse og belastning. Fra

<sup>2</sup>Som eksempler har en valgt standardkonfigurasjoner fra Satema

forhandleren av de aggregatene som her er brukt som eksempel har vi fått oppgitt et dieselforbruk på 1,2 L/time ved 75% belastning av 4,5 kW aggregatet.  
Dette utgjør

$$1,2/(0,75*4,5) = 0,355 \text{ L/kWh}$$

Med et energiinnholdet i dieselen på 34,8MJ/L blir virkningsgraden 29%. For enkelhets skyld antar vi at denne virkningsgraden gjelder for både alt. A og B. Da blir grensekostnadene for bruk av diesel

Alt. B:

|  |                    |
|--|--------------------|
| Servicekostnader   | 0,50 kr/kWh        |
| Dieselkostnader $0,355 \text{ L/kWh} * 3,2 \text{ kr/L} =$ | <u>1,14</u>        |
| Sum (brutto prod.)   | <u>1,64 kr/kWh</u> |

Grensekostn. nettoprod.  $1,64/(0,9*0,85*0,9)$  2,38 kr/kWh

Alt. C:

|  |                    |
|--|--------------------|
| Servicekostnader   | 1,00 kr/kWh        |
| Dieselkostnader $0,355 \text{ L/kWh} * 3,2 \text{ kr/L} =$ | <u>1,14</u>        |
| Sum  | <u>2,14 kr/kWh</u> |

Grensekostn. nettoprod.  $2,14/(0,9*0,85*0,9)$  3,11 kr/kWh

Grensekostnadene gjelder for små endringer i forbruket som ikke påvirker aggregatets levetid eller batteriets og vekselretterens størrelse, og kan legges til grunn når mindre enøkinvesteringer skal vurderes..

## 2. Batterilagring

Den rimeligste måten å lagre strøm på er fremdeles bruk av tradisjonelle bly/syre-batterier. Disse leveres i dag som tilnærmet vedlikeholdsfree ventilregulerte "gelebatterier".

Batteriets levetid er oppgitt til å ligge mellom 8 og 12 år og bestemt av antall syklinger (opp- og utladninger) og hvor dypt batteriene lades ut. Erfaringer med slike batterier er blandende og i praksis forekommer det at levetiden blir vesentlig kortere enn det leverandøren oppgir. For levetidens skyld er det viktig at batteriene ikke lades ut til mer enn 40% SOC (state of charge). Samtidig vil det være uøkonomisk å bruke diesellaggregatet til å topplade batteriene. Lading av batteriene bør derfor starte ved 40% SOC og avbrytes ved 90% SOC. Tilgjengelig energi fra batteriet vil derfor under normale driftsforhold være 50% av SOC.

For å sikre at batteriene får en lang levetid er det også viktig å topplade batteriene. Diesellaggregatet er lite egnet til dette fordi ladestrømmen i den

siste delen av ladeperioden går kraftig ned og dieselaggregatet vil da gå med lav virkningsgrad. For å sikre en jevn ladestrøm for topplading av batteriene har en valgt solcellepaneler. Karakteristikken fra solcellene, lav strømstyrke over lang tid, passer svært godt for topplading av batterier.

Batteriene skal også sikre levering i en periode om dieselaggregatet skulle svikte. På denne bakgrunn har en valgt å dimensjonere batterilageret slik at det skal kunne levere el i ca. 1 dag. Dette gir følgende alt.:

$$\text{B. } 5.500 \text{ kWh} / 365 / 0,85 / 0,9 = 20 \text{ kWh} \Rightarrow \text{Tot. batterikap.} = 50 \text{ kWh}$$
$$\text{C. } 2.600 \text{ kWh} / 365 / 0,85 / 0,9 = 9 \text{ kWh} \Rightarrow \text{Tot. batterikap.} = 24 \text{ kWh}$$

|               |                      |      |
|---------------|----------------------|------|
| idet en antar | Batterieffektivitet: | 0,85 |
|               | DC/AC-effektivitet   | 0,9  |

En må ha en detaljert instruks for batteriovervåking og vedlikehold. For at forbrukeren skal få et så kortvarig driftsavbrudd som mulig er det viktig at oppståtte feil blir varslet umiddelbart med en nøyaktig og brukervennlig feilanvisning. Dette kan gjøres med en varsellampe eller -lyd. Varsellampen kan tennes når dieselaggregat ikke vil starte eller spenningen i batteriet faller faretruende.

### 3. Spenningsregulering

Det er fordelaktig å sette spenningen noe over batteriets maksimale ladespenning ved konstantlading da vi her står overfor en syklingsdrift. Ved at toppspenningen økes, kan mer energi lagres i batteriene i løpet av en gitt ladeperiode.

I et hybrid system basert på solenergi og diesel vil de forskjellige energiprodusenter operere vekselvis og til dels samtidig. Solenergi avgir strøm på dagsid og dieselaggregat ved nødvendige last- og oppladningsintervaller. Derfor vil en høyere regulert spenning tillate et høyere antall Ah i batteriet gjennom en gitt ladeperiode.

For å oppnå den optimale spenning er det viktig med temperaturkompensert lading som automatisk regulerer spenningen som konsekvens av batteriets temperatur. Denne ladeteknikken er standard i de fleste solenergisystemer i dag. Videre må spenningsregulatoren ha forskjellige verdier for å forhindre ustabil drift hvis flere energiprodusenter er operative om gangen. Vi anbefaler derfor at dieselaggregatet justeres til den laveste verdien (2,28 V/celle) og at solcellene justeres over denne verdien, f.eks. 2,4 V/celle.

### 4. Solcellepaneler

Anlegget foreslås utstyrt med solcellepaneler for å oppnå å

- forlenge batteriene levetid ved en egnertopplading av batteriene (uten

bruk av dieselaggregat med lav virkningsgrad).

- øke leveringssikkerheten. Hvis dieselaggregatet faller ut vil solcellene gi en minstestrøm til det mest nødvendige.
- forlenge dieselaggregatets levetid ved at en unnlater å kjøre den i lavlastperioder.

Årlig produksjon fra solcellene er bestemt av årlig innstråling. Det er ikke foretatt målinger på stedet, men geofysisk institutt i Bergen har foretatt målinger på Lillehammer. Basert på disse dataene kan en forutsette at årlig innstråling på en panelflate er

| Vinkel til<br>hor.planet | kWh/m <sup>2</sup><br>(per år) | kWh/m <sup>2</sup><br>(i januar) |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 30 grader                | 1133                           | 25                               |
| 60 grader                | 1117                           | 35                               |

Som en ser er forskjellen mellom 30 og 60 grader liten. Av hensyn til problemer med snø- og isansamlinger på solcellepanelene, velges 60 grader. 2 alternative solcelleanlegg er valgt:

- B. 32 stk. 64W-paneler = 2048 W => årsprod. 1740 kWh  
C. 16 stk. 64W-paneler = 1024 W => årsprod. 870 kWh

Ut fra oppgitte listepriser (Solarex) er investeringskostnaden for 1024 W lik kr. 41.200, som utgjør 3.321 kr i kapitalkostnader per år. Grensekostnad for solcelleenergi bli m.a.o.

Grensekost. bruttoprod. 3.321 kr/870 kWh: 3,82 kr/kWh

Grensekost. netto prod. 3,82 kr/kWh/(0,92\*0,85\*0,9): 5,4 kr/kWh

## 5. Likeretter/vekselretter

Utvælget av vekselrettere på markedet synes å være noe begrenset. Vekselrettere som gir en korrekt sinusformet spenningskurve er svært kostbare i anskaffelse. En har derfor valgt å gi avkall på dette kravet og i stedet satse på vekselrettere som gir en trapesformet spenningskurve. Det er usikkert hvilken virkning en trapesformet spenningskurve kan ha på de vanligste husholdningsapparatene som elektromotorer (kjøleskap, vaskemaskin m.v.) og lysstoffrør. Avhengig av formen på spenningskurven kan en f.eks. risikere varmgang i elektromotorer. Dessuten kan ulike laster generere overharmoniske som kan deformere spenningskurven ytterligere. I den grad spesielt følsom apparatur skal tas i bruk må særskilte tiltak iverksettes for denne apparaturen. Et annet problem er at frekvensen ikke blir like stabil som strøm som leveres over nettet. Frekvensstyrte innretninger som klokkeradioer, kan bli mindre pålitelige enn tidligere.

Det har vist seg vanskelig å skaffe vekselrettere med en ytelse på over 3,4 kW. Ønskes en høyere effekt må vekselretterne koples i parallel, dvs. på hver sin kurs. Vekselretterne tåler 50% overbelastning opptil en halv time.

De vekselretterne som er undersøkt er også utstyrt med en likeretterfunksjon. Likeretterkapasiteten er imidlertid begrenset til 2,5 kW, ved 3,4 kW vekselretterytelse. Dette forholdet må en ta hensyn til når dieselaggregatet skal belastes.

Vekselretteren er en kritisk komponent i systemløsningen. Svikter denne er strømbruddet et faktum. Ut fra de erfaringer som foreligger er vekselretteren en stabil komponent med svært få driftsavbrudd. For likevel å øke leveringssikkerheten bør det legges til rette en mulighet for direkte tilkopling til dieselaggregatet, forbi batteriet og vekselretteren. To vekselrettere i parallel gir en viss redundans. Det bør være mulig å krysskople vekselretterne for å kunne omfordеле lasten.

## VI. ALTERNATIVE KOSTNADSANSLAG

For å få et inntrykk av hvor mye de ulike kostnadskomponenter slår ut på totalkostnadene er det tatt utgangspunkt i de to basisalternativene B og C (jf. kap. III, pkt 2):

### 1. Alternativ B (redusert effektbehov).

I dette alternativet opprettholdes elektrisitetsforbruket på dagens nivå (ca. 5.500 kWh per år), men det er iverksatt tiltak for å redusere effektbehovet av hensyn til kapasitetsbegrensninger på tilgjengelig vekselretterutstyr (j. kap. III, pkt 2B). Hvis annet rimelig vekselretterutstyr med tilstrekkelig kapasitet er tilgjengelig, blir disse tiltakene overflødige.

Resultatet av kostnadsanslagene er vist i tabell 1 og 2. I beregningen av årlige kapitalkostnader har en lagt til grunn en kalkulasjonsrente på 7%.

Bruk av solcellepaneler (tabell 1) fordyrer anlegget noe (solgenerert strøm har høyere grensekostnader, jf. kap. V) sammenliknet med en "ren" dieselløsning (tabell 2), idet en antar at marginalt mer kjøring av dieselaggregatet ikke forkorter levetiden til aggregatet. Det er heller ikke tatt hensyn til den økte leveringssikkerheten som solpanelene gir.

### 2. Alternativ C (laveffekt og lavenergi).

I dette alternativet er elforbruket redusert til 2.600 kWh per år, bl.a. ved å ta i bruk propan (jf. kap. III).

Overgang til propan vil kreve investeringer i nytt forbrukerutstyr hos abonenten. Elkomfyre må erstattes av en gasskomfyre og elkjelen med et opplegg for

gassdrevet vannoppvarming. Dette er velkjent utstyr på kontinentet, men lite i bruk i Norge. I regnestykket er det også tatt med årsleie av en 500L gasstank. Gass i bulk er vesentlige rimeligere enn gass levert i flasker. Høy årsleie av gasstank kombinert med et lavt gassforbruk gjør det likevel billigere å basere seg på gass levert i flasker. Det ekstraarbeidet som abonnenten påføres med håndteringen av gassflasker gjør imidlertid dette alternativet uaktuelt.

Resultatet av kostnadsanslagene er vist i vedlagte tabell 3 og 4. I likhet med alternativ B har en beregnet kostnadene både med og uten solcellepaneler.

Som en ser er alternativ C (6,62 kr/kWh) vesentlig rimeligere enn alt. B (8,53 kr/kWh). Videre kan en konstatere at størstedelen av kostnaden ligger i elektrisitetsproduksjonen. For alt. C er gjennomsnittskostnadene hele 11,66 kr/kWh. Det ligger følgelig en stor enøk-gevinst i å redusere elektrisitetsforbruket til et minimum ved f.eks. å benytte propan der dette er mulig.

Ved mindre endringer kan tilpassingen av elforbruket skje innenfor en gitt konfigurasjon. I praksis er det dieselaggregatets oppgave å tilpasse produksjonen til forbruket slik at mindre enøktiltak må vurderes mot grensekostnadene for dieselaggregatet. Disse er beregnet til 3,11 kr/kWh (jf. s. 7) og vil f.eks. rettferdiggjøre å benytte flest mulig lavenergilamper til belysningsformål.

## VII. INSTRUMENTERING

Med tanke på utforming av lignende anlegg andre steder er de viktig å skaffe frem erfarringsdata. Anlegget bør derfor overvåkes gjennom en instrumentering der viktige parametre blir fortløpende registrert.

Parametrene logges med gitte intervaller. Solinnstråling og energiforbruk er størrelser som kan endre seg så raskt at loggeintervallet bør være kort, f.eks. 5 minutter. En del av størrelsene overvåkes kontinuerlig, hvorpå akkumulerte eller beregnede data logges med det valgte intervallet.

Parametre som bør overvåkes er:

### Dieselaggregat:

Dieselforbruk

Måling av kortidsforbruket kan gjøres ved å måle væskestrømmen til dieselaggregatet, men nøyaktig måleutstyr for dette er uforholdsmessig kostbart (i størrelsesorden 50-60.000 kr.). Forbruket over lengre tid kan måles ved en nivåmåler i dieseltanken. Egnet utstyr kan være en trykktransmitter, f.eks. Fuji FHC33 (Leverandør. Instrutek A/S i Larvik. Pris ca. kr. 10.500,- inkl. mva).

|                        |  |
|------------------------|--|
| Produsert energi AC    | Denne parameteren kan måles med en kWh-måler. Ved EFI er det utviklet en modifisert måler som genererer digitale signaler (5V) etter måleskivens omdreining.   |
| Produsert energi DC    | kWh-målere for likespenning er lite tilgjengelig, og egnede instrumenter som kan måle energien inneholder en rekke andre og i denne forbindelse unødvendige funksjoner som fordyrer utstyret. Det ønskede resultatet kan i stedet finnes ved å ved å måle strøm og spenning kontinuerlig, og beregne energien med ligningen $\Delta E = U*I*\Delta t..$<br>Måling av strøm og spenning kan gjøres med måleverdiomformere, som f.eks.<br>LEM LT 200 (strøm)<br>LEM LV 100 (spenning)<br>(Leverandør: Holst & Fleischer A/S, Oslo. Pris: hhv. ca. kr. 1.000,- og kr. 1.400,-)  |
| Driftstid              | Driftstiden kan enkelt bestemmes ved å logge tiden sammen med de øvrige dataene. Aggregatet er i drift f.eks. samtidig som energi produseres.  |
| <b>Solcellepaneler</b> |  |
| Soldata                | Tilgjengelig strålingsenergi bør måles for å kunne vurdere potensialet for bruk av solenergi på stedet, samt for å kunne vurdere virkningsgraden til solcellepanelene ved den valgte plasseringen.<br>Sammenhengen mellom irradians ved ulike helningsvinkler vil være avhengig av værtype. Det bør derfor måles irradians både i horizontalplanet (som referanse) og ved den valgte helningsvinkel for solcellepanelene. Målecellen bør dekke spekteret både et stykke ned i UV-området og ut i IR-området. Behov for vanntette måleceller kan sette begrensningene i UV-området, fordi de fleste plastmaterialer i stor grad absorberer UV-stråler.<br>En egnet målecelle for formålet kan være Aanderaa Solar radiation sensor 2770, med måleområde 300-2500 nm, kombinert med signalomformer 3429. Denne gir et utgangssignal på 0-5V, som enkelt kan kobles til analoginngangen på en PC.<br>(Leverandør: Aanderaa Instruments, Bergen. Pris: ca. kr. 8.500,- komplett, inkl. mva.) |
| Produsert energi       | Måles på samme måte som for produsert energi DC  |

fra dieselagggregatet.

## Batterier

Batteriets ladetilstand Ladetilstanden angis i forhold til et fulladet batteri. Ved å måle strøm kontinuerlig, kan en beregne hvor mye som leveres til batteriene og hvor mye som avgis fra batteriene. Eventuelt kan en bruke amperetimetellere som gir verdien direkte. Måleinstrumentene bør kalibreres regelmessig, f.eks. hver 3. måned. (Pris ca-. kr. 6.000,- inkl. mva. Leverandørkontakt: Audio-light)

Systemspenning Systemspenning kan måles med en måleverdiomformer, som f.eks.  
LEM LV 100  
(Leverandør: Holst & Fleischer A/S, Oslo. Pris: ca. kr. 1.400,-)

Temperatur For temperaturmåling finnes det rimelige integrerte kretser med brukbar nøyaktighet (ca. 0,5°C) som f.eks. LM 35CZ. Denne gir et målesignal 10mV/°C.  
(Leverandør: Elfa AS, Solna, Sverige. Pris: ca. kr. 50)

## Last

Totalt energiforbruk Kan måles med kWh-måler med digital utgang.

Bruksmønster, toppverdi Disse kan enkelt hentes ut av målingene for totalt energiforbruk når loggeintervallene er tilstrekkelig kort.

## Behov for datautstyr

Målingene lagres på en PC. Denne må utstyres med følgende analog- og digitalinnganger:

Analog:  
Dieselforbruk (nivå)  
Irradians, horisontalt  
Irradians, solcelleplan  
Batteriets ladetilstand  
Systemspenning (batteri)  
Temperatur  
Evt. målinger av DC-produksjon:  
- diesel (strøm+spenning)  
- solceller (strøm+spenning)

Totalt 10 stk.

Digital:                  Produsert energi, diesel (AC)  
                            Totalt energiforbruk

Totalt 2 stk.

De øvrige dataene vi ønsker kan beregnes ut fra disse måledataene.

Et egnet I/O-kort for disse målingene er PC-LPM-16 fra National Instruments.  
(Leverandør: National Instruments Norge, Lier. Pris kr. 6.100,- inkl. mva.)

Programvare for datalogging med dette utstyret finnes ved bl.a. EFI. PC-ens  
ytelse er ikke kritisk, f.eks. vil en 80286-prosessor være tilstrekkelig. For de  
data som skal lagres bør harddisken være minimum 20 MByte.  
(Prisanslag: kr. 8.000,- inkl. mva.)

### **Energiforsyning av måleutstyr**

- \*     Signalomformer for solenergisensor samt temperaturdetektor trenger  
forsyningsspenning. For dette kan en benytte en felles 9V DC-kilde.
- \*     kWh-målere for AC, tilpasset med digital utgang, trenger  
forsyningsspenning på 12V DC og 5V DC.
- \*     Måleverdiomformere for DC strøm og spenning trenger forsynings-  
spenning på 15V DC

## **VIII. ANBEFALING - VIDERE OPPFØLGING**

Eksemplene (se vedlagte tabeller) viser at innslaget av solcellepaneler ikke  
fordyrer de samlede årlige kostnader i vesentlig grad. Følgende forhold taler for  
å forsterke anlegget med solstrøm:

- Effektiv topplading av batteriene forlenger batteriene levetid.
- Kortere gangtid av dieselanlegget har miljøfordeler, særlig om  
sommeren.
- Leveringssikkerheten øker da abonnenten kan klare seg i lengre tid uten  
et oppegående dieselanlegg.

Det er ikke gjort noe forsøk på å anslå hvor mye dette utgjør målt med  
økonomiske tall, men en vil likevel ut fra en generell vurdering anbefale en  
løsning med solenergi.

Av de beregningseksemplene som er satt opp er alt. C den rimeligste, men ikke  
nødvendigvis den rimeligste som det er mulig å konfigurere. Å beregne en  
kostnadsoptimal konfigurasjon kan neppe la seg gjennomføre da mange hensyn  
spiller inn som ikke uten videre kan måles med økonomiske verdier. Batteriets  
størrelse er f.eks. en kritisk kostnadsfaktor. Økes den, fordøres anlegget  
vesentlig, men samtidig oppnås en større leveringssikkerhet samtidig som

driftsforholdene for dieselagggregatet blir gunstigere (færre oppstartinger). Likeledes er det stor usikkerhet knyttet til abonnentens årlige elforbruk. En optimal konfigurasjon er sterkt avhengig av den energimengde som skal produseres. Endres dette forbruket, f.eks. ved at abonnenten endrer sin adferd, endres også forutsetningene for optimalitet.

For Venbergets del er det viktig å få klarlagt hvilke preferanser innehaveren har slik at en ved den endelige konfigureringen kan ta hensyn til dette. Alt. C burde likevel kunne gi et grunnlag for å fastsette en øvre kostnadsramme som abonnenten, uansett valg av konfigurasjon, må holde seg innenfor. Innenfor denne kostnadsrammen bør områdekonsesjonæren utvise stor fleksibilitet.

Det er også viktig å understreke at konklusjonene så langt er foreløpige. Erfaringer som høstes i gjennomføringen av hovedprosjektet kan gi grunnlag for å anbefale reviderte løsninger.

## **Referanser:**

- [1] Desentralisert energiforsyning. Metode og alternativer Rapport ED 92-187, Energidata
- [2] Energiforsyning til Hytjanstorpet og Venberget. Rapport ED 92-189, Energidata

TABELL 1 Alt.B m/solpanel

| INVESTERING     | KAPASITET            | ENHET | INV.KOST<br>[KR.] | LEVETID | ANNUIT.F. | KOST/ÅR<br>[KR.] |
|-----------------|----------------------|-------|-------------------|---------|-----------|------------------|
| Dieselaggr.     | 7 kW                 |       | 80.000            | 20      | 0,0944    | 7.552            |
| Solpanel        | 2048 W               |       | 82.400            | 30      | 0,0806    | 6.641            |
| Rammeverk       |                      |       | 14.400            | 30      | 0,0806    | 1.161            |
| Styringssystem  | 50 Amp/48V           |       | 11.200            | 20      | 0,0944    | 1.057            |
| Batterier       | 50 kWh               |       | 88.300            | 12      | 0,1259    | 11.117           |
| Omformer        | 6.8 kW               |       | 67.300            | 20      | 0,0944    | 6.353            |
| Div./install    |                      |       | 40.000            |         | 0,0806    | 3.224            |
| <b>SUM</b>      |                      |       | <b>383.600</b>    |         |           | <b>37.105</b>    |
| <b>FORBRUK</b>  |                      |       |                   |         |           |                  |
| Diesel          | Brutto årsprod (kWh) |       | 6.210             |         |           |                  |
|                 | Virkningsgrad        |       | 0,355             |         |           |                  |
|                 | Dieselskvantum (L)   |       |                   |         | 2.204     |                  |
|                 | Dieselpris (kr/L)    |       |                   |         | 3,2       |                  |
| Dieselkost      |                      |       |                   |         |           | 7.054            |
| Vedlikehold     |                      |       |                   |         |           | 2.772            |
| <b>SUM KOST</b> |                      |       |                   |         |           | <b>46.932</b>    |

**ENERGIREGNSKAP (kWh)**

|                                  |                       |  |       |              |
|----------------------------------|-----------------------|--|-------|--------------|
| Solceller                        | Bruttoprod.           |  | 1740  |              |
|                                  | Reg. eff.             |  | 0,92  |              |
| Netto prod                       |                       |  |       | 1.601        |
| Diesel                           | Bruttoprod.           |  | 6.210 |              |
|                                  | Generatoreff. (AC/DC) |  | 0,9   |              |
| Nettoprod.                       |                       |  |       | 5.589        |
| Sum netto produksjon             |                       |  |       | 7.190        |
|                                  | Batterieff.           |  | 0,85  |              |
| Prod. ref. batteri               |                       |  |       | 6.111        |
|                                  | DC/AC-eff.            |  | 0,9   |              |
| <b>Tilgjengelig for ab.</b>      |                       |  |       | <b>5.500</b> |
| Gjennomsnittskostnader (kr./kWh) |                       |  |       | 8,53         |

**DRIFTSTID - AGGR.**

|                      |       |       |
|----------------------|-------|-------|
| Gen.effekt (kW)      | 7     |       |
| Lastfaktor           | 0,8   |       |
| Brutto årsprod (kWh) | 6.210 |       |
| Timer per år         |       | 1.109 |
| Timer per dag        |       | 3,0   |

TABELL 2 Alt. B u/solpanel

| INVESTERING     | KAPASITET             | ENHET | INV.KOST [KR.] | LEVETID | ANNUIT.F. | KOST/ÅR [KR.] |
|-----------------|-----------------------|-------|----------------|---------|-----------|---------------|
| Dieselaggr.     | 7 kW                  |       | 80.000         | 20      | 0,0944    | 7.552         |
| Solpanel        | 0 W                   |       | 0              | 30      | 0,0806    | 0             |
| Rammeverk       |                       |       | 0              | 30      | 0,0806    | 0             |
| Styringssystem  | 50 Amp/24V            |       | 11.200         | 20      | 0,0944    | 1.057         |
| Batterier       | 50 kWh                |       | 88.300         | 12      | 0,1259    | 11.117        |
| Omformer        | 6,8 kW                |       | 67.300         | 20      | 0,0944    | 6.353         |
| Div./install    |                       |       | 40.000         |         | 0,0806    | 3.224         |
| <b>SUM</b>      |                       |       | <b>286.800</b> |         |           | <b>29.303</b> |
| <b>FORBRUK</b>  |                       |       |                |         |           |               |
| Diesel          | Brutto årsprod (kWh)  |       | 7.988          |         |           |               |
|                 | Virkningsgrad (L/kWh) |       | 0,355          |         |           |               |
|                 | Dieselkvantum (L)     |       |                |         | 2.836     |               |
|                 | Dieselpris (kr/L)     |       |                |         | 3,2       |               |
| Dieselkost      |                       |       |                |         |           | 9.075         |
| Vedlikehold     |                       |       |                |         |           | 3.566         |
| <b>SUM KOST</b> |                       |       |                |         |           | <b>41.944</b> |

**ENERGIREGNSKAP (kWh)**

|                                 |                       |              |   |
|---------------------------------|-----------------------|--------------|---|
| Solceller                       | Bruttoprod.           | 0            |   |
|                                 | Reg. eff.             | 0,92         |   |
| Netto prod                      |                       |              | 0 |
| Diesel                          | Bruttoprod.           | 7.988        |   |
|                                 | Generatoreff. (AC/DC) | 0,9          |   |
| Nettoprod.                      |                       | 7.190        |   |
| Sum netto produksjon            |                       | 7.190        |   |
|                                 | Batterieff.           | 0,85         |   |
| Prod. ref. batteri              |                       | 6.111        |   |
|                                 | DC/AC-eff.            | 0,9          |   |
| <b>Tilgjengelig for ab.</b>     |                       | <b>5.500</b> |   |
| Gjennomsnittskostnader (kr/kWh) |                       | 7,63         |   |

**DRIFTSTID - AGGR.**

|                      |       |  |
|----------------------|-------|--|
| Gen.effekt (kW)      | 7     |  |
| Lastfaktor           | 0,8   |  |
| Brutto årsprod (kWh) | 7.988 |  |
| Timer per år         | 1.426 |  |
| Timer per dag        | 3,9   |  |

TABELL 3. Alt. C m/solpanel

| INVESTERING              | KAPASITET                        | ENHET  | INV.KOST<br>[KR.] | LEVETID | ANNUIT.F. | KOST/ÅR<br>[KR.] |
|--------------------------|----------------------------------|--------|-------------------|---------|-----------|------------------|
| Dieselaggr.              | 4,5 kW                           |        | 75.000            | 20      | 0,0944    | 7.080            |
| Solpanel                 | 1.024 W                          |        | 41.200            | 30      | 0,0806    | 3.321            |
| Rammeverk                |                                  |        | 14.400            | 30      | 0,0806    | 1.161            |
| Styringssystem           | 50 Amp/48V                       |        | 11.200            | 20      | 0,0944    | 1.057            |
| Batterier                | 24 kWh                           |        | 42.400            | 12      | 0,1259    | 5.338            |
| Omformer                 | 3,4 kW                           |        | 33.650            | 20      | 0,0944    | 3.177            |
| Div./install             |                                  |        | 40.000            |         | 0,0806    | 3.224            |
| <b>SUM</b>               |                                  |        | <b>257.850</b>    |         |           | <b>24.357</b>    |
| <b>FORBRUK</b>           |                                  |        |                   |         |           |                  |
| Diesel                   | Brutto årsprod (kWh)             |        | 2.887             |         |           |                  |
|                          | Virkningsgrad (L/kWh)            |        | 0,355             |         |           |                  |
|                          | Dieselkvantum (L)                |        |                   |         | 1.025     |                  |
|                          | Dieselpris (kr/L)                |        |                   |         | 3,2       |                  |
| Dieselkost               |                                  |        |                   |         |           | 3.280            |
| Vedlikehold, dieselaggr. |                                  |        |                   |         |           | 2.673            |
| <b>SUM ELKOST.</b>       |                                  |        |                   |         |           | <b>30.310</b>    |
| Propan                   | Forbruk, vannvarme, komfyr (kWh) |        |                   | 2000    |           |                  |
|                          | Propanpris (kr/kWh)              |        |                   | 0,4     |           |                  |
| Propankost.              |                                  |        |                   |         |           | 800              |
| Propantank. 500L         |                                  |        |                   |         |           | 3.400            |
| Enøk install. hos abon.  |                                  | 20.000 | 20                | 0,0944  |           | 1.888            |
| <b>SUM TOT.KOST</b>      |                                  |        |                   |         |           | <b>36.398</b>    |

| ENERGIREGNSKAP (kWh)            |                       |              |
|---------------------------------|-----------------------|--------------|
| Solceller                       | Bruttoprod.           | 870          |
|                                 | Reg. eff.             | 0,92         |
| Netto prod                      |                       | 800          |
| Diesel                          | Bruttoprod.           | 2.887        |
|                                 | Generatoreff. (AC/DC) | 0,9          |
| Nettoprod.                      |                       | 2.598        |
| Sum netto produksjon            |                       | 3.399        |
|                                 | Batterieff.           | 0,85         |
| Prod. ref. batteri              |                       | 2.889        |
|                                 | DC/AC-eff.            | 0,9          |
| <b>Tilgjengelig for ab.</b>     |                       | <b>2.600</b> |
| Propanforbruk                   |                       | 2.000        |
| Enøk                            |                       | 900          |
| <b>Tot.forbruk</b>              |                       | <b>5.500</b> |
| Gjennomsnittskostnader (kr/kWh) |                       |              |
| Elektrisitet                    |                       | 11,66        |
| Totalforbruk                    |                       | 6,62         |

DRIFTSTID - AGGR.

|                      |       |
|----------------------|-------|
| Gen.effekt (kW)      | 4,5   |
| Lastfaktor           | 0,6   |
| Brutto årsprod (kWh) | 2.887 |
| Timer per år         | 1.069 |
| Timer per dag        | 2,9   |

TABELL 4 Alt. C u/solpanel

| INVESTERING              | KAPASITET                        | ENHET | INV.KOST [KR.] | LEVETID | ANNUIT.F. | KOST/ÅR [KR.] |
|--------------------------|----------------------------------|-------|----------------|---------|-----------|---------------|
| Dieselaggr.              | 4,5 kW                           |       | 75.000         | 20      | 0,0944    | 7.080         |
| Solpanel                 | 0 W                              |       | 0              | 30      | 0,0806    | 0             |
| Rammeverk                |                                  |       | 0              | 30      | 0,0806    | 0             |
| Styringssystem           | 50 Amp/48V                       |       | 11.200         | 20      | 0,0944    | 1.057         |
| Batterier                | 24 kWh                           |       | 42.400         | 12      | 0,1259    | 5.338         |
| Omformer                 | 3,4 kW                           |       | 33.650         | 20      | 0,0944    | 3.177         |
| Div./install             |                                  |       | 40.000         |         | 0,0806    | 3.224         |
| <b>SUM</b>               |                                  |       | 202.250        |         |           | <b>19.876</b> |
| <b>FORBRUK</b>           |                                  |       |                |         |           |               |
| Diesel                   | Brutto årsprod (kWh)             |       | 3.776          |         |           |               |
|                          | Virkningsgrad (L/kWh)            |       | 0,355          |         |           |               |
|                          | Dieselkvantum (L)                |       |                |         | 1.341     |               |
|                          | Dieselpris (kr/L)                |       |                |         | 3,2       |               |
| Dieselkost               |                                  |       |                |         |           | 4.290         |
| Vedlikehold, dieselaggr. |                                  |       |                |         |           | 3.497         |
| <b>SUM ELKOST.</b>       |                                  |       |                |         |           | <b>27.663</b> |
| Propan                   | Forbruk, vannvarme, komfyr (kWh) |       |                |         | 2000      |               |
|                          | Propanpris (kr/kWh)              |       |                |         | 0,4       |               |
| Propankost.              |                                  |       |                |         |           | 800           |
| Propantank, 500L         |                                  |       |                |         |           | 3.400         |
| Enøk install. hos abon.  |                                  |       | 20000          | 20      | 0,0944    | 1.888         |
| <b>SUM KOST</b>          |                                  |       |                |         |           | <b>33.751</b> |

| ENERGIREGNSKAP (kWh)                   |                       |              |
|--|-----------------------|--------------|
| Solceller                              | Bruttoprod.           | 0            |
|  | Reg. eff.             | 0,92         |
| Netto prod                             |                       | 0            |
| Diesel                                 | Bruttoprod.           | 3.776        |
|  | Generatoreff. (AC/DC) | 0,9          |
| Nettoprod.                             |                       | 3.399        |
| Sum netto produksjon                   |                       | 3.399        |
|  | Batterieff.           | 0,85         |
| Prod. ref. batteri                     |                       | 2.889        |
|  | DC/AC-eff.            | 0,9          |
| <b>Tilgjengelig for ab.</b>            |                       | <b>2.600</b> |
| Propanforbruk                          |                       | 2.000        |
| Enøk                                   |                       | 900          |
| <b>Tot.forbruk</b>                     |                       | <b>5.500</b> |
| <b>Gjennomsnittskostnader (kr/kWh)</b> |                       |              |
| Elektrisitet                           |                       | 10,64        |
| Totalforbruk                           |                       | 6,14         |

| DRIFTSTID - AGGR.    |       |
|----------------------|-------|
| Gen.effekt (kW)      | 4,5   |
| Lastfaktor           | 0,6   |
| Brutto årsprod (kWh) | 3.776 |
| Timer per år         | 1.399 |
| Timer per dag        | 3,8   |