



## Fyrtårnsprojekt V - afsluttende report 2011

**Dragsted, Janne; Villumsen, Arne; Larsen, Esben; Jakobsen, Kasper Rønnow; Hudecz, Adriána; Kotoł, Martin; Villumsen, Ole**

*Publication date:*  
2011

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Dragsted, J., Villumsen, A., Larsen, E., Jakobsen, K. R., Hudecz, A., Kotoł, M., & Villumsen, O. (2011). Fyrtårnsprojekt V - afsluttende report 2011. DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet. (DTU Byg Sagsrapport SR-12-01).

## DTU Library

Technical Information Center of Denmark

---

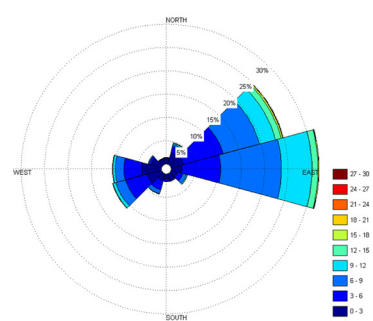
### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Fyrtårnsprojekt V - afsluttende report 2011



**Janne Dragsted, Artek**  
**Arne Villumsen, Artek**  
**Esben Larsen, Elektro**  
**Kasper Jakobsen, Artek**  
**Adriána Hudecz, Artek**  
**Martin Kotal, Byg**  
**Ole Villumsen, OV Consulting**

DTU Byg Sagsrapport SR-12-01 (DK)  
Januar 2011

---

## Fyrtårnsprojekt V, Afsluttende rapport 2011

Institut for byggeri og anlæg  
Center for Arktisk Teknologi  
Danmarks Tekniske Universitet  
Kemitorvet 204  
DK-2800 Kgs. Lyngby  
Denmark

[www.artek.byg.dtu.dk](http://www.artek.byg.dtu.dk)

Tel: (+45) 45 25 21 66

Fax: (+45) 45 88 59 35

Email: [artek@byg.dtu.dk](mailto:artek@byg.dtu.dk)

---

## Indholdsfortegnelse

Forord .....	4
Indledning.....	4
Solstråling og potentialet i Grønland.....	5
Solstrålings målinger .....	5
Forbedrede beregningsmodeller.....	7
Optimering og evaluering af eksisterende solvarmeanlæg.....	13
Evaluering af vakuumrørsolfangere i Grønland.....	16
Informationsmateriale til solvarme i Grønland .....	17
PV solceller til tagrenovering.....	18
Vindpotentialet i Grønland .....	24
Nanortalik, Kujalleq kommunia .....	24
Sarfanguit, Qeqqata kommunia .....	26
Itilleq, Qeqqata kommunia.....	28
Uummanaq, Qaasuitsup Kommunua .....	29
Overisningsproblemer på vindmøller i Grønland .....	31
Varmepumper i Grønland.....	34
Perspektiv og konklusioner .....	35
Referencer .....	37
Bilag .....	38

---

## Forord

Fyrtårnsprojekt V er som navnet antyder den 5 del af en række projekter, som udspringer af et samarbejde mellem Nukissiorfiit og Artek DTU. Fokus har hele tiden været på energi og vedvarende energikilder, så som solenergi, vindenergi og vandkraft. Med tiden er fokus udvidet med varmepumpe teknologi.

## Indledning

I året 2011 har vi fået bevilliget 800.000 kr. i tilskud til gennemførelse af projekter der er en videreførelse af det oprindelige Fyrtårnsprojekt. I Fyrtårnsprojekt V er fokus på områderne; Vindenergi, solenergi og varmepumper.

Emnerne i Fyrtårnsprojekt V er:

- A. Optimering af ydelsen af eksisterende solfangersystemer i Sisimiut samt at udvide erfaringerne med solvarme.
- B. Udarbejdelse af informationsmateriale om solvarme i Grønland til lokalbefolkningen.
- C. Fortsættelse af målinger og beregninger af solpotentialet i Grønland.
- D. Sammenligning af solfangertyper, hhv. det opretstående solrørssystem og plane solfangere.
- E. Brug af PV solceller til renovering af tage og til elektricitetsproduktion.
- F. Vedrørende vindenergi er formålet at studere vindpotentialet på udvalgte steder i Sydgrønland. Muligheden for at inddrage vindenergi i energisystemet i Nanortalik skal undersøges.
- G. Overisningsproblemer på vindmøller.
- H. Brug af varmepumper i Grønland

I henhold til beskrivelserne i ansøgningen er projekterne gennemført.

På den efterfølgende sider er der en gennemgang af hvert af de videnskabelige projekter, hvor proces og resultater præsenteres.

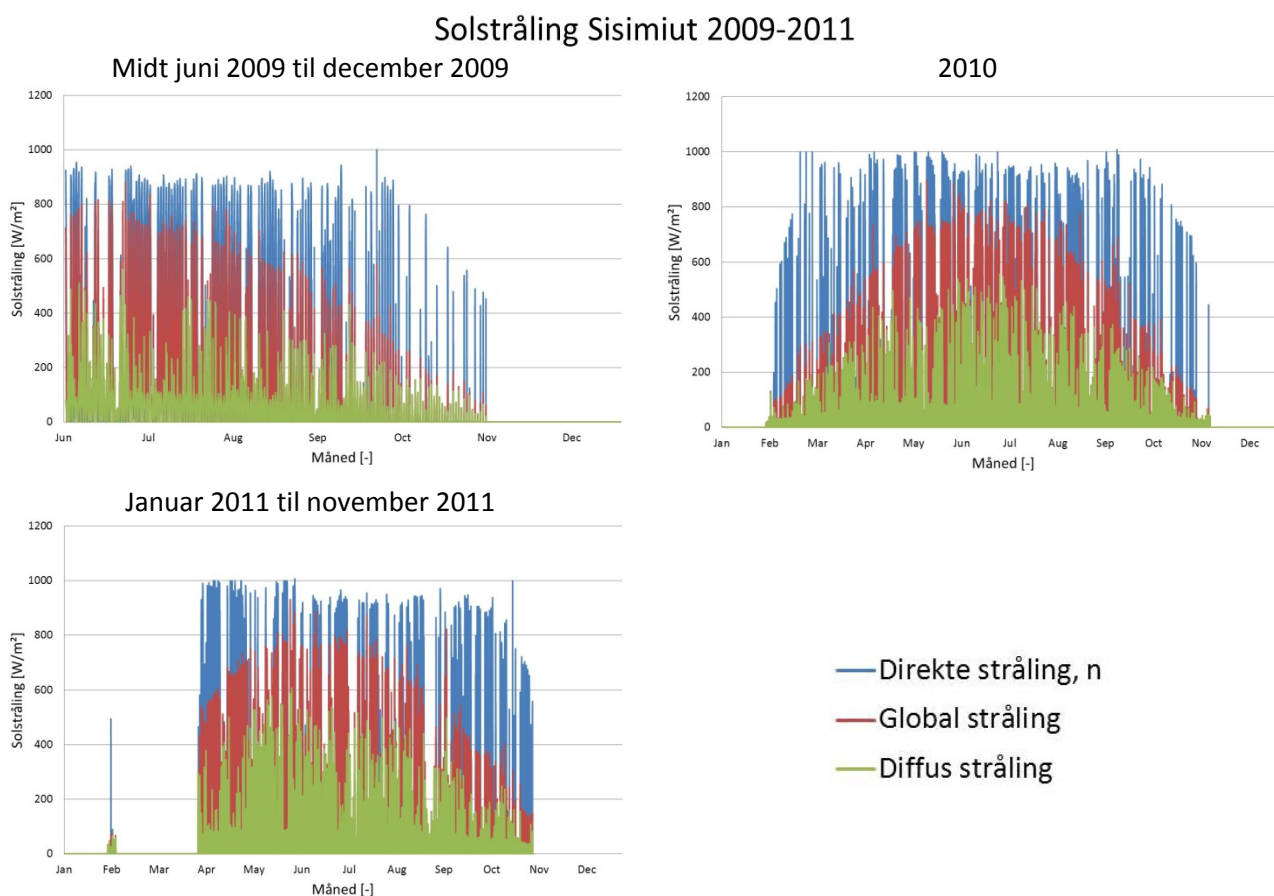
## Solstråling og potentialet i Grønland

### Solstrålings målinger

C - Der skal udarbejdes en evaluering af potentialet for solenergi i Grønland, baseret på målinger fra allerede installeret udstyr.

Solenergi er en ren og naturlig energiform, og solindfaldet på jorden er så stort at der er mulighed for at udnyttet energien fra solen i stort omfang. Solenergi kan bruges til opvarmning af f.eks. brugsvand og rumopvarmning, eller energien kan bruges til at producere elektricitet via PV-systemer.

I det følgende vil potentialet for udnyttelse af solen blive gennemgået, på baggrund af målinger fra Knud Rasmussen Højskolen i Sisimiut. I forbindelse med installationen af solvarmeanlægget på skolen i 2009 blev der opsat et pyranometer der måler den global og diffuse solstrålingen. Global solstråling er den solstråling der kan måles på en vandret flade og består af bidrag fra direkte solstråling og diffus solstråling. Målingen af den diffuse stråling er ligeledes på vandret og er hvor der skærmes for den direkte solstråling. På Figur 1 ses de målte værdier for global og diffuse stråling, samt den beregnede direkte stråling. Målinger strækker sig fra den 11. juni 2009 til den 3. november 2011. Figuren viser at størstedelen af solstrålingen er koncentreret om sommeren, og at der ingen solstråling i vinteren månederne, da solen enten står lavt på himlen eller slet ikke kommer over horisonten.

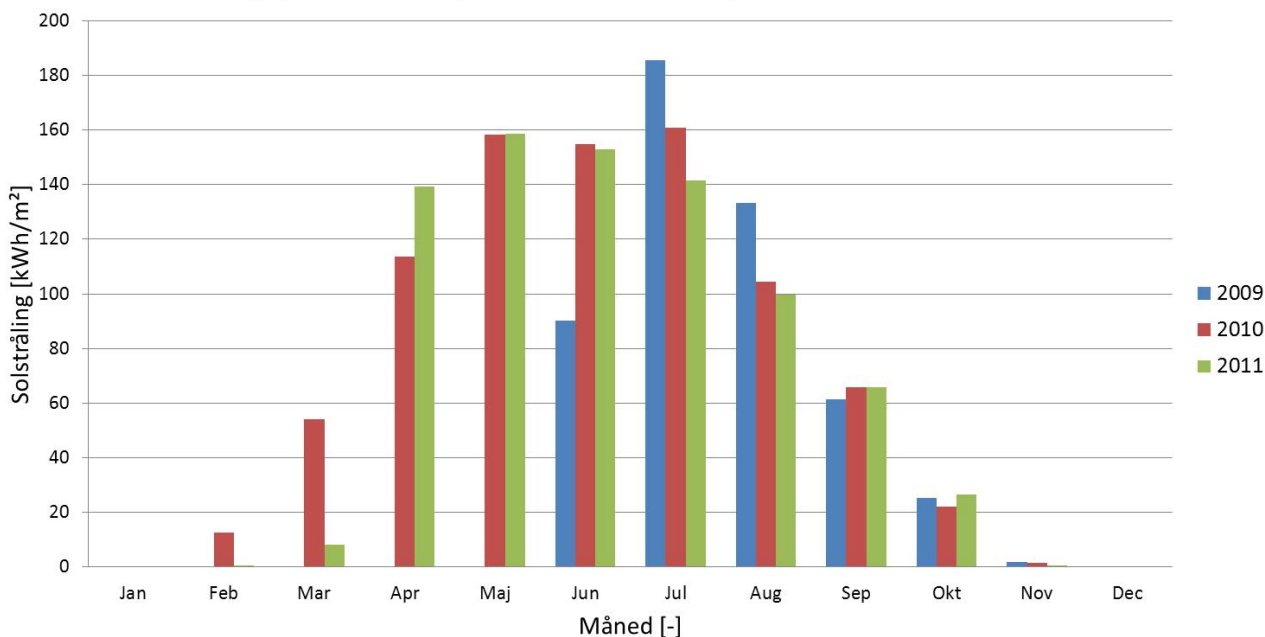


Figur 1 Målt global og diffus stråling, samt beregnet direkte solstråling for perioden fra den 11. juni 2009 til den 3. november 2011.

På Figur 1 kan det ses at der er et hul i målingerne i foråret 2011. Dette skyldes at målesystemet var ude af drift. Derudover kan det ses at der i 9 af årets 12 måneder i Sisimiut, fra februar til oktober er tilstrækkelige med solstråling til enten opvarmning eller til at produktion af elektricitet.

På Figur 2 ses de månedlige værdier for global stråling målt med pyranometeret fra juni 2009 til september 2011. Sammenholdt med tidligere registrerede værdier fra ASIAQ stemmer de godt overens.

Månedlig global stråling målt i Sisimiut fra juni 2009 til november 2011



Figur 2 Månedlig global i perioden den 11. juni 2009 til den 3. november 2011.

Hvis man sammenligner den målte globalstråling fra Danmark viser det sig at der på en vandret flade i Grønland kun er mellem 10-20 % mindre solstråling. Hvis man derimod kigger på en lodret flade viser målinger og beregninger at der kan forekomme op til 25 % mere solstråling i Grønland end Danmark. Hvis de forhold der gør sig gældende for lokaliteterne i Grønland udnyttet optimalt, betyder det at der er mulighed for at anvende solens energi til både opvarmning af vand og huse samt til el-produktion. Derudover er der flere faktorer der gør udnyttelsen af solenergi hensigtsmæssigt i Grønland, så som behov for rumopvarmning om sommeren hvor der er megen sol, bidrag fra refleksion fra sneen om foråret og efteråret og højere effektivitet af en solfanger opstillet i Grønland sammenlignet med den samme solfanger opstillet i Danmark.

---

## Forbedrede beregningsmodeller

*C - Det er intentionen at forbedre de anvendte instrumenter til at beregne den optimale størrelse af solfangersystemer og til design af energieffektive løsninger til boliger, som endvidere kan anvendes til at styrke den fortsatte udvikling af bæredygtige energiresourcer.*

I forbindelse med planlægning og dimensionering af solvarmeanlæg og PV-systemer er det nødvendigt at have en korrekt gengivelse af solens strålinger samt variation henover dagen og året. Det er ligeledes nødvendigt at kunne beregne forskellige senarier for at kunne bestemme hvilken udformning og installation der fungerer bedst i det pågældende tilfælde. Hertil anvendes simuleringssystemer der er afhængige af matematiske beregninger af solstrålingsdata til at bestemme solindfaldet på en givet solfanger eller PV-celle.

I den følgende vil blive beskrevet den teoretiske fremgang ved bestemmelsen af en mere nøjagtig beregningsmodel.

Da den oftest målte parameter i forbindelse med solen er globalstrålingen er det nødvendigt at have beregningsmodeller til at bestemme hvor megen af solstrålingen er diffus solstråling og hvor meget der er direkte solstråling. Til det er udviklet det der hedder en diffus fraktion. Den diffuse fraktion er givet ud fra klarheds indekset,  $K_T$ , der er defineret som forholdet mellem den målte globalstråling og en beregnet værdi for mulig solstråling, hvis det antages at strålingen ikke bliver nedsat gennem atmosfærer og der ingen skyer er. De mest anvendte fraktioner er fra 'Orgill and Hollands' og 'Erbs et al'. På baggrund af målingerne af den global- og diffuse solstråling fra pyranometeret på Knud Rasmussen Højskolen, er det muligt at udarbejde en diffus fraktion som kan anvendes på Grønland.

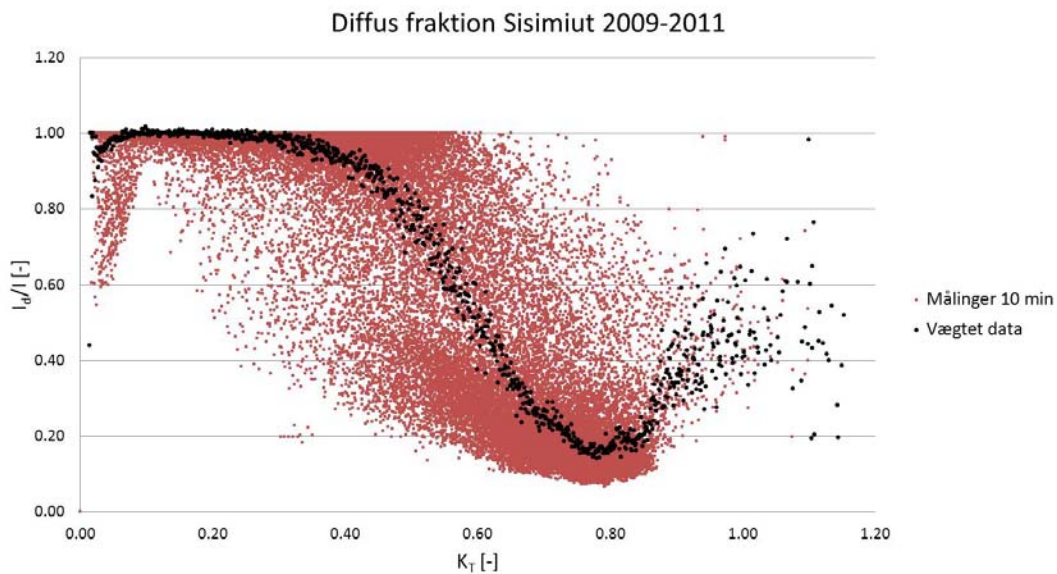
På Figur 3 ses værdier for den diffuse fraktion på baggrund af målingerne. Derudover er der vist vægtede værdier af den diffuse fraktion.

Vægtningen er gjort for et interval at  $K_T$  i forhold til styrken af den globalstråling via:

$$\frac{\sum \left( \frac{I_d}{I} \cdot I \right)}{\sum I}$$

På figuren ses det at for lave værdier for  $K_T$  er de målte værdier for global- og diffuse stråling lig hinanden, hvilket er sandt for overskyet dage, hvor der ikke er direkte stråling og den målte globalstråling derfor kun består af diffus stråling.



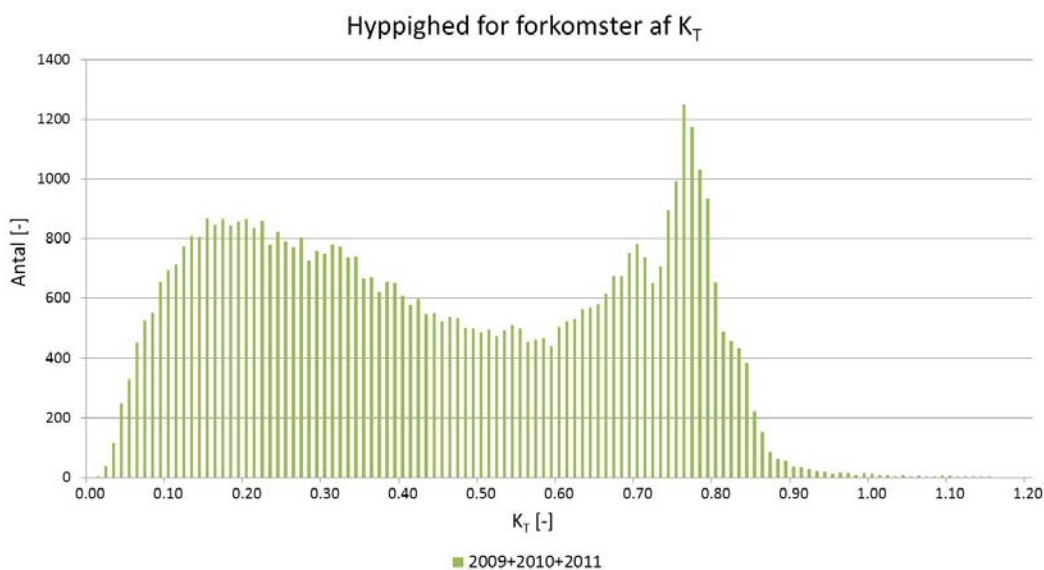


Figur 3 Beregnet diffus fraktion på baggrund af målinger, samt den vægtede værdi for den diffuse fraktion.

For stigende værdier af  $K_T$ , hvilket betyder at den målte værdi for solstråling nærmer sig den beregnede mulige solstråling, vil forskellen mellem globalstrålingen og den diffuse stråling også være stigende, hvilket betyder at der forekommer mere og mere direkte solstråling.

Figuren viser der er registeret målinger af den globalstrålingen der over stiger det beregnede mulige solstråling ( $K_T > 1$ ), hvilket forekommer når der er drivende skyer der kan reflektere solstråling. Så vil fladen modtage fuldt bidrag fra direkte og diffuse solstråling, samt et yderligere bidrag fra reflekteret solstråling fra skyerne.

På Figur 4 ses hyppigheden af forekomsterne af  $K_T$  for de 2½ års målinger der er til rådighed. Her kan det ses at der oftest er registeret en værdi for  $K_T$  på 0,76, hvilket forekommer på solrige dage. Det kan også ses at der er målt værdier af globalstrålingen der giver værdier for  $K_T$  der er større end 1. I løbet af måleperiode er det forekommer det ca. 78 gange.



Figur 4 Hyppigheden af værdier for  $K_T$ .

Som tidligere nævnt er de to mest almindelig anvendte diffuse fraktioner. 'Orgill and Hollands' og 'Erbs et al.'.

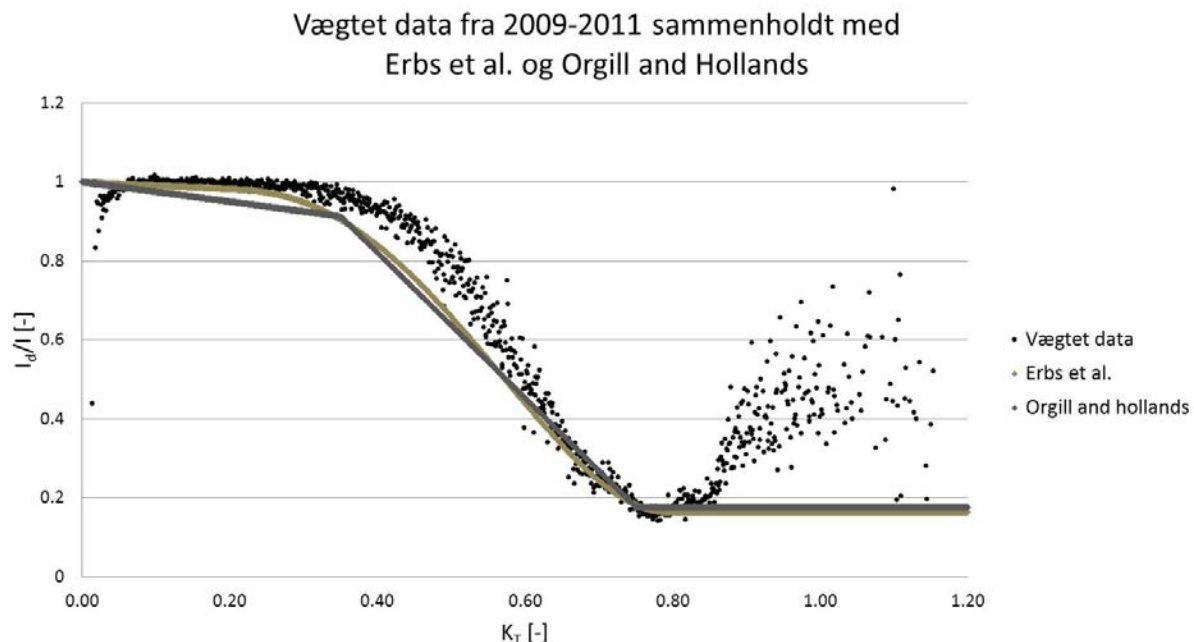
'Orgill and Hollands' er defineret på følgende måde:

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.249 \cdot k_T & \text{For } k_T < 0.35 \\ 1.557 - 1.84 \cdot k_T & \text{For } 0.35 \leq k_T \leq 0.75 \\ 0.177 & \text{For } k_T > 0.75 \end{cases}$$

Og 'Erbs et al.' Er defineret via:

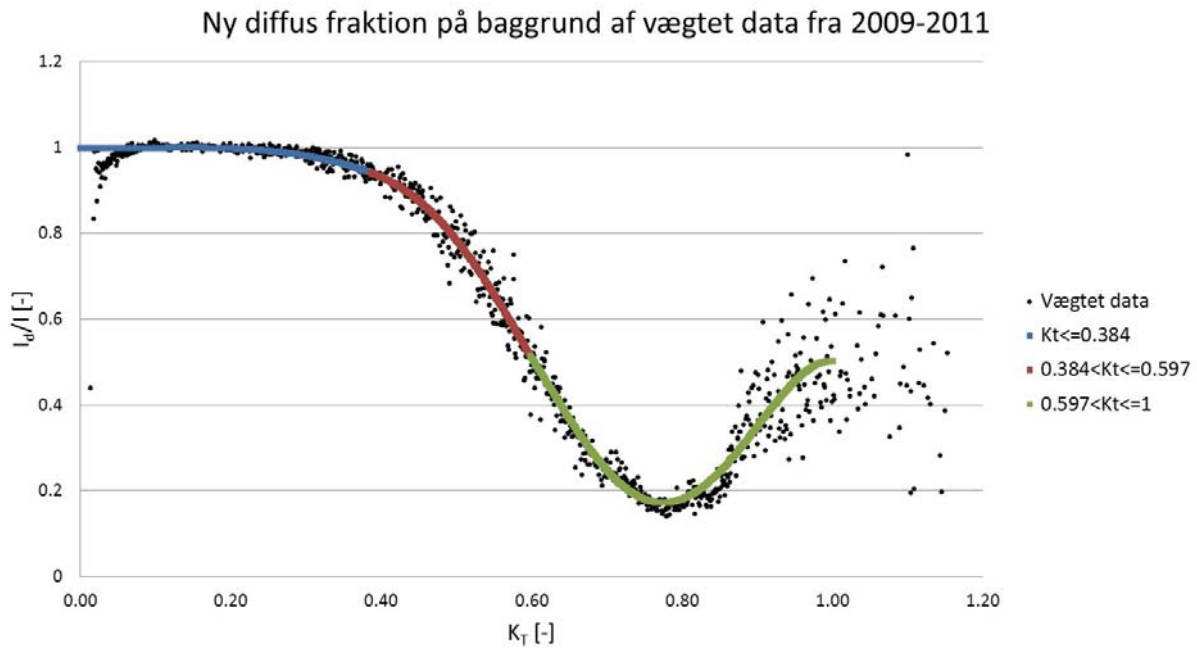
$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.09 \cdot k_T & \text{For } k_T \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604 \cdot k_T + 4.388 \cdot k_T^2 - 16.638 \cdot k_T^3 + 12.336 \cdot k_T^4 & \text{For } 0.22 < k_T \leq 0.80 \\ 0.165 & \text{For } k_T > 0.80 \end{cases}$$

På Figur 5 ses sammenligningen mellem de vægtede værdier, 'Orgill and Hollands' og 'Erbs et al.'. Her kan det ses at det specielt er i intervallet for  $k_T$  fra 0,30 til 0,60 og for værdier større end 0,80 for  $k_T$  at de almindelige fraktioner afviger fra de målte værdier.



Figur 5 Sammenligning mellem de vægtede værdier og almindelig anvendte diffuse fraktioner.

På baggrund af målingerne er der udarbejdet en fraktion for Sisimiut. Fraktionen kan ses på Figur 6 hvor også de vægtede værdier er vist. Fraktionen er lige som 'Orgill and Hollands' og 'Erbs et al.' inddelt 3 intervaller for  $k_T$  som ligeledes er angivet på figuren. Det kan ses at der er stor overensstemmelse mellem de vægtede værdier og den nye fraktion for Sisimiut.



Figur 6 Tilpasset diffuse fraktion på baggrund af målingerne for Sisimiut.

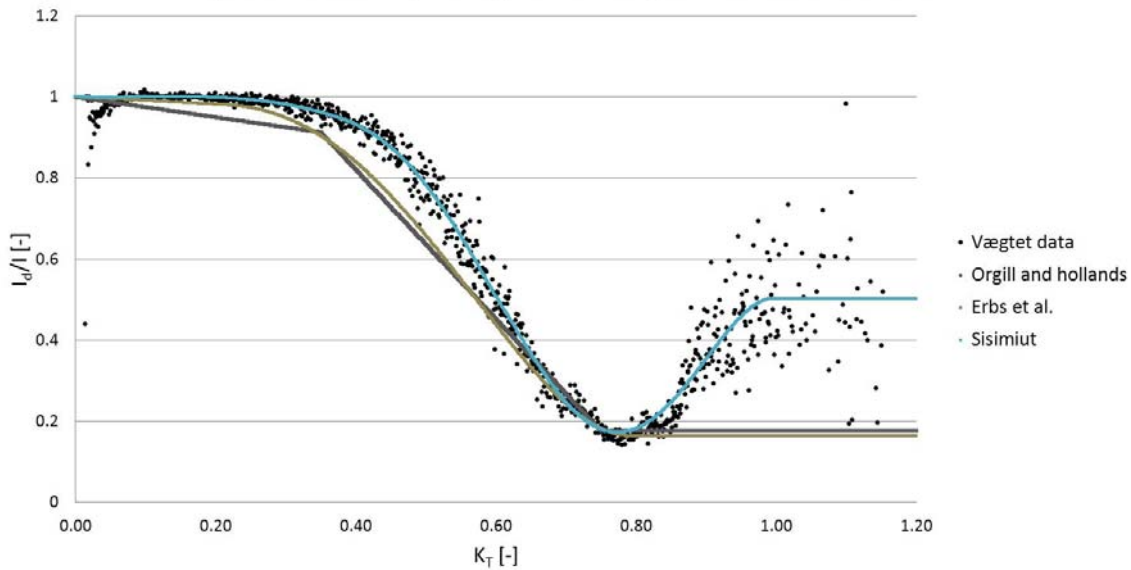
For den nye fraktion for Sisimiut er defineret ved:

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} -2.4981 \cdot k_T^3 + 0.6951 \cdot k_T^2 - 0.0457 \cdot k_T + 1 & \text{For } k_T \leq 0.384 \\ 74.666 \cdot k_T^4 - 140.57 \cdot k_T^3 + 91.744 \cdot k_T^2 - 25.854 \cdot k_T + 3.6796 & \text{For } 0.384 < k_T \leq 0.597 \\ -123.25 \cdot k_T^4 + 376.53 \cdot k_T^3 - 417.37 \cdot k_T^2 + 197.97 \cdot k_T - 33.377 & \text{For } 0.597 < k_T \leq 1.00 \\ 0.503 & \text{For } k_T > 1.00 \end{cases}$$

Her er der yderligere defineret en værdi på 0,503 for  $K_T$  større end 1.

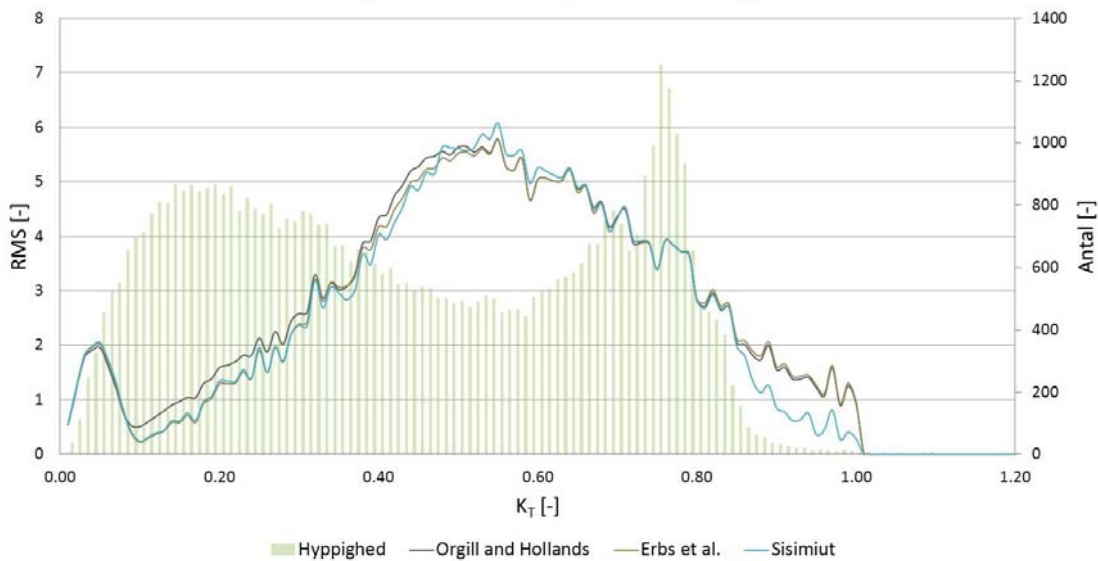
Sammenholdes fraktionen fra Sisimiut med de almindelige anvendte ses det at der umiddelbart er en større overensstemmelse mellem fraktion fra Sisimiut og de vægtede data, end med 'Orgill and Hollands' og 'Erbs et al.', se Figur 7.

Ny diffus fraktion på baggrund af vægtet data fra 2009-2011



Figur 7 Sammenligning mellem almindelige anvendte diffuse fraktion og den tilpassede diffuse fraktion for Sisimiut. Nøjagtigheden af de diffuse fraktioner er vist på Figur 8 som resultat af 'mindste kvadraters metode'. På figuren er også vist hyppigheden for forekomsten af værdier for  $K_T$ . Det kan ses at den nye fraktion forberede beregningerne ved lav og høje værdier for  $K_T$ , men ikke for værdier omkring 0,55.

RMS af 'Orgill and Hollands', 'Erbs et al.' og 'Sisimiut'



Figur 8 Nøjagtigheden af 'Orgill and Hollands', 'Erbs et al.' og 'Sisimiut'.

---

Den samlede nøjagtighed kan ses i Tabel 1, hvor det ses at den nye fraktion forberede beregningerne i forhold til 'Orgill and Hollands' og 'Erbs et al.'.

Tabel 1 Resultat af mindste kvadraters metode for almindelig anvendte og den tilpassede diffuse fraktion.

Mindste kvadraters metode	Orgill and Hollands	Erbs et al.	Sisimiut
RMS	34,51	33,90	33,76

**Fremtid** Det anbefales at den ny fraktion tages i brug i Grønland ved beregninger af solstråling hvor kun global stråling er tilgængelig. Den vil resultere i en mere nøjagtig gengivelse af fordelingen af diffus og direkte stråling.

Derudover anbefales det at målingerne i Sisimiut fortsættes og at det løbende undersøges om fraktionen kan forbedres yderligere. Det være vil hensigtsmæssigt at udvide data opsamlingen med yderligere målestationer i både nord og syd Grønland, samt med data fra østkysten.

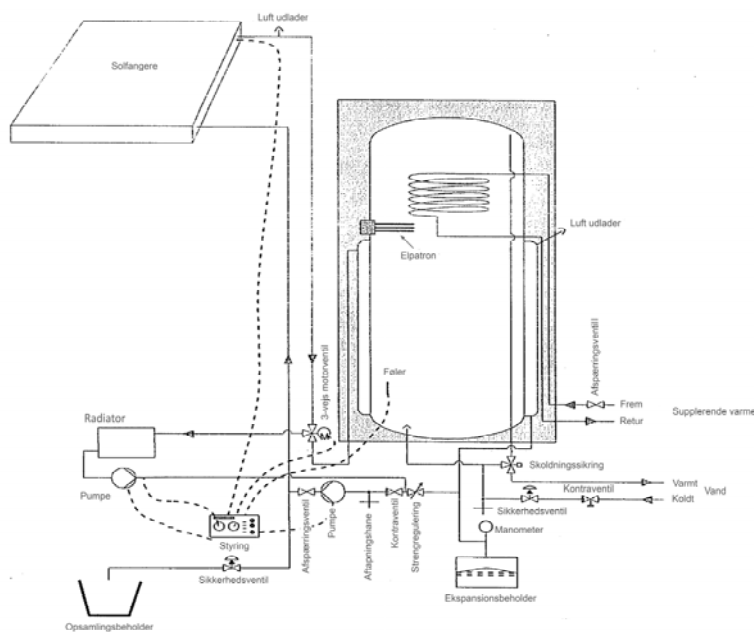
## Optimering og evaluering af eksisterende solvarmeanlæg

A - Afrapportering om status for de 3 eksisterende solvarmeanlæg installeret i Sisimiut; Lavenergihuset, Knud Rasmussens Højskole og det nye ingeniørkollegium, Apisseq. Dette er nødvendigt da tidligere erfaringer har vist behov for statusundersøgelser for at sikre at systemerne har en tilfredsstillende ydelse. I den forbindelse er det desuden nødvendigt med en særlig grundig gennemgang af systemet installeret på Apisseq. Erfaringer tilegnet over de seneste 5 år vil blive anvendt til at udarbejde kursusmateriale til lokale ingeniører, teknikere og installatører.

Den seneste års gennemgang af de installerede anlæg i Sisimiut har vist at det kan være vanskeligt og tidkrævende at vurdere, samt optimere ydelsen. Her bliver der givet en gennemgang og status for 3 solvarmeanlæg med henblik på at indhente yderligere erfaring.

### Lavenergihuset

Lavenergihuset blev indviet i april 2005 og er opført med et solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvandet. Solvarmeanlægget består af 6 Velux solfangere og en varmvandsbeholder fra Nilan A/S på 265 liter, se Figur 9.



Figur 9 Lavenergi huset i Sisimiut

Ved 5 års gennemgangen i 2010 blev der fundet betydelige fejl på anlægget vedrørende både designet og installationen. Et af problemerne ved anlægget var at komme af med overskudsvarme i meget solrige perioder. Det blev derfor besluttet at supplere anlægget med en buffertank på 800 liter.

Buffertanken blev installeret i foråret 2011 og vil i solrige perioder blive varmet op når den oprindelige varmtvandsbeholder er fuldt opvarmet. Buffertanken er forbundet til rumopvarmingskredsen så anlægget er ændret fra at være et brugsvandsanlæg til at være et kombi-anlæg. Ændringerne vil forbedre ydelsen af anlægget og yderligere nedsætte olieforbruget for huset. Samtidig er overvågningssystemet udbygget og vil blive evalueret som led i PhD studiet 'Models for the energy performance of low-energy-houses' udarbejdet af Philip Delff.

### **Fremtid**

Den nye status for solvarmeanlægget som kombi-anlæg bør undersøges yderligere. Ydelsen bør sammenlignes med ydelsen fra lignende anlæg i Europa, samt ligeledes indhente og udveksle erfaringer fra denne type anlæg.

### **Knud Rasmussen Høj Skole**

Solvarmeanlægget på Knud Rasmussen Højskolen, se Figur 10, blev sat i drift i august 2008 men blev ramt af øjeblikkelige problemer med utætheder, hvilket betød at anlægget først begyndte at fungere efter hensigten i løbet af efteråret 2009.



Figur 10 Solvarmeanlæg på Knud Rasmussen Højskolen i Sisimiut.

Siden er der gjort flere tiltag for at forbedre driften af anlægget, blandt andet ved at udnytte varmen fra solen tidligere på dagen til rumopvarmning. Der har ved flere lejligheder vist sig at være problemer med elektriske komponenter i anlægget forbundet med styringen. Det er endnu ikke afklaret hvad årsagen er til disse problemer.

Den seneste undersøgelse og evaluering af anlægget blev foretaget i sommeren 2011.

Ved ankomsten var solfangerkredsen næsten tom for glykolvæske, på grund af en ikke udbedret utæthed ved et skueglas (en tacosetter). Det blev aftalt med Højskolen at de får udbedret utætheden. Efter glykolvæske blev påfyldt viste det sig at anlægget fungerer efter hensigten. I undersøgelsesperioden var det ikke muligt at spore fejl i på de elektriske komponenter.

Generelt er der behov for at påfyldningsmanualer forbedres for at skabe større tryghed ved anlægget for ansatte ved højskolen.

Ydelsen af anlægget forventes at blive forbedret i løbet af de næste par år da skolen får udskiftet kedlerne i fyrrummet, med en type der har et bedre samspil med tilskudsvarme fra solvarmeanlægget.

### **Fremtid**

Det vil være hensigtsmæssigt at fortsætte evaluering af anlægget, specielt med de ændringer der vil blive gennemført af skolens energisystem. Derudover kan vise sig at være nødvendigt at justere styringsstrategien for anlægget for at tilgodese sammenspillet med kedlerne og hæve ydelsen af solvarmeanlægget.

---

Mht. de elektriske komponenter er hensigten at udbyde studenteropgaver med studerende fra DTU Elektro, hvor der vil være speciel fokus på de elektriske komponenter i anlægget for bedre at få belyst problemet.

### **Apisseq**

Apisseq Ingeniør Kollegium stod færdigt i sommeren 2010, se Figur 11. Det blev bygget med midler fra Villum Fonden og A.P. Møller og Hustru Chastine McKinney Møller Fonden.

Kollegiet består 38 studieboliger, hvor 4 af boligerne er lidt større beregnet til mindre familier. Huset er bygget efter de nyeste forskrifter mht. minimering af energiforbruget, varmegenindvinding og udnyttelse af vedvarende energi i form af solvarme.



Figur 11 Apisseq Ingeniør Kollegium i Sisimiut.

Solvarmanlægget består af 160 m<sup>2</sup> vakuumrørsolfangere forbundet med to varmtvandsbeholdere på hver 2000 liter. Solvarmeanlægget er et kombi-anlæg dvs. der både leverer energi til det varme brugsvand og rumopvarmning. I sommeren 2011 blev anlægget undersøgt og installationen gennemgået. Evalueringen viste at der kan opstå problemer med lagdelingen i beholderne pga. uhensigtsmæssige tilslutninger og dårligt sammenspil mellem de to beholdere. Hvor stor indflydelse dette vil have på ydelse er svært at give et bud på da målesystemet i skrivende stund ikke er færdig monteret. Anlægget er ligeledes blev undersøgt af Rambøll i forbindelse med idriftsætning [1]. Her påpeges problemet med lagedelingen, samt bekymring ved placeringen af en pumpe som kan vise sig at forstyrre styrsystemet.

### **Fremtid**

Udformningen og tilslutningen til varmtvandsbeholderne kan give problemer og bør undersøges når anlægget er i drift. Herudover bør det undersøges om styringen af anlægget sker hensigtsmæssigt. Anlægget bør fortsat evalueres i mindst 5 år, da erfaringer fra tidligere installerede anlæg har vist at det er indenfor denne periode fejl og mangler giver sig til kende.



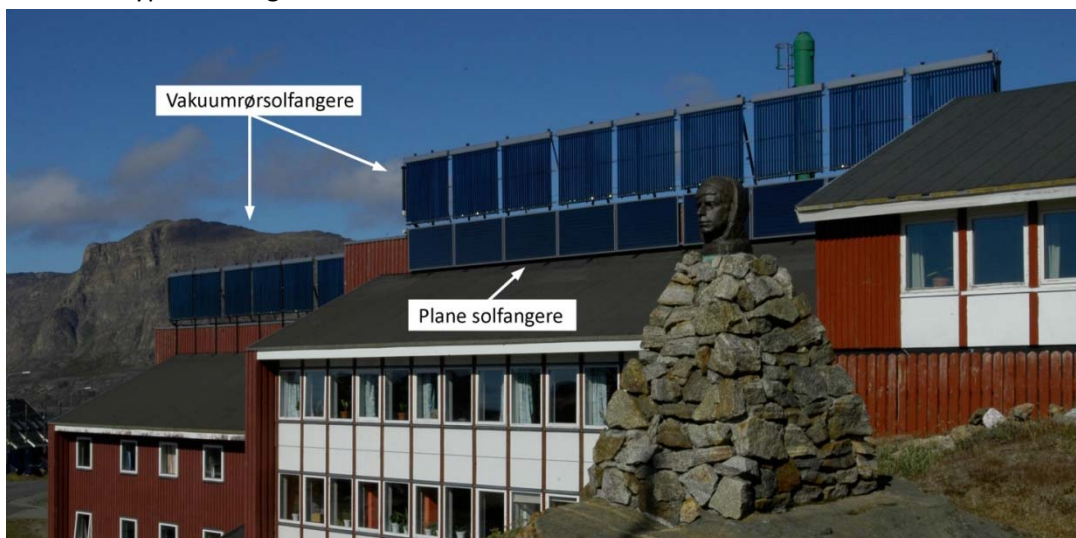
---

Erfaringerne fra alle tre anlæg indgår løbende i udvikling af undervisningsmateriale, og hensigten er at arbejde os hen imod materiale til et kursus for relevante parter i Sisimiut. Derudover vil erfaringerne fra anlæggene indgå i en præsentation ved konference 'Challenges for the Arctic Building Industry' i marts 2012. Anlæggene indgår også i uddannelsen af ingeniørstuderende i gennem kurset Arctic Tehnologi og har tiltrukket studerende fra hele Europa.

## Evaluering af vakuumrørsolfangere i Grønland

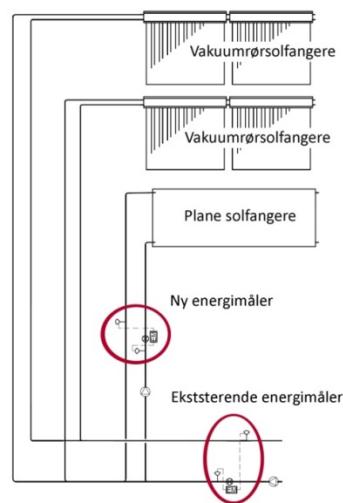
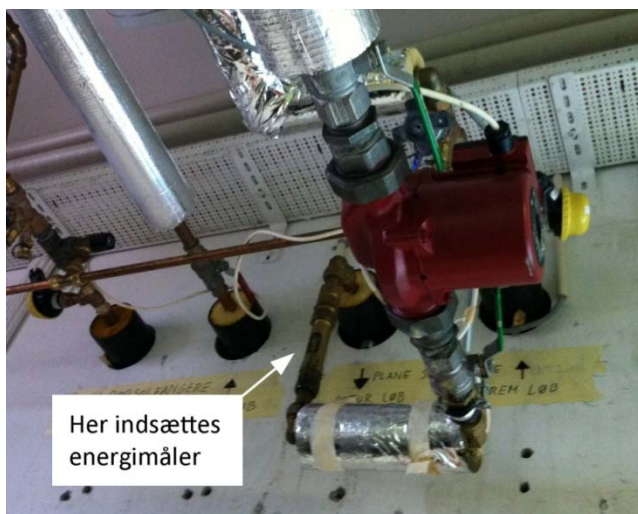
*D - Projektet skal tilvejebringe data om det opretstående solrørssystemes ydelsespotentiale, sammenholdt med det traditionelle plane solfangersystem. De samme data vil danne grundlag for udvikling af effektivitetsstandarder for det opretstående solrørssystem hvor der ikke er monteret bagbeklædning.*

Solvarmeanlægget på Knud Rasmussen Højskolen er det første solvarme anlæg der benytter sig af både plane- og vakuumrørsolfangere i Arktiske egne, se Figur 12. Derfor er det væsentlig at kunne vurdere ydelse fra det to typer solfangere enkeltvis.



Figur 12 Solvarmeanlægget installeret på Knud Rasmussen Højskolen.

Oprindeligt er anlægget designet med 10 energimåler, hvor en energimåler registrer energien fra solfangerne. Ved at tilsluttet endnu ene energi måler vil det være muligt at vurdere ydelsen af de plane solfangere for sig og vakuumrørsolfangerne for sig. Energimåleren er installeret på kredsløbet for de plane solfangere, så det via data fra den eksisterende energimåler og den nye, vil være muligt at bestemme ydelsen af vakuumrørsolfangerne. Installation af den nye energimåler er vist på Figur 13.



Figur 13 Indsættelsen af ny energimåler på Knud Rasmussen Højskolen.

Installationen er udført af lokale VVS-Service da de gennem årene har opbygget et stort kendskab og erfaring med anlægget. Tilslutning til målesystemet er ligeledes bliver udført af Kaataq El som kender computer og datalogger.

Det forventes at sommeren 2012 vil levere de første data fra den nye energimåler, hvorefter ydelsen af vakuumsolfangerne kan vurderes.

#### **Fremtid**

Installationen af den nye energimåler gør det muligt at vurdere ydelsen af vakuumsolfangerne, hvilket vil medvirke at effektivitet kan bestemmes for fritstående vakuumsolfangere. Derfor anbefales det at arbejdet fortsættes, både mht. opsamling og vurdering af målinger, men også med det videre teoretiske arbejde i forbindelse med effektivitetsbestemmelse.

## **Informationsmateriale til solvarme i Grønland**

*B - Viden om solvarme anlæg og mulighederne for størrelse, ydelse og typer af anlæg skal gøres tilgængelig på flere niveauer for at øge antallet af solfangeranlæg i Grønland og for at skabe en platform for en fortsat faglig udvikling af de grene af det grønlandske erhvervsliv som beskæftiger sig med solvarme, såsom installatører og importører af solfangeranlæg. Materialet vil blive udarbejdet på grundlag af informationer fra eksisterende systemer og computer simulationer.*

Personlig rådgivning er løbende givet ved henvendelser til ARTEK. Derudover er der udarbejdet foldere med information om solvarmeanlæg, solfangere og varmtvandsbeholdere.

Folderne kan ses i bilag 1.

### **Solvarme ved høje breddegrader**

Folderen henvender sig til alle med interesse for solvarme. Folderen beskriver hvilke fordele der er solvarme, og fortæller samtidig hvilket ting det er vigtigt at være opmærksom på ved høje breddegrader.

### **Solfangere i det Arktiske**

Folderen henvender sig både til forbrugere, installatører og rådgiver og giver indblik i hvilke typer der kan anvendes ved høje breddegrader og hvilke udfordringer der er forbundet med placeringen af solfangerne.

### Varmtvandsbeholdere i solvarmeanlæg

Folderen henvender sig til installatører og rådgiver og giver information omkring hvilke beholdere der med fordel kan anvendes ved høje breddegrader, samt hvilke anbefalinger der er opstillet for de forskellige typer.

### PV solceller til tagrenovering

*E - 2 typer af PV solceller vil blive installeret på eksisterende tage i Itilleq. Ved eksempler hvor taget er i dårlig stand kan de kraftige og vandtætte PV-celler have en dobbelt funktion: produktion af strøm og renovering af taget. De to typers ydelse og økonomi vil blive sammenholdt for at kunne bestemme den mest anbefalelsesværdige type til fremtidig brug i Grønland.*

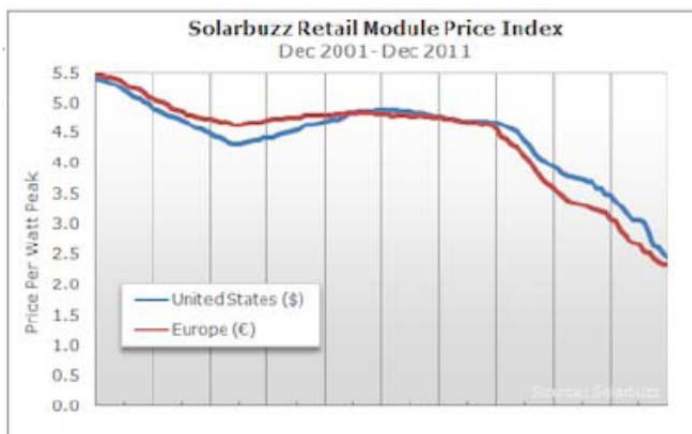
Delprojektets formål var at undersøge potentialet for anvendelse af elektricitetsproducerede solceller i Grønland samt at undersøge om solcellepaneler var anvendelige som ny tagbelægning på nedbrudte tagflader.

Ifølge Projektbeskrivelsen var den oprindelige tanke at installere 2 typer af solceller på eksisterende tage i Itilleq. Ved eksempler, hvor taget er i dårlig stand, kan de kraftige og vandtætte PV-celler have en dobbelt funktion: produktion af strøm samt etablering af en ny tagbelægning. De to typers ydelse og økonomi vil blive sammenholdt for at kunne bestemme den mest anbefalelsesværdige type til fremtidig brug i Grønland.

I kraft af resultater opnået gennem projektperioden har projektets indhold ændret sig, hvorfor projektets mål ikke til fulde er opfyldt. Derimod er nye erkendelser opnået, og der kan gives anbefalinger for videre undersøgelser og investeringer i lovende vedvarende energianlæg baseret på solceller.

### Potentialer og markedsituation

Udnyttelse af krystallinske solceller til elproduktion har i mange år været en kendt teknologi. Imidlertid har cellerne været ganske kostbare og sårbare for den sags skyld, hvorfor udnyttelse af solstråling til direkte konvertering til elektricitet har været begrænset. I kraft af at der specielt i Tyskland har været en voldsom satsning på udnyttelse af teknologien, har vi gennem de sidste 10 år set et voldsomt prisfald på solpaneler, således at de i dag ligger under 2\$/W<sub>p</sub>. I November 2011 var den laveste detailhandlerpris i USA for multikrystallinske solceller så lav som \$1,14 per watt. Den laveste detailhandlerpris for monokrystallinske celler var \$1.28 per watt fra en asiatisk forhandler.



Module Pricing Trends per Watt peak			
United States	\$2.43	↘	-2%
Europe	€2.33	→	0%
Number of Prices <\$3.00 or €2.10/Wp (25% of survey)	281	↑	15%
Lowest Mono-cSi Module Price	\$1.28 €0.91	→	0%
Lowest Multi-cSi Module Price	\$1.14 €0.86	↓	-13%
Lowest Thin Film Module Price	\$1.18 €0.89	↘	-6%

Figur 14 Prisudvikling for solceller.

Den laveste tyndfilms baserede solcelle lå på en pris af \$1.18 per watt fra en tysk forhandler. Som en generel regel må det forventes, at tyndfilmsbaserede moduler er billigere end krystallinske for samme peak effekt, idet deres effektivitet er ligge en del lavere.

Alt tyder på at denne trend for prisfald holder ved, idet produktionskapaciteten world wide er blevet større end efterspørgslen. Den afspejles i skemaet på Figur 14 ved angivelse af trend for seneste kvartal.

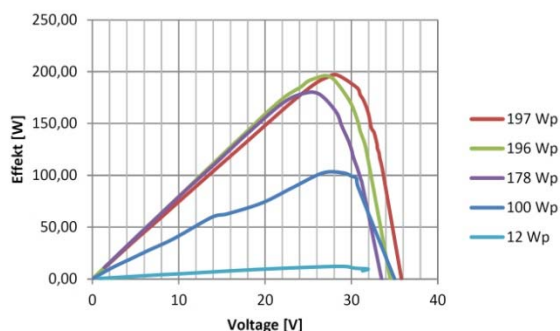
På baggrund heraf synes tidspunktet attraktivt for undersøgelse af teknologiens muligheder under arktiske forhold i Grønland.

### Test af 2 typer af solceller

I august 2011 blev 2 typer af solpaneler bragt til Sisimiut med henblik på initiale test. Der var dels tale om et multikrystallinsk panel dels et tyndfilmspanel.

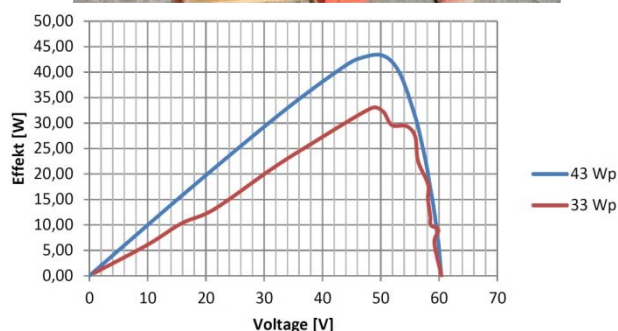
#### 215W polykrystallinsk PV panel

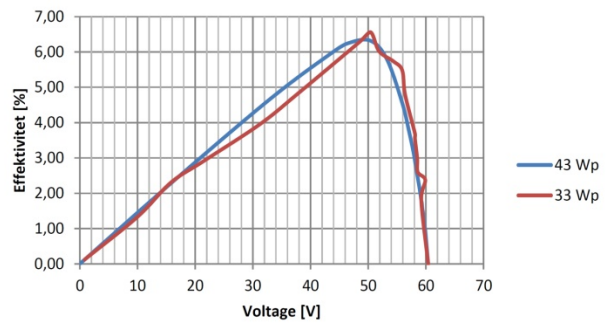
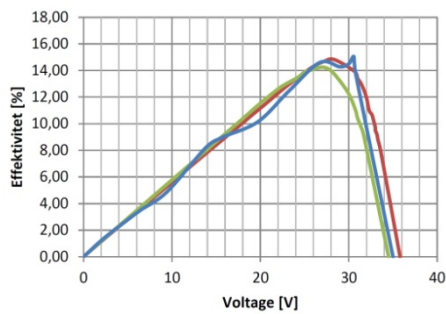
Fysiske mål: 1652x992x50mm  
(længde x bredde x tykkelse) 1,45m<sup>2</sup>  
Vægt: 22 kg  
P<sub>max</sub>: 215 W  
Open-circuit spænding: 36,96 V  
Kortslutningsspænding: 8,34 A  
Effektivitet: 13,12 %



#### 40Wp tyndfilms PV panel

Fysiske mål:  
(længde x bredde x tykkelse) 0,73m<sup>2</sup>  
Vægt:  
P<sub>max</sub>: 40 W  
Open-circuit spænding: 60,4 V  
Kortslutningsspænding: 1,0A  
Effektivitet ca. 6 %





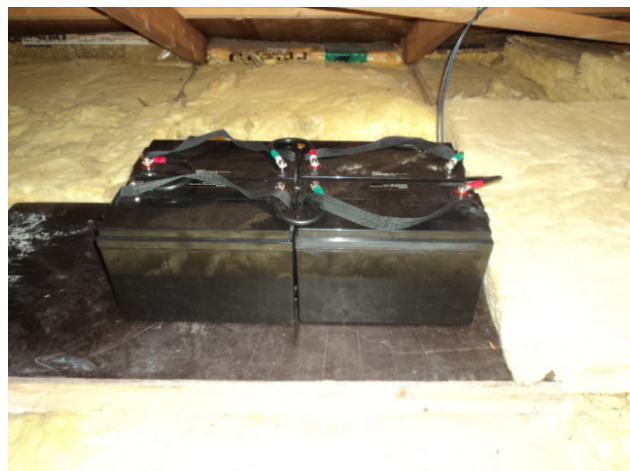
Det multikrystallinske panel har et areal på  $1,45\text{m}^2$  og opnåede den højeste effekt på 197W ved et solindstråling på  $950\text{W}/\text{m}^2$ . Panelets højeste effektivitet på ca. 14 % blev opnået i området 25 – 27V. Det er i god overensstemmelse med specifikationerne.

Tyndfilmspanelet har et areal på  $0,73\text{m}^2$  og opnåede sin højeste effekt på 43W ved en solindstråling på  $915\text{W}/\text{m}^2$ . Solcellen har sin største effektivitet på ca. 6 % i området 49-51V.

Typisk vil tyndfilmsbaserede solceller være lidt mindre følsomme overfor temperatursvingninger og med de her testede paneler vil spændingsforholdene give mulighed for etablering af et simpelt stand-alone system med batteribank til forsyning af isolerede belastninger. Et sådant system kan etableres for relativt små penge. Til gengæld kan det ikke føde effekt ind på det eksisterende elsystem i fx et parcelhus. Det kræver således, at dele af husets elsystem kan frakobles det normale forsyningsnet og blive forsynet isoleret af solcellesystemet.

De krystallinske celler synes mere velegnede til egentlig elektricitetsproduktion, hvor solpaneler kobles på en avanceret inverter med et MaximumPowerTracking system for sikring af maksimal effekt ved en vilkårlig solindstråling. Systemet kobles ind på det eksisterende elnet, som anvendes som virtuelt energilag. Sådanne systemer vil effektivt kunne substituere diesel i de grønlandske ø-net. Disse anlæg vil selvsagt kun kunne producere ved sol/diffus lys, hvorfor deres anvendelighed vil afhænge af, hvor i Grønland PV-anlæg etableres.

I Sisimiut er der etableret et forsøgsanlæg med 9 stk. CombiSunPanel tyndfilmssolceller som er tilkoblet en 48v batteribank og omformer til 230v, se Figur 15. Bl.a. forsynes cirkulationspumpe og fyr af strøm fra solcelleanlægget.



Figur 15 Montage på tag, samt batteribank.

Anlægget er endvidere udstyret med varmeudtrækning, så brugsvand og rumvarme opvarmes som ved et traditionelt solfangeranlæg, se Figur 16.



Figur 16 Montage på tag og under tag til varmeudtræk.

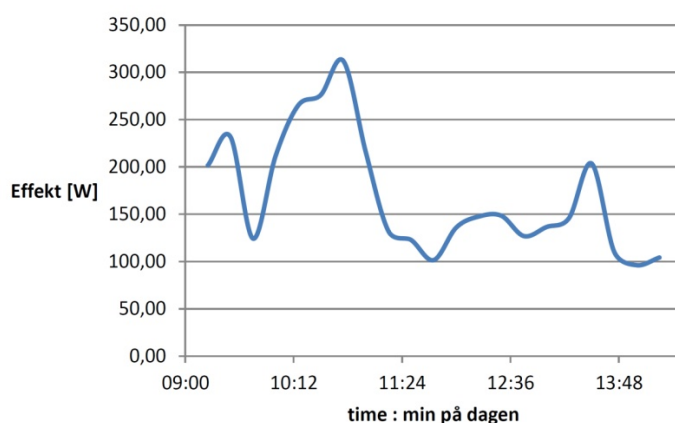
Solcellerne er installeret oven på det eksisterende tag, og er tæt for både regn og fygesne, samt holdbart i over 35 år. Udskiftning af tagpap er således unødvendigt. Solcelleanlægget er udformet som et tagkoncept, hvor solcellerne udgør selve taget og både rygning, tagfod og stern er fuldt integreret i tagkonstruktion og fremtræder i en æstetisk helhed med huset. Det monterede anlæg er på 7,2 m<sup>2</sup>. Lokale håndværkere er instrueret i montagesystemet og arbejder pt. på at prissætte et solcelleanlæg, som dækker hele husets sydvendte tagflade på 66,4 m<sup>2</sup> og ydelse på 3320 W<sub>p</sub>.

Anlægget anslås til at producere 360 kWh pr år. Ved en elpris på kr. 3,48/kWh bidrager anlægget med en besparelse på elkøb for kr. 1252,80 pr år.

Det er i skrivende stund endnu uvist hvorvidt Nukissiorfit vil tillade opkobling af anlægget til offentligt elnet. Det er afgørende for anlæggets økonomi, at anlægget kan opkobles efter "nettomålerordning", hvor man kan benytte det offentlige elnet som "bank" og lade elmåleren løbe hhv. baglæns og forlæns iht. produktion af sol el.

Anlæggets ydelse af varme er endnu ikke opgjort, da tilslutningen først blev afsluttet i efteråret, hvor solindfaldet er for lille.

Dette anlæg blev kortvarigt testet over 5 timer, se Figur 17. Den samlede elproduktion blev over perioden opgjort til 0,85kWh, svarende til en middelværdi på 170W. Sideløbende med denne test blev der målt på et enkelt panel af samme type belastet efter MPPT-princippet. I dette tilfælde under de givne sol og temperaturforhold sås en minimal reduktion (<1 %) af energiproduktion fra det simple batteriladesystem. For disse små isolerede anlæg kan det derfor ikke anbefales at investere i markant dyrere MPPT-invertere.



Figur 17 Kortvarig test af anlægget på 5 timer.

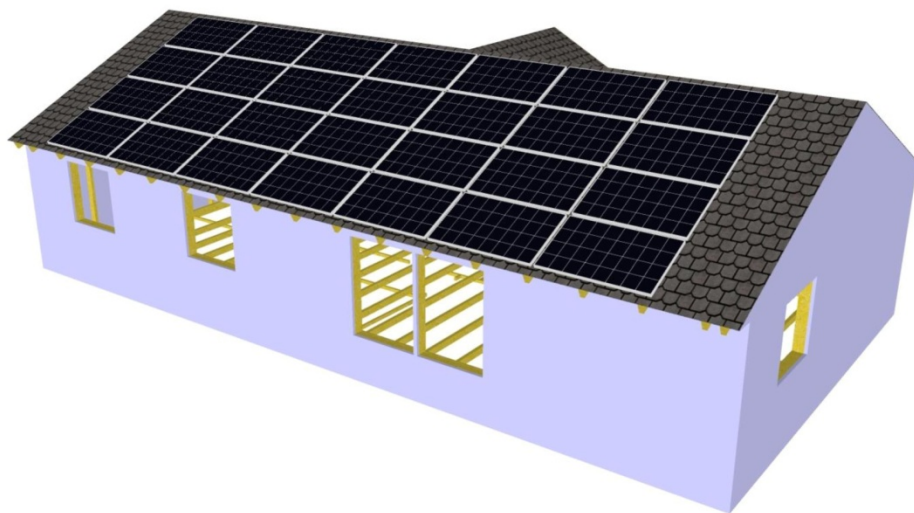
---

### **Nettilsluttet anlæg.**

Det var projektets mål at etablere et større nettilsluttet PV-anlæg i Itelleq. Efter besøg i bygden fandtes en central bygning velegnet med hensyn til tagretning, taghældning og ejerforhold. Bygningen ligger centralt og ville kunne signalere bæredygtighed for beboere og besøgende. Imidlertid viste det sig, at bygningen søges fredet og ført tilbage til oprindelig byggestil. Dette projekt blev med teknisk afdeling i Qeqqata Kommune's mellemkomst skrinlagt.

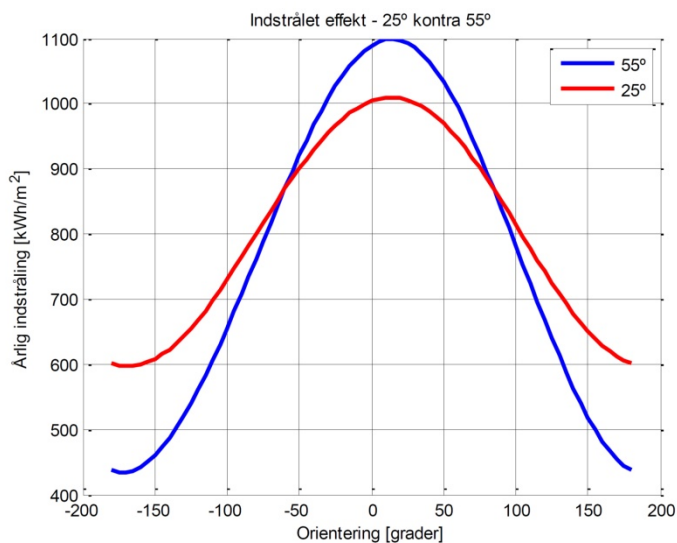
Som alternativ blev der arbejdet på, om PV-systemer kunne integreres ind i den fremtidige boligmasse i Grønland. På anbefaling af Teknisk Afdeling i Qeqqata Kommune fandtes det mere perspektivrigt at undersøge mulighederne for at integrere solpaneler ind i tagfladen på typehuse. Som model blev det populære ILLORPUT 2000 hus valgt som grundhus. Hustypen findes overalt i Grønland og der er i relation til dette projekt ikke tænkt på nogen specifik lokalitet.

Som det se af tegningen passer PV-modulerne til afstanden mellem grundhuset spær i tagkonstruktionen, se Figur 18. Dvs. at 4\*7 moduler kan således enkelt og billigt monteres på tagfladen. Der er i denne forbindelse ikke overvejet, om solpanelerne kunne erstatte tagbelægning. På grund af at solpanelerne er relativt sårbare specielt overfor slag anbefales det at fastholde eksisterende tagbelægning under panelerne indtil praktiske erfaringer er indvundet. Stærkere paneler kan dog leveres specificeret til øgede vindlaster.



Figur 18 Tænkt installation på et ILLORPUT 2000 hus.

Der blev udviklet en generel model for undersøgelse af betydningen af panelretning og taghældning. På Figur 19 ses en sammenligning mellem den optimale hældning ca. 55° og ILLORPUT 2000-husets 25°'s taghældning. Samlet set reduceres den årlige energiproduktion med ca. 10 %, hvilket næppe kan finansiere en mere kompliceret montage på huset. Desuden vil solpaneler monteret med 55° være mere udsatte for vindlaster, vejrlig og vandalisme. En videreudvikling af husets design kunne måske munde ud i en mere optimal taghældning for montage af solpaneler.



Figur 19 Sammenligning mellem ydelsen ved optimal hældning og ILLORPUT 2000 husets taghældning.

Ved montage af 28 paneler på tagfladen af et ILLORPUT 2000 hus findes en forventet årlig elproduktion på ca. 6225 kWh, hvilket formentligt ligger lidt over en normal husstands elforbrug. Systemet er designet til ca. 6KW svarende til de danske regler for maksimal montage af solpaneler tilsluttet elnettet bag husets elmåler. Huset anvender således nettet som energilager og får således i snit dækket hele husets forbrug af el uden betaling af de normale danske energiskatter og -afgifter. I Grønland vil husets egenproduktion af el erstatte el produceret af Nukissiorfiits's anlæg til gældende forbrugerpriser. Der foreligger pristilbud på levering i DK på 28 paneler og inverter for ca. 75.000 kr. excl. levering og montage. Med den forventede årlige elproduktion tyder alt på en relativ kort tilbagebetalingstid, således at teknologien kan blive attraktiv for private investorer, såfremt der ellers kan opnås rimelige tilslutningsbetingelser.

Tabel 2 Oversigt over installation på ILLORPUT 2000 huset.

Paneler a 220 W <sub>p</sub>	28stk
Installeret effekt	6160Wp
Taghældning	25°
Overflade	41,5 m <sup>2</sup>
Årlig indstråling	41,5 MWh
Maksimal teoretisk årlig elproduktion (η=15 %)	6225 kWh
Materialer	28 paneler MPPT inverter Enkel montage direkte i husets tagkonstruktion

### **Fremtid**

Det globale marked for PV-teknologi tyder på en fortsat interessant prisudvikling mod lavere omkostninger for etablering af PV-systemer. Teknologien, dvs. panelerne, er dog sårbare overfor fysiske påvirkninger, mens deres performance faktisk forbedres ved lave temperaturer.



---

De gennemførte analyser peger i retning af, at tyndfilmsanlæg er attraktive for mindre isolerede systemer, mens de krystallinske er at foretrække for større elproducerende anlæg, fx monteret på parcelhuse med attraktiv tagflade rettet mod syd.

Med henblik på udvikling af et standardiseret "byggesæt" til enfamiliehuse er det vist, at der på et ILLORPUT 2000 typehus enkelt kan monteres et 6KW<sub>p</sub> anlæg bestående af 4\*7 paneler af 220W i alt 6160W<sub>p</sub>, som årligt forventes at kunne levere op mod 6225kWh. Såfremt der kan opnås rimelige tilslutningsbetingelser i Grønland synes sådanne anlæg at kunne blive attraktive også for private investorer. Der er imidlertid endnu kun få/ingen erfaringer i Grønland med nettilsluttede solpaneler. Det må derfor anbefales, at der etableres mindst 3 anlæg på forskellige lokaliteter i Grønland (forskellige breddegrader) for opnåelse af praktiske erfaringer med sådanne anlæg med hensyn økonomi, drift og vedligehold, klima- og miljøforhold, samspil med eksisterende elnet, substitution af olie og i hvilket omfang PV- anlæg kan erstatte investering i nye elproducerende anlæg.

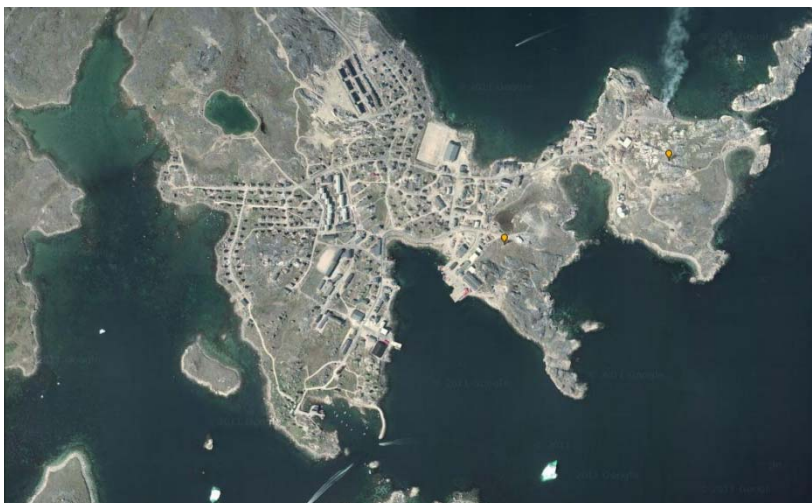
## Vindpotentialet i Grønland

*F - En dataindsamlingsperiode på mindst 3 år indledes i Nanortalik for at undersøge vindpotentialet og risiko for overisning af møller i Sydgrønland. Den meteorologiske målemast vil indsamle data som skal indgå i analysen af vindpotentialet i forhold til muligheden for at opføre vindmøller og hvordan de kan integreres i det eksisterende energiproduktionssystem.*

*De tre eksisterende vindmøller i Sisimiut-området inspiceres. Data herfra og fra målemasterne i Uummannaq-området vurderes for at kortlægge vind potentialet.*

## Nanortalik, Kujalleq kommunia

Nanortalik har fra 2003 været case for et projekt i det såkaldte Vest-Nordensamarbejde. I den forbindelse blev en 50m målemast rejst og i 2007 blev en toårig måleperiode indledt. Perioden er efterfølgende blevet udvidet til 4år. Masten er placeret ved Dumpen (60°8,623N; 45°13,555W) og blev drevet af det norske firma Kjeller vindteknikk. Efter projektets afslutning blev masten overtaget af Kujallaq kommunia og den anvendes pt. af ARTEK til måling af overisningsfaren i området.

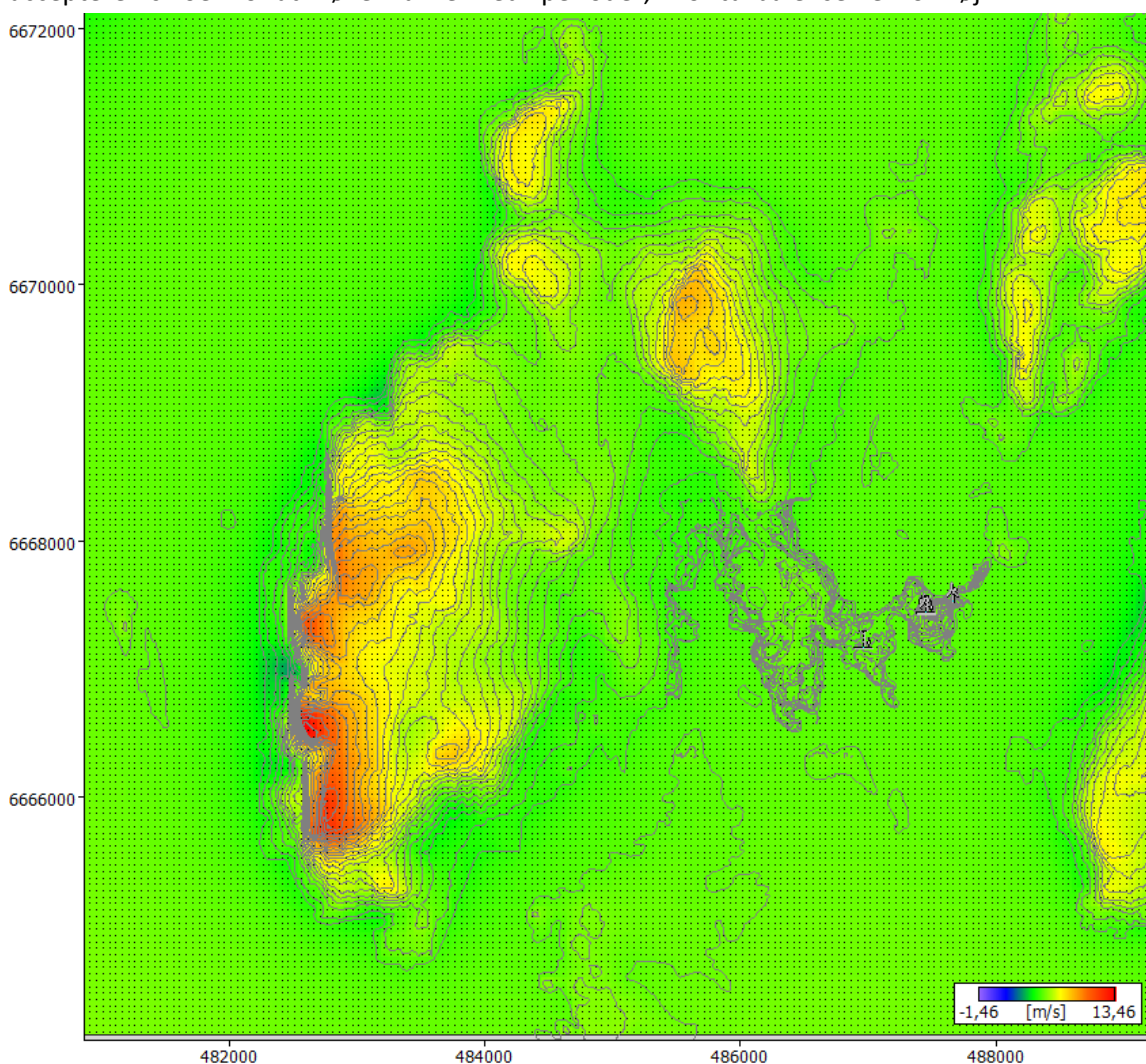


Figur 20 Placering af Nord-vest masten ved Dumpen i Nanortalik og Asiaq stationen ved heliporten

Under de fireårs målinger af Kjeller er der udarbejdet tre målerapporter (Byrkjedal, 2008)(Risberg, 2009) (Tallhaug, 2011), der beskriver måleresultaterne. Der i 2011 lavet indledende undersøgelser af vindresurserne i området, rentabilitetsanalyser mm., i form af et studenterprojekt. Projektet kan findes på Arteks server<sup>1</sup>.

Grundlæggende er der lavet indledende studier af hvordan vindresurserne fordeler sig i området. Hvordan mulighederne er, for at opstille vindmøller på halvøen ved dumpen. De indledende undersøgelser viser at der, specielt med de seneste stigninger i brændstofpriserne, vil være god økonomi i en simpel implementering af en lav andel (25 %) vindkraft i systemet.

Undersøgelserne viser også at turbulensniveauet for området ved dumpen er relativt højt. Med en turbulensintensitet på 18,48 % ved 15m/s overstiger turbulensen designniveauet for en klasse A mølle. Dette problem kan løses ved at ændre designklassen til S, ved at flytte mølle placeringen eller ved at acceptere risikoen for at møllen lukker ned i perioder, hvor turbulensen er for høj.



Figur 21 Vindresursefordelingen i 50meters højde omkring Nanortalik. Grøn angiver 6m/s som målt på masten de gule og røde farver er områder med højere vindresurse og blå og violet angiver lavere resurser. De to masters placering er angivet på kortet.

<sup>1</sup> <ftp://artekftp.byg.dtu.dk/Rapporter/2011/11-13.pdf>

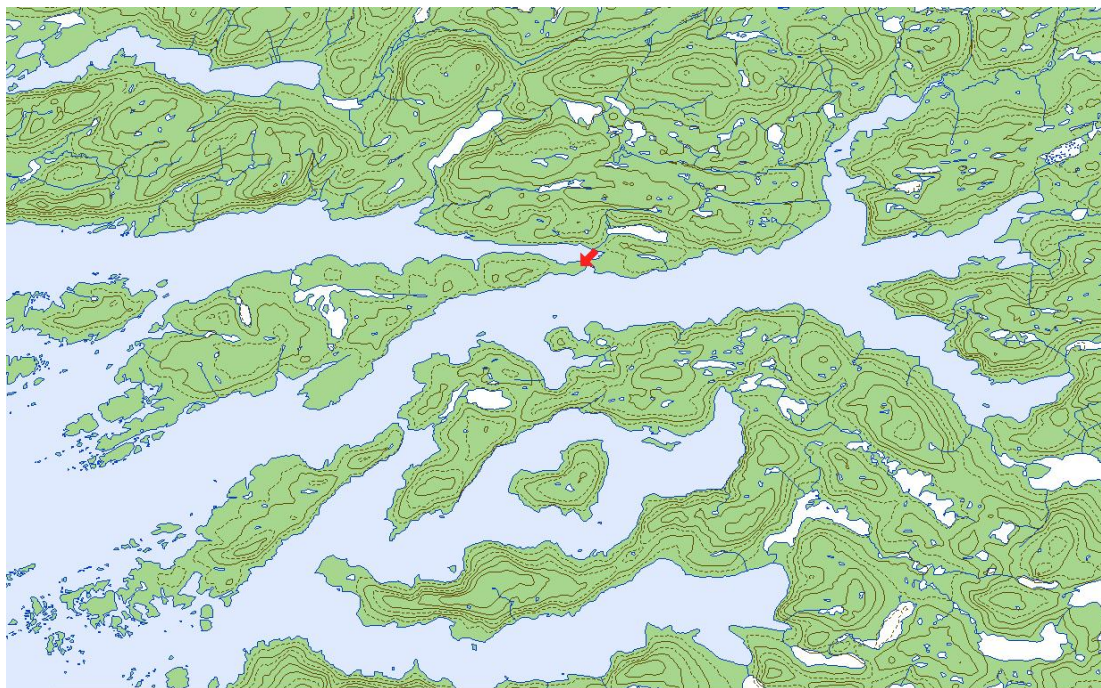
Vindresurserne i området er påvirket af fjeldene omkring byen. Som det ses af Figur 21 er middel vindhastigheden på de to observerede steder relativ beskedent. Det skyldes primært at begge master er placeret i lavlandet tæt på kysten, hvor vinden ikke presses sammen af fjeldene. Det kan være den optimale placering rent økonomisk, da det er væsentlig billigere at placere møller i områder med god infrastruktur. En placering i de høje fjelde vest for byen vil give en højere vindresurse, men den vil omvendt give ekstra udgifter til kabler og serviceveje.

Hvorvidt modellen der er anvendt til at beregne fordelingen, Figur 21 giver et retvisende billede af resursefordelingen er uvis, da modellen endnu ikke er verificeret under grønlandske forhold. En verificering kan foretages ved at sammenligne resultaterne beregnet for en mast, på baggrund af målinger fra en anden mast med de faktiske målinger på givende mast. For at få et nøjagtigt billede af modellen repræsentation af området skal der bruges mindst 3 master spredt i terrænet for at verificere en sådan model.

Vi er pt. i gang med at undersøge mulighederne for at foretage denne verificering. Et andet problem er at målingerne foretaget i Nanortalik under VestNorden projektet ikke har været optimale. Ikke alle de valgte instrumenter overlevede hele måleperioden andre var af en ringe kvalitet og gav upålidelige resultater. Derfor er vi sammen med Kujalleq kommunia i gang med at stable en ny målekampagne på benene, der skal sikre pålidelige målinger de kommende 3-5år. En af ideerne er at skaffe tre kvalitets master, der så kan flyttes fra by til by for på sigt at kortlægge vindresurserne i de interessante områder.

## Sarfannguit, Qeqqata kommunia

Ved bygden Sarfannguit driver ARTEK 2 målestationer til vindmonitorering. Hovedstationen er placeret på fjeldet syd for bygden (N66° 53.716 W052° 51.977; 80,5moh). Der blev i 2009 installeret en testvindmølle i forbindelse med målestationen, se vindmølle. Hovedstationen har været operationel siden 2003, men den har gennem tiden være udsat for hærverk, indbrud og et par nedbrud og det betyder at der er en del huller i dataserien. Der måles vindhastighed, vindretning, temperatur, relativ fugtighed, tryk og solstråling, se bilag 2.



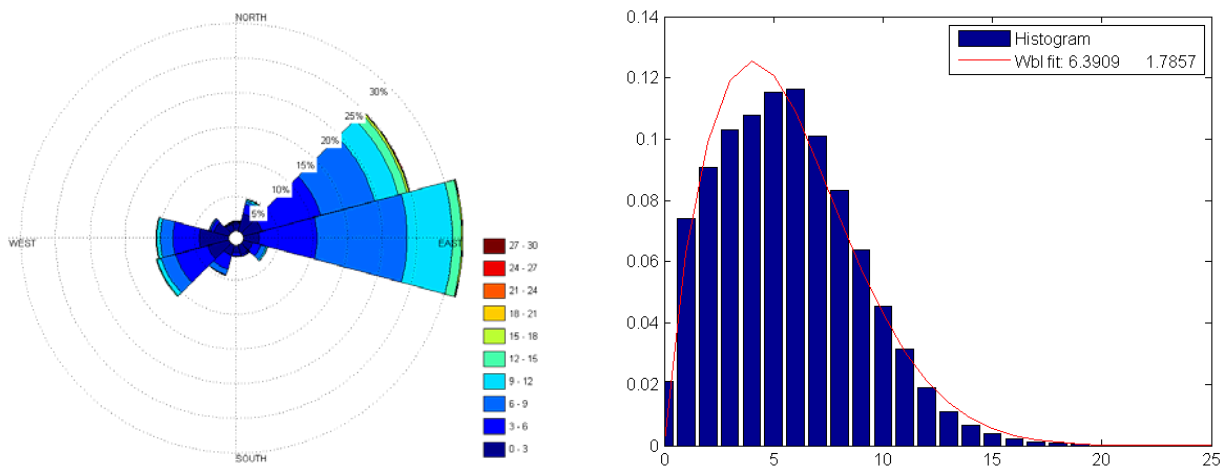
Figur 22 Sarfannguits placering i fjordsystemet øst for Sisimiut, Vestgrønland

Som det fremgår af Tabel 3 er middel vindhastigheden 5,8m/s i 10 meters højde. Tabellen viser og tydeligt at stationens tilgængelighed har været meget ringe, men ARTEK forbereder flere tiltag der skal rette op på dette. Det kan bl.a. nævnes at stationernes energiforsyning og indkapslingsboks forventes udskiftet i 2012.

Tabel 3 Overblik over de indsamlede vinddata for hovedstationen ved bygden Sarfangnuit

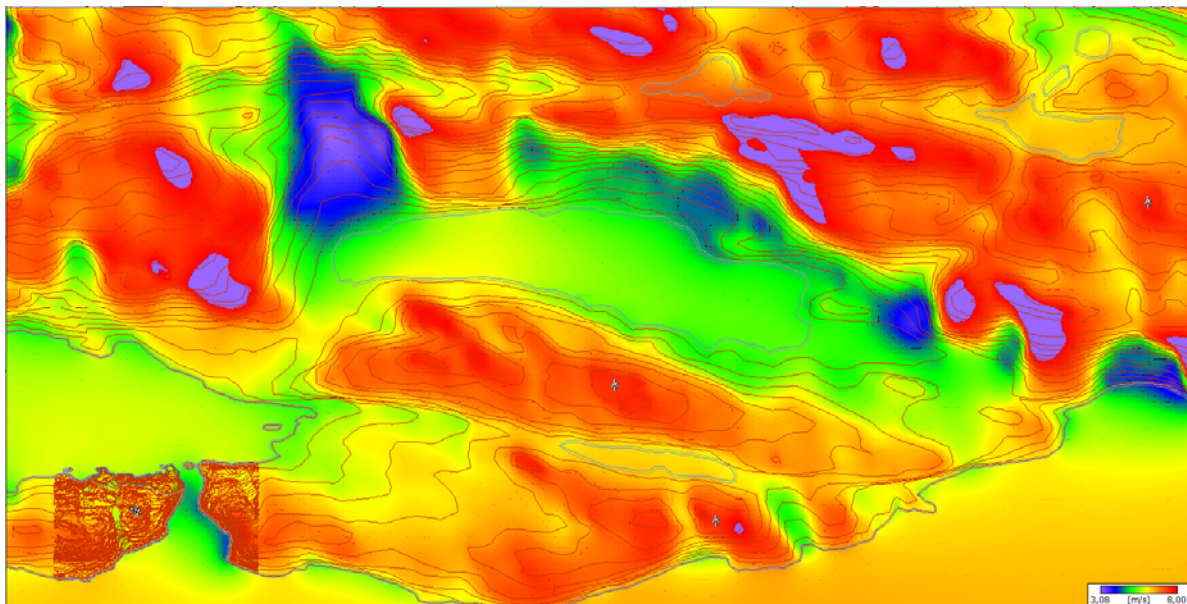
	2003		2004		2006		2007		2008		2009		2010		2011		Total	
	ws	Avb	ws	Avb	ws	Avb	ws	Avb	ws	Avb	ws	Avb	ws	Avb	ws	Avb	ws	Avb
	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%
Jan			7,3	100			6,2	96	6,7	100	NoN	0	5,7	99	8,1	97	7,1*	82
Feb			7,6	100			7,6	100	5,5	75	6,9	47	7,1	100	5,9	96	7,0*	86
mar			7,4	100			6,2	99	5,8	8	5,7	99	6,7	96	6,4	100	6,5*	84
Apr			6,4	99			5,0	97	1,2	25	6,0	97	4,8	97	5,7	57	5,4*	79
Mai			6,4	97			4,6	98	0,4	0	5,4	99	5,0	17	NoN	0	5,5*	52
Jun			4,1	96			4,4	95	NoN	0	4,9	98	4,2	7	NoN	0	4,5*	49
Jul			4,9	83			4,1	97	NoN	0	4,0	95	4,7	25	NoN	0	4,1*	50
Aug	5,1	90			4,2	52	2,7	7	NoN	0	4,1	96	4,1	18	2,8	76	4,6*	48
Sep	5,3	95			4,1	80	5,7	98	2,8	32	4,6	95	3,5	73	3,2	79	5,2*	79
Oct	6,8	97			6,8	98	6,0	100	2,9	97	5,9	94	3,2	0	NoN	0	6,4*	69
Nov	7,3	100			6,1	98	6,5	99	2,5	34	6,1	100	NoN	0	NoN	0	6,5*	62
Dec	7,7	97			6,0	99	5,7	1	NoN	0	8,1	100	NoN	0	NoN	0	7,2*	43
<b>Total</b>	<b>6,4</b>	<b>95,8</b>	<b>6,3</b>	<b>96,2</b>	<b>5,4</b>	<b>85,6</b>	<b>5,4</b>	<b>82,4</b>	<b>3,5</b>	<b>30,8</b>	<b>5,6</b>	<b>85,0</b>	<b>4,9</b>	<b>44,3</b>	<b>4,9</b>	<b>42,1</b>	<b>5,8*</b>	<b>65,2</b>
<b>Availability &gt;90%</b>																		
<b>Low Availability</b>																		

Retningsfordelingen for vindresurserne Figur 23 viser at hovedvindretningen er øst og nordøst, hvilket også er de retninger med den højeste vindresurse. Over 50 % af tiden er vindretningen indenfor disse to sektorer. Det er meget naturligt når man studere Sarfangnuits placering i fjordsystemet, men det indikerer også at en del af vindresursen sandsynligvis stammer fra lokale vinde, dannet i fjordsystemet eller som faldvinde fra indlandsisen.



Figur 23 Vindrose hastighedsfordeling for vindresurserne på hovedstationen i 10m

Målingerne foretaget i 10 meters højde på fjeldet ved Sarfannguaq indikerer at vindressurserne i området har en størrelse der vil kunne udnyttes til energiproduktion. De indledende undersøgelser viser at vindhastighederne i 50m, der er en typisk navhøjde for mindre vindmøller, er 7,4-7,75m/s, Figur 24.



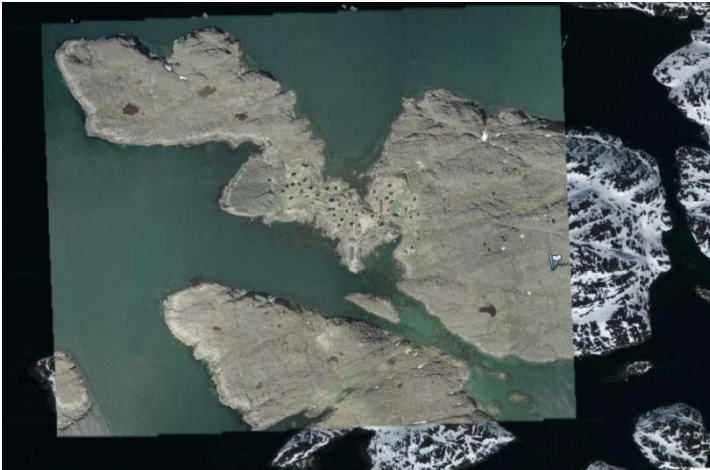
Figur 24 Vindresursefordelingen i området omkring Sarfannguit i 50m over terræn

Estimeringerne at vindressurserne i området er forbundet med en del usikkerheder, som skyldes manglende validering af de anvendte modeller, lave og få målepunkter, upræcis terrændata, ukendt atmosfærestabilitet mm. Disse usikkerheder forsøger vi at minimere som en del af ph.d.-projektet "Estimering af VE resurser og implementering af VE i isolerede energisystemer, specielt Arktiske forhold". Måleprogrammet i området forventes intensiveret i de kommende år for at verificere modeller og atmosfærestabilitet. Problemerne med dårlig terrændata kan minimeres ved manuel opmåling kombineret med laserskanning af området, men det er en kostbar metode.

Flere grupper studerende, undersøger mulighederne for at udnytte vindkraft i kombination med pump storage i de naturlige reservoirer nord-øst for bygden. Ud fra undersøgelser af bygdens forbrug og forbrugsmønstre (Jakobsen, 2009) vurderes det at en stor del af bygdens opvarmningsbehov skal konverteres til el baseret opvarmning for at et sådant projekt kan blive rentabelt. Før pump storage mulighederne er undersøgt nærmere er det ikke muligt at vurdere etableringsomkostningerne og driftsudgifterne forbundet dermed.

### **Itilleq, Qeqqata kommunia**

Ved bygden Itilleq driver ARTEK en målestation til monitorering af vindklimaet ved bygden. Med bygdens placering på en relativ lille ø er der ikke mange muligheder for at opstille vindmøller. Ved opstillingen vurderede man at den bedste placering var på fjeldtoppen øst for bygden. Stationen blev sat i drift efteråret 2010, men allerede marts 2011 blev stationen udsat for omfattende hærværk i form af riffelbeskydning. Hærværket har betydet at det meste af måleudstyret blev ødelagt og at stationen skal renoveres for at blive fuld operativ igen. Med den korte måleperiode kan der endnu ikke siges noget om vindressurserne i området. ARTEK har taget kontakt til bygdebestyrelsen for at klarlægge om der er lokal opbakning til at fortsætte projektet. Er det tilfældet håber vi at kunne få stationen renoveret i sommeren 2012.

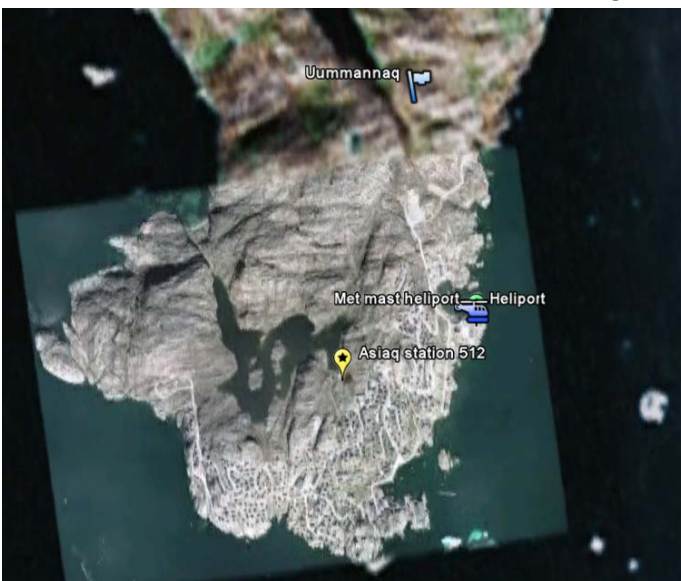


Figur 25 Placering af ARTEKS målestation øst for Itilleq

I forbindelse med Fyrtårn 4 projektet (Center For Arktisk Teknologi, 2010) blev der udarbejdet en analyse af bygdens energiforbrug og den viste at det samlede energiforbrug inklusiv konverteringstab udgjorde ca. 10TJ (2800MWh) i 2010, 240MWh forbrugt el (900MWh elproduktion) og 1900MWh brændstofsølt. Med virkningsgrader på konvertering fra olie til el giver det mere end dobbelt så stor reduktion i olieforbruget at fortrænge 1MWh el som det gør at fortrænge 1MWh oliebaseret varme. Derfor bør fortrængning af oliebaseret el have første prioritet og produceres der mere VE-energi kan det så anvendes til opvarmning. Der er ikke noget naturligt reservoir på øen så vil man gå efter en 100 % vedvarende energiløsning må man satse andre lagringsteknologier, smartgrid og/eller en kombination af resurser, smartgrid og lagring. En oplagt resurse for Itilleq vil, med sin sydvendte placering, være solenergi. Med de faldende priser på solceller og invertere kunne det være en mulighed for at reducere bygdens energiforbrug.

### **Uummannaq, Qaasuitsup Kommunia**

Målestationen ved Uummannaq er placeret nord for byens fodboldbane. Stationen har en relative god placering i terrænet, men fra nordvest til nord blokeres af det 1170m høje fjeld. Afstanden til fjeldet gør at der kun forventes relativt lidt vind fra denne retning.

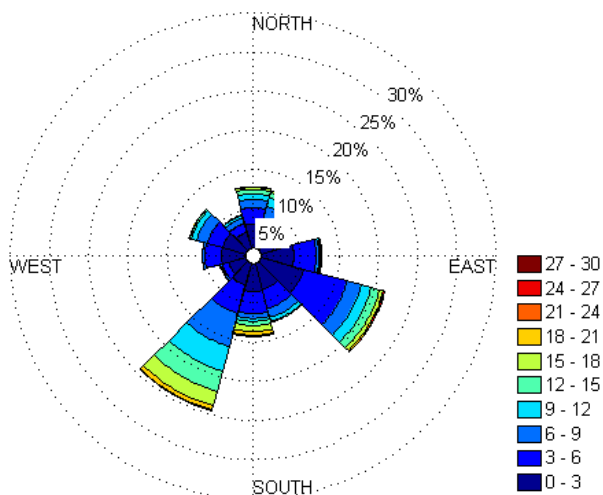


Figur 26 Placering af mast i Uummannaq.

Tabel 4 Middel vindhastigheder for de indsamlede vinddata i 10m ved Uummanaq

	2008		2009		2010		2011		Total	
	ws	Avb	ws	Avb	ws	Avb	ws	Avb	ws	Avb
	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%
Jan	NoN	0	5,43	100	5,7	100	9,3	100	6,8*	82
Feb	NoN	0	5,0	100	7,7	100	7,5	100	6,7*	86
mar	NoN	0	3,3	100	3,5	100	6,9	100	4,5*	84
Apr	NoN	0	2,6	100	3,2	100	3,3	100	3,0*	79
Mai	NoN	0	4,1	100	4,1	100	5,4	100	4,5*	52
Jun	NoN	0	3,4	100	3,2	100	4,4	100	3,7*	49
Jul	NoN	0	3,3	100	3,4	100	5,1	100	3,9*	50
Aug	NoN	0	3,7	100	3,3	100	3,9	100	3,6*	48
Sep	NoN	0	5,4	100	4,9	100	7,1	100	5,8*	79
Oct	NoN	0	6,3	100	5,0	94	7,1	100	6,0*	69
Nov	NoN	0	4,8	100	8,7	100	7,7	70	7,0*	62
Dec	6,5	16	7,4	100	8,9	100	NoN	0	8,2*	43
Total	NoN	1,2	4,6	100	5,3	99,4	NoN	100	5,3*	65,2

Som det fremgår af Tabel 4 er vindhastighederne, særligt i sommermånederne, ikke særlig høje og de varierer meget fra år til år. Masten placering tæt på det høje Uummanaqfjeld er ikke optimal, som det fremgår af Figur 27, men der kan være potentiale for at udnytte vindressurserne til energiproduktion. For at verificere om det er rentabelt at udnytte vindressurserne kræves der målinger i større højde og tættere på byen. Det vurderes at området ved byens mellembølgesender vil være oplagt til vindkraft. Om det er muligt at anvende den eksisterende mast eller om der må opstilles en ny er endnu uvist, men det er noget der bør undersøges.



Figur 27 Vind rose for Uummanaq

Indenfor det kommende år skal der tages stilling til om der fortsat skal satses på vindkraft i Uummanaq og om en egentlig målekampagne skal indledes. Inden en målekampagne indledes skal der laves en numerisk flowmodel for området, byens nuværende og forventede energiforbrug skal kortlægges for at klarlægge hvilke målinger der skal foretages og i hvilken højde.

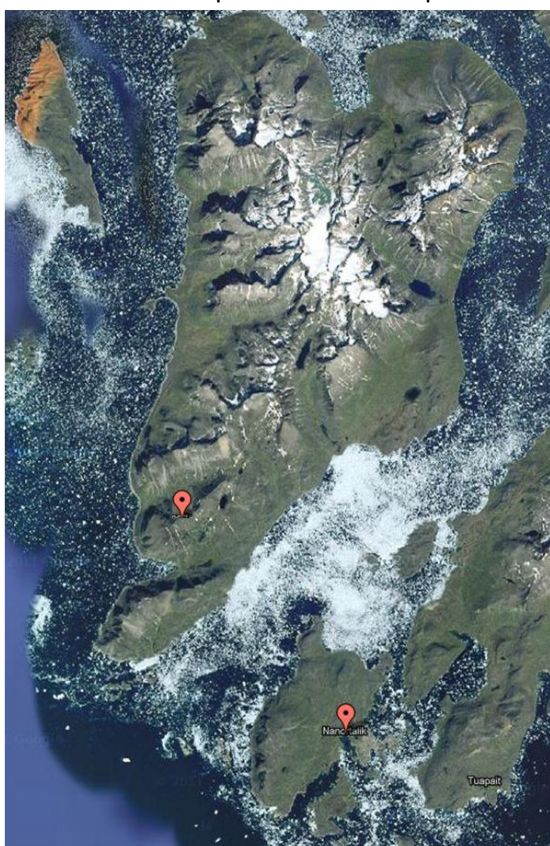
---

## Overisningsproblemer på vindmøller i Grønland

*G - Overisningsrisici studeres ift. hyppighed og omfang, med henblik på at bestemme mulige løsninger for at imødegå problemstillingen.*

### Syd Grønland

Kujalleq kommune har støttet planerne om et samarbejde med Tele Grønland. I løbet af sommeren har en gruppe studerende været i Nanortalik for at studere vinden og vurdere problemet med overisning, samt set på energibehovet i byen. Gruppen tilbragte 2 uger i byen og i denne periode blev der installeret is målere og fugtfølere. Derudover blev der rejst en meteorologisk mast på en af Tele Grønlands stationer, kaldet TREF i Sermersooq som er en ø tæt på Nanortalik. De to målestationer kan ses på Figur 28.



Figur 28 Placeringen af målestationer.

### Nanortalik

I Nanortalik har der været et fireårigt vindpotentiale projekt udført af Kjeller Vindteknik siden juni 2009. Data opsamlingen blev stoppet i juni 2011. Det var muligt at få adgang til den 50 meter høje meteorologiske mast og overtage målesystemet. Da der ikke var is- og fugtfølere på masten, blev disse installeret sammen med en ny datalogger under vores ophold.





Figur 29 Placering af meteorologisk mast i Nanortalik



Figur 30 Installerede følere i Nanortalik

## TREF – telekommunikationsstation (60°12'55" N, 45°22'04" W)

TREF er beliggende på Sermersooq , ca. 900 m over havets overflade. En del af de instrumenter er blevet transporteret derop ved hjælp af Tele Grønland med helikopter, mens værktøj og lignede er blevet båret derop af de studerende til fods. Følgende udstyr er blevet installeret på et 4 m højt tårn.

- Risø vindmåler
- NRG vindfane
- NRG fugtføler
- NRG temperaturføler
- HoloOptics T44 is hastighedsmåler



Figur 31 Færdig installation.

### Icing

Til isning er et meget almindeligt problem i kolde klimaet. På steder hvor temperature er under 0 °C og der samtidig er et fugtig miljø i en stor del af året, er overisning et væsentligt problem for holdbarheden og ydelsen af en vindmølle. Ydelsen af en tilset vindmølle forringes hurtigt som isen akkumuleres. Derudover kan is på vingerne give u hensigtsmæssige vibrationer. Risiko for nedfalden is er også en stor fare for de mennesker der opholder sig tæt på vindmøllen.

Formålet med dette års projekt er at etablere muligheder for i fremtiden at studere is udviklingen og problemet med overisning. Kjeller Vindteknik har tidligere undersøgt is problematikken i Nanortalik. Her blev det antaget at der forekom en is periode når 5 eller flere på hinanden følgende vindretningers målinger med et tidsskridt på 10 minutter var identiske og temperaturen var under 3 °C. Hvis målingerne er identiske betyder det at skovlene på vindmåleren er iset til og at de ikke er i stand til at bevæge sig. Andre undersøgelser viser [3], at disse antagelser undervurdere overisningen perioden, fordi det tager tid at på opbygge isen på skovlene, og det tager tid for isen at smelte igen, og selv en lille mængde is kan føre til forkerte målinger. På baggrund af resultaterne indsamlet af Kjeller Vindteknik og de nye instrumenter i både Nanortalik og TREF, vil det være muligt at vurdere omfanget af overisning i de følgende år.

---

## Varmepumper i Grønland

*H - Ydelsen og effekten af en luft/vand varmepumpe installeret i Sisimiut måles og beregnes. Der afholdes et varmepumpe-installationskursus for lokale VVS-folk.*

Da der har i de seneste par år har vist sig større og større interesse for varmepumper fra private og erhvervsdrivende i Grønland, blev det besluttet at opstille et forsøgsanlæg i Sisimiut. Hensigten var at indhente viden om ydelse, installation og driftsbetingelser for et anlæg installeret i Grønland.

Forsøgsanlægget består af en Danfossvarmepumpe der blev installeret i august 2011 på Geus Lade i Sisimiut. Varmepumpen er en luft-til-væske varmepumpe, som er tilsluttet hhv. et areal med gulvvarme og et radiatoranlæg samt varmt brugsvand, Figur 32.



Figur 32 Installation af varmepumpe, samt tilslutning til radiatorkreds.

Der har været stor interesse fra lokale VVS'ere og elektrikere om varmepumpe teknologien. De har - såvel som en del af de øvrige Sisimiut borgere - fulgt installationen og erfaringerne herfra. En stor del af disse erfaringer har været, at der har været mange tekniske usædvanlige og uventede nedbrud. Der er indtil videre målt en meget dårlig driftsøkonomi pga. ovennævnte nedbrud.

---

## Perspektiv og konklusioner

### Solenergi

Forskningen og udviklingen indenfor solstråling og solenergi både med hensyn til den termiske solenergi og elektriske solenergi har med Projektet Fyrtårn V givet gode resultater.

Der er blevet gennemført en forbedring af de eksisterende matematiske modeller, og giver i fremtiden mulighed for at øge nøjagtigheden af undersøgelser hvor beregninger med solstråling er en nødvendighed. Det anbefales i denne sammenhæng at målingerne fortsættes, samt udvides til at inkludere målinger af den diffuse stråling ved andre positioner inklusiv på østkysten.

Undersøgelsen af 3 eksisterende solvarmeanlæg i Sisimiut har vist at der både er mulighed for videre udvikling og optimering af anlæggene.

Lavenergihusets anlæg er blevet udbygget med en buffer tank for at kunne optagere mere af energien fra solen og samtidig er det blevet forbundet med rumopvarmningskredsen. De ny ændre er blevet fortaget da det efter de først års drift viste sig at der var et overskud af varme fra solen som brugerne ikke havde mulighed for at udnytte med det oprindelige design af anlægget. Fortsat måling og analyse af anlægget vil være hensigtsmæssigt, samt at vurdere ydelsen af et kombi-anlæg i Arktisk sammenlignet med et lignende anlæg i installeret i Europa.

Solvarmeanlægget på Knud Rasmussen Højskolen har ved undersøgelse vist at anlægget fungerer efter hensigten, men at fortroligheden med anlægget for skolen ansatte bør forbedres. Endvidere er der påbegyndt en forbedring af målesystemet så det fremover vil være muligt at vurdere ydelsen af vakuumrørsolfangerne, og derved påbegynde undersøgelser og forskning indenfor fritstående vakuumrørsolfangere. Derudover har undersøgelse også vist at dette anlæg har et uudnyttet overskud af solvarme. Derfor har skolen planlagt en ombygning af energisystemet på skolen så mere energi kan optages fra solvarmeanlægget. Det anbefales fortsat at måle på anlægget, og følge udviklingen og ombygningen på skolen så det sikres at ydelsen fra anlægget udnyttes optimalt.

Ingeniør kollegiet Apisseq er stadig i det første stadier hvor målesystem og placering af energimåler har været undersøgte. Fremtidige målinger vil vise om anlægget lever op til forventninger, og om det vil være muligt at forbedre ydelsen, ved f.eks. at ændre i designet eller styringen.

På baggrund de mange undersøgelser og studier der er gjort indenfor emnet 'Solvarme i Grønland' er der udarbejdet informationsmateriale der henvender sig til alle interesserede, med henblik på at styrke udnyttelsen af solvarme i Grønland.

Indenfor elektriske solenergi er der blevet opført et demonstrationsanlæg med 9 solcelle paneler tilsluttet en 48v batteribank. Udover at producere elektricitet er det også installeret med varmegenindvinding så anlægget også har mulighed for at bidrage med energi til brusvandsopvarmningen. Beregninger viser at det kan forventes at anlægget producere 360 kWh pr. år, og i fremtiden vil der blive fulgt op på målingerne. Derudover vil det i fremtiden være nødvendigt at man på højere niveau tager stilling til hvorvidt det skal være tilladt at tilslutte et solcelleanlæg til det offentlige elnet og benyttet det til lagring.

### Vindenergi

I Nanortalik er der de seneste 4 år hentet vindmålinger fra en 50 m mast opstillet ved Dumpen. Målingerne har vist at der er potentiale for at udnytte energi i vinden og at det samtidig vil være rentabelt specielt på grund af de stigende energipriser. Målingerne har endvidere vist at der i perioder kan opstå kraftig turbulens og det er derfor vigtigt at tage højde for dette ved valg af mølle og placering.

---

Ligeledes er der opstillet målemaster i Sarfannguit, desværre har målestation her været ramt af flere uheldige forhold, der har resulteret i huller i dataserierne. Det er planlagt at forsøge at forbedre forholdene i Sarfannguit i løbet af 2012. De tilgængelige målinger har vist en middel hastighed på 5,8m/s domineret af lokale vinde. Der har været gennemført flere studenter projekter, der har undersøgt mulighed for at anvende vindkraften i kombination med 'pump storage' i Sarfannguit, men det vil kræve yderligere undersøgelser at vurdere den økonomiske rentabilitet af et sådan projekt.

Desværre har også målestationen der er opstillet i Itilleq været ramt af uheldige forhold, hvilket har gjort det umuligt at analysere vindforholdene i bygden. Artek har forsøgt at indlede et samarbejde, så det igen vil være muligt at hente data fra bygden. Hvis der er opbakning fra bygden er hensigten at renovere stationen i sommeren 2012.

Målemaster der blev opstillet i slutningen 2008 i Uummannaq har vist sig ikke at den mest hensigtsmæssige placering. Målingerne er meget påvirkede af fjeldet der ligger nordvest for masten, og det vil være nødvendigt at rejse en højere mast tættere på byen for at kunne vurdere potentialet for udnyttelse af vindkraft i Uummannaq.

Ydelsen af en vindmølle der er ramt af overisning falder drastisk, der er derfor påbegyndt målinger med issensorer samt målinger af luftfugtigheden. Oplysningerne vil i fremtiden kunne fastlægge om tidligere antagelser omkring hvornår overisning kunne siges at være indtruffet er korrekte eller om det er nødvendigt at opstille andre metoder. Derudover vil problemer med overisning også blive klarlagt rent generelt, i form af hvor store perioder ydelsen af en vindmølle vil være reduceret på grund af overisning.

### **Varmepumpe**

Trods en svær start ved installation af Danfoss varmpumpen i Geus Lade i Sisimiut bliver det spændende i fremtiden at følge ydelsen for anlægget. Den store interesse for varmpumper og efterspørgsel på anbefalinger og viden fra lokale forbrugere og installatører gør det væsentligt at fortsætte forskningen og udviklingen af varmpumper egnet til Arktiske egne.

---

## Referencer

### **Litteratur**

1. Ulbjerg F., (2011) 'I driftsætning Ingeniørkollegiet, Apisseq i Sisimiut', Teknisk rapport fra Rambøll.
2. Kjeller Vindteknik AS., (2011). "Analysis of wind measurements." Technical Report
3. Laakso T., Baring-Gould, I., Durstewitz, M., Horbaty, R., Lacroix, A., Peltola, E., Ronsten, G., Tallhaug, L. and Wallenius, T. (2010). "State-of-the-art of wind energy in cold climate." VTT Technical Research Centre of Finland

### **Biografier**

Byrkjedal, Ø. (2008). *A preliminary analysis of the wind measurements*. Nanortalik: Kjeller Vindteknikk AS.

Olsen, K. L. (2010). *Fast data acquisition from wind in Greenland*. Saqrfannguit: Artek DTU.

Risberg, T. (2009). *A preliminary analysis of the wind measurements – rev 1*. Nanortalik: Kjeller Vindteknikk AS.

# Bilag

## Bilag 1

Center for  
ARKTISK TEKNOLOGI



### Solvarme ved høje breddegrader

Solvarme kan med fordel anvendes ved høje breddegrader, men det er nødvendigt at være opmærksom på klimaet og forholdene for at drage nytte af solens stråler.

#### Solstråling

Energi fra solen er en ren og naturlig energiform. Solindfaldet er så stort - også i Grønland - at der er mulighed for at udnytte solenergi i stort omfang.

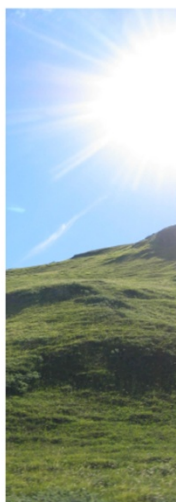
#### Global stråling

Årlig solstråling på en vandret flade målt i Uummannaq, Sisimiut, Nuuk og København.

Uummannaq <sup>1</sup>	Sisimiut	Nuuk <sup>1</sup>	København
926 kWh/m <sup>2</sup>	822 kWh/m <sup>2</sup>	900 kWh/m <sup>2</sup>	1018 kWh/m <sup>2</sup>

Solvarmeanlæg i Grønland kan drage nytte af flere forhold der kan gøre det mere attraktivt med solvarmeanlæg i Grønland end i Danmark.

- I sommerperioden hvor der er meget sol er der samtidig et rumopvarmnings-behov.
- Temperaturen af det kolde brugsvand der tilføres boliger er lavere i Grønland end i Danmark, hvilket hæver effektiviteten af solfangerne samt øger driftstiden.
- Den højere breddegrad hæver solfanger-effektiviteten på grund af en større solfangerhældning.
- Derudover er der solstråling fra alle retninger.



<sup>1</sup> Oplysning fra ASIAQ

#### Placering af solfangerne

Placering af solfangerne er ikke altid den letteste opgave, da mulighederne for orientering og hældning ofte er bestemt af huset de skal monteres på.

Den optimale hældning på en plan solfanger i Grønland er mellem 55°-60° og for en vakuumrørsolfanger er den optimale hældning omkring 70°. Orientering af solfangerne bør være mod syd, dvs. med en orientering på 0°.

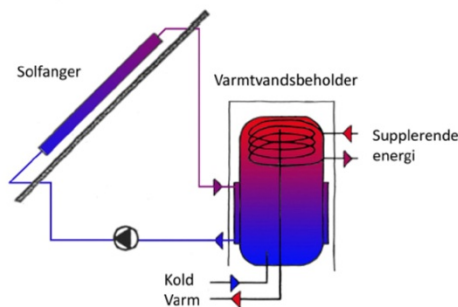
På figuren nederst på siden er vist den relative ydelse i forhold til ydelsen for den mest optimale placering, dvs. en orientering på 0° og hældning på 60°.

Hvis en solfanger placeres med den optimale orientering på 0°, bør afvigelsen fra den optimale hældning ikke overstige ± 30°. Hvis samtidig det viser sig at være nødvendigt at afvige fra den optimale orientering på 0°, bør det undersøges om det er muligt at ændre hældningen af solfangerne så de står mere optimalt og derved kan bringe ydelsen op. F.eks. ved at løfte solfangerne fra taget så de i stedet for at have en hældning på 30° kan placeres med en hældning på 50°.

Hældning fra vandret	Afvigelse fra syd							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	
15°	82	82	81	79	76	73	70	
30°	92	91	89	86	82	77	72	
45°	98	97	95	91	85	79	72	
60°	100	99	96	91	85	78	71	
75°	97	96	93	88	82	75	68	
90°	88	88	85	81	75	69	63	

Baseret på simuleringer af et solvarmeanlæg med plane solfanger for et enfamilieshus placeret i Sisimiut.

#### Solvarmeanlæg



Et solvarmeanlæg består i grove træk af solfangerne, varmtvandsbeholder, pumpe, ekspansionsbeholder og et styresystem, og fungerer ved at pumpe væske gennem solfangeren og hente varmen fra solenstråler og overføre den til varmtvandsbeholderen.

Der findes flere forskellige typer solfangerne, og det er derfor vigtigt at undersøge hvilket behov man har, samt i hvilket omfang solfangeren vil blive påvirket af skygger fra omkring liggende bygninger eller bjerge. Ens for dem alle er at for at opnå en høj ydelse skal de monteres med en hældning på 55°-60°.

Ligeledes findes der forskellige varmtvandsbeholdere på markedet og her er det vigtigt at den har et så lille varmetab som muligt. De største varmetab ses for en varmtvandsbeholder med rørgennemføring igennem toppen af beholderen. Derudover er det vigtigt man finder den rigtige størrelse af varmtvandsbeholderen der passer til familiens behov, og en beholder der har en god opkobling til den supplerende energi til de perioder hvor solen ikke skinner.

Da der kan forekomme strømafbrydelser er det vigtigt at der tages højde for kogning i solfangerne som opstår, når pumpen ikke kører samtidig med at der er sol på solfangeren. Oftest anvendes en ekspansionsbeholder der kan optage volumenudvidelsen af glykolvæsken under stagnation.

#### Dimensionering

Der er udarbejdet flere generelle vejledninger og tommefingerregler til dimensionering af solfangerarealet samt varmtvandsbeholderens størrelse. Her er angivet de mest anvendte:

- 1 m<sup>2</sup> solfanger\* pr. 40 liter varmtvandsforbrug
- 50 liter varmtvandsvolumen pr. m<sup>2</sup> solfangerareal.

\* Her er det vigtigt at notere sig at reglen gælder for plane solfangerne

Anvisninger tager ikke højde for skyggepåvirkninger, og bør kun anvendes som vejledende.

#### Eksempel:

- Brugsvandsanlæg for en familie med 2 voksne og 2 børn.

Et typisk varmtvandsforbrug er omkring 40-60 liter person/dag, hvilket betyder familien forbruger mellem 160-240 liter. Solfangerarealet bør derfor være på 4-6 m<sup>2</sup> forudsat solfangerarealet består af plane solfangerne.

Det betyder at varmtvandsbeholderen bør have et volumen på 200-300 liter.

Udarbejdet på baggrund af PhD studiet 'Solheating in Greenland - Resource assessment and potential'. For yderligere information og litteratur se [www.bvg.dtu.dk](http://www.bvg.dtu.dk)

Center for  
ARKTISK TEKNOLOGI



## Solfangere i det Arktiske

Valg af solfanger til et solvarmeanlæg er et vigtigt trin for at sikre en god ydelse af solvarmeanlægget. Høj ydelse og lille varmetab er de to styrende faktorer for solfangerne. Her beskrives to typer solfanger; Plane solfanger og vakuumrørsolfanger, da det vurderes at være de mest egnede til forholdene i Grønland.

### Plane solfanger



Plane solfanger er de mest anvendte solfanger i Skandinavien, og monteres ofte på taghældningen. I Grønland er det dog nødvendigt at hæve solfangerne fra taget for at opnå en større hældning fra vandret. En solfanger monteret i Grønland bør monteres med en hældning på 55°-60° fra vandret for at sikre en god ydelse.

Da der forekommer strømsvigt i Grønland er det vigtigt af de plane solfangerne kan tømmes i tilfælde af stagnation i solfangerne. Det sikres ved indløb i bunden af solfangeren og udløb i toppen.

Billede fra Lavenergihuset i Sisimiut

### Vakuumrørsolfangere

Vakuumrørsolfangerne har en høj ydelse på grund af et lille varmetab hvilket skyldes vakuumsisoleringen. Derudover kan de udnytte solstråling fra alle retninger på grund af cylinderformen, hvilket gør dem meget velegnede i Grønland hvor solen om sommeren bliver på himlen størstedelen af tiden. Det er vigtigt for vakuumrørsolfangerne at de monteres fritstående så de kan modtage solstråling fra alle sider, og bør ikke monteres med en hældning mindre end 70° fra vandret.



Billede fra Knud Rasmussen Højskole i Sisimiut

Datablad for en BA30 solfanger:

Datablad for solfanger	
Model	BA30
Producent	SOLAR KEYMARK A/S
Arealet af én solfanger:	3,000 m <sup>2</sup>
Starteffektivitet:	0,772 -
1. ordens varmetabskoeff.:	3,360 W/(m <sup>2</sup> K)
2. ordens varmetabskoeff.:	0,0150 W/(m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> )
Vinkelafhængighed	0,93 -
Nominal effekt:	1,973 kW
Nominal årlig besparelse:	1,562 MWh/år
Nom. årlig CO <sub>2</sub> -besp.:	0,328 ton/år
Max. temp. solfanger:	191 °C

Målingerne til bestemmelse af effektivitetsudtrykket for solfangerene er foretaget ved små indfaldsvinkler, når solen står direkte ind på solfangeren. Det er derfor nødvendigt at korrigere ved højere indfaldsvinkler da det påvirker ydelsen af solfangeren.

Korrektionsfaktoren er givet ved:

$$k_{\theta} = 1 - \tan^a \left( \frac{\theta}{2} \right)$$

$k_{\theta}$  = Indfaldsvinkelkorrektionsfaktor (vinkelafhængighed)

$a$  = Potensen til indfaldsvinkelkorrektionsfaktoren

$\theta$  = Indfaldsvinkel

Eksempelvis er korrektionsfaktoren ved indfaldsvinkel = 50° givet for BA30, og derved fås:

$$0,93 = 1 - \tan^a \left( \frac{50}{2} \right) \Rightarrow a = 3,49$$

Det er nu muligt at beregne korrektionsfaktoren for større indfaldsvinkler via:

$$k_{\theta} = 1 - \tan^{3,49} \left( \frac{\theta}{2} \right)$$

### Solfangereffektivitet plane solfanger

Effektivitetsudtrykket for en plan solfanger er fundet på baggrund af målinger under stabile forhold ved mindst 4 forskellige indløbstemperaturer.

Effektivitetsudtrykket for en plan solfanger er givet ved:

$$\eta = \eta_0 \cdot k_{\theta} - a_1 \frac{(T_m - T_a)}{G} - a_2 \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

Hvor

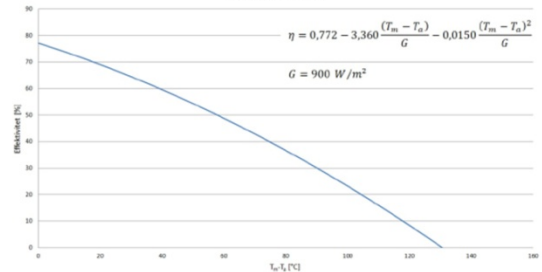
$\eta_0$ = Starteffektivitet	$T_m$ = Middel væske temperatur, °C
$k_{\theta}$ = Indfaldsvinkelkorrektionsfaktor	$T_a$ = Udelufttemperatur, °C
$a_1 = 1.$ ordens varmetabskoefficient	$G$ = Solbestrålingsstyrke, W/m <sup>2</sup>
$a_2 = 2.$ ordens varmetabskoefficient	

For at sikre en god ydelse af et solvarmeanlæg er det vigtigt at vælge en solfanger med en høj starteffektivitet og med lave varmetabskoefficienter.

Til højre ses datablade for en BA30 solfanger hvor de væsentlige parametre er fremhævet.

På baggrund af parametrene er effektivitetsudtrykket angivet nedenfor sammen med afbildningen af effektivitetsafhængighed af en forøgelse af temperaturen.

Effektivitet for BA30

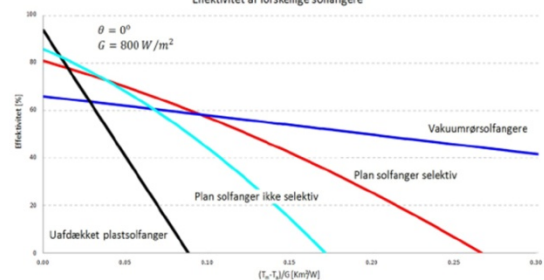


Det kan ses på grafen at ydelsen af solfangeren falder ved stigende temperatur, hvilket skyldes et større varmetab ved højere temperatur.

### Effektivitet af forskellige solfanger

Nedenfor er vist ydelsen af forskellige solfanger. Her kan det ses at en solfanger som ikke er afdækket (sort kurve) har en høj ydelse når varmetabet er lille, men hurtigt mister ydelsen når temperaturen stiger. En plan solfanger uden selektiv overflade (turkis kurve) er bedre til at modstå varmetabet, endnu bedre er en solfanger med en selektiv overflade (rød kurve). Vakuumrørsolfangeren har en lavere start effektivitet end de plane solfanger, men har på grund af det lave varmetab en bedre ydelse ved høje temperaturer.

Effektivitet af forskellige solfanger



### Godkendte solfanger KSO

Solfangerne godkendes ved Solar Keymark Certificat eller på baggrund af prøvning ved anerkendt testinstitut i henhold til den europæiske standard EN12975.

Se godkendte solfanger:

<http://www.solarkey.dk/god-solvarme/solfangere/solfangerkomponenter.htm>

Udarbejdet på baggrund af PhD studiet 'Solheating in Greenland – Resource assessment and potential'. For yderligere information og litteratur se [www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk)



## Varmtvandsbeholdere i solvarmeanlæg

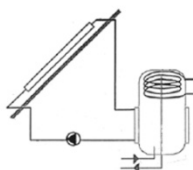
Varmtvandsbeholderen i et solvarmeanlæg har stor indflydelse på ydelsen af et anlæg. Princippet for varmtvandsbeholderen er beskrevet her, sammen med anbefalinger.

### Typer

Der findes flere forskellige typer varmtvandsbeholdere til solvarmeanlæg. Forskellen mellem beholderne henvender sig ofte til hvordan varmen fra solfangerne overføres til varmtvandsbeholderen. De mest anvendte varmtvandsbeholdere ved nordlige breddegrader er kappebeholdere, spiralbeholdere og beholdere med ekstern varmeoverførsel.

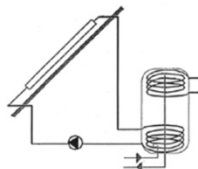
### Kappebeholder

En kappebeholder overfører varmen fra solfangerene via en kappe der omkræder den nederste del af varmtvandsbeholderen. Varmen vil blive leveret til beholderen i det rette niveau og derved opnås en god lagdeling i beholderen.



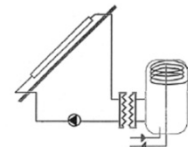
### Spiralbeholder

En spiralbeholder overfører varmen fra solfangerene via en spiral i den nederste del af varmtvandsbeholderen. Det kan være svært at opnå en god lagdeling.



### Beholder med ekstern varmeoverførsel

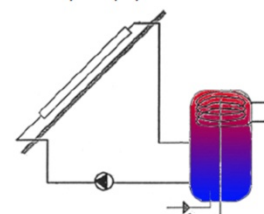
En beholder med ekstern varmeveksler er hvor varmen fra solfangerene overføres til varmtvandsbeholderen via en extern varmeveksler. Det kan være svært at opnå en god lagdeling da varmen ofte tilføres beholderen samme sted uanset temperaturen.



I perioder uden sol er det nødvendigt at kunne opvarme varmtvandsbeholderen via supplerende energi fra oliefyret. Varmen fra oliefyret overføres til varmtvandsbeholderen gennem spiralen i toppen af beholderen.

### Lagdeling i beholderen

Lagdeling i varmtvandsbeholder betyder at det varmeste vand er i toppen og det er koldtest i bunden. En god lagdeling i varmtvandsbeholderen er vigtig da det har stor indflydelse på ydelsen af solvarmeanlægget.



En høj temperatur i toppen af beholderen sørger for at dække brugerens behov samt, reducere brugen af supplerende energi

En lav temperatur i bunden af beholderen hæver effektiviteten af solfangerne samt øger driftstiden.

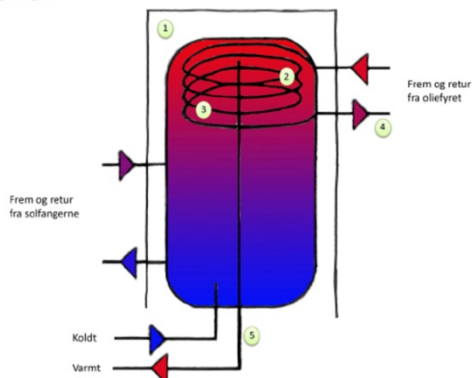
### Skabes ved:

- En fornuftig og hensigtsmæssig varmetilførsel til beholderen hvor opblanding undgås.
- Tapning fra beholder ligeledes sker hensigtsmæssigt uden opblanding.
- Koldt vand tilføres beholderen gennem koldtandsindløbet i perioder uden varmetilførsel.

### Nedbrydes ved:

- Varmtab gennem beholderens top, f.eks. på grund af rørgennemføringer.
- Varmetilførsel nedefra i beholderen.

### Anbefalinger



1. Det er vigtigt at beholderen er isoleret tilstrækkeligt. 3-4 cm PUR-skum er tilstrækkeligt. Vigtigst er isolering på toppen og på siderne af beholderen.
2. Det supplerende volumen er det volumen der altid er opvarmet til minimum setpunkt temperaturen (ofte 50 °C). Derved sikres at brugerne altid kan få varmt vand. Dette volumen bør være så lille som muligt.
3. Setpunkt temperaturen styrer hvorvidt der er behov for den supplerende energi. Hvis temperaturen falder under setpunkt temperaturen vil der blive tilført energi fra oliefyret til temperaturen i det supplerende volumen er over setpunkt temperaturen. Setpunkt temperaturen af det supplerende volumen bør hverken være for høj på grund af skoldningsrisiko eller for lav på grund af bakteriedannelsesrisiko. Ofte vil en setpunkt temperatur på 50 °C være tilfredsstillende.
4. Spiralen i toppen af beholderen bør være tilpasset kedelstørrelsen.
5. Beholderen bør være uden gennemføringer i toppen da det giver et stort varmetab. Derfor bør tapning af varmt vand fra beholderen enten ske gennem et tykvægget plastrør der løber fra top til bund af beholderen eller gennem siden på beholderen.

### Designregler for varmeoverførsel fra solfangerne

#### Kappebeholder

- For optimal udnyttelse af kappen bør styresystemets temperaturføler placeres i bunden af kappen.
- Kappebeholdere er velegnede op til 1000 liter.

#### Spiralbeholder

- For hver m<sup>2</sup> solfanger skal der være 2 m spiral til at overføre varme til beholderen.
- Styresystemets temperaturføler bør placeres i beholderen ud for den nederste del af varmevekslerspiralen.

#### Beholder med ekstern varmeoverførsel

- Ved en ekstern varme veksler er det vigtigt at den har en varmeoverførselssevne på min 50 W/K pr. m<sup>2</sup> solfanger.

Udarbejdet på baggrund af PhD studiet 'Solheating in Greenland – Resource assessment and potential'. For yderligere information og litteratur se [www.bvg.dtu.dk](http://www.bvg.dtu.dk)

## Bilag 2

### Sarfanguaq

Site 1 in Sarfanguaq is located on a hill top south of the village (blue flag). Site 2 (Green marker) is located 500m southeast of site 1. Both sites are located inside the high resolution map of the village (DTM 5x5, ½m height curves). The installation at site 1 was updated with external power supply and doublet instruments in august 2010. Near site 1 a small 6kW Proven wind turbine is installed for test purpose.



#### Site info

Station	Coordinate	Elevation m.a.s.l.	Start data	End data
Sarfanguaq site 1	N66° 53.716 W052° 51.977	82	01.08.2003	Still active
	X 418286 Y 7420929			

#### Data online

Time series	Parameter	Type	Logging interval	Height [m]	Measuring period
ws10	Wind speed	10 min. mean	10 min.	10	01.08.2003-06.05.2010
wd10	Wind direction	10 min. mean	10 min.	10	01.08.2003-06.05.2010
t10	Air temperature	10 min. mean	10 min.	3	01.08.2003-
Pres	Air pressure	10 min. mean	10 min.	10	01.08.2003-
pyr	Solar radiation	10 min. mean	10 min.	10	01.08.2003-
rhum	Relative humidity	10 min. mean	10 min.	3	01.08.2003-
ws10w	Wind speed	10 min. mean	10 min.	10	01.09.2010-
ws10e	Wind speed	10 min. mean	10 min.	10	01.09.2010-
wd10n	Wind direction	10 min. mean	10 min.	10	01.09.2010-
wd10s	Wind direction	10 min. mean	10 min.	10	01.09.2010-

---

Raw data

Time series	Parameter	Type	Logging interval	Height [m]	Measuring period
CH1AVG	Wind speed east	10 min. mean	10 min.	10	01.08.2003-
CH1SD	Wind speed east	10 min. std.	10 min.	10	01.08.2003-
CH1Max	Wind speed east	10 min. Max	10 min.	10	01.08.2003-
CH2AVG	Wind speed west	10 min. mean	10 min.	10	01.09.2010-
CH2SD	Wind speed west	10 min. std.	10 min.	10	01.09.2010-
CH2Max	Wind speed west	10 min. Max	10 min.	10	01.09.2010-
CH7AVG	Wind direction north	10 min. mean	10 min.	10	01.08.2003-
CH7SD	Wind direction north	10 min. std.	10 min.	10	01.08.2003-
CH7Max	Wind direction north	10 min. Max	10 min.	10	01.08.2003-
CH8AVG	Wind direction South	10 min. mean	10 min.	10	01.09.2010-
CH8SD	Wind direction South	10 min. std.	10 min.	10	01.09.2010-
CH8Max	Wind direction South	10 min. Max	10 min.	10	01.09.2010-
CH9AVG	Air temperature	10 min. mean	10 min.	2	01.08.2003-
CH9SD	Air temperature	10 min. std.	10 min.	2	01.08.2003-
CH9Max	Air temperature	10 min. Max	10 min.	2	01.08.2003-
CH10AVG	Solar radiation	10 min. mean	10 min.	3	01.08.2003-
CH10SD	Solar radiation	10 min. std.	10 min.	3	01.08.2003-
CH10Max	Solar radiation	10 min. Max	10 min.	3	01.08.2003-
CH10Min	Solar radiation	10 min. Max	10 min.	3	01.08.2003-
CH11AVG	Air pressure	10 min. mean	10 min.	1.5	01.08.2003-
CH11SD	Air pressure	10 min. std.	10 min.	1.5	01.08.2003-
CH11Max	Air pressure	10 min. Max	10 min.	1.5	01.08.2003-
CH11Min	Air pressure	10 min. Max	10 min.	1.5	01.08.2003-
CH12AVG	Relative humidity	10 min. mean	10 min.	1.5	01.08.2003-
CH12SD	Relative humidity	10 min. std.	10 min.	1.5	01.08.2003-
CH12Max	Relative humidity	10 min. Max	10 min.	1.5	01.08.2003-
CH12Min	Relative humidity	10 min. Max	10 min.	1.5	01.08.2003-

Measurement periods

01.08.2003-05.08.2004 Mast put down

15.08.2006-03.08.2007

01.09.2007-01.12.2007

01.01.2008-04.02.2008

12.02.2008-03.03.2008

16.02.2009-05.05.2010 Logger defect

09.09.2010-27.09.2010

01.01.2011-18.04.2011 Data card stolen

08.08.2011-09.09.2011



Figur 33 Sarfanggvaq met. Mast site 1

---

Site info

Station	Coordinate	Elevation m.a.s.l.	Start data	End data
Safannguaq site2	N66° 53.617 W052° 52.580	109	01.09.2010	Still active

Data online

Time series	Parameter	Type	Logging interval	Height [m]	Measuring period
ws11	Wind speed	10 min. mean	10 min.	11.65	01.09.2010-
wd11	Wind direction	10 min. mean	10 min.	11.30	01.09.2010-
Ws8	Wind speed	10 min. mean	10 min.	8.00	01.09.2010-
Ws4	Wind speed	10 min. mean	10 min.	4.00	01.09.2010-
t10	Air temperature	10 min. mean	10 min.	2.3	-
Pres	Air pressure	10 min. mean	10 min.	2.7	-
pyr	Solar radiation	10 min. mean	10 min.	3.0	-
rhum	Relative humidity	10 min. mean	10 min.	2.1	-

Raw data

Time series	Parameter	Type	Logging interval	Height [m]	Measuring period
CH1AVG	Wind speed 11	10 min. mean	10 min.	11.65	01.11.2010-
CH1SD	Wind speed 11	10 min. std.	10 min.	11.65	01.11.2010-
CH1Max	Wind speed 11	10 min. Max	10 min.	11.65	01.11.2010-
CH2AVG	Wind speed 8	10 min. mean	10 min.	8	01.11.2010-
CH2SD	Wind speed 8	10 min. std.	10 min.	8	01.11.2010-
CH2Max	Wind speed 8	10 min. Max	10 min.	8	01.11.2010-
CH3AVG	Wind speed 4	10 min. mean	10 min.	4	01.11.2010-
CH3SD	Wind speed 4	10 min. std.	10 min.	4	01.11.2010-
CH3Max	Wind speed 4	10 min. Max	10 min.	4	01.11.2010-
CH7AVG	Wind direction 11	10 min. mean	10 min.	11.3	01.11.2010-
CH7SD	Wind direction 11	10 min. std.	10 min.	11.3	01.11.2010-
CH7Max	Wind direction 11	10 min. Max	10 min.	11.3	01.11.2010-
CH9AVG	Solar radiation	10 min. mean	10 min.	3	-
CH9SD	Solar radiation	10 min. std.	10 min.	3	-
CH9Max	Solar radiation	10 min. Max	10 min.	3	-
CH9Min	Solar radiation	10 min. Max	10 min.	3	-
CH10AVG	Air pressure	10 min. mean	10 min.	2.7	-
CH10SD	Air pressure	10 min. std.	10 min.	2.7	-
CH10Max	Air pressure	10 min. Max	10 min.	2.7	-
CH10Min	Air pressure	10 min. Max	10 min.	2.7	-
CH11AVG	Air Temperature	10 min. mean	10 min.	2.3	-
CH11SD	Air Temperature	10 min. std.	10 min.	2.3	-
CH11Max	Air Temperature	10 min. Max	10 min.	2.3	-
CH11Min	Air Temperature	10 min. Max	10 min.	2.3	-
CH12AVG	Relative humidity	10 min. mean	10 min.	2.1	-
CH12SD	Relative humidity	10 min. std.	10 min.	2.1	-
CH12Max	Relative humidity	10 min. Max	10 min.	2.1	-
CH12Min	Relative humidity	10 min. Max	10 min.	2.1	-

Measurement periods

19.10.2010-22.01.2011

31.01.2011-11.09.2011

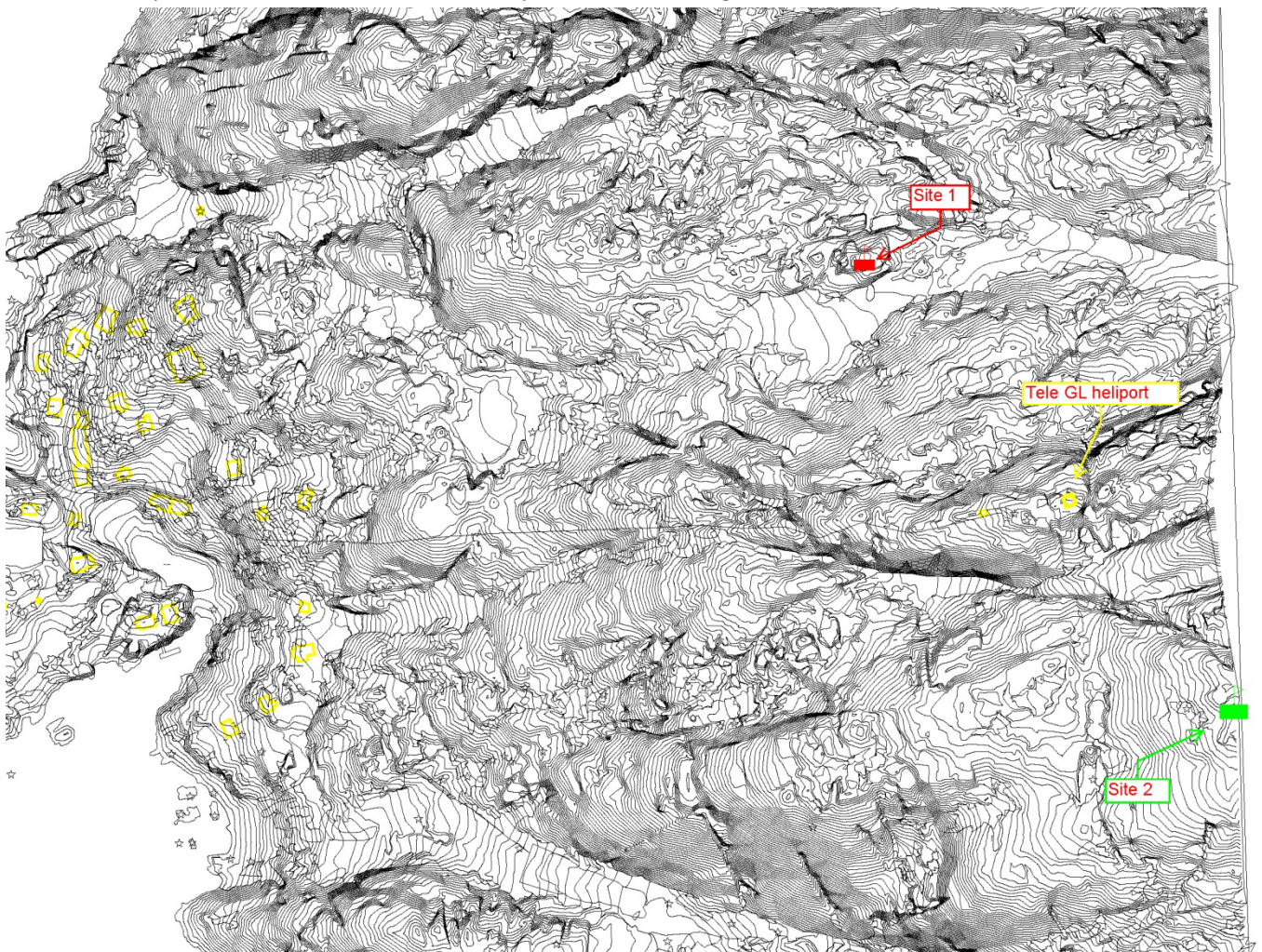
10.10.2011-

### Bilag 3

#### *Itilleq*

Site 1 was located northwest of the village (Red mark). At the evaluation of the first data a blocking of the southern sectors was discover. This blocking had a major influence on the measurements and we decided to move the mast. The mast was moved to site 2 (Green mark) in relation to the yearly maintenance work 20.10.2010. At that time the mast was also equipped with dual instruments.

The new position at the very top of the island the blocking of the inflow will be low. The relatively flat top is estimated to have a low influence at the flow pattern. The high mountains in the area will have a major influence at the flow patterns and thereby at the wind resources distribution. The main wind direction in the area is expected to be east, but local wind patterns can change this.



#### Site 1 info

Station	Coordinate	Elevation m.a.s.l.	Start data	End data
Itilleq site 1	66°34.701N 53°29.191W	52	18.08.2009	20.10.2010

## Data online

Time series	Parameter	Type	Logging interval	Height [m]	Measuring period
ws10	Wind speed	10 min. mean	10 min.	11	18.08.2009-20.10.2010
wd10	Wind direction	10 min. mean	10 min.	10.8	18.08.2009-20.10.2010
t10	Air temperature	10 min. mean	10 min.	2	18.08.2009-20.10.2010

## Raw data

Time series	Parameter	Type	Logging interval	Height [m]	Measuring period
CH1AVG	Wind speed	10 min. mean	10 min.	11	13.10.2006-
CH1SD	Wind speed	10 min. std.	10 min.	11	13.10.2006-
CH1Max	Wind speed	10 min. Max	10 min.	1	13.10.2006-
CH7AVG	Wind direction	10 min. mean	10 min.	10.8	13.10.2006-
CH7SD	Wind direction	10 min. std.	10 min.	10.8	13.10.2006-
CH7Max	Wind direction	10 min. Max	10 min.	10.8	13.10.2006-
CH9AVG	Air temperature	10 min. mean	10 min.	2	13.10.2006-
CH9SD	Air temperature	10 min. std.	10 min.	2	13.10.2006-
CH9Max	Air temperature	10 min. Max	10 min.	2	13.10.2006-

## Site 2 info

Station	Coordinate	Elevation m.a.s.l.	Start data	End data
Itilleq site 2	N66° 34.558 W53° 28.876		20.10.2010	Still active

## Data online

Time series	Parameter	Type	Logging interval	Height [m]	Measuring period
ws10e	Wind speed	10 min. mean	10 min.	10	20.10.2010-
ws10w	Wind speed	10 min. mean	10 min.	10	20.10.2010-
wd10s	Wind direction	10 min. mean	10 min.	10	20.10.2010-
wd10T	Wind direction	10 min. mean	10 min.	11	20.10.2010-
t10	Air temperature	10 min. mean	10 min.	2	20.10.2010-



---

Raw data

Time series	Parameter	Type	Logging interval	Height [m]	Measuring period
CH1AVG	Wind speed	10 min. mean	10 min.	10	20.10.2010-
CH1SD	Wind speed	10 min. std.	10 min.	10	20.10.2010-
CH1Max	Wind speed	10 min. Max	10 min.	10	20.10.2010-
CH2AVG	Wind speed	10 min. mean	10 min.	10	20.10.2010-
CH2SD	Wind speed	10 min. std.	10 min.	10	20.10.2010-
CH2Max	Wind speed	10 min. Max	10 min.	10	20.10.2010-
CH7AVG	Wind direction	10 min. mean	10 min.	10	20.10.2010-
CH7SD	Wind direction	10 min. std.	10 min.	10	20.10.2010-
CH7Max	Wind direction	10 min. Max	10 min.	10	20.10.2010-
CH8AVG	Wind direction	10 min. mean	10 min.	11	20.10.2010-
CH8SD	Wind direction	10 min. std.	10 min.	11	20.10.2010-
CH8Max	Wind direction	10 min. Max	10 min.	11	20.10.2010-
CH9AVG	Air temperature	10 min. mean	10 min.	2	20.10.2010-
CH9SD	Air temperature	10 min. std.	10 min.	2	20.10.2010-
CH9Max	Air temperature	10 min. Max	10 min.	2	20.10.2010-

First data period 20.10.2010-26.03.2011, station vandalized by rifle shot

Second period 10.10.2011-

For more information contact:

Kasper R. Jakobsen

Technical University of Denmark

Kemitorvet, Bygning 204, 257

2800 Kgs. Lyngby, Danmark

Email: [kasja@byg.dtu.dk](mailto:kasja@byg.dtu.dk)

Tel: +45 4525 1846

For access to RAW-data contact:

Kurt S. Hansen

Senior scientist

Email: [ksh@mek.dtu.dk](mailto:ksh@mek.dtu.dk)

DTU Mechanical Engineering

Technical University of Denmark

---

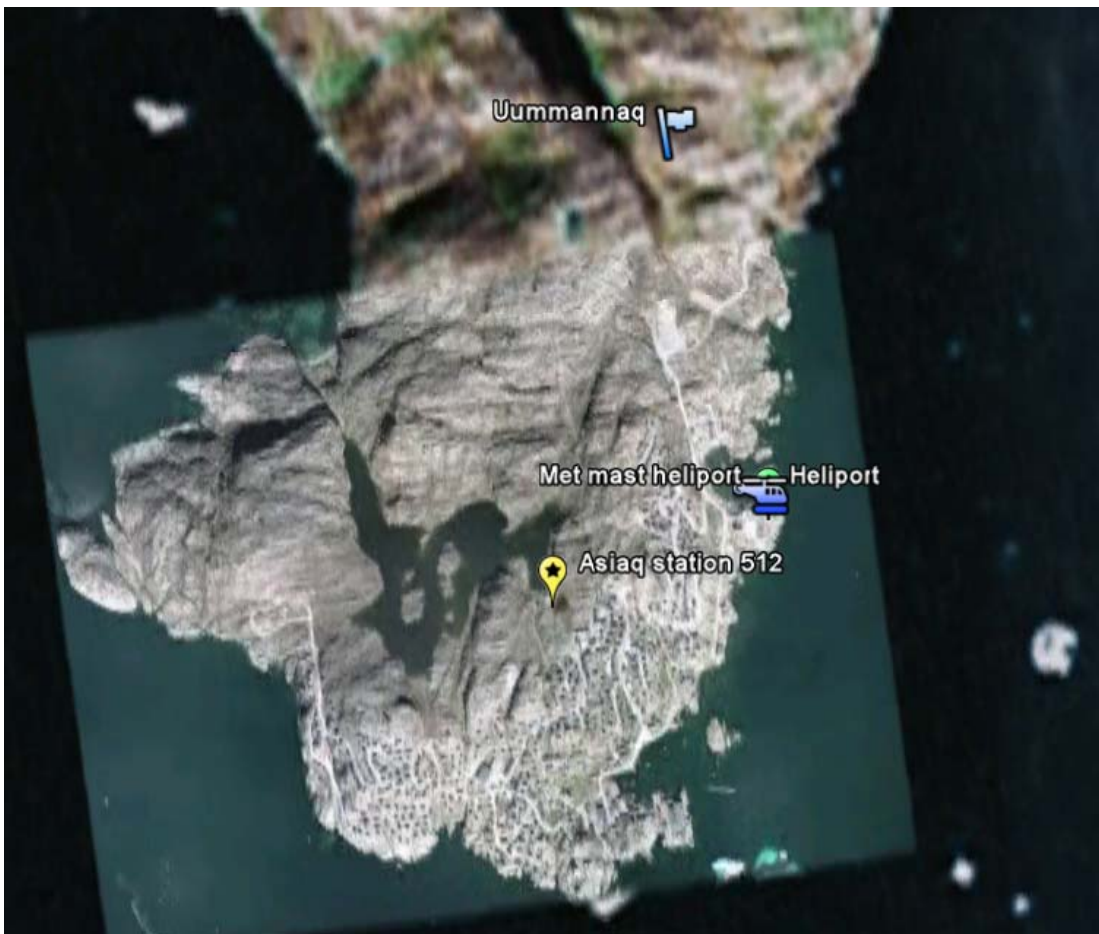
## Bilag 4

### *Uummannaq*

The station is located north of soccer field. The station is relatively good located in the terrain, but the sectors from northwest to north will be blocked by the 1170m high mountain. The distance to the mountain means that we only expect a very small resource from these sectors.

Note! That the wind vane has been out of order in the period 15.05.2010-28.10.2010.

If the measurement activities need to be upgraded the tele communication mast(25-30m high) south of the present site can be used.



#### Site info

Station	Coordinate	Elevation m.a.s.l.	Start data	End data
Uummannaq	N70 41.401 w52 06.983	129.0	07.11.2006	Still active

Data online

Time series	Parameter	Type	Logging interval	Height [m]	Measuring period
ws10	Wind speed	10 min. mean	10 min.	9	13.10.2006-
wd10	Wind direction	10 min. mean	10 min.	10.4	13.10.2006-
t10	Air temperature	10 min. mean	10 min.	3.5	13.10.2006-
ws10E	Wind speed Top	10 min. mean	10 min.	10.4	24.10.2010-
ws10W	Wind speed west	10 min. mean	10 min.	10	24.10.2010-
wd10S	Wind direction south	10 min. mean	10 min.	10	24.10.2010-
wd10T	Wind direction noth	10 min. mean	10 min.	9	24.10.2010-

Raw data

Time series	Parameter	Type	Logging interval	Height [m]	Measuring period
CH1AVG	Wind speed	10 min. mean	10 min.	9	13.10.2006-
CH1SD	Wind speed	10 min. std.	10 min.	9	13.10.2006-
CH1Max	Wind speed	10 min. Max	10 min.	9	13.10.2006-
CH4AVG	Rain	10 min. mean	10 min.	3.5	13.10.2006-
CH4SD	Rain	10 min. std.	10 min.	3.5	13.10.2006-
CH4Max	Rain	10 min. Max	10 min.	3.5	13.10.2006-
CH7AVG	Wind direction	10 min. mean	10 min.	10.4	13.10.2006-
CH7SD	Wind direction	10 min. std.	10 min.	10.4	13.10.2006-
CH7Max	Wind direction	10 min. Max	10 min.	10.4	13.10.2006-
CH9AVG	Air temperature	10 min. mean	10 min.	5	13.10.2006-
CH9SD	Air temperature	10 min. std.	10 min.	5	13.10.2006-
CH9Max	Air temperature	10 min. Max	10 min.	5	13.10.2006-
CH10AVG	Solar radiation	10 min. mean	10 min.	4	13.10.2006-
CH10SD	Solar radiation	10 min. std.	10 min.	4	13.10.2006-
CH10Max	Solar radiation	10 min. Max	10 min.	4	13.10.2006-
CH10Min	Solar radiation	10 min. Max	10 min.	4	13.10.2006-



Fyrtårnsprojekt V er som navnet antyder den 5 del af en række projekter, som udspringer af et samarbejde mellem Nukissiorfiit og Artek DTU. Fokus har hele tiden været på energi og vedvarende energikilder, så som solenergi, vindenergi og vandkraft. Med tiden er fokus udvidet med varmepumpe teknologi.

**DTU Byg**  
**Institut for Byggeri og Anlæg**  
Danmarks Tekniske Universitet

Brovej, Bygning 118  
2800 Kgs. Lyngby  
Tlf. 45 25 17 00

[www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk)

**ISSN 1601-8605**