

# AC-Sun ApS

**Afrapportering EUDP Projekt nr.**

**64009-0223 og nr. 64011-0314**

**Final report**

## **1.1 Project details**

<b>Project title</b>	AC-Sun Solar Powered Air-condition Plant & Development of a bearing system to the sun powered Air conditioner AC-Sun
<b>Project identification (program abbrev. and file)</b>	64009-0223 og 64011-0314
<b>Name of the programme which has funded the project</b>	EUDP
<b>Project managing company/institution (name and address)</b>	Firma: AC-Sun ApS                      Telefon: +45 4132 9838 Adresse: Chr. M. Østergaards Vej 4, 8700 Horsens Projektleder: Mogens Vig Pedersen Telefon: +45 4132 9838 E-mail:.mvp@insero.com
<b>Project partners</b>	Insero, Adresse: Chr. M. Østergaards Vej 4, 8700 Horsens
<b>CVR (central business register)</b>	2920 8166
<b>Date for submission</b>	28/4-2017

## **Indholdsfortegnelse EUDP projekt nr. 64009-0223 og nr. 64011-0314**

	Side
<b>1. Forord</b>	<b>5</b>
<b>2. Resume og konklusion</b>	<b>6</b>
2.1. Resume	6
2.2. Konklusion	8
<b>3. English Version of Foreword, Summary and Conclusion</b>	<b>9</b>
3.1 Foreword	9
3.2 Summary	10
3.3 Conclusion	11
<b>4. Baggrund for EUDP Ansøgning</b>	<b>13</b>
4.1 Forsøg og testresultater	13
4.2 Konklusion af forsøg før EUDP ansøgning	14
<b>5. Anden generations turbine</b>	<b>16</b>
5.1 Beslutning om ny exp turbine	16
5.2 Valg af lejesystem	16
5.2.1 Lejer m keramiske kugler	17
5.2.2 Oliesmurte lejer	18
5.2.3 Magnetiske lejer	18
5.2.4 Glidelejer	19
5.2.5 Gassmurte lejer	19
5.2.6. "Planet gears" lejesystem (Rotrex)	20
5.2.7. Akseltætninger	21

5.2.7.1. Pakdåser (olietætningsringe)	21
5.2.7.2. Labyrinttætninger	22
5.2.7 3. Glidetætning	22
5.2.8. Afbalancering	22
5.2.9. Test af 2. generations turbine	22
<b>6.0 Tredje Generation af turbiner</b>	<b>22</b>
6.1 Forsøg og test af ny prototype.	25
6.1.2 Testkørsel	26
6.2. Dokumenterede test på Teknologisk Institut	28
6.3. Egne målinger af ydelse	28
6.4 Analyse af test 3/10 til 4/10 – 2012	29
6.5 Del konklusion af hidtil opnåede resultater	29
<b>7. Beregning og design af øvrige komponenter</b>	<b>30</b>
7.1. Kondensatorer	30
7.2. Beregning af rørdimensioner	31
7.3. Fordampere / Kølere	31
7.4. Styring	33
7.5. Kondensatpumpe	33
<b>8.0 Økonomisk sammenligning og kalkuleret produktionspris</b>	<b>34</b>
8.1. Økonomisk sammenligning	34
8.2 Kalkuleret produktionspris	40
<b>9.0 Markedsundersøgelser og mediekontakt</b>	<b>40</b>
9.1 Spanien gennem DK Ambassade	40
9.2. CBS Bachelor markedsundersøgelse i Spanien	44
9.3 Medie kontakt	44
<b>10.0 Markedsføring</b>	<b>44</b>

10.1. Kontakt til Danske Ambassader m.m. i udlandet	44
10.2. Artikler i fagblade m.m.	44
<b>11. Vurdering af Miljøpåvirkninger</b>	<b>45</b>
<b>12. Patentering</b>	<b>45</b>

## 1. Forord

Denne rapport gengiver resultaterne af 2 EUDP projekter nr. 64009-0223 og nr. 64011-0314 vedrørende tilskud til udvikling af en proces for køling baseret på varmeenergi – specielt solenergi for Air Condition anlæg.

Rapporten er udarbejdet på grundlag af beregninger, udvikling, fremstilling, målinger og test udført af forskellige medarbejdere i AC-Sun ApS. i perioden fra primo 2010 til ultimo 2016. En række andre personer og virksomheder har direkte eller indirekte medvirket.

AC-Sun ApS takker for den hjælp, der er modtaget.

Målinger m.m. er udført i lokaler tilknyttet VIA University i Horsens, som vi skylder en varm tak for lån af værkstedsfaciliteter m.m.

AC-Sun ApS har i perioden haft tilknytning til adskillige uddannelses institutioner hvor elever har udført et stort arbejde med markedsundersøgelser i Spanien, Sydamerika og Indien, ligesom AC-Sun ApS har haft kontakt til Udenrigsministeriets Ambassader i Spanien, Chile og Japan, der har været til stor hjælp i markedsundersøgelser, firmakontakter m.v.

Projektet har til formål at udvikle et energivenligt kølesystem baseret på spildvarme eller solenergi specielt til anvendelse i luftkonditioneringsanlæg. Af hensyn til klimaet er anlægget bygget på en sådan måde at der som proceskølemiddel anvendes vand.

Væsentlige afledte effekter:

- ❖ Det er bevist at processen virker.
- ❖ Det er bevist at køleanlægget har det beregnede lave primære energiforbrug, som det var forudset

- ❖ Gennem langtidstest er der fremkommet problemer med lejesystemet i turbinerne. Det fremgår af rapporten, hvilke realiserbare løsningsmuligheder der foreligger.
- ❖ Køleydelsen er ikke helt på højde med de beregnede værdier. Der skal foretages en korrektion af kompressorens udførelse.
- ❖ Gennem markedsundersøgelser fremgår det tydelig at behovet for klimavenlige luftkonditionerings anlæg er enormt. Det totale årlige marked ville være i størrelsesordenen ca. 14 milliarder US \$.

AC-Sun ApS takker specielt Insero og Capnova for økonomisk bistand og praktisk hjælp under arbejdet med projektet.

Horsens den 17. april 2017

Gunnar Minds, Mogens Vig Pedersen Bo Rhein-Knudsen

## 2. Resume og konklusion

### 2.1 Resume.

Det var forudsætningerne at AC-Sun ApS, ville udvikle og markedsføre et koncept med køling baseret på spildvarme eller varme fra solpaneler. Solpaneler som typisk udvikler en temperatur på ca. 80 til 90 C, har hidtil vist sig at have den laveste pris for udnyttelse af solens varmeenergi. Se Afsnit 8.

Processen skulle være miljøvenlig og være baseret på anvendelse af en ekspander der driver en kompressor på samme aksel. Termodynamiske beregninger, havde vist at denne løsning ville give den største udnyttelse af den tilførte energi ved omsætning til køling. Andre kendte processer, som f.eks. absorption ville have en meget dårligere udnyttelse af varmeenergien omsat til køling.

Efter omfattende undersøgelser og vurderinger foretaget af AC-Sun ApS, og konsulentfirmaet ConceptsNrec i USA (design oplæg: Bilag 1) blev det besluttet at få fremstillet en prototype af anlægget for test. Resultaterne af denne test m.v. fremgår af afsnit 4. baggrund for EUDP ansøgning.

Det hidtidige arbejde var til dels gennemført med stifternes egne penge, samt et mindre tilskud fra Miljøstyrelsen og Østjysk Innovation.

De hidtidige forsøg og arbejde med den første prototype havde afsløret en del problemer, som ikke umiddelbart lod sig løse med de til rådighed stående midler.

Det blev herefter besluttet at søge ny kapital og en udvidelse af medejerstaben ved et samarbejde med Foreningen Energi Horsens (Det nuværende Insero) og søge nye midler gennem ansøgning til EUDP.

EUDP ansøgningen, havde som udgangspunkt flere potentielle interessenter, som havde indvilget i at medvirke ved test af et funktionsdygtigt anlæg. Da det i første omgang ikke lykkedes for AC-Sun ApS, at bringe anlægget i tilstrækkelig funktionsdygtig stand, blev EUDP projektet i samråd med Energistyrelsen ændret til et rent udviklingsprojekt, hvor formålet var at udvikle og teste et funktionsdygtigt anlæg for senere at gøre det produktionsmodent og bringe det på markedet.

Det blev besluttet at få fremstillet en ny prototype af turbinerne, baseret på et nyt lejesystem (bilag 2), der var udviklet af Turboekspander leverandøren til biler "Rotrex" i Valby. Andre lejeløsninger blev forsøgt, men Rotrex lejesystemet viste sig at være det mest robuste, selvom det i starten viste sig at være for energikrævende til opgaven. For høje mekaniske tab.

I forbindelse med søgning efter det bedste lejesystem havde vi konsulteret: "Lloyds Register ODS, Titangade 15, 2200 Copenhagen, Denmark.", som bl.a. hjalp med søgning efter en løsning med magnetiske lejesystemer.

Det lykkedes ikke i første omgang at få anlægget til at køre tilfredsstillende. Der var bl.a. problemer med fordamperne og anlægget gav for lav ydelse. Problemet med fordamperne er dog senere løst.

Efter, en ændring i ledelsen i AC-SUN ApS, blev det besluttet at de oprindelige opfindere skulle færdiggøre projektet, som herefter iværksatte et arbejde med at forbedre lejeløsningen. Senere udgaver af løsningen har mindsket energibehovet, men ikke gjort det tilstrækkeligt lavt. Der arbejdes stadig med en forbedring og det skønnes muligt med forbedrede lejer. Hvis det besluttes fremover at markedsføre et anlæg med en køleydelse på 20 kW i stedet for den oprindelig 10 kW, vil det relative energiforbrug til lejer blive halveret og dermed være mere acceptabel.

I samråd med ConceptsNrec blev det besluttet at lade Rotrex fremstille en forbedret og mere produktionsvenlig udgave af turbinen. Se afsnit 6. Efter en del indkøringsproblemer viste det sig hurtigt at den nye udgave fungerede bedre og med lavere energiforbrug. Der er fremstillet 3 sæt af turbinerne.

Det sidste forsøg på at bringe AC-Sun anlægget på markedet skete ved at indgå en aftale med et amerikansk selskab, som i fællesskab med AC-Sun ApS dannede et nyt selskab, der skulle stå for produktmodning af anlægget og gøre det interessant for markedet. Desværre viste det sig, at det fælles selskabs ansatte ikke evnede at bringe et nyt anlæg funktionsdygtigt med den kapital AC-Sun ApS, havde stillet til rådighed. Det amerikanske selskab opfyldte ikke sin del af aftalen ved at tilføre projektet de nødvendige resterende midler, hvorefter færdiggørelsen af anlægget stoppede.

Hele test anlægget står nu i USA og der foregår i øjeblikket forhandlinger med det amerikanske selskab om at få det delvist færdige anlæg tilbage til AC-Sun ApS i Danmark.

Der er under projektet gennemført et stort markedsføringsarbejde gennem udstillinger, TV, dagblade, foredrag, teknisk faglitteratur og kontakter til mulige interessenter. En del af materialet er medtaget under afsnit 9 og 10.

Processen er patenteret gennem 2 patenter. Se afsnit 3. Der har endnu ikke vist sig konkurrenter, som har kunnet omgå denne patentering. Patenterne går i sin korthed ud på at det kompressionsarbejde, der foregår i kompressorerne og som medfører temperaturstigning af trykgasdampen, tilbageføres til ekspanderens indgangsdamp, som derved opvarmes og giver overhedning af dampen. Derved får ekspanderne tør ekspansion, hvilket øger levetiden for turbinerne.

## 2.2 Konklusion

Resultatet ved gennemførelsen af projektet er, i korthed følgende:

- ❖ Processen med køling baseret på varme f.eks. sol- og spildenergi produceret ved lav temperatur mellem 70 og 100 C til anvendelse i luftkonditioneringsanlæg er mulig også med et lavt energiforbrug.
- ❖ Markedsundersøgelser viser at efterspørgslen på verdensmarkedet er stort, og vil i fremtiden være stigende.
- ❖ Testresultater viser at varmeudnyttelsen, er det dobbelte af hvad andre kendte varmedrevne processer er i stand til at opnå.
- ❖ Testresultaterne har vist at der skal foregå en korrektion af beregningen af turbinerne så ydelsen kan blive tilfredsstillende.
- ❖ Testresultaterne har også vist at den trykforøgelse der sker af dampen i turbinerne er højere end forventet, hvilket forøger anvendelsesmulighederne.
- ❖ Testen har også afsløret at processen har et svagt punkt i turbinernes lejesystem. Der er i rapporten anvist kendte løsninger på dette problem. Se afsnit 5.2.3 Magnetiske lejer
- ❖ Prissammenligninger viser at processen økonomisk uden besvær kan konkurrere på verdensmarkedet. Se afsnit 8 prissammenligning.
- ❖ Der er udtaget 2 patenter, som sikrer funktionen mod konkurrence. Se afsnit 3.

Situationen er nu den, at bestræbelserne med at bringe især turbinerne i en endelig produktmoden tilstand ikke er lykkedes fuldt ud. Problemet med lejerne, er ikke endelig løst, selvom der findes kendte endelige løsninger, er der desværre for nuværende ikke økonomiske midler til at færdiggøre den nødvendige udviklingsproces.

Det bør diskuteres om valget af det forholdsvis lille "testanlæg", hvor det nødvendige RPM for radialkompressorer på henholdsvis 140.000 og 100.000 RPM, var den rigtige løsning. Kombinationen mellem kølemidlet vand og oliesmurte lejer i tæt kontakt indebærer næsten uoverstigelige hindringer.

Var der valgt en løsning med den dobbelte køleydelse (20 kW), ville akslens nødvendige RPM være 30 % lavere og lejetabene i princippet være halveret, ligesom akseltætningen ville blive mindre problemfyldt.

Hvis der var valgt et større anlæg end 10 kW køling. F.eks. 20 kW eller større, ville en løsning med aksialkompressorer, som har et endnu lavere RPM, (og i tilgift højere virkningsgrad) være lettere gennemførlig. Aksialkompressorer har en lidt højere produktionspris end radialkompressorer, men denne forskel udlignes, når anlægget får en større ydelse. Aksialkompressorer kan have vandsmurte glidelejer, som Teknologisk Institut i Aarhus eksempelvis har erfaring med. Dette ville have gjort en løsning på kompressorproblemet lettere gennemførlig.

Alle øvrige komponenter i processen har under projektet fundet en endelig løsning, og vil kunne skaleres til en vilkårlig størrelse. Anlægget har været afprøvet med en solfanger tilsluttet. Solfangeren har alene drevet anlægget i en længere periode.

Styringen af anlægget har været testet og fungerer fuldt ud tilfredsstillende.

Konklusionen er, at der under gennemførelsen af projektet er opnået viden, der muliggør at et produktmodnet anlæg kan bringes på markedet inden for en overskuelig fremtid.

Horsens den 17. april 2017 / Gunnar Minds m.fl.



## 3.0 English Version of Foreword, Summary and Conclusion

### 3.1 Foreword,

This report reproduces the results of 2 EUPD projects no. 64009-0223 and no. 64011-0314 relating to grants for the development of a process for cooling based on heat energy – especially solar power for Air conditioning installations. The report is prepared on the basis of calculations, development, manufacture, measurements and tests performed by different employees in AC-Sun ApS. in the period from 2010 to the end of 2016. A number of other individuals and companies have directly or indirectly contributed. AC-Sun ApS. Measurements, etc. are performed in premises associated with VIA University in Horsens, to whom we owe warm thanks for the loan of the workshop facilities, etc.

AC-Sun ApS has in the period had ties to several educational institutions from which students have worked intensively on market research in Spain, South America and India. AC-Sun ApS has had contact with the State Department's Embassies in Spain, Chile and Japan who have been of great help in placing research, company contacts, etc. project aims to develop an energy-friendly cooling system based on waste heat or solar energy specifically for use in air-conditioning systems.

For the sake of the climate the system is built to use coolant as process water.

- Significant secondary effects. It has been proved that the process works.
- It is proven that the refrigeration unit has the calculated low primary energy consumption, as it was predicted
- Through long-term test, there have been problems with rent system in turbines. It is clear from the report what achievable options are available.
- Cooling performance is not quite on par with the calculated values.
- There should be a correction of the compressor performance.
- Through market research, it appears clear that the need for climate-friendly air conditioning plant is huge.
- The total annual market would be in the range of approximately 14 billion US \$. AC-Sun ApS thank especially Insero, Capnova m.fl.

Horsens, April 17th 2017 Gunnar Minds, Mogens Vig Petersen, Bo Rhein-Knudsen

## 3.2 Summary

AC-Sun ApS was established to develop and market a concept of cooling based on waste heat or heat from solar panels. Solar panels typically develops a temperature of about 80 to 90 C, has so far proven to have the lowest rate of utilization of solar thermal energy. See Section 8.

The process should be environmentally friendly and require the use of an expander which drives a compressor on the same shaft. Thermodynamic calculations had shown that this solution would give the greatest utilization of the energy applied by the reaction to cooling. Other known processes, for example. Absorption would have a very poor utilization of heat energy converted to cooling.

After extensive studies and assessments made by AC-Sun ApS and consulting firm ConceptsNrec in the United States (design presentation: Annex 1). It was decided to have made a prototype of the plant for testing. The results of these test, etc. will be found in section 4. Background for EUDP application.

The previous work was partly conducted with the founders' own money and a small grant from the Environmental Protection Agency and Østjysk Innovation.

The earlier efforts and work with the first prototype had revealed a number of problems that not immediately could be solved with the available funds.

It was then decided to seek new capital and the expansion of co-staff in cooperation with Foreningen Energi Horsens (The current Insero) and seek new funds through application for EUDP.

The EUDP application had several interested people and firms who had agreed to participate in the testing of a functional system. When it initially failed for AC-Sun ApS, bringing the plant in sufficient working order, the EUDP project was changed to a clean development project by consulting by DEA. The aim was to develop and test a functional system for maturing production and bringing it to market.

It was decided to produce a new prototype, based on a new bearing system (Annex 2), which was developed by turboexpander supplier for cars "Rotrex" in Valby. Other rental solutions were attempted, but the Rotrex bearing system proved to be the most robust, although it initially seemed too energy-intensive for the job.

In connection with the search for the best rental system we consulted "Lloyd's Register ODS, Titan Gade 15, 2200 Copenhagen, Denmark.", who assisted in the search for a solution with magnetic bearing systems.

Initially it failed to get the system running satisfactorily due to problems with the evaporators and the low performance by the system. The problem with the evaporators was later resolved. Later versions of the solution have reduced energy requirements, but not made it sufficiently low. Work is still improving and estimated to be possible with improved bearings. If it is decided to market a

plant with a cooling capacity of 20 kW instead of the original 10 kW, the energy efficiency class is to be halved bearings and thus be acceptable.

In consultation with ConceptsNrec, it was decided to let Rotrex produce an improved and more production-friendly version of the turbine. See section 6. After some initial problems, the new version quickly proved better and with lower energy consumption. 3 sets of turbines were produced.

The latest attempt to bring the AC-Sun system to market was to enter an agreement with an American company, which jointly with AC-Sun Ltd. formed a new company that would be responsible for product maturation of the plant and make it interesting for the market. Regrettably, the joint venture staff was not able to bring a new facility operational with the capital available to AC-Sun ApS. The US company did not fulfill its part of the bargain by providing the project with the necessary remaining funds, after completion of the plant stopped. The entire test facility is now in the US and there are ongoing negotiations with the US company to have the partially finished plant returned to AC-Sun ApS in Denmark.

Major marketing initiatives have been made through exhibitions, TV, newspapers, lectures, technical literature and contact with potential stakeholders. A portion of the material is included in Section 9 and 10.

The process has been patented by two patents. See section 3. So far no competitors have efforted to or been able to circumvent this patent. In short, the patents cover the compression work in the compressors and the resulting increase of temperature of the steam pressure vapor being recycled to the expanders input steam, which is thereby heated giving superheating of the steam. This gives expanders dry expansion and increasing life time.

### **3.3 Conclusion**

The result of the implementation of the project is summarized as follows:

The process of cooling based on heat, e.g. solar and waste energy produced at a low temperature between 70 and 100 C for use in the air conditioning system is also possible with low energy.

Market research shows that world demand is large and will in the future increase.

Test results show that thermal utilization is double what other known heat-driven processes are able to achieve.

The test results have shown correction of the calculation of the turbines is required for the performance to become satisfactory.

The test results have also shown that the steam pressure increase occurring in the turbines is

higher than expected, which adds to the application possibilities.

The test has also revealed that the process has a weak point in the turbine bearing system. The report indicates known solutions to this problem. See section 5.2.3. - Magnetic bearings

Price comparisons show that the process, without difficulty, can compete economically on the global market. See Section 8 price comparison.

There are taken two patents, which ensures the function against the contest. See section 3

The current situation is that efforts to bring particular turbines to a state of final product maturity has not succeeded fully. The problem with the tenants is not finally resolved, even though there are known definitive solutions, there is unfortunately not currently funds to complete the necessary development.

It should be discussed on the choice of the relatively small "test facility" where necessary RPM radial compressors respectively 140,000 and 100,000 RPM, was the right solution. The combination between the coolant water and oil lubricated bearings in close contact involves almost insurmountable obstacles.

There was chosen a solution with the dual cooling capacity (20 kW), where the shaft would be required RPM 30% lower and the bearing losses, in principle, be reduced by half, and the shaft seal would be less problematic.

If a greater facility than 10 kW cooling is selected, e.g. 20 kW or larger, a solution with axial compressors, which has an even lower RPM, (and in addition, higher efficiency) would be more feasible. Axial compressors have a slightly higher production cost than radial compressors, but this gap is narrowing when the system gets more power axial compressors may have water-lubricated plain bearing. This would have made a solution to the compressor problem more feasible.

For all other components of the process, the project found a final solution, and will be scaled to any size. The system has been tested with a collector connected. The collector has only operated the facility for an extended period.

The control of the system has been tested and is fully satisfactory.

It is concluded that, in the course of the project, the acquiring of knowledge is sufficient to market mature plants in the foreseeable future.

Horsens, April 1st 2017 / Gunnar Minds and others

## 4.0 Baggrund for EUDP ansøgning

AC-Sun havde som udgangspunkt et testanlæg kørende, som kunne vise funktionsdygtighed. AC-Sun ApS havde på dette tidspunkt kontakt til adskillige interessenter. På grund af finanskrisen, som på dette tidspunkt (2008), var på sit højeste, viste det sig svært og reelt umuligt, at indgå aftaler med virksomheder, der som udgangspunkt skulle investere større beløb i udvikling og markedsføring af et produkt, som nok i forvejen havde et erkendt, men ikke afprøvet marked.

AC-Sun havde fået foretaget de dimensionerende beregninger af ConceptsNrec. Se bilag [1]. ConceptsNrec er det højst anerkendte konsulentfirma for beregning og design af turbiner.

## 4.1 Forsøg og Testresultater

I de indledende forsøg drejede det sig især om at få anlægget til at køre stabilt og vise resultater, der var i overensstemmelse med de beregnede forudsætninger. Nedenfor viste måleresultater er et udpluk af disse målinger fra 2009.

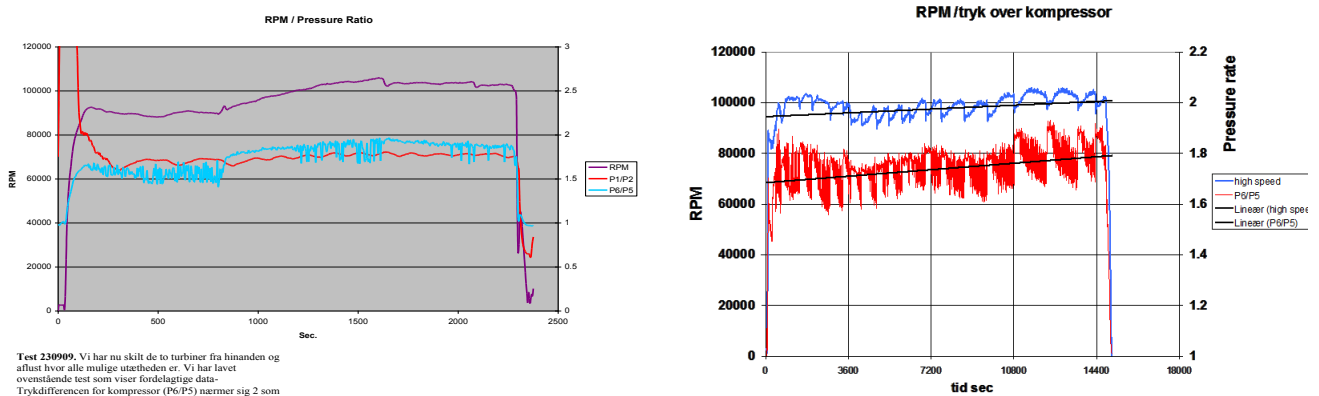


Fig. 4.1.1 og 4.1.2 Måling er af trykstigning over kompressoren og RPM

## 4.2 Konklusion af forsøg før EUDP ansøgning

**Konklusion:** De hidtidige målinger tyder på at ydelsen for kompressoren ikke ligger langt fra det forventede. Men målingerne er behæftet med nogen usikkerhed. Mere sikre måleresultater er påkrævet, før der tages endelig beslutning om korrektioner af designet.

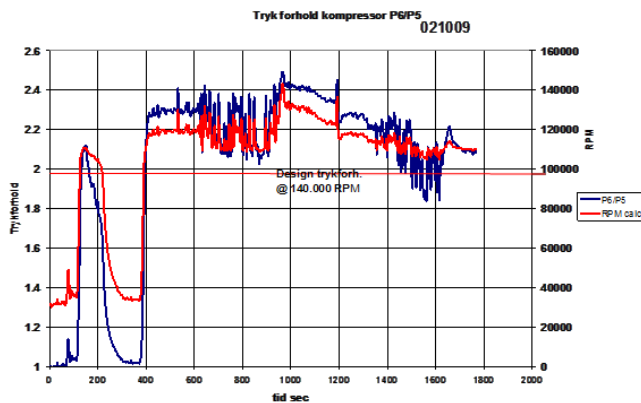


Fig. 4.2.1 Måling af trykdifferens og RPM

Dette opnås f.x. ved at indsætte en flowmåler i trykrøret og en el effektmåler på varmelegemerne. Turboekspanderen er i øvrigt efterhånden så fejlbehæftet, at der bør laves en helt ny.

**Resultaterne** angivet i nedennævnte er diagrammer og data baseret på et gennemsnit af målinger over 2 til 6 timers stabil drift. Måling af trykdifferens over kompressoren (PR) og kompressorens omdrejningstal (RPM) er direkte, kontrollerbare og nøjagtige værdier.

Volumen flowmængden (flow)  $m^3/sec$  damp er derimod dannet matematisk ved en forudsætning om at ConceptsNrec, design af kompressorens "Slagvolumen" er korrekt. (Der er næppe megen grund til ikke at forudsætte dette, da en sådan beregning er forholdsvis simpel.)

Flowmængden (m)  $kg/sec$ . er dannet ved, på grundlag af det målte tryk og den tilsvarende temperatur, at beregne vægtfylden i tilgangen til kompressoren, og gange resultatet med volumen flowet.

Der er ikke foretaget vurderinger af ekspanderen, da vi manglede en el effektmåler, men ekspanderen leverer tilsyneladende ydelsen ved en lavere trykdifferens end forudsat.

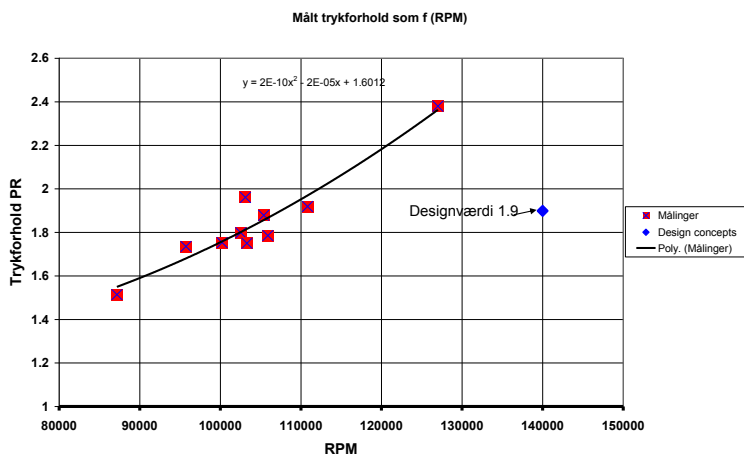


Fig. 4.2.2 Viser trykforhold som funktion af omdrejningstallet

Resultatet af målingerne fremgår af fig. 4.1.1, 4.1.2, 4.2.1 og 4.2.2, hvor trykforholdet er angivet som  $f(\text{RPM})$ . Resultaterne udtrykkes tilsyneladende udmærket ved et andet grads polynomium, hvilket også var forventelig. Når et RPM på 127.000 giver et trykforhold på knap 2.4, hvor ConceptsNrec beregning viser at trykforholdet 1.9 først skulle ske ved 140.000 RPM skyldes det at sugetrykket samtidig var meget lavt, så den ydede kapacitet i kg damp/sec., var tilsvarende lav. (Det er for i øvrigt interessant, fordi ConceptsNrec hele tiden har været bekymret for ydelsen ved lave tryk og deraf følgende lav Reynolds tal. Det forholder sig tilsyneladende anderledes).

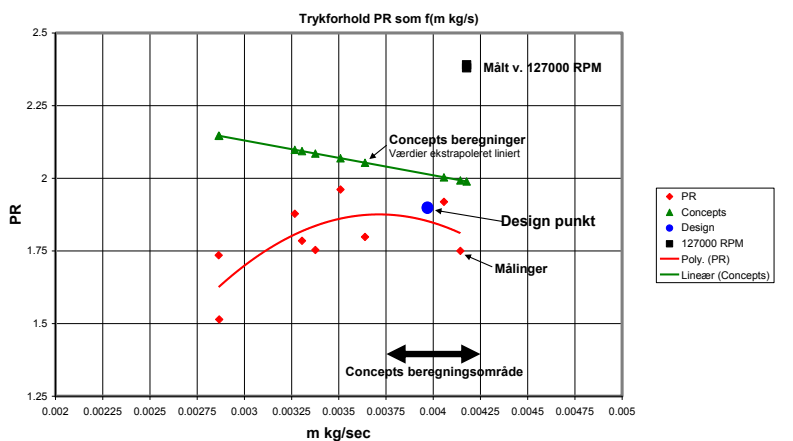


Fig. 4.2.3 Viser Trykforholdet som funktion af beregnet dampmængde i kg/sec.

Resultatet af målingerne viser at værdierne ligger lidt spredte. Så vi må anstrenge os for at få lidt bedre værdier. Sammenholdt med de beregnede værdier fra ConceptsNrec Fig. 4.2.4, er der ikke god overensstemmelse specielt ved de lave flowmængder. Disse forsøg ligger dog udenfor ConceptsNrec beregningsområde og er bl.a. ikke sammenlignelige da det lave trykforhold er en følge af det samtidigt lave RPM og det område, hvor der i praksis ikke er det store behov for den høje ydelse. Flere målinger viser dog bedre resultater end behovet.

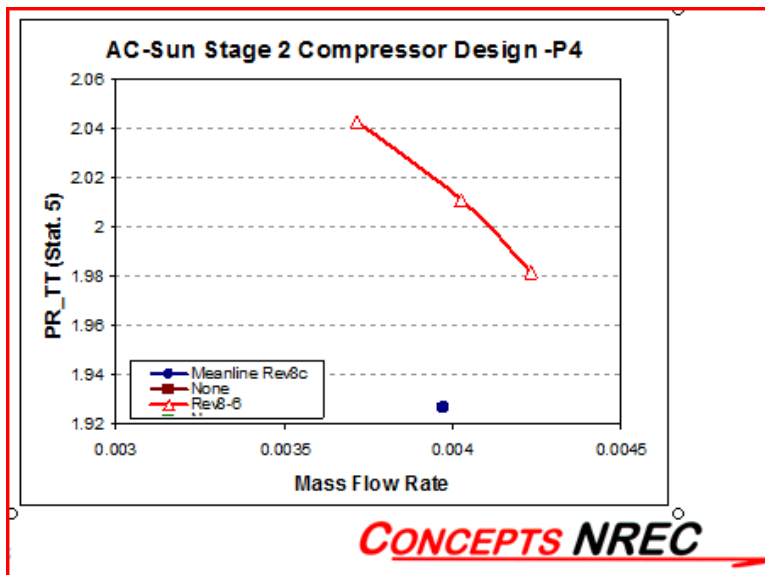


Fig. 4.2.4 Beregninger fra ConceptsNrec

Beregningsmæssigt er ændringen i flow formentlig sket ved at ændre temperaturen og dermed vægtylde. Som resultat af disse forsøg, som strakte sig over et års tid, blev det besluttet at ansøge om midler under EUDP ordningen til at skaffe kapital til videreførelse af projektet. Samtidig blev der indgået en aftale med det nuværende "Insero" om videreførelse af projektet

## 5.0. Anden Generations turbine.

### 5.1 Beslutning om ny ekspander/kompressor.

På grund af de store problemer med lejerne i den først fremstillede prototype turbine. Blev det besluttet, med udgangspunkt i den indhøstede erfaring, at få fremstillet en ny prototype. Forinden foregik en systematisk undersøgelse af hvilke løsningsmuligheder der forelå. Disse muligheder er diskuteret i de efterfølgende afsnit frem til afsnit 6.

I det efterfølgende vises således resultaterne af de undersøgelser og målinger der er gennemført med udgangspunkt i de investeringer og midler fra EUDP der er stillet til rådighed.

### 5.2 Valg af lejesystem.

Med udgangspunkt i de hidtidige forsøg viste det sig hurtigt at det var vigtigt at få løst leje problemet.



Problemstillingen var følgende:

Beregningen af ekspander og turbiner viste at det var nødvendigt, at kunne køre med et Omdrejningstal for:

Højtrykskompressoren på 140.000 RPM

Lavtrykskompressoren på 100.000 RPM

Dette sammenholdt med det faktum, at vi anvender vand som kølemiddel, og nødvendigvis må anvende oliesmurte lejer, gør problemstillingen ekstra kompliceret med adskillelse af vand og olie.

Vi kørte en del indledende forsøg med vandsmurte lejer, men det viste sig at levetiden blev så kort som få timer og ideen blev forladt.

I det efterfølgende redegøres for de kontakter vi har haft, samt resultatet af de test vi har kørt for at finde en brugbar løsning af lejeproblemet.

## 5.2.1 Lejer med keramiske kugler.

I et tæt samarbejde med firmaet FAG i Tyskland, som er en af verdens største fabrikker af kuglelejer, kørte vi en række forsøg med kuglelejer forsynet med keramiske kugler, der skulle være velegnet til smøring med vand. Det viste sig imidlertid hurtigt at løsningen ikke kunne tilfredsstille vore krav til levetid, og det blev ret hurtigt opgivet.

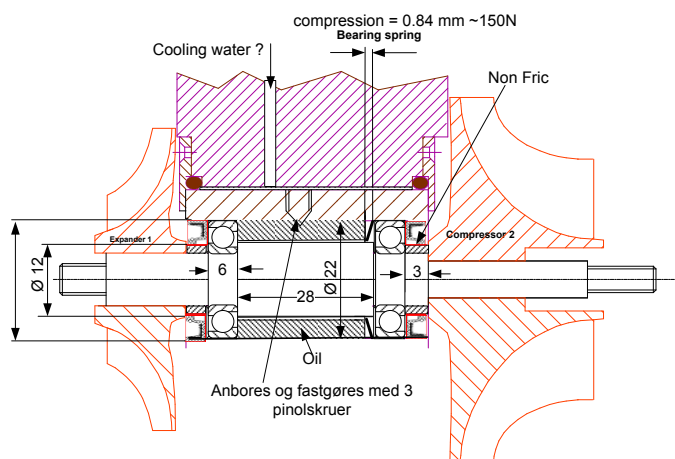


Fig. 5.2.1.1 Billede af smadret keramiske leje efter få timers kørsel

Der blev indhentet tilbud fra FAG, men det blev besluttet ikke at gennemføre denne løsning. Se bilag [18\_FAG].

## 5.2.2. Oliesmurte lejer

Samtidig med forsøgskørselen med Lejerene fra FAG meldte et andet firma—GNM-i Tyskland sig på banen. Det blev besluttet at firmaet skulle forsøge på at beregne og designe et komplet lejesystem efter følgende oplæg fra AC-Sun.



AC-Sun ApS

GMI 08.02.09

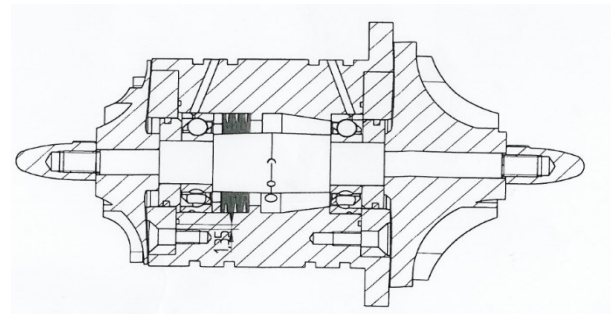


Fig. 5.2.2.2 Tegning GSM

Fig. 5.2.2.1 Oplæg til CNM for et komplet lejesystem

Det viste sig desværre at firmaet havde anvendt materialer til akslen, som ved hærkning blev så skør, at den knækkede efter blot få timers kørsel. Forsøget blev senere gentaget med en anden aksel, men med samme resultat, hvorefter samarbejdet blev afbrudt af AC-Sun.

## 5.2.3. Magnetiske lejer

Det er en kendt løsning ved lejer med højt omdrejningstal at anvende et lejesystem, hvor akslen er båret af et system af elektriske magneter. Denne løsning medfører et tabsfrit leje, og kan i princippet holde "evigt". Princippet er som vist nedenfor. Der er dog et mindre elforbrug til magneterne og styringen. Det endelige tal er ikke kendt.

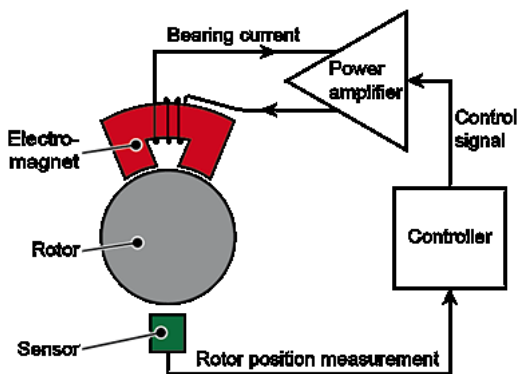


Fig. 5.2.3.1 skitse af funktion af magnetiske lejer

Løsningen er principiel optimal.

AC-Sun havde kontakt til "Mecos AG i Winterthur i Svejt" og Japansk firma "Maruwa". Begge virksomheder ville være i stand til at udvikle et magnet styret lejesystem som kunne tilfredsstille vore ønsker. Udviklingsomkostningerne viste sig imidlertid at være for høje til at AC-Sun på daværende tidspunkt, kunne bære det nødvendige kapitalbehov.

## 5.2.4 Glidelejer

En stor del af de turboladere der fremstilles til biler er med oliesmurte glidelejer. AC-Sun kørte et kortvarigt forsøg med en sådan løsning. Det viste sig desværre at olie- og tætningen for indtrængende luft ikke var tilstrækkelig effektiv, hvorfor løsningen blev opgivet

## 5.2.5 Gassmurte lejer

Ac-Sun havde en længere korrespondance med det Amerikanske firma "CAPSTONE" Se bilag [2]

I princippet kan vanddamp anvendes som smøremiddel, men løsningen syntes for dyr se nedenfor viste skitse. Løsningen blev gennem en periode diskuteret med Capstone, som imidlertid tilslut ikke følte sig sikker på at kunne løse opgaven, og at løsningen formentlig ville blive for dyr.

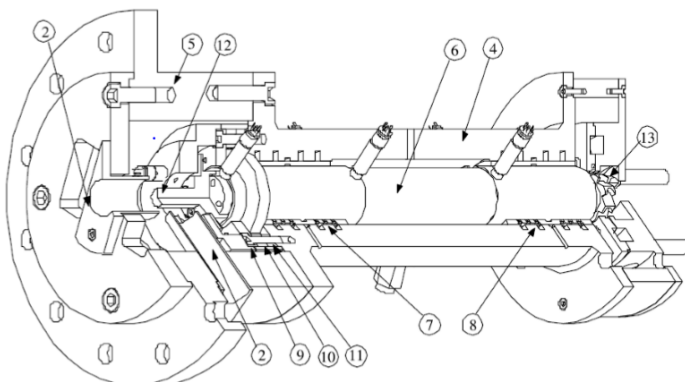


Fig. 5.2.1 Eksempel "gassmurt" leje

## 5.2.6 "Planet gears" lejesystem "Rotrex"

AC-Sun søgte kontakt til det Danske firma "Rotrex". Dette firma har igennem flere år eksperimenteret og har haft gode resultater med Turboladere til biler med et system hvor akslen bæres af 3 lejer placeret i en trekant som vist på nedenstående billede.



Denne konstruktion medfører at omdrejningstallet for kuglelejerne mindskes i forholdet.1:5

Udvendig diameter for akslen divideret med Udvendig diameter af kuglelejet. Typisk i størrelsesforholdet. 1:5. Dette medfører at lejets omdrejnings tal mindskes betydelig.

Højtryks turbinen fra 140.000 til 28.000 RPM

Lavtryksturbinen fra 100.000 til 20.000 RPM

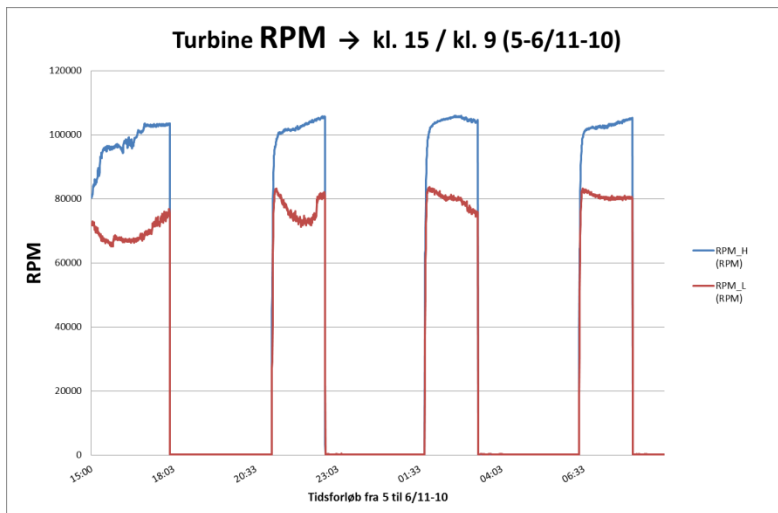
Det blev besluttet at fremstille et nyt sæt turbiner forsynet med dette lejesystem.

Samlingstegning af henholdsvis High- og Low speed er vist i bilag [3] Tegn. ". Generations Turbiner

De to turbiner blev anvendt til at teste processen og få afprøvet forskellige komponenter som f.eks. kondensatorer fordampere vand og olie- og kondensatpumper.

I begyndelsen viste det sig at lejesystemet havde et for højt energiforbrug. Vi kunne bl.a. ikke køle tilstrækkelig på lejehuset. Olien blev efter en ½ times forløb så varm at turbinerne måtte stoppes og afvente naturlig køling. Senere blev der monteret en oliepumpe og etableret ekstern olieafkøling.

Et typisk eksempel på afbrudt kørsel under problemerne med for høj varmeafgivelse ved de første test med planet lejet fra Rotrex er vist nedenstående. Det er klart, at en sådan løsning ikke var holdbar og bestræbelserne gik herefter ud på at mindske lejesystemets energibehov og indføre køling af olien.



I en fremtidig udgave vil de traditionelle kuglelejer blive erstattet af lejer med keramiske kugler, hvilket vil nedbringe energiforbruget, som indtil da må betragtes, at være for højt.

## 5.2.7 Akseltætninger.

Der er følgende krav til akseltætningen:

- Det er af afgørende betydning, at der er en sikker tætning mellem kølemidlet (Vand) og olien i lejehuset.
- Samtidig er det også nødvendigt at tætningen er vakuumtæt, fordi luft i systemet medfører for høje tryk i kondensatoren og i værste fald stopper anlægget på grund af manglende kuldeydelse.
- Friktionen skal tilsvarende være lav, for at holde varme-energiforbruget så lav som mulig.

### 5.2.7.1 Pakdåser (olietætningsringe)

Det mest nærliggende ville være at anvende almindelige olietætningsringe som nedenstående eksempel.

	<u>Oljetætningsring /</u> <u>pakdåse OA FP-80</u>	FP-75	0,5	-30/+200° C	35
-------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------	-------	-----	----------------	----

Desværre er anvendelsen ikke brugbar. Sådanne olietætningsringe kan ikke acceptere de meget høje periferihastigheder og energiforbruget er for højt på grund af friktionen mellem aksel og pakdåse, hvilket i øvrigt medfører så stor varmeudvikling i pakdåsen, at den ødelægges.

## 5.2.7.2 Labyrinttætninger

Labyrinttætninger var en anden mulighed. Tætningen er friktionsfri og derfor letløbende, men der er ingen leverandører som vil garantere en større tæthed end 98 – 99 %. Vandringen af kølemidlet (Vand) fra anlægget til lejehuset, vil derfor forekomme. Det er dog muligt at trække vandet tilbage til anlægget ved en afkøling og tilslutte en olieseparator til sugesiden på køleanlægget.

## 5.2.7.3 Glidetætning

I den fremtidige løsning er anvendt en glidetætning hvor pakningen er sammenpresset kulstøv, som glider mod en ring på akslen. Denne løsning har vist sig at have de mulige egenskaber som kan tilfredsstille kravene. Løsningen har den ulempe at den formentlig kan blive utæt under transport og længere stilstand.

## 5.2.8. Afbalancering

Med det høje omdrejningstal, er det nødvendigt at turbinerne afbalanceres til et niveau som er standard for disse løsninger og som er specificeret i beregningerne fra ConceptsNrec.

Se bilag [21].

## 5.2.9. Test af 2. generations turbine.

Alle efterfølgende test er gennemført under følgende testopstilling.

### AC-Sun: forsøgsopstilling

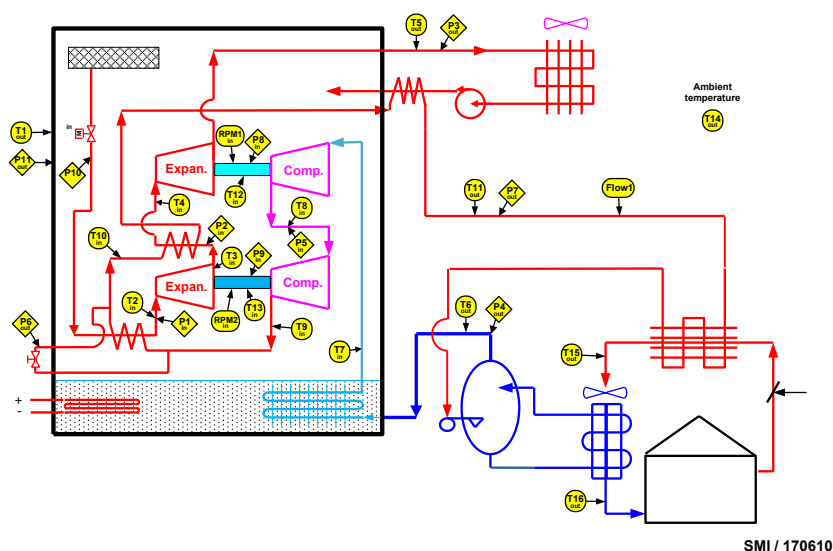


Fig. 5.2.9.1 Testopstilling

Enkelte testresultater er gengivet i bilag [4] Test.

Som en afslutning af denne testrække er der kørt en varighedstest på 400 timer. Resultatet af denne levetidstest er angivet i form af et diagram som vist nedenfor.

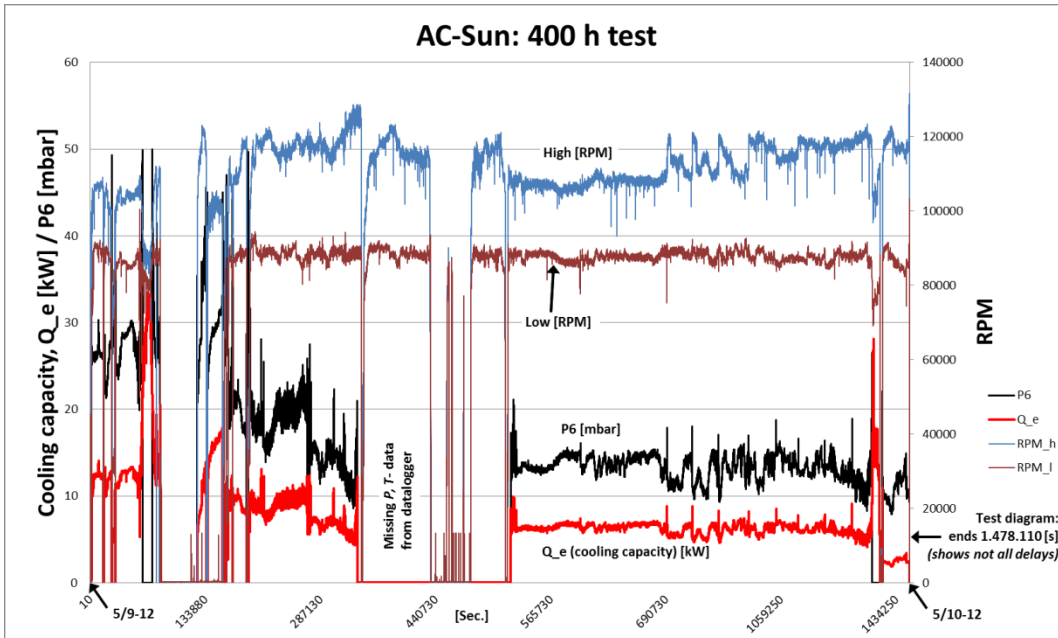


Fig. 5.2.9.2 Resultat af 400 timers test

## 6.0 Tredje Generation af turbiner.

Efter det forholdsvist vellykkede testforløb med anlægget i den forløbne testperiode, blev det besluttet at fremstille en tredje generation af turbiner.

Det hidtidige forløb havde afsløret følgende problemer:

- I de 2 første udgaver, hvor turbinehuset var fremstillet af store tunge rustfrie stålblokke, ville en fremtidig produktion på denne måde blive for dyr. Hensigten var at fremstille et sæt turbiner der nærmede sig en endelig produktmoden udgave.
- Der var stadig ikke endelig løst problemer med lejerne.
- Ydelsen var ikke helt tilfredsstillende. Specielt for køleydelsen.
- Den trykforøgelse kompressorerne kunne yde var bedre end forventet.
- Tætheden mod indtrængende luft i anlægget gennem turbinernes pak dåser var ikke endelig løst.
- Olismøringen af lejerne fungerede ikke tilfredsstillende.

- g. De øvrige komponenter, såsom kondensatorer, styring, pumper m.m. havde ikke afsløret særlig problemer. Derimod var der problemer med selve køleren.

Med udgangspunkt i den foreliggende problemstilling, blev det forinden den endelige beslutning skulle tages, vigtigt at få professionel rådgivning ved at konsultere det amerikanske konsulent bureau ConceptsNrec, som oprindeligt havde designet turbinerne samt at søge ny kapital gennem en ansøgning til EUDP nr. 64011-0314 til finansiering af rådgivning, fremstilling og test af den nye prototype.

Efter ansøgning om EUDP midler blev bevilget, blev forskellige løsningsmuligheder diskuteret på et møde med ConceptsNrec. Resultatet af mødet er gengivet i en rapport fra ConceptsNrec, vedlagt som bilag nr.[5]. Det endelige valg af lejesystem og leverandør faldt på Rotrex, hvor planet-lejeløsningen, samtidig blev valgt.

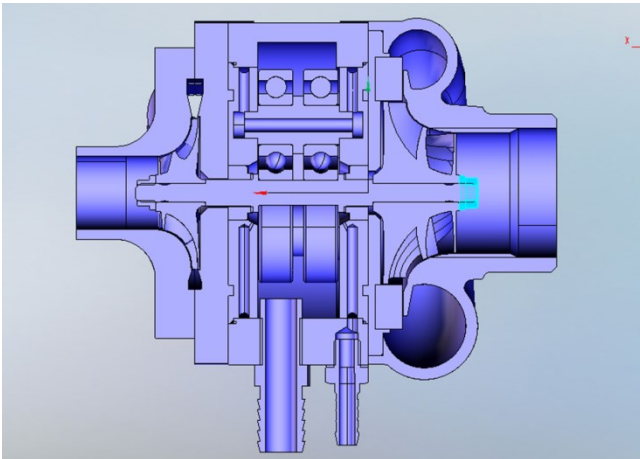


Fig. 6.1 viser et billede af en gennemskåret model

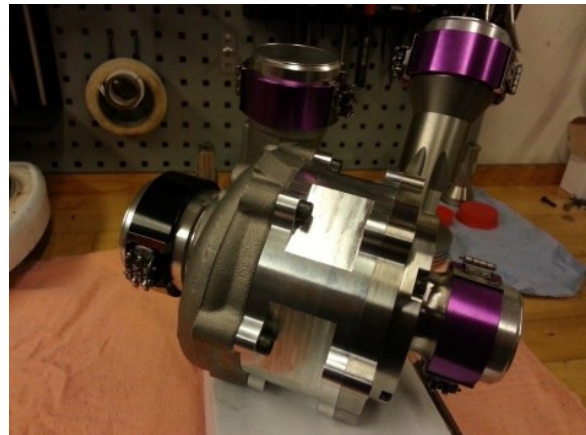


Fig.6.2 viser et fotografi af turbinen



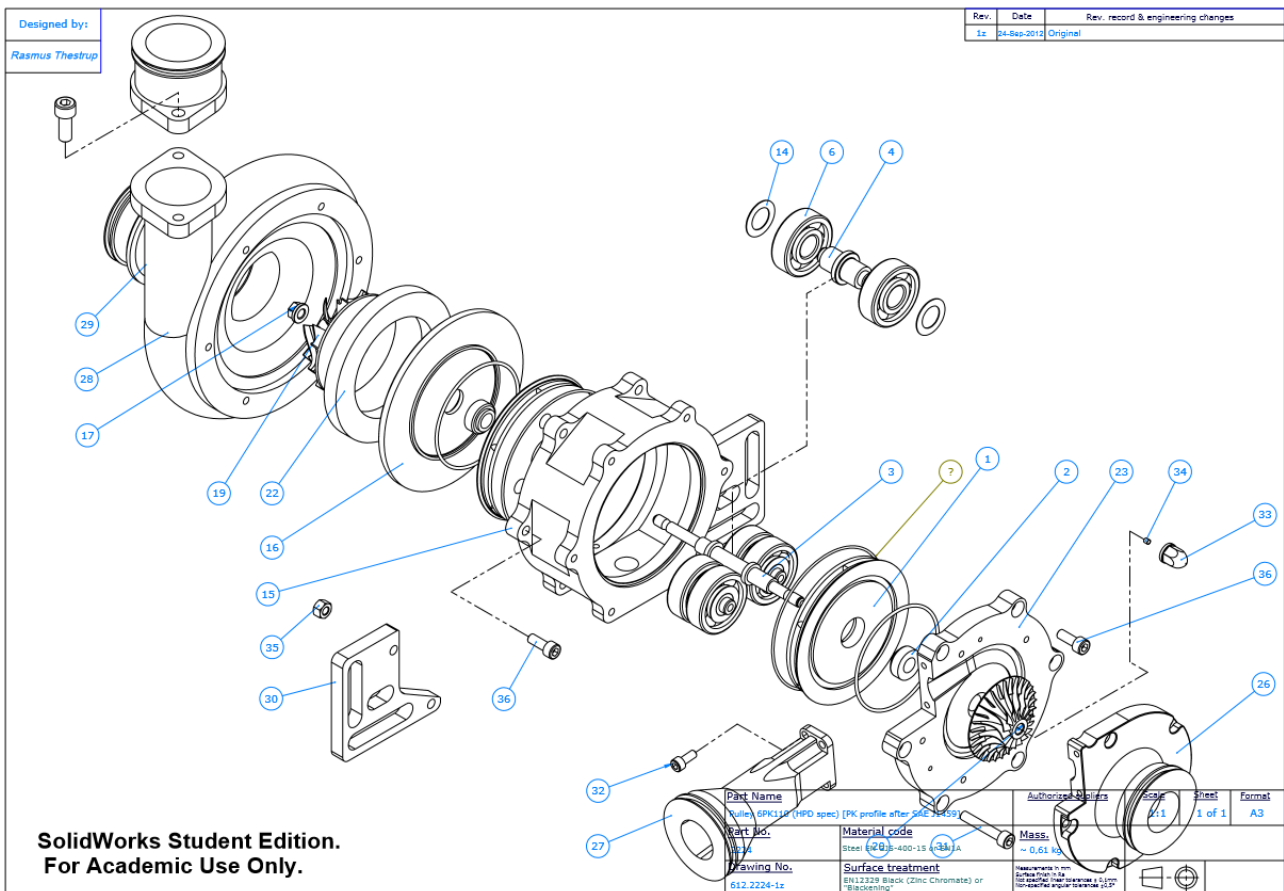


Fig. 6.3 eksploderet model af Rotrex turbinen

## 6.1 Forsøg og test af ny prototype

Opbygningen af anlægget excl. kondensatorer og fordampere fremgår af bilag [6]

Kopi af beregning af kondensatorer fremgår af afsnit 7.1

## 6.1.2 Testkørsel

Alle efterfølgende test er principielt gennemført med følgende test opstilling:

### AC-Sun - Test setup

Drawing No. 11

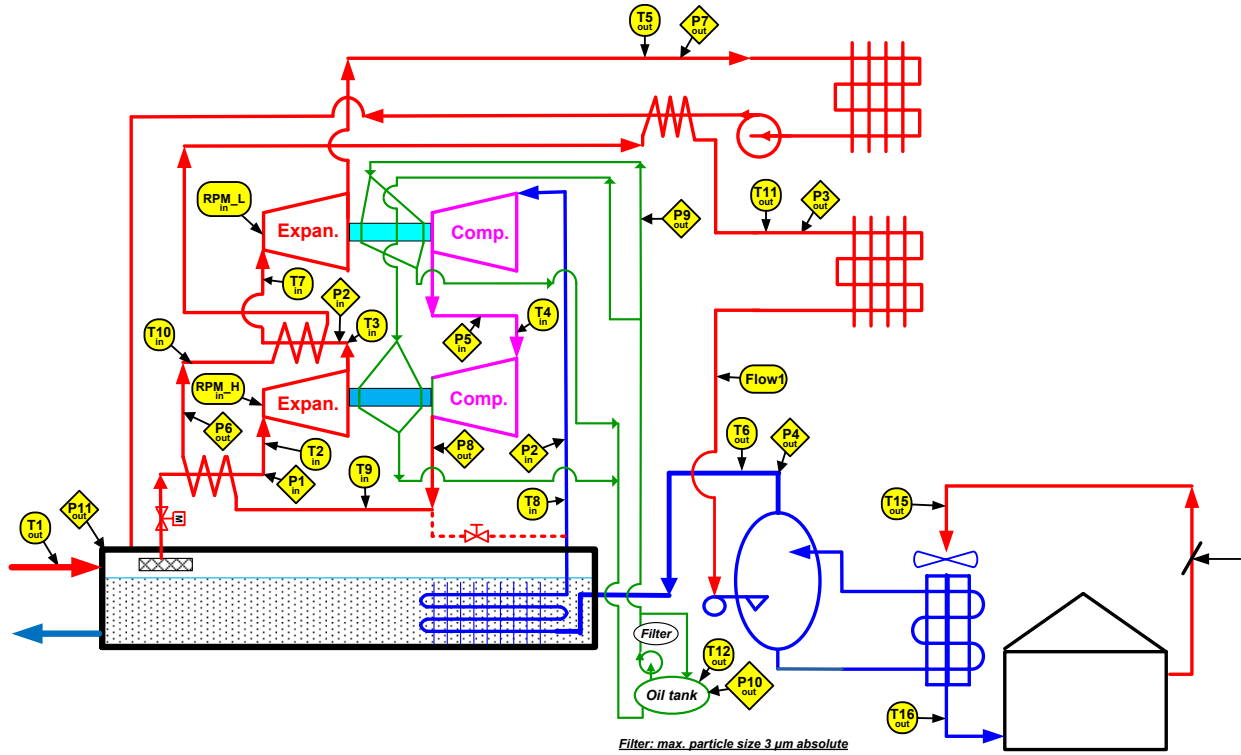


Fig. 6.1.2.1 Skitse af rørføring m.m. af testanlægget

Der er gennemført og kørt flere hundrede test. Et udsnit er angivet i bilag 7 & 8

Et enkelt udpluk af testene er vist nedenfor:

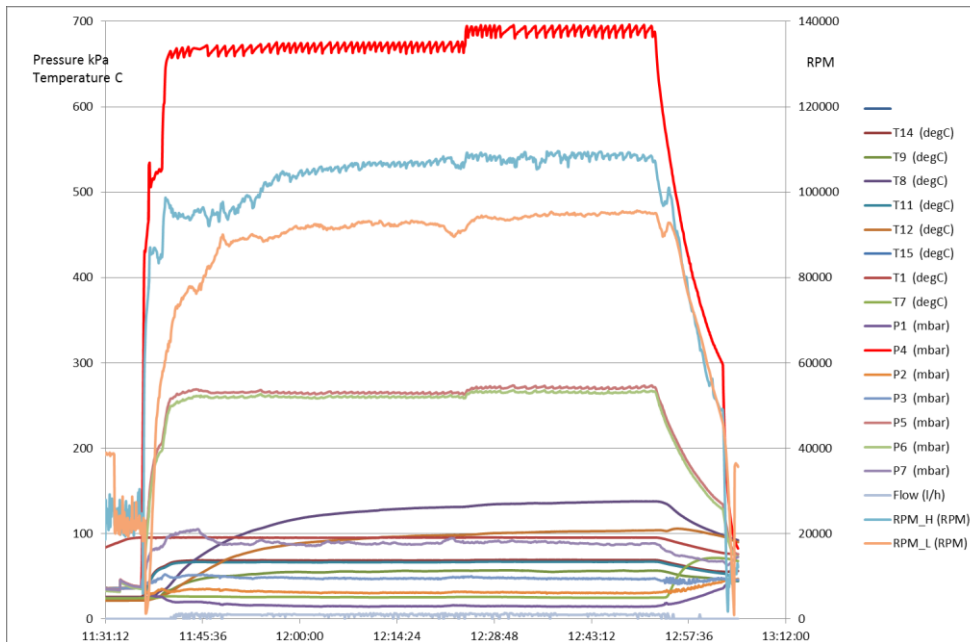


Fig. 6.1.2.2 Diagrammet viser fra start til slut meget hurtig opnåelse af det nødvendige RPM for turbinerne, hvilket medfører en meget hurtig opnåelse af stabile resultater.

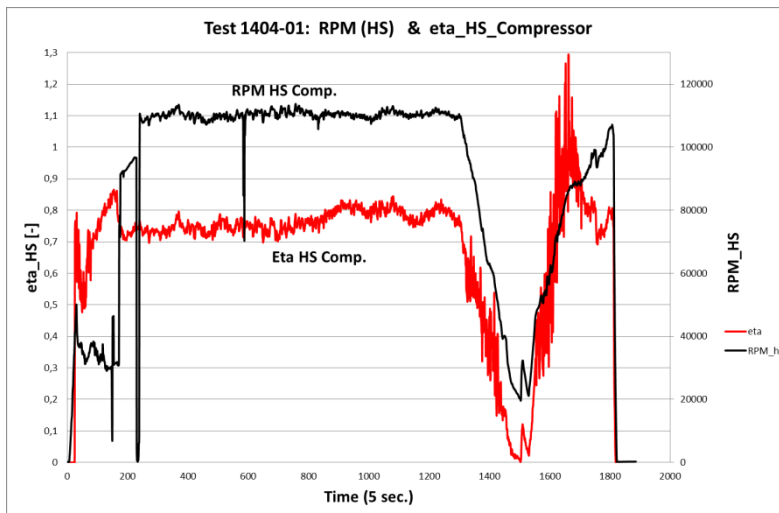
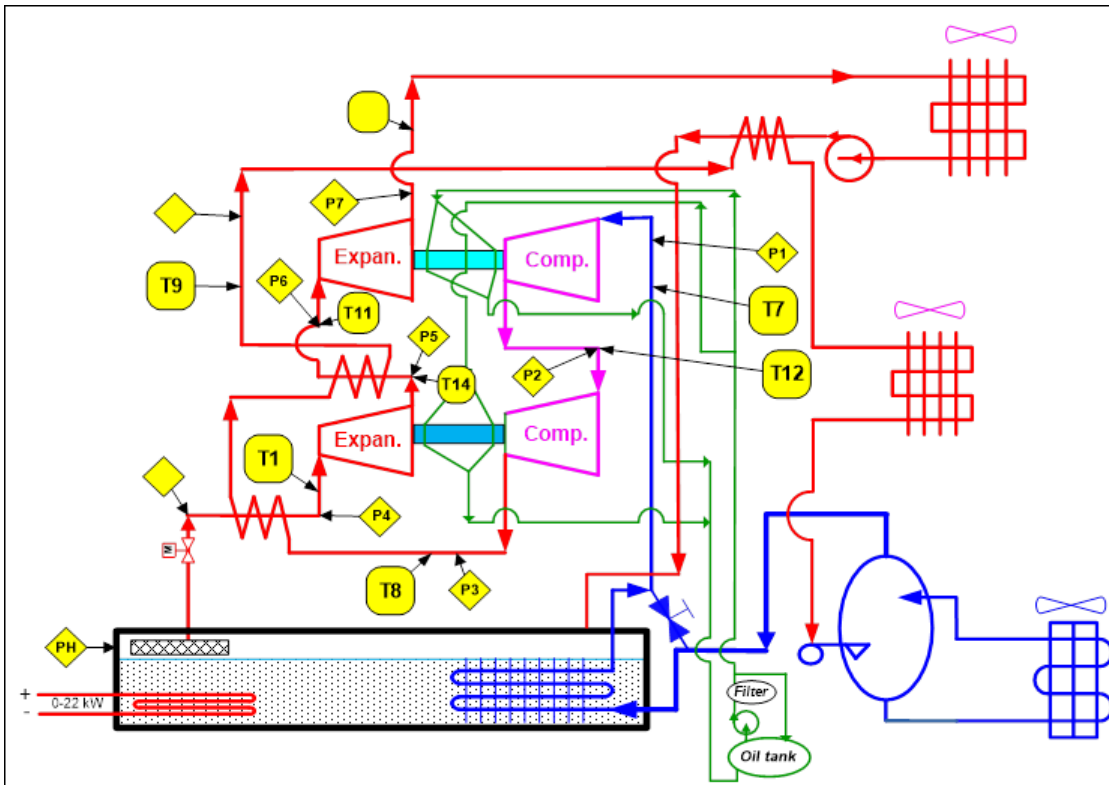


Fig. 6.1.2.3 Beregnet indiceret virkningsgrad for kompressorerne. Resultatet er bedre end forventet



6.1.2.4 Indeks for data i diagrammerne fremgår viste skitse

## 6.2 dokumenterede test på Teknologisk Institut

Den foreliggende rapport er gengivet i bilag [9] Test TI og [10] Test TI

AC-Suns kommentarer til rapporten er følgende:

Der var adskillige problemer med forsøgsopstillingen på TI, idet teststrømmene var for små, hvorfor store dele af anlægget, f.x. kondensatorer ikke kunne placeres i kontrollerede testrum. På grund af en fejl på en af turbinerne, var det målte energiforbrug ligeledes for højt.

På grund problemerne med ikke at kunne måle energi-afkastet fra kondensatorerne, var det derfor ikke muligt at kontrollere, om der var balance mellem tilført og fjernet effekt. De målte resultater må dog til trods herfor regnes for realistiske.

## 6.3 Egne målinger af ydelse

Der har i den sidste del af testperioden været en følelse af at køleydelsen ikke var så høj som anlægget var designet til. Der blev derfor iværksat en forsøgsrække, hvor vi målte flowet af vand fra fordamperen og som kontrol satte en fjernvarmemåler ind i flowet fra fordamperen. Begge viste en ydelse der lå på ca. 60 % af design (ca. 6 kW sammenholdt med design grundlaget ca. 10 kW). Se nedenstående måling. Index på aflæsningerne frem går af diagram fig. nr. 6.1.2.4.

Testopstilling: Se bilag [11], hvor indexet for de i diagram nr. 6.1.2.4 gengivne resultater fremgår.

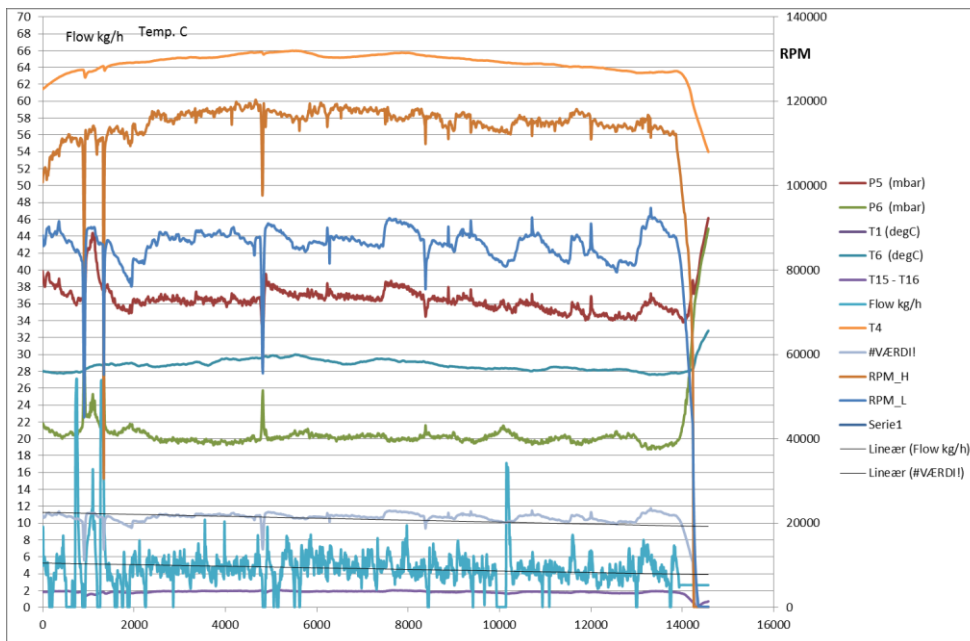


Fig. 6.1.2.4 Måling afkøleydelse

Forhandlinger med ConceptsNrec [1] har ikke ført til en løsning af ydelsesproblemet.

## 6.4 Analyse af test 3/10 til 4/10 – 2012

Der er gennemført en langtidstest over 2 døgn. Resultatet af denne test er gengivet i Bilag 19

## 6.5 Del konklusion af hidtil opnåede resultater.

Testen har afsløret at der i fremtidige udførelser bl.a. skal tages højde for følgende problemstillinger

- ❖ Testresultaterne har vist, at der skal foregå en korrektion af beregningen af turbinerne så ydelsen kan blive tilfredsstillende

- ❖ Testresultaterne har også vist at den trykforøgelse der sker af dampen i turbinerne er højere end forventet.
- ❖ Testen har også afsløret at processen har et svagt punkt i turbinernes lejesystem. Der er i rapporten anvist kendte løsninger på dette problem. Se afsnit 5.2.3. Magnetiske lejer.

## 7.0 Beregning og design af øvrige komponenter

### 7.1 Kondensatorer

Det er vigtigt at kondensatorerne er designet så:

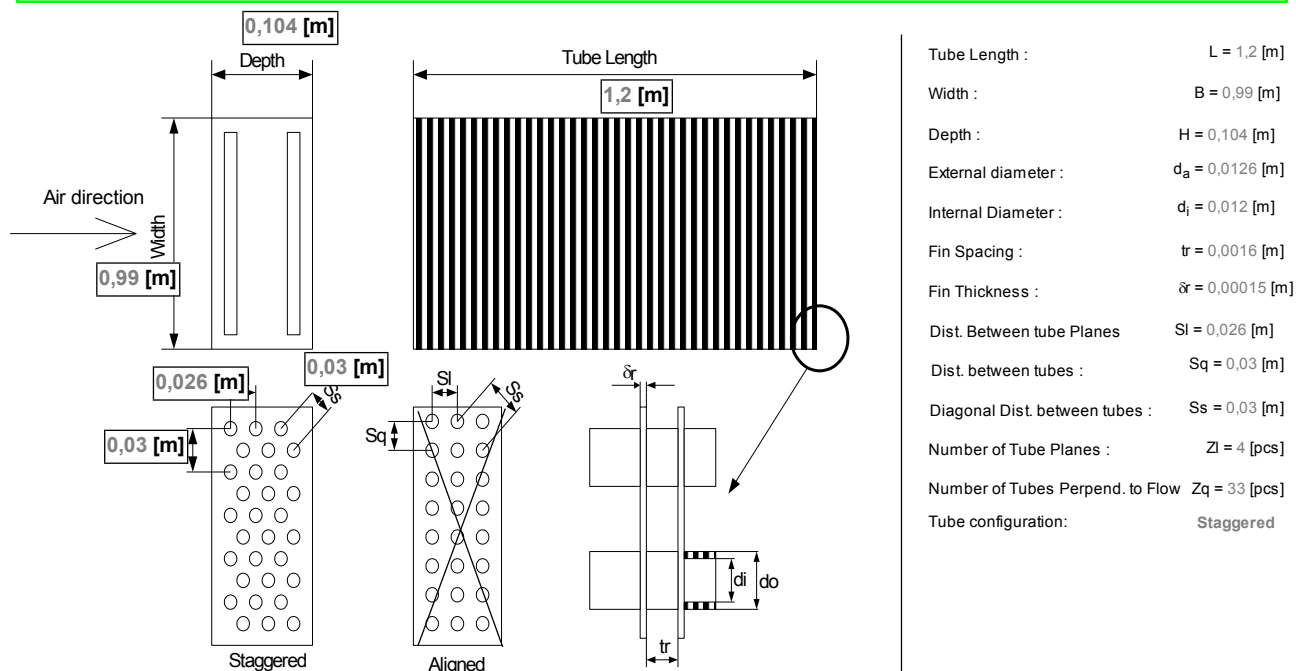
- Energiforbruget til evt. ventilatorer bliver mindst muligt
- Effektiviteten bliver højst mulig. Det kan f.eks. opnås ved at kondensatet ikke fylder op i rørene, hvilket nemt kan opstå når trykkene er så små at kondensatet ikke strømmer frit tilbage til udløbet. (Det må ikke løbe op og ned).
- Til beregning af kondensatorerne er benyttet alment kendte regler for varmeoverføring. Beregningens resultater fremgår af nedenstående.

Testresultater viser at beregningen af kondensatoren er korrekt

<b>Aircooled Condenser</b>		AC-Sun ApS Condenser for Compressor	
<b>Geometry</b>	Tube configuration <input type="text" value="Staggered"/> Tube internal diameter <input type="text" value="0,012"/> [m] Tube external diameter <input type="text" value="0,0126"/> [m] Tube Length <input type="text" value="1,2"/> [m] Width <input type="text" value="0,99"/> [m]	Dist. between tube planes <input type="text" value="0,026"/> [m] Distance between tubes <input type="text" value="0,03"/> [m] Diagonal dist. between tubes <input type="text" value="0,03"/> [m] Number of Tube Planes <input type="text" value="4"/> [pcs] Tubes perpendicular to flow <input type="text" value="33"/> [pcs]	Fin distance <input type="text" value="0,0016"/> [m] Fin thickness <input type="text" value="0,00015"/> [m] Tube material <input type="text" value="Copper"/> Fin material <input type="text" value="Aluminium"/>
<b>Air</b>	Air flow <input type="text" value="6000"/> [m <sup>3</sup> /h] Air pressure <input type="text" value="1,013"/> [Bar]	Air inlet temperature <input type="text" value="35"/> [°C] Air outlet temperature <input type="text" value="42,02"/> [°C] Massflow <input type="text" value="1,909"/> [kg/s]	Pressure drop <input type="text" value="29,53"/> [Pa] Face Velocity <input type="text" value="1,403"/> [m/s] Ideal Fan Power <input type="text" value="49,22"/> [W]
<b>Refrigerant</b>	Refrigerant <input type="text" value="Steam"/> Inlet temperature <input type="text" value="45"/> [°C] Condensation temperature <input type="text" value="44"/> [°C] Outlet temperature <input type="text" value="41"/> [°C]	Parallel circuits <input type="text" value="132"/> [pcs] Condensation pressure <input type="text" value="0,09108"/> [bar] Massflow <input type="text" value="0,0056457"/> [kg/s]	Pressure drop <input type="text" value="0,00004145"/> [Bar] Temperature drop <input type="text" value="0,008791"/> [°C] Correlation <input type="text" value="Travis"/>
<b>Results</b>	Total Capacity <input type="text" value="13475"/> [W] Inner Volume <input type="text" value="17,91"/> [l]	Total External Area <input type="text" value="135,4"/> [m <sup>2</sup> ] Fin Area <input type="text" value="129,8"/> [m <sup>2</sup> ] Tube Area <input type="text" value="5,682"/> [m <sup>2</sup> ]	Internal area <input type="text" value="5,972"/> [m <sup>2</sup> ] Area ratio <input type="text" value="22,68"/> [-] Charge <input type="text" value="2,297"/> [kg]

## Drawing of Condenser for Compressor

AC-Sun ApS



## 7.2 Beregning af rørdimensioner.

Alle rørdimensioner er beregnet ud fra et ønske om så lave tryktab som forsvarlig mulig.

- For damprør max. 20 m/s.
- For væskerør max. 1 m/s.

## 7.3 Fordampere / kølere

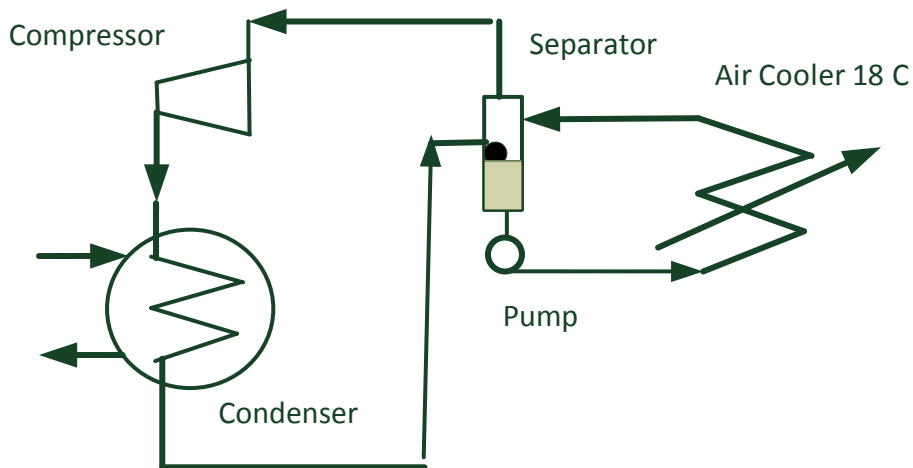
At anvende vand som kølemiddel indebærer en række problemer, som er væsentlig forskellige fra det man kender for traditionelle kølemidler, som f.eks. R134, Propan, Butan.

- Ekspansionen fra kondensatortrykket til trykket i fordamperen udgør kun ca. 3 - 5 kPa.
- Under ekspansionen frigøres kun en meget lille dampmængde.

Bl.a. disse 2 ting tilsammen gør at vandet efter ekspansionen ikke fordamper eksplosivt. En termoventil som i traditionelle køleanlæg er derfor ikke mulig.

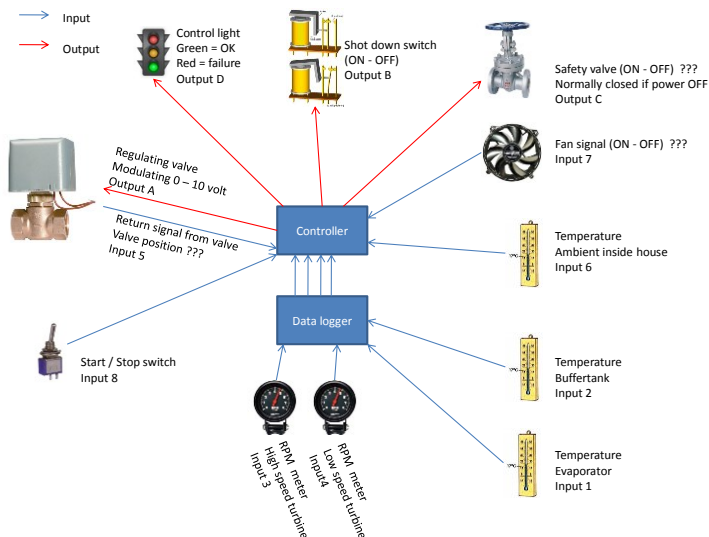
Processen ligner lidt det der foregår ved traditionelt ammoniak køleanlæg.

AC-Sun måtte derfor udvikle en speciel løsning, hvor vandet køles ved fordampning i en særlig separator, hvorefter det kolde vand sendes til selve luftkøleren, enten v. hjælp af en pumpe eller ved selvcirkulation. Se nedenfor stående skitse.

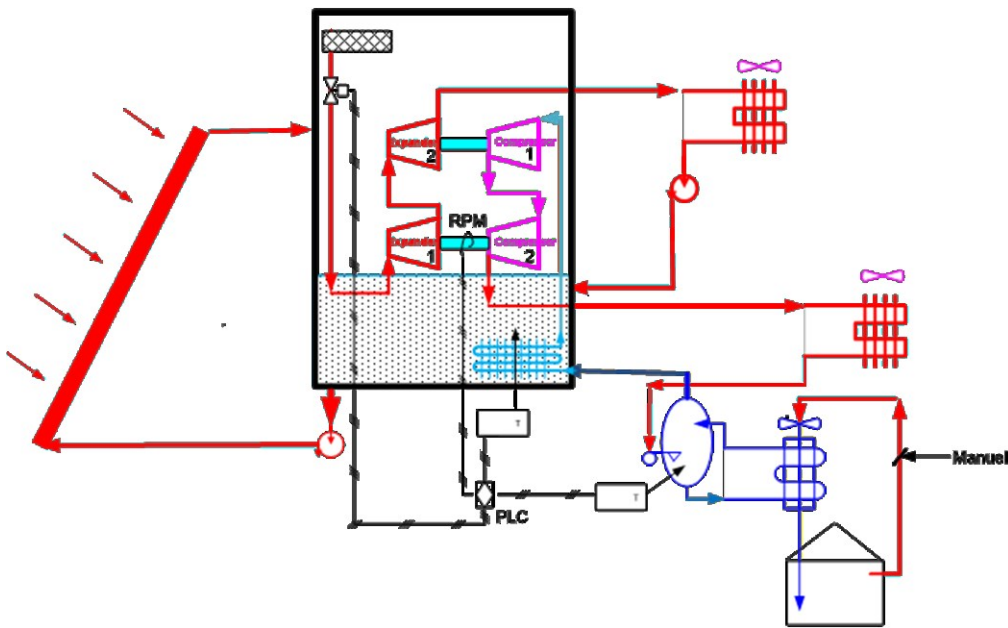


## 7.4 Styring

Princippet for styringen er gengivet nedenfor. Komponenterne der indgår i styringen fremgår af den efterfølgende skitse







## 7.5 Kondensatpumpe

Kondensatet fra ekspander-kondensatoren skal nødvendigvis pumpes tilbage til buffertanken, fordi trykket i buffertanken er ca. 50 kPa over trykket i kondensatorerne.

Vi har haft problemer med at finde en pumpe med tilstrækkeligt gode evner og lang levetid.

- Kondensatet kommer ikke i en stabil strøm til pumpen
- Flowmængden er kun ca. 16 kg/h
- Pumpen skal gerne være selvansugende af hensyn til den lave tilløbshøjde til pumpen
- På grund af den lave flowmængde findes der ikke mange leverandører.
- Små centrifugalpumper har vist sig uanvendelige på grund af den ujævne tilførsel af kondensat. (de kan ikke pumpe damp)
- Fortrængningspumper har for kort levetid, fordi pumpen i perioder må køre "tør" og derfor ikke smøres i lange perioder.

Løsningen har været at indføre en mindre buffertank med en flowswitch, der starter og stopper pumpen afhængig af kondensat niveauet i tanken.

Foreløbig er der valgt en lille fortrængningspumpe i form af en tandhjulspumpe.

## 8.0 Økonomisk sammenligning og kalkuleret produktionspris

### 8.1 Økonomisk sammenligning.

Denne kalkulation er en kopi af rapport udarbejdet til AC-Suns Bestyrelse primo 2013.

Rapport over økonomisk sammenligning mellem 3 forskellige løsninger på køling af private hjem og små forretninger.

Der foretages en økonomisk sammenligning mellem 3 forskellige for køleanlæg:

1. AC- Sun - Der er et termisk solfangerdrevet køleanlæg
2. Konventionelt eldrevet AC anlæg, hvor energien leveres i form af el fra solceller
3. Konventionelt eldrevet AC anlæg, hvor energien leveres i form af el fra nettet

Derudover vil andre kendte varmedrevne køleprocesser blive kort omtalt.

Forudsætningerne for kalkulationen er følgende:

1. Alle anlæggene yder 10 kW køling under det designgrundlag for temperaturer, solskinstimer m.v., der som gennemsnit er herskende på opstillingsstedet.
2. Der er indhentet priser på de komponenter anlæggene består af, opstillet og igangsat hos kunden. Der er således tale om slutkundepriser.
3. Der er kalkuleret med investering + driftsomkostninger i 15 år.
4. Der er indhentet nu gældende priser på el. som indenfor en 5 årig periode forventes at stige med 50 %. Øvrige omkostninger forventes at stige med 10 %
5. Der er udført kalkulation for 2 opstillingssteder a) Madrid i Spanien, b) Miami i Florida, USA.
6. Der er forsøgt beregnet en pris ud fra en vurdering af at indkøbspriser for solfangere og solceller. Solceller forventes at kunne falde i pris med op til 50 % indenfor en 5 årig periode.
7. Der forventes ingen epokegørende ny udvikling som radikalt kan ændre forudsætningerne i den betragtede periode.
8. Der er ikke indregnet mulige statslige tilskud til investering eller drift.
9. NRGi har telefonisk oplyst at det koster ca. 20.000,- Dkr. at opsætte et 4 kW solcelleanlæg. (5.4 kW ~ 25.000,-Dkr.) Ved montage er arbejdslønnen i Spanien sat til 60 % af danske lønninger.

Klimadata:

Beregning af energiforbrug for det konventionelle køleanlæg udføres på følgende måde:

- a. Der anvendes et anerkendt software fra DTU- køleteknik til beregning af den nødvendige akseleffekt på et konventionelt anlæg.

- b. El motorens virkningsgrad er sat til 0,85
- c. Kondenseringstemperaturen er sat til udetemperaturen + 17 °C
- d. For konventionelle anlæg er kølemidlet 406A
- e. Fordampningstemperaturen er erfaringsmæssigt sat til 6 °C
- f. Kompressoren isen tropiske virkningsgrad er erfaringsmæssig sat til 0,65. Det er formentlig lidt højere end under max. belastning, men ud fra en gennemsnitsbetragtning værende rimelig
- g. Det forudsættes at anlægget kører når udetemperaturen er over 20 °C og for:
  - a. Madrid kun kører i solskinstimerne, vel vidende at køretiden er forskudt 2 til 3 timer senere på dagen. Anlægget kører ikke om natten, da nattemperaturen hele året er under 20 °C
  - b. Miami kører i solskinstimerne, men derudover kører 10 timer om natten i de måneder, hvor nattemperaturen er over 20 °C.
- h. Det forudsættes at de samme driftsdata for anlægget gælder under hele driftsperioden. Der er således ikke taget hensyn til at anlægget i perioder muligvis ikke kører fuld kapacitet. Erfaringen er dog den, at de eksisterende anlæg, der i dag sælges ikke kan kapacitetsreguleres med henblik på væsentlig nedsat effektforbrug under reduceret drift. Der er heller ikke taget hensyn til at anlægget kan være slukket i de timer, hvor folk er på arbejde, ferie eller andet.

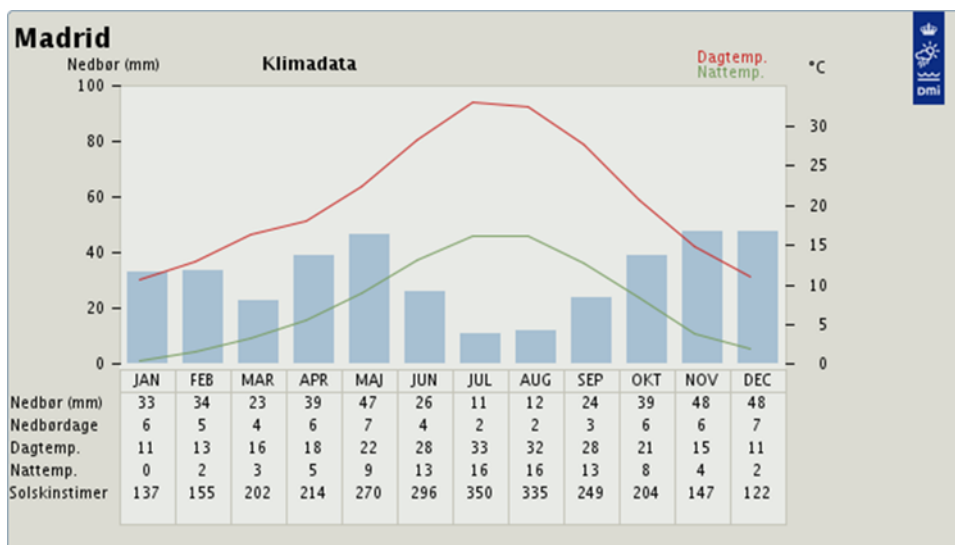
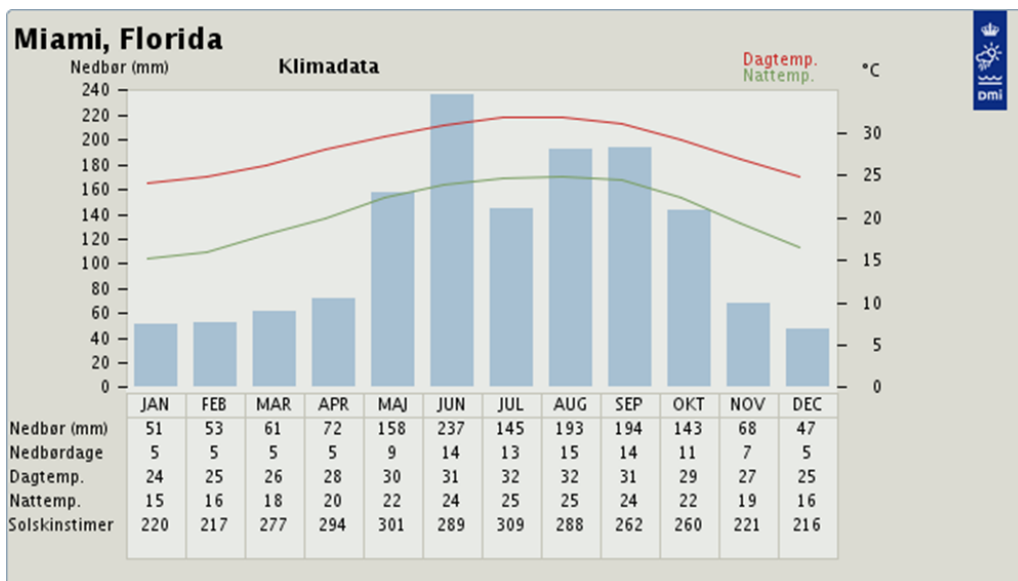


Fig. 8.1.2 Klimadata Madrid i Spanien

## Beregning af energiforbrug

	jan	feb	marts	april	maj	juni	juli	Aug	sept	okt	nov	dec	I alt kW	Pris Dkr	
Dagtemperaturer	11.00	13.00	16.00	18.00	22.00	28.00	33.00	32.00	28.00	21.00	15.00	11.00			
Antal dage i måneden	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00			
Solskinstimer	137.00	155.00	202.00	214.00	270.00	296.00	350.00	335.00	249.00	204.00	147.00	122.00			
Solskinstimer/ dag	4.42	5.54	6.52	7.13	8.71	9.87	11.29	10.81	8.30	6.58	4.90	3.94			
Motor effekt f. kompr. (*					2.57	3.46	4.19	3.97	3.46	2.10					
Samlet effekt i måneden					802	1143	1607	1464	961	510			6486	8821	
AC-Sun effekt forbrug					68	74	88	84	62	51			426	579	
(* eksklusiv ventilatorer													Diff.	6060	8242
Spanien el pris Dkr.	1.36														

Slutkundpriser dags dato Dkr.									
	AC-Sun			Konventionel + solceller			Konventionel el drift		
	Dyreste	Billigste	m. solcel.	Dyreste	Billigste	Red. Mont	Dyreste	Billigste	2kW solc.
Indkøb anlæg	39000	39000	39000	50000	30000	30000	50000	30000	30000
IndkøbSolfangere	36000	22000	22000	0		0	0	0	
Indkøb solceller	0	0	12000	124000	124000	124000	0	0	62000
Montage af anlæg	10000	10000	10000	9000	9000	9000	9000	9000	9000
Montage af solfangere/solceller	18000	0	3000	15000	15000	12500	0	0	8000
Investering i alt	103000	71000	86000	198000	178000	175500	59000	39000	109000
Energiforbrug el. i 15 år	8690	8690	0	0	0	0	132315	132315	66158
Samlede omkostninger efter 15 år	111690	79690	86000	198000	178000	175500	191315	171315	175158



Slutkundpriser gættet om 5 år Dkr.									
	AC-Sun			Konventionel + solceller			Konventionel el drift		
	Dyreste	Billigste	m. solcel.	Dyreste	Billigste	Red. Mont	Dyreste	Billigste	2kW solc.
Indkøb anlæg	42900	42900	42900	55000	33000	33000	55000	33000	33000
IndkøbSolfangere	18000	11000	11000	0	0	0	0	0	0
Indkøb solceller	0	0	6000	62000	62000	62000	0	0	31000
Montage af anlæg	15000	15000	15000	13500	13500	13500	13500	13500	
Montage af solfangere/solceller	19800	0	3300	16500	16500	13750	0	0	8800
Investering i alt	95700	68900	78200	147000	125000	122250	68500	46500	72800
Energiforbrug el. i 15 år	13036	13036	0	0	0	0	198473	198473	99237
Samlede omkostninger efter 15 år	108736	81936	78200	147000	125000	122250	266973	244973	172037

Priser d.d.	Invest.	Drift	Priser om 5 år	Invest.	Drift
AC-Sun Dyreste	103000	8690	AC-Sun Dyreste	95700	13036
AC-Sun Billigste	71000	8690	AC-Sun Billigste	68900	13036
AC-SunBilligste + solceller	86000	0	AC-SunBilligste + solceller	78200	0
Konv. + solceller	198000	0	Konv. + solceller	147000	0
Konv. + solceller Billigste	178000	0	Konv. + solceller Billigste	125000	0
Konv. + solceller + Billig mont.	175500	0	Konv. + solceller + Billig mont.	122250	0
Konventionel el drift	59000	132315	Konventionel el drift	68500	198473
Konventionel el drift billig	39000	132315	Konventionel el drift billig	46500	198473
Konventionel el drift + solcel.	109000	66158	Konventionel el drift + solcel.	72800	99237

Fig. 2 Klimadata Miami Florida, USA

## Beregning af energiforbrug

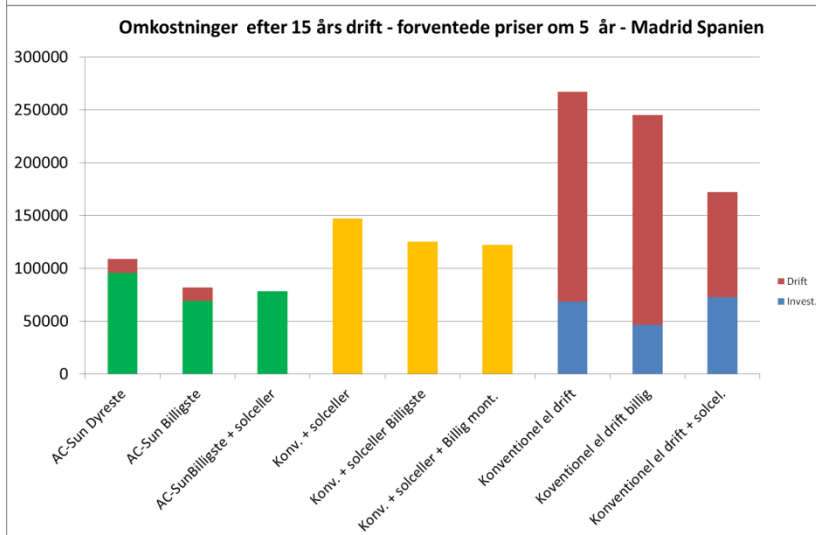
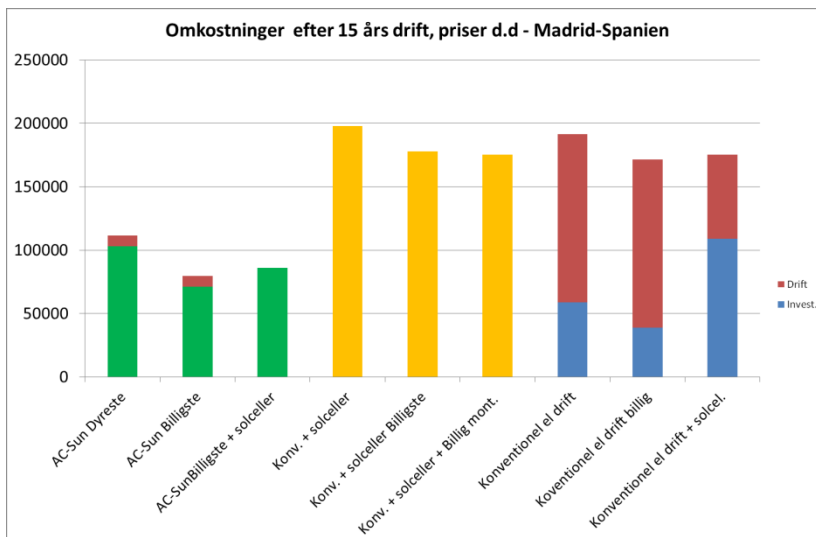
	jan	feb	mar	apr	maj	juni	juli	aug	sep	okt	nov	dec		
Nedbør mm	51	53	61	72	158	237	145	193	194	143	68	47		
Nedbørsdage	5	5	5	5	5	9	14	13	15	14	11	7	5	
Dagtemperaturer	24	25	26	28	30	31	32	32	31	29	27	25		
Nattemperaturer	15	16	18	20	22	24	25	25	24	22	19	16		
Dage/ måned	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31		
Solskinstimer	220	217	277	294	301	289	309	288	262	260	221	216		
Solskinstimer/dag	7.10	7.75	8.94	9.80	9.71	9.63	9.97	9.29	8.73	8.39	7.37	6.97		
Natdrift 10 timer					10	10	10	10	10	10				
Driftimer i alt	7.10	7.75	8.94	9.80	19.71	19.63	19.97	19.29	18.73	18.39	7.37	6.97	\$/kWh	0.0855
Akseffekt dagtimer	2.55	2.64	2.74	2.94	3.15	3.26	3.38	3.38	3.26	3.05	2.84	2.64	Dkr/\$	5.6
Akseffekt nattimer					2.36	2.55	2.64	2.64	2.55	2.36				Kr/år
Samlet effekt/måned	748	761	1004	1134	2221	2244	2439	2347	2130	2022	827	757	18633	8922
AC-Sun	55	54	69	74	153	147	155	150	141	143	55	54	1249	598

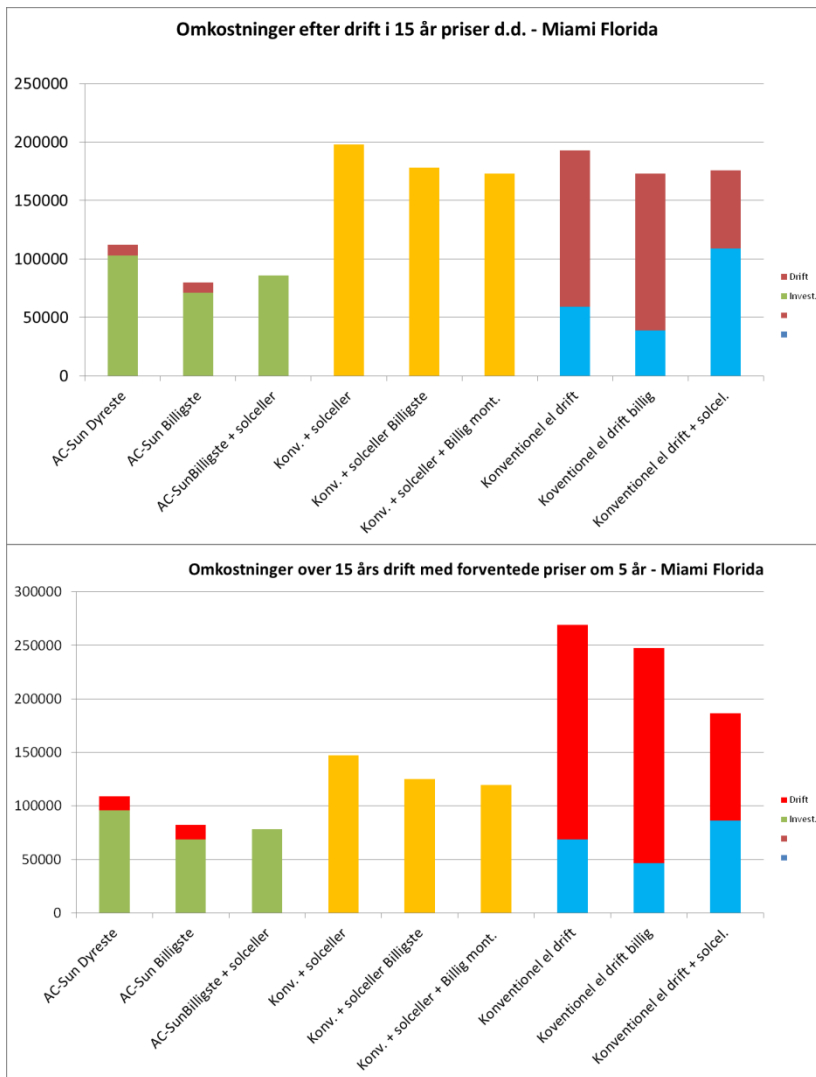
## Kalkulation:

Slutkundpriser dags dato Dkr.									
	AC-Sun			Konventionel + solceller			Konventionel el drift		
	Dyreste	Billigste	m. solcel.	Dyreste	Billigste	Red. Mont	Dyreste	Billigste	2kW solc
Indkøb anlæg	39000	39000	39000	50000	30000	30000	50000	30000	30000
IndkøbSolfangere	36000	22000	22000	0		0	0	0	
Inkøb solceller	0	0	12000	124000	124000	124000	0	0	62000
Montage af anlæg	10000	10000	10000	9000	9000	9000	9000	9000	9000
Montage af solfangere	18000	0	3000	15000	15000	10000	0	0	8000
Investering i alt	103000	71000	86000	198000	178000	173000	59000	39000	109000
Energiforbrug el. i 15 år	8967	8967	0	0	0	0	133825	133825	66912
Samlede omkostninger	111967	79967	86000	198000	178000	173000	192825	172825	175912

Slutkundpriser om 5 år Dkr.									
	AC-Sun			Konventionel + solceller			Konventionel el drift		
	Dyreste	Billigste	m. solcel.	Dyreste	Billigste	Red. Mont	Dyreste	Billigste	2kW solc
Indkøb anlæg	42900	42900	42900	55000	33000	33000	55000	33000	33000
IndkøbSolfangere	18000	11000	11000	0	0	0	0	0	0
Inkøb solceller	0	0	6000	62000	62000	62000	0	0	31000
Montage af anlæg	15000	15000	15000	13500	13500	13500	13500	13500	13500
Montage af solfangere	19800	0	3300	16500	16500	11000	0	0	8800
Investering i alt	95700	68900	78200	147000	125000	119500	68500	46500	86300
Energiforbrug el. i 15 år	13450	13450	0	0	0	0	200737	200737	100368
Samlede omkostninger	109150	82350	78200	147000	125000	119500	269237	247237	186668

Priser d.d.	Invest.	Drift	Priser om 5 år	Invest.	Drift
AC-Sun Dyreste	103000	8967	AC-Sun Dyreste	95700	13450
AC-Sun Billigste	71000	8967	AC-Sun Billigste	68900	13450
AC-SunBilligste + solceller	86000	0	AC-SunBilligste + solceller	78200	0
Konv. + solceller	198000	0	Konv. + solceller	147000	0
Konv. + solceller Billigste	178000	0	Konv. + solceller Billigste	125000	0
Konv. + solceller + Billig mont.	173000	0	Konv. + solceller + Billig mont.	119500	0
Konventionel el drift	59000	133825	Konventionel el drift	68500	200737
Koventionel el drift billig	39000	133825	Koventionel el drift billig	46500	200737
Konventionel el drift + solcel.	109000	66912	Konventionel el drift + solcel.	86300	100368



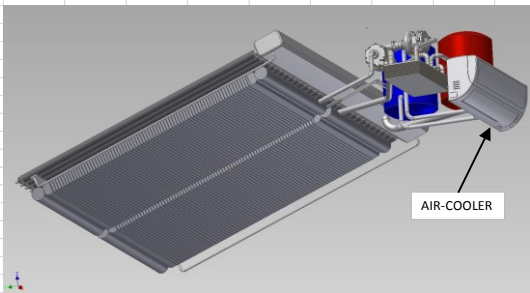


## 8.2 Kalkuleret produktionspris

På grundlag af indhentede tilbud vurderes produktionsprisen at blive som angivet nedenfor.

Cost Price Calculation:		#Solar Air-Condition#	[US\$]		
<b>Cost Price Calculation</b>	<b>By</b>		<b>Revisions date</b>		
	SMI		190114		
<b>AC with 10 [kW] cooling capacity</b>					
<b>Description</b>	<b>Drawing</b>	<b>Num.</b>	<b>Price</b>	<b>colli</b>	<b>In all</b>
Text	Number	pc.	US\$	Num.	Auto
Condensor		2	200		400
Turbo expander, - compressor		2	250		500
Separator for cold water		1	50		50
Heat exchanger, internal		1	150		150
Nozzle, pipes and internal pump		1	100		100
Oil cooler pump etc.		1	100		100
Assembly *)		1	200		200
Marking, test and packing *)		1	100		100
Control system etc		1	160		160
<b>Productions cost:</b>					<b>1760</b>
Solar collector on 15 m2		1	750		750
Receiver to the solar collector		1	150		150
Extra charge: setting up the unit			?		
<b>Sun power components:</b>					<b>900</b>
<b>Royalty to [COMPANY_XX]</b>					<b>400</b>
<b>Production price in all:</b>					<b>3060</b>
<b>Price ab-factory: prododuction price + 30%</b>					<b>3978</b>
The prices are based on external fabrication except *)					

*Price calculation is based on 10.000 piece / year*



**Note:** Exclusiv AIR-COOLER for the air-condition (market cost for 1 pc. approx. = US\$ 250 + mounting and pipe connection).

The cost on the AIR-COOLER above is calculated for 1 pc. with 10 kW cooling capacity (CC). The numbers and size of the AIR-COOLERS depends on the actual use. It will give a higher cost if 3 AIR-COOLERS are used with one each room on a total of 10 kW CC.

*Extra charge: depends on the situation*

## 9.0 Markedsundersøgelser og mediekontakt

### 9.1 Spanien gennem DK Ambassade

AC- Sun fik i 2007 foretaget en markedsvurdering af den Danske Ambassade i Spanien

#### AC-Sun – markedsvurdering – Spanien:

Markedsvurdering baseret på markedsundersøgelse udført af den Danske Ambassade i Madrid - Spanien

##### **Prisniveau baseret på salgspris fra importør/grossist/fabrikant**

Af markedsundersøgelsen fremgår det, at der ikke markedsføres varmedrevne AC anlæg i Spanien. Vi må derfor sammenligne markedsprisen for et traditionelt AC anlæg baseret på el drift. Som i Spanien vil have et samlet energiforbrug svarende til ca. 8 – 9.000,- kr./år.

- Ydelse ca. 9,8 kW
- Energiforbrug ca. 3,8 kW - med 1 intern luftkøler
- Pris ab importør/fabrik - med 1 intern luftkøler = 17.025,- kr.
- Pris ab importør/fabrik - med 2 interne luftkølere ca.. 22.900,- kr.
- Den endelige markedspris vil være et tillæg på 20 til 30 % + moms.
- Salgspris med 2 luftkølere = ca. 29.770,- kr.



Anlægget er en såkaldt split-unit, hvor køleanlægget står udenfor huset og 1 eller flere luftkølere er placeret indenfor. Anlægget vil kræve professionel montage og igangsætning og kræve el installation med 16 Amp sikringer.

Et sådant anlæg passer ifølge rapporten til et hus på ca. 150 m<sup>2</sup>.

## Kostprisberegning

AC-Sun [d.kr.]

Kostprisudregning	Beregner		Revisions dato					
Total	SMI		240207					
							Antal prod:	1
Beskrivelse	Tegn/vare	Antal	-	collie	i alt	Leverandør	Forbrug	Pris
Tekst	Nummer	Styk.	Kr.	Antal	Auto	Navn	Auto	Auto
Kabinet til AC-Sun modul		1	700		700		1	700
Kondensator		2	796		1592		2	1592
Fordamper, kold kreds		1	840		840		1	840
Turboekspander, -kompressor		1	4000		4000		1	4000
Ekspander fordamper		1	500		500		1	500
Overheder til turboekspander		3	250		750		3	750
Dyse + pumpe til befugtning		1	900		900		1	900
Montage		1	1000		1000		1	1000
Mærkning, test samt pakning		1	150		150		1	150
Diverse: rør pumpe, ventilator		1	1400		1400		1	1400
Automatik, El-komponenter		1	1000		1000		1	1000
Produktionsomkostninger							12832	
Solfangermodul		1	2000		2000		1	2000
Solfangerreceiver		1	500		500		1	500
Merpris: Opsætning + montage		0	0		0		0	0
Licensafgift til AC-Sun ApS					3000			
I alt produktionspris					18332			15332

Salgspris: prod. pris + 30% **23832**

Markedspris: iflg. undersøgelse **30000**

## **Afsætning**

I perioden 2003 til 2004 er omsætningen steget med 22%.

Det samlede byggeri af lejligheder og huse i 2004 i Spanien som hvoraf mindst 30% har aircondition.

- Private beboelse og mindre huse/lejligheder ca. 600.000 stk./år
- For større fritliggende villaer (100 m<sup>2</sup> og større) udgør markedet ca.120.000 stk./år

Desværre er der ikke en opdeling på størrelser for private lejligheder og mindre huse i rapporten. Den gennemsnitlige lejlighedsstørrelse er ifølge anden datainformation i Spanien ca. 60 til 80 m<sup>2</sup> og det gennemsnitlige AC anlæg vil derfor være ca. 4 til 5 kW køling.

For kommerciel anvendelse (butikker og lign.) er omsætningen tilsvarende ca. 275.000 stk/år, hvoraf mindst 80% har AC.

Data heraf er også uden opdeling af størrelser. Det vurderes at markedet for meget store anlæg (større end 50 kW i stk./år kun udgør 10 % og at markedet for mindre anlæg (mindre end 10 kW) udgør 50%.

De maksimale markedsmuligheder for AC-Sun anlæg i Spanien udgør således i 2004

$1/3$  af  $600.000 * 0.3$ ,  $1/1$  af  $120.000 * 0.3$ ,  $1/2 - 10\%$  af  $275.000 * 0.8 =$  ca. 195.000 stk./år

***Det må forsigtigt kunne vurderes, at vi indenfor en fem års periode  
- fra introduktion - kunne opnå en markedsandel i Spanien på 10%,  
hvilket vil svare til ca. 20.000 anlæg/år.***

Denne vurdering er baseret på adskillige undersøgelser og kurser for markedsindtrængning for nye produkter, der ikke er kendt af markedet.

## **Potentielle kunder**

I Spanien bor ca. 40 mill. mennesker.

I det sydlige Frankrig og Tyskland bor ca. 60 mill. mennesker.

I Schweiz og landene syd herfor inkl. Tyrkiet er der ca. 300 mill. indbyggere.

I det nære Europæiske marked kunne markedet således være  $360 * 20.000 / 40 =$  **180.000 anlæg/år**

Med en lineær fordeling over 5 år giver dette en samlet omsætning på **540.000 anlæg/5 år.**

Svarende til en omsætning fra fabrik på ca.  $540.000 * 20.000 =$   
**10.8 milliarder kr./5 år – Forventet licensafkast = 1.5 milliard**

Af det samlede verdensmarked på 120 til 150 milliarder kr. i 2004 udgør AC-Sun afsætningen således 3%

***Det fremgår af markedsundersøgelsen at markedet stiger med 22% om året. Efter 3 år er markedet således mere end fordoblet.***

## ***Processammenligning***

Eksisterende anlæg, til udnyttelse af solvarme for Air Condition, er anlæg med minimum kølekapacitet over 100 kW, dvs. store anlæg. Anlæggene har hovedsageligt bestået af absorptions-/adsorptionsanlæg, hvori den resulterende COP ikke overstiger værdien 0,6 ved varmetemperaturer på ca. 100 °C. Anlæggene skal derfor designes til at afgive dobbelt så meget varme per enhed kølekapacitet, hvilket gør at kondensatoren skal fjerne 3 gange mere energi end kølekapacitet.

Når COP er mindre end 0,6 på absorptions-/adsorptionsanlæg betyder det, at solfangerkapaciteten skal være hen ved dobbelt så stor som kølekapaciteten. For AC-Sun er kølekapaciteten 1,25 gange solfangerkapaciteten, hvilket mindsker anlægsomkostningerne dramatisk.

Anlæg med absorption-/adsorptionskøling er tillige dyre og komplicerede i opbygning og ikke særlig driftssikre. Opsætning og drift skal styres meget præcist for at undgå at ex. lithiumbromid ikke størkner og danner uopløselige salte.

Det resulterende CO<sub>2</sub> bidrag er mindre for AC-Sun end for noget andet system med solfanger til køling - se vedlagte gennemgang af energiforbruget og CO<sub>2</sub>-emissioner på forskellige anlægstyper.

Derfor kan man ikke sammenligne AC-Sun med allerede eksisterende AC-anlægstyper såsom absorptions og adsorptionsanlæg jf. dårlig varmeudnyttelse til køling, dårlige driftsforhold, dyre anlægsomkostninger og høje krav til styringssikkerheden. Igen findes der også andre typer med en varme/køle-funktion, men disse arbejder med langt mindre COP'er (COP > 0,6).

Markedssegmentet for AC-Sun kan være AC-anlæg til familiebehov (10 kW) - dette er ikke gældende for ex. absorptionsanlæg med kølekapaciteter på mere end 100 kW. Der er adskillige forsøg på at markedsføre små absorptionsanlæg, Men udbredelsen har hidtil strandet på den høje pris for små anlæg og den lave varmeudnyttelse som for små anlæg sjældent overskrider COP 0,5.

Virkemåden for absorptionsanlæg er den at man afkoger kølemidlet fra en absorber og dernæst fjerner varmen man har tilført for bagefter at ekspandere kølemidlet til et lavt tryk, hvorved kulde frembringes. Kølemidlet absorberes herefter i absorberen, hvorefter kredsløbet igen er sluttet.

Ved de lave temperaturer man har til rådighed vil man kun kunne anvende et trin og den teoretiske øvre græns for varmudnyttelsen er 0,8, men varmevekslertab og andre forhold gør at den faktiske virkningsgrad kun er ca. 0,5 til 0,6. Herlev sygehus havde engang installeret et absorptionsanlæg med en ydelse på et par MW, men den målte COP kom aldrig over 0,55.

## **9.2. CBS Bachelor markedsundersøgelse i Spanien**

Rapporten er gengivet i bilag [22]

## **9.3 Medie kontakt**

AC-Sun har gennem forløbet med EUDP haft kontakt TV2 og til adskillige faglige dagblade og aviser.

Enkelte artikler foredrag udstillinger m.v. er gengivet i bilag [17] og [23].

## **10.0 Markedsføring**

AC-Sun har gennem alle årene markedsført anlægget, og det ført til adskillige kontakter, priser og medieomtale. AC-Sun har også deltaget i en udstilling i USA for HVAC anlæg.

AC-Sun ApS hjemmeside: [www.ac-sun.com](http://www.ac-sun.com)

### **10.1 Kontakt til Danske Ambassader m.m. i udlandet**

Information til Danske Ambassader. Se bilag [12] DK Ambassader

Firma Emerson USA rep.resenteret V. Henning Christoffersen Bilag 13

### **10.2 Artikler i fagblade m.m.**

Indisk fagblad bilag [15] og [16]

FDB Pris: Bilag [17]

Udstilling USA: Bilag [18.1] Uds\_ACR\_USA. Udstillingen gav anledning til en del kontakter, som efterfølgende er fulgt op på.

Artikel: AC-Sun i BT Bilag [23]

AC-Sun HVAC artikel til Indisk fagblad Bilag [24]

## 11. Vurdering af miljøpåvirkning

I et samarbejde med Force Instituttet i Danmark er der udarbejdet et såkaldt Carbon Footprint. Der viser hvilken miljøforbedring der kunne ske, hvis AC-Sun processen blev alment anvendt. Se bilag 25\_Carbon Footprint.

AC-Sun Foredrag af Søren Minds: Cleantech Venture forum. Se Bilag [13] og [14]

## 12.0 Patentering

AC Sun har 2 patenter.

Patent nr. 1 er fra september 2006 og har følgende nummer. og overskrift:

P16174PCDK/RM 28.09.2006/RM

Inventor: Søren Minds, Gunnar Minds og John Steen Jensen

Applicant: AC-Sun Holding ApS.

Cooling apparatus for air conditioning and heat pumps.

Patent nr. 2 er fra medio 2011 og har følgende nummer. og overskrift:

Nr. PCT/DK2011/050045/

Inventor: Søren Minds, Gunnar Minds

Applicant: AC-Sun ApS

Cooling apparatus for air conditioning and heat pumps with a buffer tank.

Der er søgt og bevilget patent i følgende lande og områder:

- Europa (EU og Efta landene)
- Sydafrika
- Kina
- Indonesien
- Indien
- Taiwan
- Thailand
- Malaysia
- Japan
- Syd Korea
- USA
- Brasilein

- Argentina
- Australien

Patenternes beskyttelse går i sin korthed ud på, at den stærkt overhedede damp fra kompressorerne tilbageføres til ekspanderens indgangsdamp, så tilgangsdampen kan være tilstrækkeligt overhedet til at dampen gennem ekspanderne kan ekspandere tørt, hvilket forlænger ekspanderens levetid.

Det har vist sig at patenterne endnu ikke er forsøgt krænket eller omgået.