



Miljø- og
Fødevareministeriet
Naturstyrelsen

**Drikkevand og varmt
badevand fra
solenergi til private
hjem
WaterStillar® Family**

Maj 2016

Udgiver: Naturstyrelsen

Redaktion:

Tom Juul Andersen

Kristian Paulsen

Jesper K. Thomsen

Niels Lyck

Gert Holm Kristensen

Projektgruppe:

AquaDania a/s

AKS Rustfri A/S

Studio Jesper K. Thomsen ApS

Varmt vand fra solen ApS

DHI

Wagner Montage ApS

O P Stål ApS

ISBN: 978-87-7175-588-6

Naturstyrelsen offentliggør rapporter inden for vandteknologi, medfinansieret af Miljøministeriet. Offentliggørelsen betyder, at Naturstyrelsen finder indholdet af væsentlig betydning for en bredere kreds. Naturstyrelsen deler dog ikke nødvendigvis de synspunkter, der kommer til udtryk i rapporterne.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	4
Sammenfatning	5
Summary	6
1. Indledning	7
1.1 Baggrund og formål	7
2. Udvikling og fremstilling af prototype	9
2.1 Kravspecifikation til prototype	9
2.2 Fremstilling af prototyper	11
2.2.1 Varmeoverføring	11
2.2.2 Damptransport	12
2.2.3 Elektrisk model, energianalyse	14
3. Teknologiafprøvning	15
3.1 Sites for teknologiafprøvning	15
3.2 DHI: Teknologiafprøvning med elektrisk energi i Danmark	16
3.3 Afprøvning med solenergi i Danmark	21
3.4 Afprøvning med solenergi i Mexico	23
3.5 DHI: Testresultater fra Mexico	24
4. Produktdesign	28
4.1 Ydre formgivning	28
4.2 Udvikling i udpluk	30
4.2.1 Fordamperkarret og overløb	30
4.2.2 Badevandsbeholderen	31
4.2.3 Isolering og yderdel	31
4.2.4 Stativ og underskab	32
4.2.5 Opfyldning af fødevand - ventilløsning	32

Forord

Denne rapport er for projektet ” Drikkevand og varmt badevand fra solenergi til private hjem - WaterStillar® Family” Projektet gennemføres med tilskud fra Miljøministeriet i perioden nov 2014- april 2016

Projektgruppen består af:

AquaDania a/s

AKS Rustfri A/S

Studio Jesper K. Thomsen ApS

Varmt vand fra solen ApS

DHI

Wagner Montage ApS

O P Stål ApS

AquaDania a/s er projektholder, og projektleder er Tom Juul Andersen.

Sammenfatning

Projektets formål var at frembringe en brugbar model for en soldreven vandvarmer, som samtidigt producerer drikkevand. Enheden var på ansøgningstidspunktet patentanmeldt i DK og er nu videreført som international ansøgning. Projektet er afgrænset til designarbejde, model-frembringelse, afprøvning og dokumentation. Processen blev, modsat vandfaldsplanen, iterativ og med et antal tilbageløb, efterhånden som erfaringerne ved afprøvningerne afslørede behov for ændringer. De afsluttende designtilretninger har været præget af produktionsoptimeringer og til/fravalg af materialer.

Prototype er afprøvet under realistiske forhold hos en familie på 3 personer i Mexico. Prototypen har kørt i 3 måneder uden problemer. Familien går i bad og får drikkevand på dagligt basis fra prototypen på WaterStillar Family.

DHI har dokumenteret de energimæssige sammenhænge i systemet. Målingerne har medført, at der er sket nogle tilretninger i designet, og at det foreløbigt endelige resultat er mere effektivt end det første.

Projektet har frembragt en model som virker efter hensigten, og som nu er klar til næste step: klargøring for produktion, markedsføring og første salg.

Summary

The project aimed to provide a working model for a solar-powered water heater, which simultaneously produces drinking water. The unit was at the time of application patented in DK and is now applying for international patent as well. The project is limited to the design work, model creation, testing and documentation. The process was, opposite the waterfall project plan, iterative and with a number of loops as the trial and errors revealed need for changes. The final design modifications been focusing on production optimization and / exclusion of materials.

A main activity of the project is a field testing in Mexico with a family of 3. We are proud that the prototype system has been running for 3 months without problems. The family is bathing in hot water and gets drinking water on a daily basis from WaterStillar Family.

The project had DHI in the project to document the energy correlations in the system. The measurements have led to some modifications in the design and the preliminary end result is subsequently more efficient than the first.

The project has succeeded to bring forward a model that works, and is now ready for next step: manufacturing, marketing and first sale.

1. Indledning

1.1 Baggrund og formål

Drikkevand er i top 5 over de største udfordringer i verden. Rigtig mange steder er der fysisk mangel på vand i en kvalitet der kan drikkes, og endnu flere steder er der økonomisk vandmangel, dvs. folk har ikke råd til at købe drikkevand.

Rent drikkevand i de solrige egne af verden kommer i plastikflasker - det er forurenende og dyrt. Literprisen på drikkevand kan overstige benzinpriser. Hertil kommer problemerne med de hormonforstyrrende stoffer i plastikflaskerne, og at CO2 regnskabet i produktion og distribution af flaskevand er enorm. Sådan kan man blive ved.

Så der er et behov for en billig, simpel og forureningsfri løsning til at lave drikkevand, decentralt, således at drikkevandsmarkedet kommer (lidt) væk fra flaskerne.

WaterStillar Family (WSF) er en særlig termisk solfanger der driver en kombination af en varmtvands beholder og et destillationsapparat. WSF skal stå på hustagene rundt om i verden og lave rent drikkevand og varmt badevand til familier.

Dermed kan enhver familie producere sit eget drikkevand ud fra enhver lokal vandkilde (forurennet, salt, brak, klore, bakteriebelastet etc.). Typisk vil det være den offentlige vandforsyning, egen brøndboring eller vand som kommer fra tankvogne. Der ser følgende fordele ved WaterStillar Family:

- Ingen transport, opbevaring og løft af vand
- Ingen forurening (ingen kemikalier, filtre, støj eller tilført energi)
- Ingen plastikflasker (genbrugsflasker og en vandhane indendørs)
- Absolut rent vand (forventer ingen bakterier og meget lav ledningsevne i vandet)
- Og meget, meget billigere end vand i plastikflasker

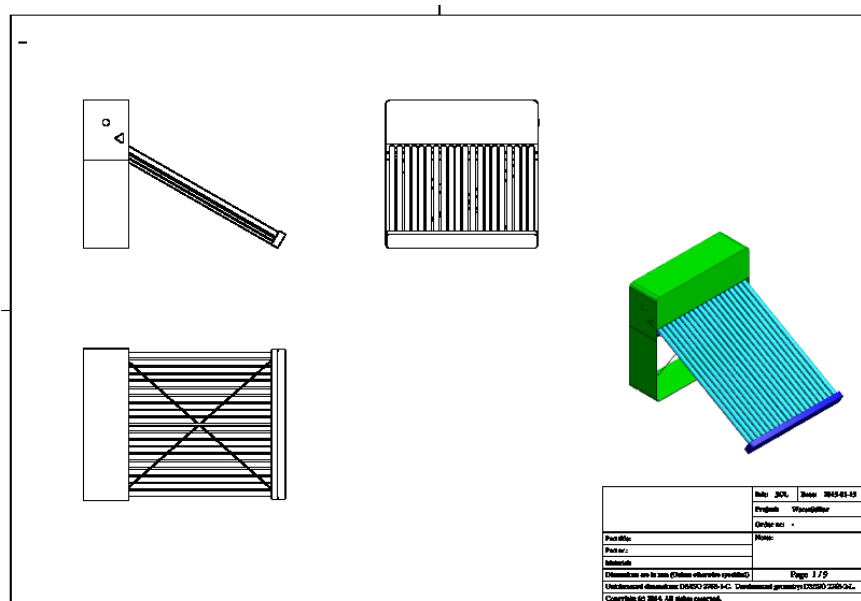
Projektets mål er sammenfattet i nedenstående tabel:

Projektets mål	Succeskriterier
Planlægge test og finde/forberede site for teknologiafprøvning	Identificeret afprøvningssite, plan og aktivitetsliste, rollefordeling på plads samt afhandlet budget
Udvikling og fremstilling af 2-3 prototyper til teknologiafprøvning	2-3 prototyper fremstillet, som er indrettet for fleksibel forsøgsdrift til afprøvningsformål og designet med plads for relevante følere, dataopsamlingsudstyr, med videre
Identificere velegnede afprøvningssteder og etablere forsøgsopstillinger på de valgte sites for teknologiafprøvningen	Afprøvningssites identificeret i Norden henholdsvis Mexico. Transport, import, installation og klargøring til teknologiafprøvninger på valgte sites: Mexico, med sol i vinteren 2014/2015 og Sverige eller DK i sommeren 2015.
Planlægge og gennemføre kontrollerede afprøvninger, der belyser teknologiens performance og effektivitet på en sådan måde, at teknologiens design kan færdigudvikles og optimeres	Performance (vandproduktion og varmeproduktion) og energieffektivitet belyst og klarlagt ved varierende driftsforhold. Teknologiens robusthed belyst ved langtidsdrift forhold identificeret, der kan optimeres. Erfaringer opnået med langtidsafprøvning til belysning langtidseffekter, behov for og metoder til rengøring.
Udvikling af teknologiens endelige design og udformning på basis af resultater fra teknologiafprøvningen.	Industrielt design udviklet baseret på erfaringerne fra prototyper og teknologiafprøvning i form
Rapportere resultater af testen	Endelig rapport, som viser performance og de resultater, som udviklingsprojektet ender med.

2. Udvikling og fremstilling af prototype

2.1 Kravspecifikation til prototype

Der er løbende sket tegningsarbejde og ideudvikling for visse tekniske løsninger. Alt dokumenteres i projektets fælles bibliotek, og der arbejdes i målfaste miljøer og i software, som umiddelbart kan bruges til produktion af både prototyper og funktionsmodeller.



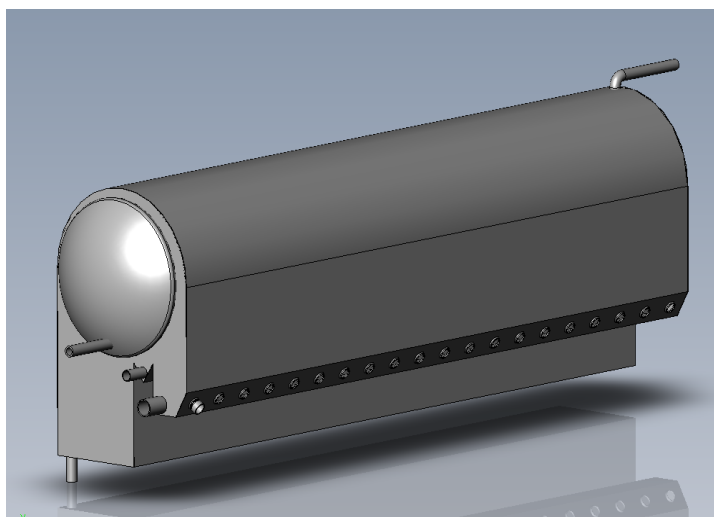
Figur 1 Et af de første designudkast for WaterStillar Family. På tegningen ses 2D og 3D views på første designudkast af enheden

Projektet har udarbejdet op mod 20 forskellige tegninger, 2D og 3D, som løbende er blevet tilrettet og diskuteret.

Projektet har brugt en del tid på materiale specifikationer, trykbelastningsevne, størrelser, vægt, farver, palle-størrelser til det fremtidige endelige produkt, omkostningsreducerende design og især funktionalitet (rensning og vedligehold).

Som særligt input har projektet nydt godt af input fra en professor i matematik fra Ålborg Universitet, der som privat person har tilført projektet en grundig teoretisk redegørelse. Forslagene herfra er slået igennem på designarbejdet og har dannet tilstrækkeligt belyningsgrundlag for de fysiske sammenhænge i opfindelsen.

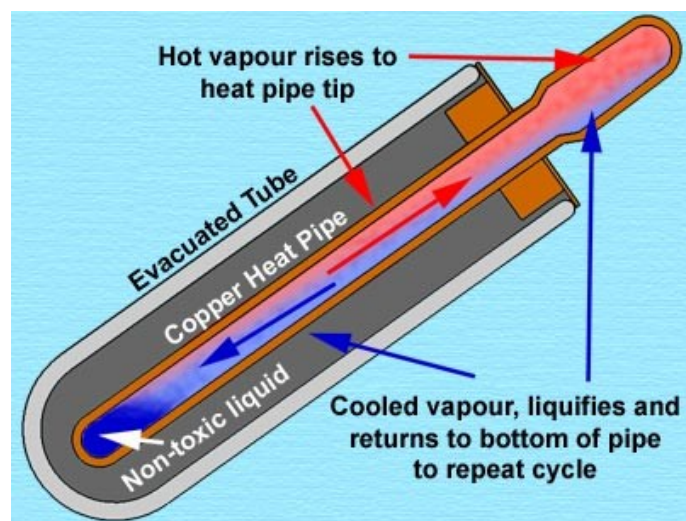
Uden for projektet, men alligevel relevant for projektet, er der indgivet en fornyet og meget udvidet patentansøgning for WaterStillar Family.



Figur 2 3D model af den indvendige konstruktion af enheden. Man ser endebunden af den indvendige badevandsbeholder, den ydre kappe og den særlige udformning af den nederste del, som indeholder fordamperkar og destillatopsamling.

Kravene til solfanger-delene er gået fra særlige tomme vakuum rør til heat pipe typen. Et teknologiskifte, som tilgodeser energiniveauet (over 100 °C) og koncentrationen af energien, inde i fordamperkarret. Udfordringen med varmeovergangen har gjort, at de forventede solfangerrør (som er lokalt tilgængelige i Danmark) ikke kan bruges. Derfor har der været brugt tid på at finde andre rør og én kinesisk producent har udviklet en brugbar løsning for projektet.

Den valgte solfangerteknologi fungerer ved netop fordampning og kondensering i et lukket rørsystem. Toppen af røret kan aflevere varmegrader på op mod 25 °C og fungerer "tørt", hvilket betyder, at heat pipen på røret ikke er i direkte berøring med den væske som skal opvarmes (figur 3).



Figur 3 Principskitse over en heat pipe solfanger. Den mest anvendte vakuum solfanger i dag. Især har den en fordel, at den kan skiftes individuelt uden at et ellers tryksat system skal tømmes.

2.2 Fremstilling af prototyper

Projektet har produceret 3 funktionsmodeller for at undersøge og afprøve 1) varmeoverførsel; 2) damptransport og 3) elektrisk udnyttelsesgrad.

2.2.1 Varmeoverføring

At overføre varmen fra heat pipes til fordamperkarret var en udfordring. Projektet kom op med et antal løsninger og en enkelt funktionsmodel blev produceret (figur 4).



Figur 4 En funktionsmodel for varmeoverføring i form af tørt forbundne aluminiums-klodser, som fysisk forbundet med tyndpladen skal overføre varme. Hullerne er til små varmelegemer, som efterfølgende blev monteret.

På billedet (figur 5) ses den løsning, som sidenhen blev valgt. Disse indstik er en patenteret løsning, som ejes af en kinesisk producent, men som gerne vil samarbejde.



Figur 5 Disse indstik er særligt udviklet for netop varmeoverføring fra heat pipe rør. Heat pipens hoved stikkes ind i disse "fingerbøl" som omslutes af vandet, der skal opvarmes. Patenteret løsning, som kan købes billigt fra kinesisk producent.

Indstiksløsningen er effektiv og billig – men er desværre dyr i produktionssammenhænge, eftersom der skal svejses 20 stk. muffe ind i fordamperkarret. Det tager timer for en dygtig svejser. Fremtiden vil vise om dette kan automatiseres.

2.2.2 Damptransport

Et bærende element i designet af enheden er, at der skal ske en kontrolleret og hydraulisk selvkørende varmetransport rundt om badevandsbeholderen. For at kontrollere om designet virker efter hensigten frembragte AKS Rustfri A/S en funktionsmodel (figur 6):

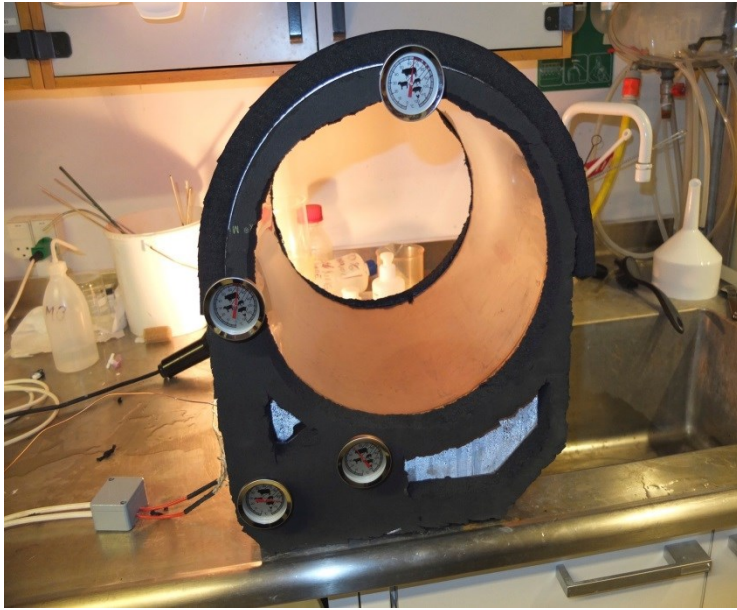
- som er i påtænkt størrelse, altså 1:1, en form for gennemskåret del af den endelige model
- med 4 målepunkter for temperatur i form af følerlommer
- vinduer, så vi kan se ind i enheden under drift
- med elektriske varmelegemer som kan styres via termostat
- som kan åbnes for inspektion
- som er rustfri i den påtænkte type stål
- som har en særlige aluminiumsklod og fjederstålbygning for at sikre varmeovergang.



Figur 6 Funktionsmodel under opbygning. El varmelegemer, vinduer og temperaturfølere er monteret og det første destillat opsamles.

Funktionsmodellen er et tværsnit af den endelige model med samme dimensioner og drives af små elektriske varmelegemer, placeret samme sted som solfangeren vil blive forbundet.

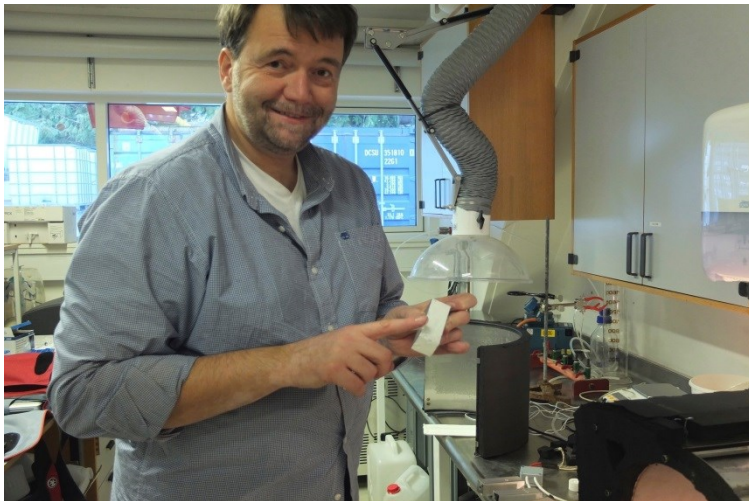
På figur 7 ses funktionsmodellen i drift og med monterede indstikstermometre. Kondensat afgivelsen kan ses igennem de små vinduer af glas, som ses med dug på. Varmelegemerne er regulérbare.



Figur 7 Færdig funktionsmodel under afprøvning

Funktionsmodellen afslørede to forhold:

- Varmeovergangen vha. aluminiumsklodserne til varmekoblinger mellem solfangerrør og fordamperkar virker, men løsningen er dyr, kompliceret (se figur 7) og der ligger en risiko for at den ikke virker optimalt under virkelige forhold. Derfor skulle der nytænking til, som resulterede i indstiksrørene (se figur 5) .
- Den ønskede tvungne transport af vanddamp i enheden med indstiksrørene, forløber efter hensigten. Dette afgørende princip betyder, at destilleringen vil forløbe mere effektivt end den tidligere prototype.



Figur 8 Varmepasta påføres aluminiumsklodsen, som der med får bedre termisk kontakt med fordamperkarret. Effekten mangedobledes

Den problematiske varmflytning fra solrør til fordamperkarret har gjort, at AQD har fundet, bestilt og fået leveret særlige indstiksrør fra en producent i Kina. Hertil skal bruges særlige solvakuu-rør, som er fundet hos en polsk forhandler.

2.2.3 Elektrisk model, energianalyse

For at se om enheden vil virke efter hensigten, blev der fremstillet en model af WaterStillar Family, som er en badevandsbeholder med yderkappe, en kogeplade med en gryde på, som er svejst fast til yderkappen på badevandsbeholderen:



Figur 9 Prototype af WaterStillar Family til test af produktion ved elektrisk energi. Billedet er taget på DHI's laboratorium. Det varme brugsvand aftappes af røret for oven og destillatet tappes af i glas-målerøret til venstre, nederst.

Prototypen består af en isoleret lodret varmtvandstank og kondenseringsenhed med underliggende fordamperkar forsynet med elektrisk varmeenergi via en kogeplade. Testenheden var forsynet med automatisk logning af temperaturen i fordamperkar samt i top og bund af varmtvandstank. Manuel vandpåfyldning og manuel styring af effektrinnet på kogepladen.

Overordnet så viste enheden at det fungerer, og at der som forventet er en lineær sammenhæng mellem energiinput og destillatoutput og temperaturhævning i badevandet.

Det overraskende er, at energibehovet for at holde den kørende (læs: koge vandet kontinuerligt) er mindre end forventet. Samme effekt, som når der lægges låg på en gryde – da kan kogningen fortsætte med et mindre energiinput. Afsætningen af kondensat er lig med energiforbruget, som er lig med den mulige temperaturhævning.

3. Teknologiaprøvning

3.1 Sites for teknologiaprøvning

AQD gennemfører en afprøvning af den udviklede prototype i Playa del Carmen i Mexico. Afprøvningen sker hos AQD's egen medarbejder – en lille familie på 3 personer.



Figur 10 På hustaget til venstre skal prototypen afprøves i sommeren 2015. Privat hjem med mor, far og en 15 årig datter.



Figur 11 Her ses enheden på familiens tag. Dataloggeren ses øverst til højre. De hvide rør på hustaget er rørføringen til/fra enheden.

Bortset fra vintermånederne, så er der næsten solgaranti i området ved Playa del Carmen. Vandet er belastet af især kalk (gammel havbund) og er meget svingende i kvalitet. Der er tilsat klor og der er ofte trykafbrydelser – hvorfor der er en "cisterna" i jorden ved hvert hus, hvor der fyldes vand på (3 m³), som så pumpes op på taget i en "tinaco" – en vandbeholder på taget, som så leverer vand til bad og toilet. Ledningsevnen svinger mellem 500 og 1200 mSc og vandet forventes være bakteriologisk belastet.

Ingen drikker vand fra vandhanen i Playa del Carmen. Alle køber vand på flaske, dvs. primært i "garrafontes" - 20 liter beholdere, som leveres med lastbil eller fra uregistrerede småhandelnde på dertil særligt indrettede cykler. Der er vand-lastbiler og cykler overalt i gadebilledet. Drikkevand løftes og bæres rundt dagligt af samtlige mennesker i Mexico.

Kvaliteten af vandet svinger meget - selv samme mærke (Cristal, Bonafont, ePura, Sta. Maria etc.) har svingende ledningsevne fra flaske til flaske. Det er ikke muligt at sige noget generelt, men de billigste flasker er typisk let filtreret vand fra Aquacan (det lokale forsyningsselskab) som sælges af små handelsdrivende.

De mange vanddispensere (ses overalt i byen) har det til fælles, at de nok aldrig bliver rengjort. Så når der hentes (rimelig rent) vand på flaske, så sker der utvivlsomt en kontaminering via dispenserens. Dette problem forstærkes af, at håndteringen af den store flaske sker ved at holde på flaskehalsen - og en eventuel manglende håndhygiejne tilfører så yderligere problemer med den biologiske renhedsgrad af drikkevandet.

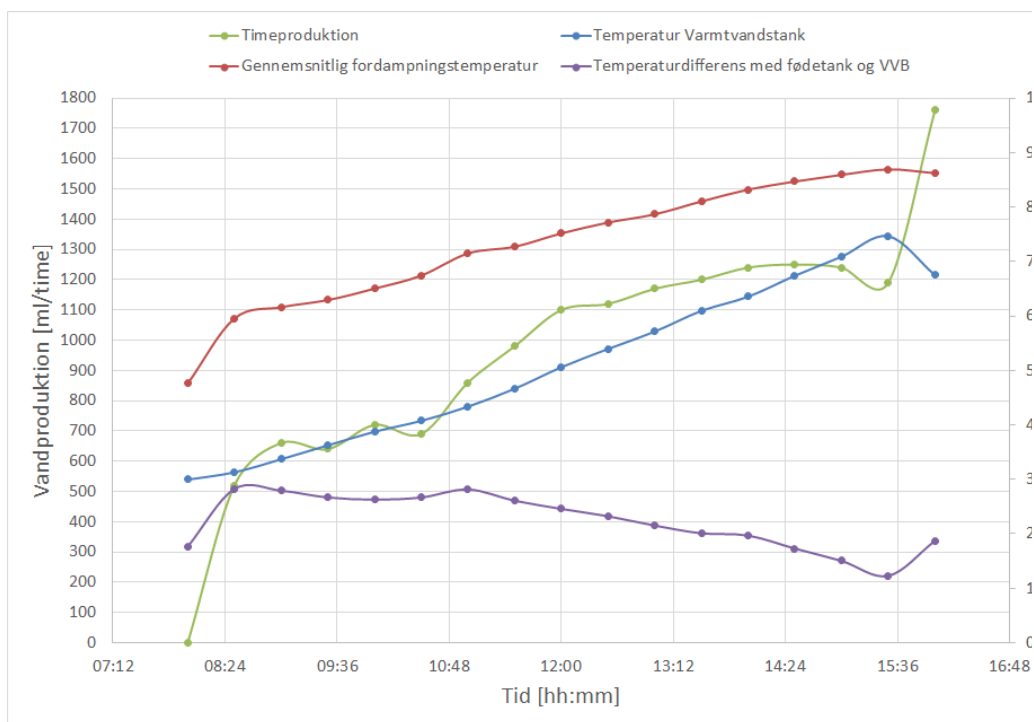
Ifølge de indledende markedsanalyser i Mexico, så er der ualmindeligt god brug for en familieløsning til en rimelig pris. Eneste modstand vil komme fra de mange flaskevandsleverandører.

3.2 DHI: Teknologiprøvning med elektrisk energi i Danmark

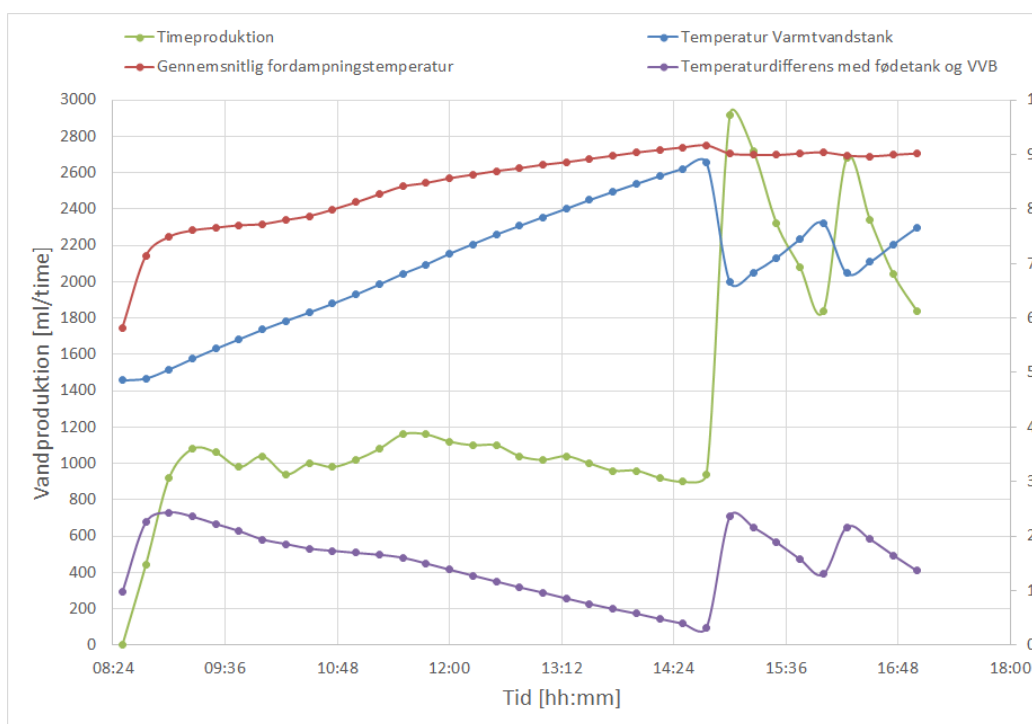
Efter en indledende produktionstest med el-patron, hvor forhold omkring stabil drift af WaterStillar Family teknologien i dens tidligste udgave blev belyst, blev der gennemført en test med simuleret døgncyklus over to dage under mere kontrollerede forhold. Resultaterne heraf fremgår af nedenstående to figurer (fig. 12 og 13).

For den første dag ses den aktuelle produktion indledningsvist at stige til et niveau omkring 600-700 ml/time svarende til, at den gennemsnitlige fordampningstemperatur stiger. Herefter forbliver den aktuelle produktion på dette niveau over et par timer, hvilket er sammenfaldende med, at fordampningstemperaturen kun stiger svagt samt, at temperaturdifferensen mellem fødevandstank og varmtvandsbeholder er forholdsvis konstant. Efterfølgende ses den aktuelle produktion at stige jævnt til trods for, at temperaturdifferensen mellem fødevandstank og varmtvandsbeholder falder. Årsagen hertil må være, at den stigende fordampningstemperatur i samme periode kompenserer mere end proportionalt med den stigende kondenseringstemperatur.

Ved slutningen af testforløbet på dag 1 gennemføres et simuleret forbrug af varmt vand (25 liter), hvilket reducerer temperaturen i varmtvandsbeholderen og øger temperaturdifferensen mellem fødevandstank og varmtvandsbeholder. Dette ses at medvirke til en umiddelbar forøgelse i den aktuelle produktion (figur 12).



Figur 12 Vandproduktion, Gennemsnitlig fordamningstemperatur, Temperatur i varmtvandsbeholder samt temperaturdifferens mellem fødevandstank og varmtvandsbeholder. Dag 1 - kontrolleret produktionstest. (Varmtvandstank og VVB (varmtvandsbeholder) er det samme)



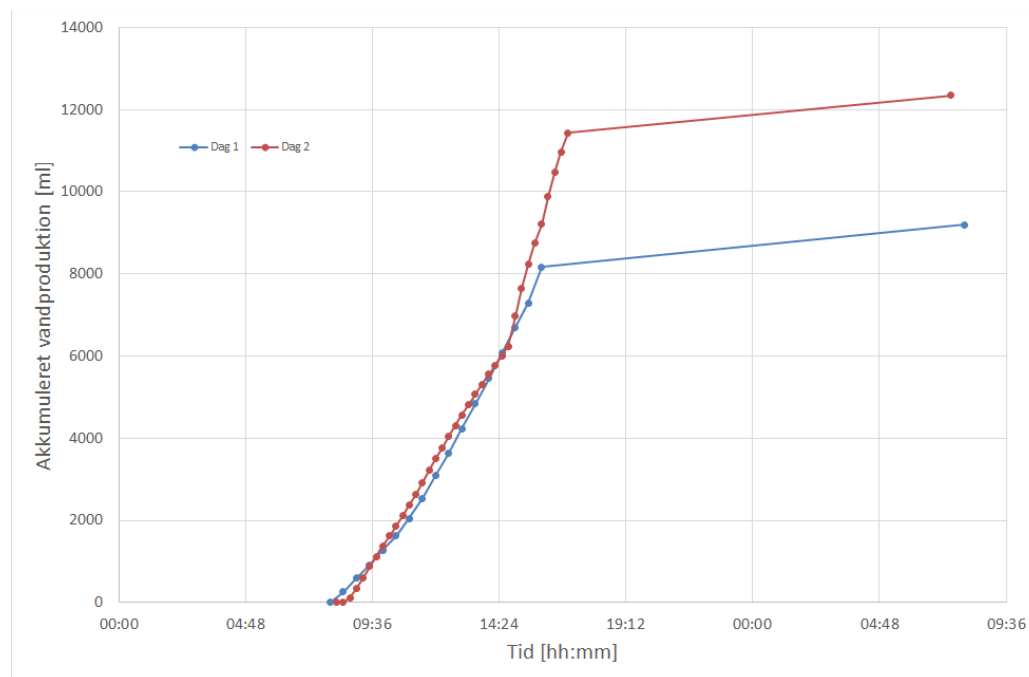
Figur 13 Vandproduktion, Gennemsnitlig fordamningstemperatur, Temperatur i varmtvandsbeholder samt temperaturdifferens mellem fødevandstank og varmtvandsbeholder. Dag 2 - kontrolleret produktionstest med el-patron.

Ved testens dag 2 ses den aktuelle produktion igen indledningsvist at stige til omkring 1000 ml/time (figur 13), hvorefter produktionen forblev på dette niveau over de næste 5½ time. Den konstante produktion er et resultat af en stigende fordampningstemperatur som igen mere end kompenserer for det løbende fald i temperaturdifferensen mellem fødevandstank og varmtvandsbeholder som følge af den løbende opvarmning af vandet i varmtvandsbeholderen i samme periode.

Omkring kl. 14:45 og igen kl. 16:00 blev gennemført to simulerede forbrug af varmt vand (i alt 75 liter), hvilket fik temperaturdifferensen mellem fødevandstank og varmtvandsbeholder til at stige markant. Ved en samtidig høj fordampningstemperatur kunne observeres, at dette medførte en markant forøgelse i den aktuelle produktion til omkring 3000 ml/time. Mellem de to simulerede forbrug af varmt vand aftog produktionen parallelt med, at temperaturdifferensen mellem fødevandstank og varmtvandsbeholder igen blev reduceret.

De observerede forløb for udvikling i produktion samt temperaturdifferensen mellem fødevandstank og varmtvandsbeholder indikerer, at den styrende parameter for den aktuelle produktion ved en given fordampningstemperatur, er temperaturdifferensen mellem fødevandstank og varmtvandsbeholder. Dette skyldes, at en lavere kondenseringstemperatur ved en given fordampningstemperatur vil bevirke, at det specifikke vandindhold i luften omkring kondenseringsfladen reduceres således, at så meget som muligt af vandindholdet i luften trækkes ud. Dette vil samtidig reducere vanddampstrykket ved kondenseringsfladen således, at damptryksforskellen mellem fordampnings- og kondenseringsflade bliver så stor som muligt, og det er denne damptryksforskel, der driver transporten af damp i systemet. Ved så høj en fordampningstemperatur som muligt (uden at koge) bliver det specifikke vandindhold i luften også så høj som muligt, og dermed bliver vandproduktionspotentialet også så højt som muligt. Den realiserede vandproduktion er primært styret af ovennævnte forhold omkring differensen mellem fordampnings- og kondenseringstemperatur.

Den akkumulerede vandproduktion på et døgn for WaterStillar Family ved de to dages produktionstest med el-patron fremgår af nedenstående figur.

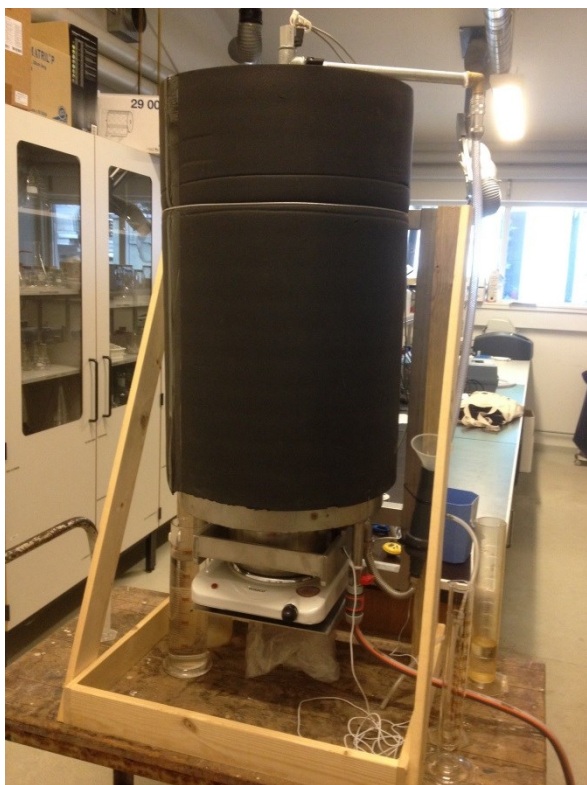


Figur 14 Akkumuleret vandproduktion over tid de to dages produktionstest med el-patron.

Det fremgår af figuren (figur 14), at de akkumulerede vandmængder for de to dage er relativt ens inden for de første ca. 5 timers drift. Den akkumulerede produktion for de sidste tre timers drift ses at stige markant for dag 2, hvilket skyldes det simulerede forbrug af varmt vand, der medvirkede til en betydelig forøgelse i den aktuelle produktion for dag 2 i forhold til dag 1, hvor det simulerede varmtvandsforbrug var væsentligt lavere. Dette bekræfter således, at såvel den aktuelle som den akkumulerede vandproduktion er styret af differensen mellem fordampnings- og kondenseringstemperatur. Den akkumulerede vandproduktion blev således målt til 9,2 liter og 12,4 liter for henholdsvis dag 1 og 2.

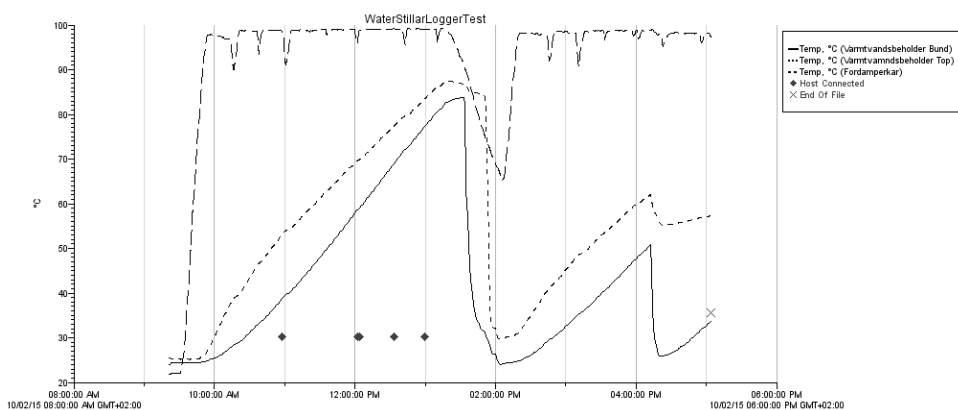
Energibalancen for de to produktionstests viser, at omkring 80% af energiforbruget kan forklares ud fra opvarmning af vandet i fødetanken og fordampning til vandproduktion. Ved de kontrollerede produktionstest med el-patron (figur 15) ses imidlertid, at de 80% af det samlede energiforbrug fordeles ca. ligeligt mellem opvarmning af vandet i fødetanken og fordampning til vandproduktion dog således, at en større andel af energien blev anvendt til vandproduktion på dag 2 end dag 1.

Resultaterne af testene med elpatron bekræfter forventningen om, at volumen af fordamperkammeret skal minimeres mest muligt under hensyntagen til en stabil og velfungerende løbende opfyldning af fordamperkarret.



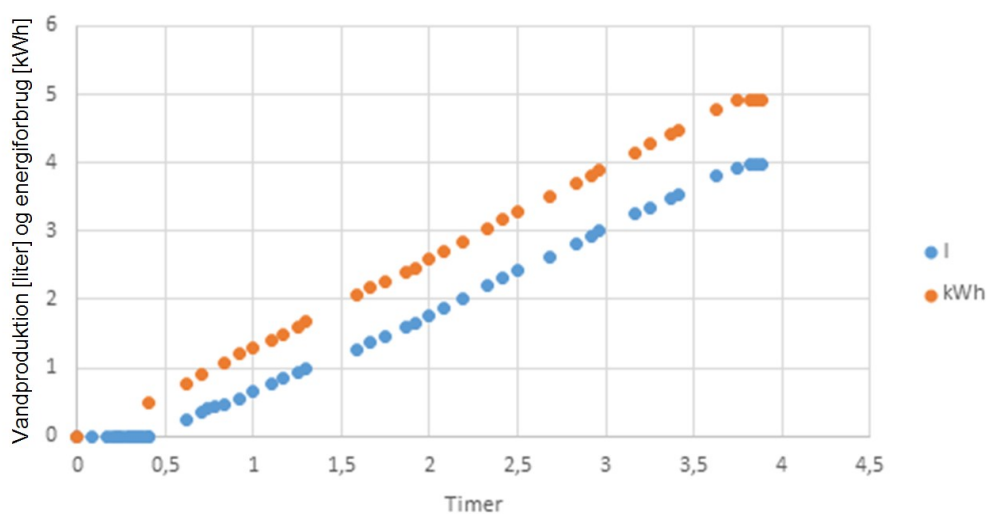
Figur 15 Model for elektrisk afprøvning, opretstående udgave.

Målinger på ovenstående model skete i DHI's laboratorier i oktober 2015, og resultater fra testene er vist i de nedenstående figurer (figur 16-22). Figurerne illustrerer dels temperaturudviklingen i fordamperskar og varmtvandstank og dels produceret drikkevand og tilført effekt som funktion af tiden ved forskellige niveauer af effektilførsel.



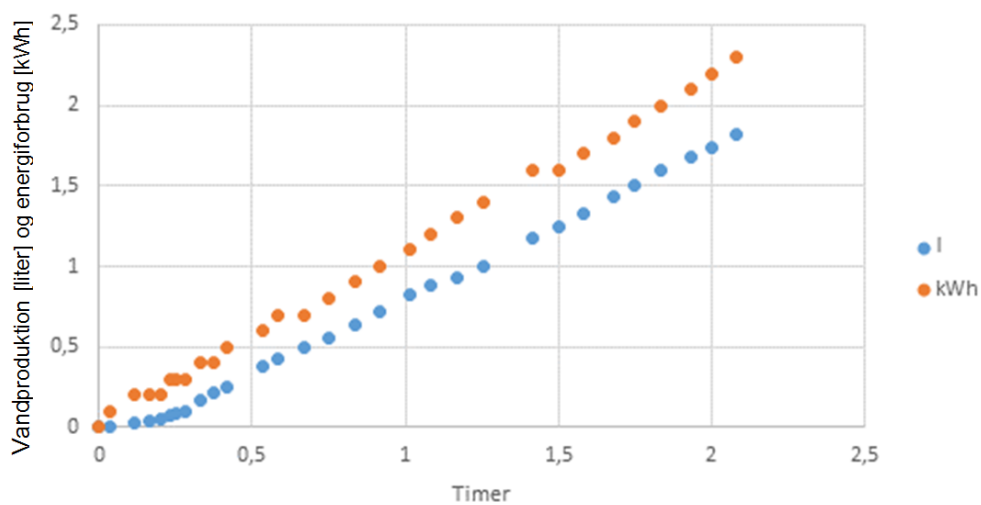
Figur 16 Temperaturudvikling ved test af vægmodel, hvor der kl 14 og igen kl 16:15 aftappes koldt vand for at simulere et bad.

2015.10.02 Waterstillar Home Max effekt



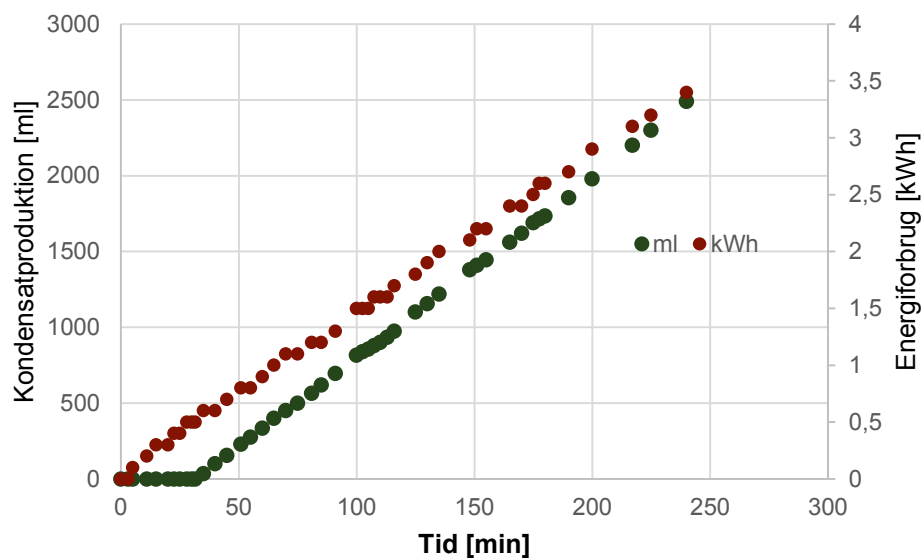
Figur 17 Vandproduktion og energiforbrug ved test af vægmodel – effekttrin max.

2015.10.02 Waterstillar Home effekt skala 4



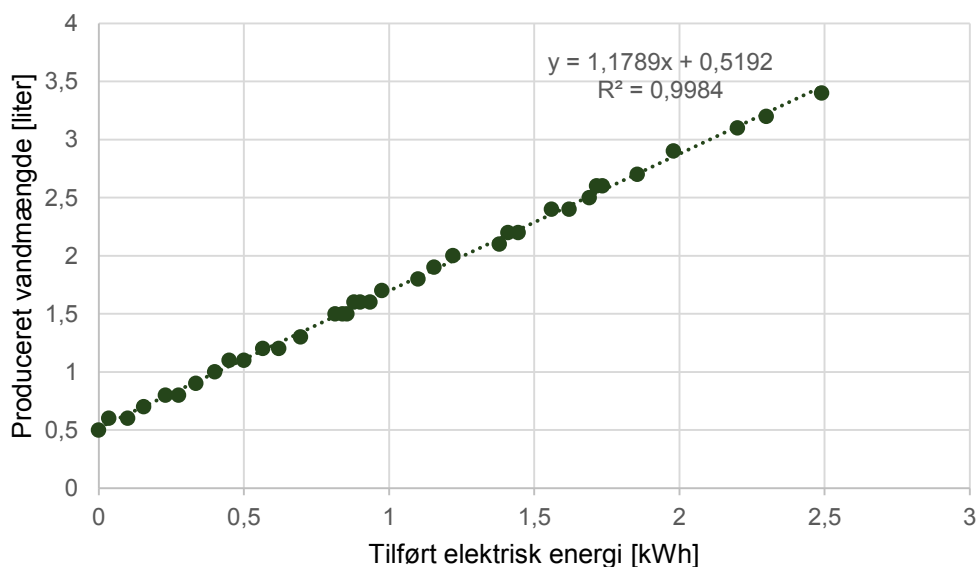
Figur 18 Vandproduktion og energiforbrug ved test af vægmodel – effekttrin 4 ud af 5.

Kondensat produktion og energiforbrug 2015.10.16



Figur 19 Vandproduktion og energiforbrug ved forsøg med vægmodel 16. oktober 2015

Produktion (liter/kWh)



Figur 20 Produktion af drikkevand som funktion af tilført elektrisk energi - data fra effektindstilling 3.

Produktionseffektiviteten viste sig ved alle effektindstillinger at ligge på 1,1-1,2 liter pr kWh (se figur 20), hvilket svarer til en produktion, der ligger i det forventede område i forhold til de teoretiske delberegninger forud for afprøvningen.

3.3 Afprøvning med solenergi i Danmark

AQD ville have afprøvet enheden indendørs hos DTU i Lyngby, som besidder en kunstig sol til brug for afprøvninger af termiske solenergi teknologier. Der blev truffet aftale med instituttet. Da afprøvningen nærmede sig meldte instituttet tilbage, at installationen ikke kunne garante-

res at virke efter hensigten – og at det da var meget bedre at teste den under den rigtige sol i det kommende forår/sommer.

Det skulle vise sig, at forår og sommer 2015 i Danmark var den mest solfattige i en menneskealder. En sammenhængende soldag uden massivt skydække kan tælles på én hånd frem til august måned 2015.

Løbende kapacitetstal er akkumuleret hen over 3 måneders daglige tilsyn og opsamling af destillat samtidig med, at diverse ventilløsninger er blevet afprøvet. Produktionen lå ved det ustadige danske sommervejr i denne overvågningsperiode typisk omkring 6-8 liter pr døgn.

Den 12. juni 2015 blev der dog mulighed for at ramme en solrig dag, og der blev derfor gennemført et forsøg med intensiv måling af solindstråling og vandproduktion samt online logning af temperaturer i fordamperkar i top og bund af varmtvandsbeholder (figur 21).

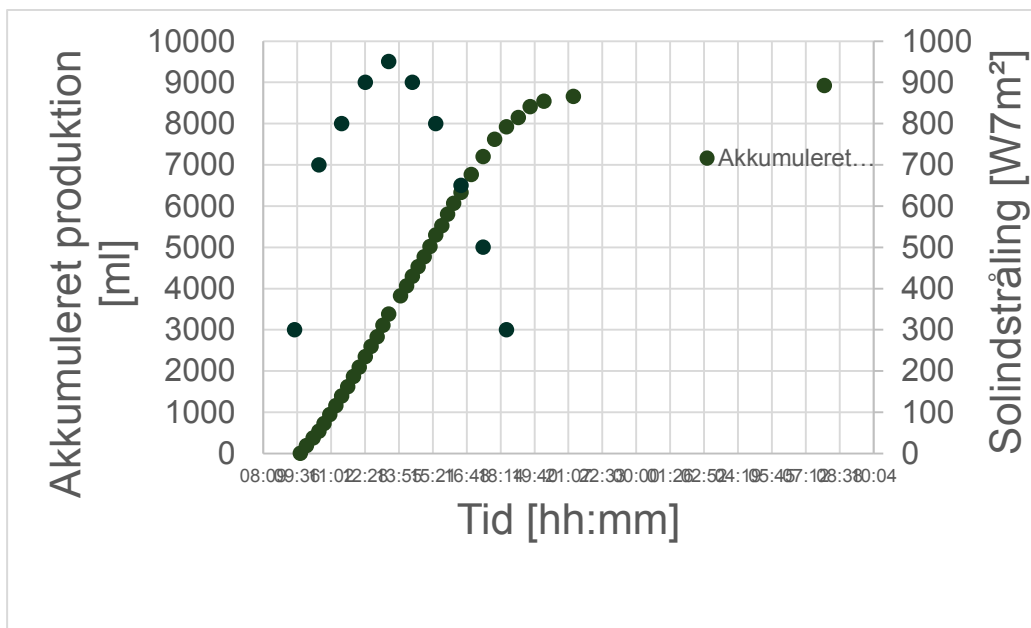
Solindstrålingen samt den akkumulerede produktion gennem dagen er vist i nedenstående Figur 23. Som det fremgår af figuren, var den akkumulerede produktion på denne solskinsdag på 9,0 liter. Hertil kommer et bidrag af produktion, som gik tabt som følge af tilbageløb til fordamperkarret af en formentlig mindre mængde kondensat. Dette tab er efterfølgende elimineret via en mindre ændring i konstruktionen af enheden.



Figur 21 Afprøvning af enheden med solenergi på en af de sjældne solskinsdage. Den omvendte flaske er påfyldningen af fødevand til fordamperkarret, Det let gullige målebæger er til destillatet.

Det opnåede resultat ved test med solenergi i Danmark er fuldt ud tilfredsstillende og i overensstemmelse med forventningerne. I forhold til de teoretiske delberegninger forud for testen.

Målingen viste, at der er en ubrudt produktion af destillat over dagen, som falder med solindstrålingen og ikke i væsentlig grad med temperaturen i badevandsbeholderen.



Figur 22 Solindstråling og akkumuleret produktion af drikkevand ved forsøg den 12. juni 2015. Den blå kurve viser det akkumulerede mængde destillat over dagen, den røde kurve viser solmængden over dagen (W/m^2)

3.4 Afprøvning med solenergi i Mexico

Projektet har frembragt en testenhed, som er udstyret med diverse følerhuller og den seneste opfyldningsventil. Testenheden blev opstillet i december 2015 og kører i fortsat drift og afprøvning.



Figur 23 Den ydre indpakning af badevandsbeholderen i tyndplade med en hvid belægning, som der lovedes 40 års garanti på. Her ses enheden på vej ud af værkstedet i Horsens.



Figur 24 Enheden på hustaget i Mexico med soldataloggeren. Bemærk vandtønderne hos naboerne – det er fødevandet herfra som renses til drikkevand.



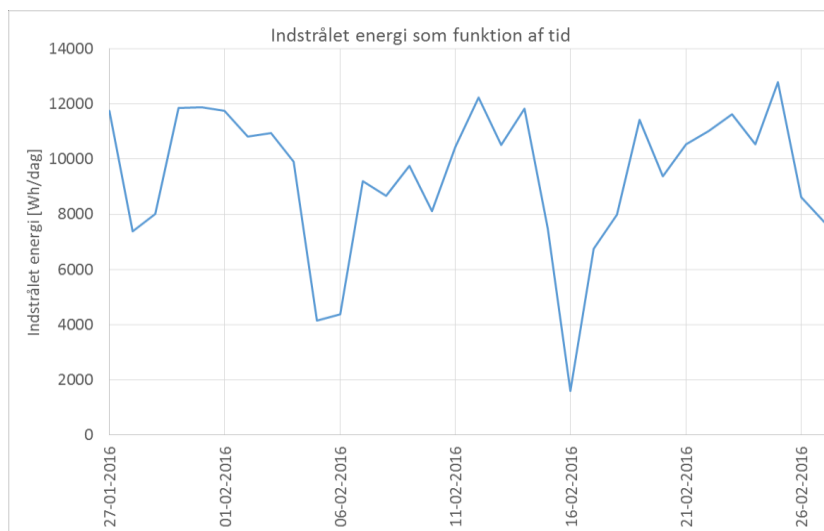
Figur 25 Familiens datter tapper drikkevand fra en særlig drikkevandshane i køkkenet. Plastbeholderen er tilpasset køleskabet, på den måde køles drikkevandet.

3.5 DHI: Testresultater fra Mexico

Enheden er blevet field-testet i Mexico, nærmere bestemt Playa del Carmen, og samhörrende data for solindstråling, vandproduktion m.v. er indsamlet i perioden 27-01-2016 til 27-02-2016.

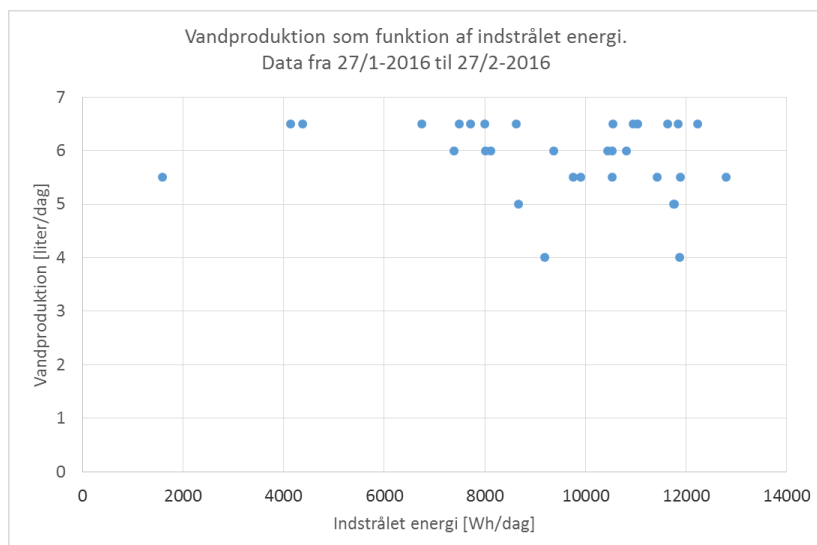
Datasættet for temperaturer er tilsyneladende fejlbehæftet, idet fordampertemperaturen ligger lavere end varmtvandstemperaturen, hvilket ikke er realistisk. I databehandlingen er der derfor primært fokuseret på vandproduktion kontra indstrålet energi. Den destillerede vandmængde er kun målt én gang om dagen.

I testperioden har vejret været ret varierende (figur 28), og ifølge den lokale test-ansvarlige ikke specielt godt for årstiden. Solindstrålingen har været under normal, da der har været en del skyer.



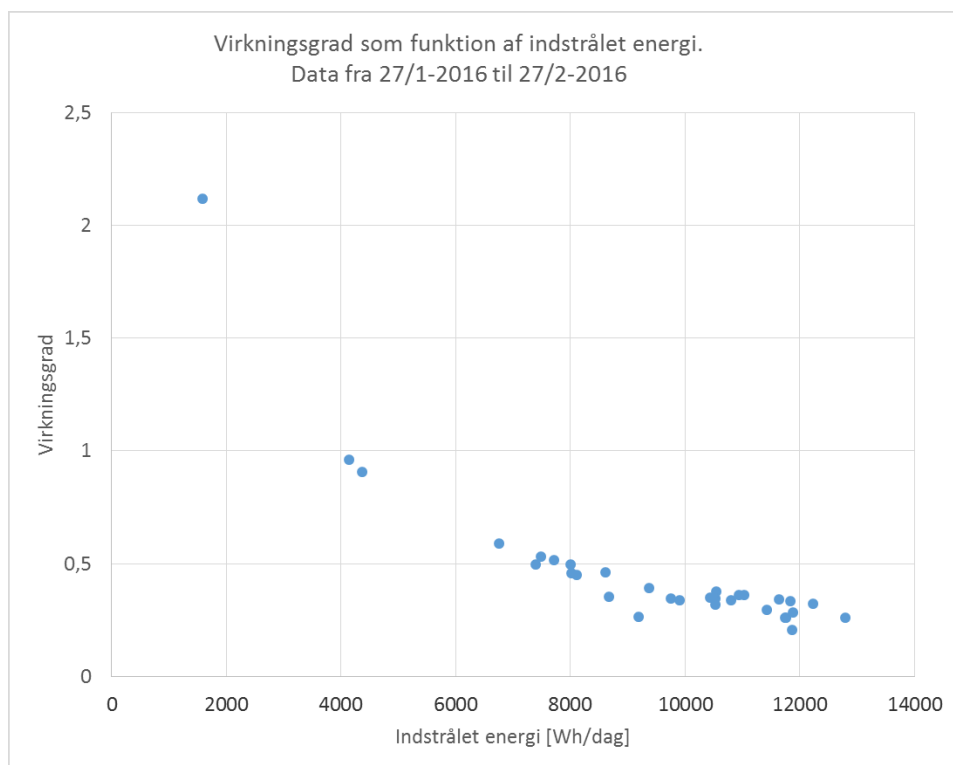
Figur 26 Indstrålet solenergi som funktion af tid.

I grafen (figur 27) herunder ses vandproduktionen som funktion af den indstrålede solenergi. Som det ses, er der ikke en specielt klar sammenhæng, og det må konkluderes, at det under de givne forhold ikke er den indstrålede solenergi, der begrænser/styrer den producerede vandmængde.



Figur 27 Vandproduktion som funktion af indstrålet solenergi. Den primære virkningsgrad på rentvands-produktionen kan beregnes som forholdet mellem den producerede vandmængdes fordampningsvarme og den indstrålede solenergi. Virkningsgraden som funktion af den dagligt indstrålede energi er afbildet i grafen herunder. Den totale virkningsgrad er naturligvis højere, da der også produceres varmt vand, men da de forelig-

gende data for mængder og temperaturer af det varme vand er ret upræcise, er totalvirkningsgraden ikke beregnet.



Figur 28 Virkningsgrad for vandproduktion som funktion af indstrålet solenergi

Som det ses (figur 30), er størstedelen af dataene samlet i en ret sammenhængende "klump", mens 3 datapunkter afviger væsentligt. Det ene (datapunkt fra 16-02-2016) ligger sågar med en virkningsgrad på over 2. Det kan naturligvis ikke være rigtigt, og kan forklares med, at solindstrålingen på denne dag var ekstremt lav, mens indstrålingen dagen før var på et normalt niveau. Dermed kan en del af denne dags vandproduktion være sket på basis af varme, der er gemt fra dagen før i det varme vand i fordamperbeholderen.

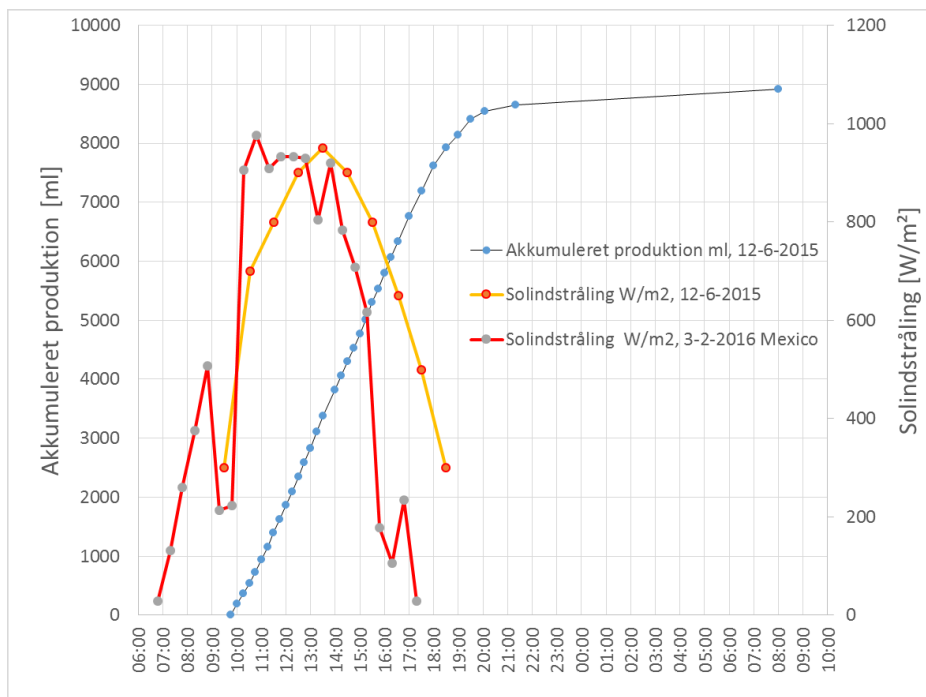
De 2 andre afvigende datapunkter er fra henholdsvis 5. og 6. februar, dvs. 2 på hinanden følgende dage, og derfor kan man ikke argumentere for, at den høje virkningsgrad skyldes "efterslæb" fra andre dage. Derfor må i det mindste datapunktet 06-02-2016 med en virkningsgrad på 0,9 være relativt validt.

Generelt kan man derfor sige, at en indstrålet energi på 4000 Wh/dag er tilstrækkeligt til at producere 6-7 liter rent vand på en dag. En højere indstråling resulterer tilsyneladende blot i større tab, enten på grund af højere temperaturer eller på grund af afdampning til omgivelserne. Det skal dog samtidigt bemærkes, at vandproduktionen også er afhængig af den forbrugte mængde varmt vand, da man kun kan kondensere det rene vand i samme omfang som der tilføres koldt vand til den øverste beholder. Det kan derfor være mængden af forbrugt varmt vand (= tilførslen af koldt vand til toptanken), der styrer den producerede vandmængde.

Varmtvandsforbruget er ikke blevet målt nøjagtigt under testen; der foreligger kun et estimat på det daglige forbrug. Derfor er der ikke gjort forsøg på at korrelere varmtvandsforbrug og vandproduktion. Det typiske varmtvandsforbrug har ligget mellem 50 og 70 liter pr dag. Hvis opvarmningen af disse liter sker med 60 K (kelvin), så svarer det samlede energiindhold i målingerne fint med kondenseringen af 5-7 liter vand pr dag. Dette understøtter teorien om, at den styrende faktor for vandproduktionen under field-testen har været varmtvandsforbruget.

Sammenligning af data fra Danmark og Mexico

Resultatet fra Mexico er tydeligvis dårligere end resultatet fra testen i Danmark den 12. juni 2015. På grund af det lidt dårlige datagrundlag fra testen i Mexico kan det være svært at sige eksakt, hvorfor der er denne forskel. I grafen herunder er sammenlignet en vejrmæssigt god dag i Mexico med testen 12. juni 2015.



Figur 29 Solindstråling ved test 12-6-2015 sammenlignet med 3-2-2016 i Mexico, samt akkumuleret vandproduktion ved test den 12-6-2015.

Den samlede solindstråling den 3-2-2016 i Mexico kan beregnes til 5850 Wh/m^2 , og vandproduktionen blev 6,5 liter. Ved testen 12-6-2015 i Danmark var solindstrålingen 6500 Wh/m^2 , og vandproduktionen 9 liter.

Selv om det ikke kan siges helt eksakt, hvorfor der er forskel på vandproduktionen, kan man påpege et antal muligheder, der bør være ekstra opmærksomhed på under fremtidige tests:

- Kan der være afdampning til omgivelserne, eller er der monteret en vandlås til at forhindre det?
- Selv om mængden af sollys er den samme, kan der være forskel på, om der er klart solskin, eller om der er diffust sollys.
- Kondenseringen af rent vand er afhængigt af, at der kan afgives energi til vandet i varmtvandsbeholderen. Derfor kan det være vigtigt at måle temperaturen på det vand, der kommer ind i varmtvandsbeholderen. Jo koldere det er, desto større mængder energi kan det aftage.

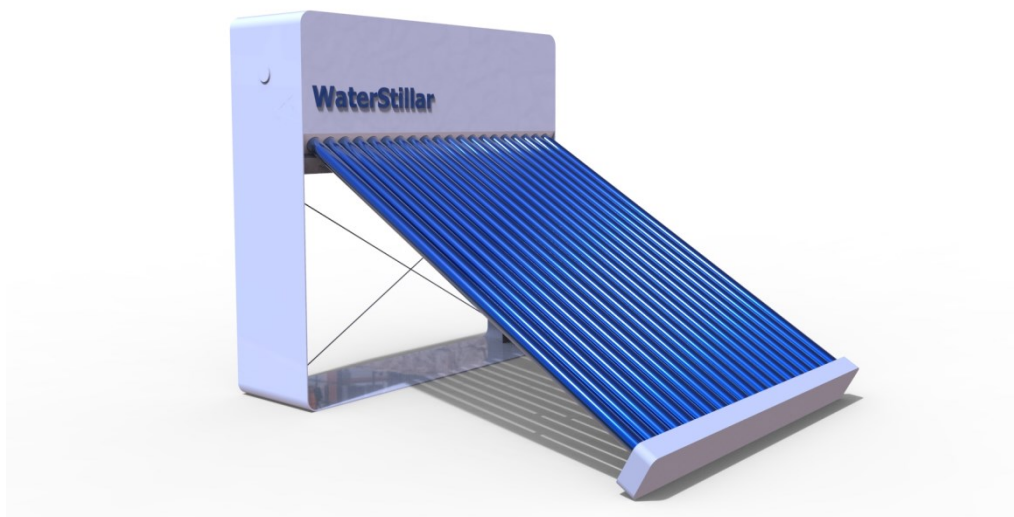
4. Produktdesign

4.1 Ydre formgivning

Forud for projektplanen, men alligevel passende i forbindelse med kravspecifikationsarbejdet, har projektet frembragt to forslag til designs. Om det endelige resultat ender hér, er stadig uvist.

Projektet skal nu til at kigge på materialer og produktionsomkostninger for de foreslåede designs. Herunder ønsket om, at hele løsningen skal kunne være på en containertilpasset palle som færdigt produkt.

Det er et ønske fra AQD, at designet skal fremstå eksklusivt og i et rent skandinavisk design. Det synes vi er flot foreslået fra projektets industrielle designer (figur 32-35).

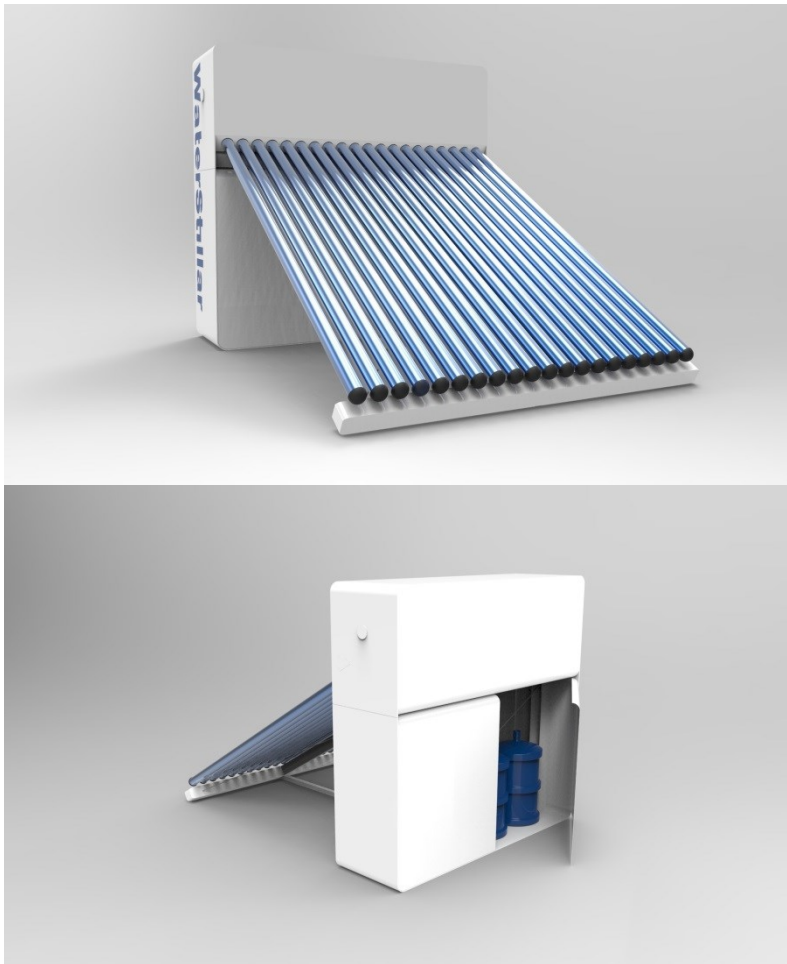


Figur 30 Udkast til produktdesign, version 1

Produktdesignet er radikalt anderledes end alle andre tilsvarende solvarme systemer. Tanken er, at yderkappen skal være af tyndplade, galvaniseret og belagt med hvid polyester. Også kendt fra tagplader. Indvendig skal det hele være i syrefast stål.

Desuden er det tanken, at systemet kommer med en slags IKEA-samleinstruks og værktøj til at samle den med.

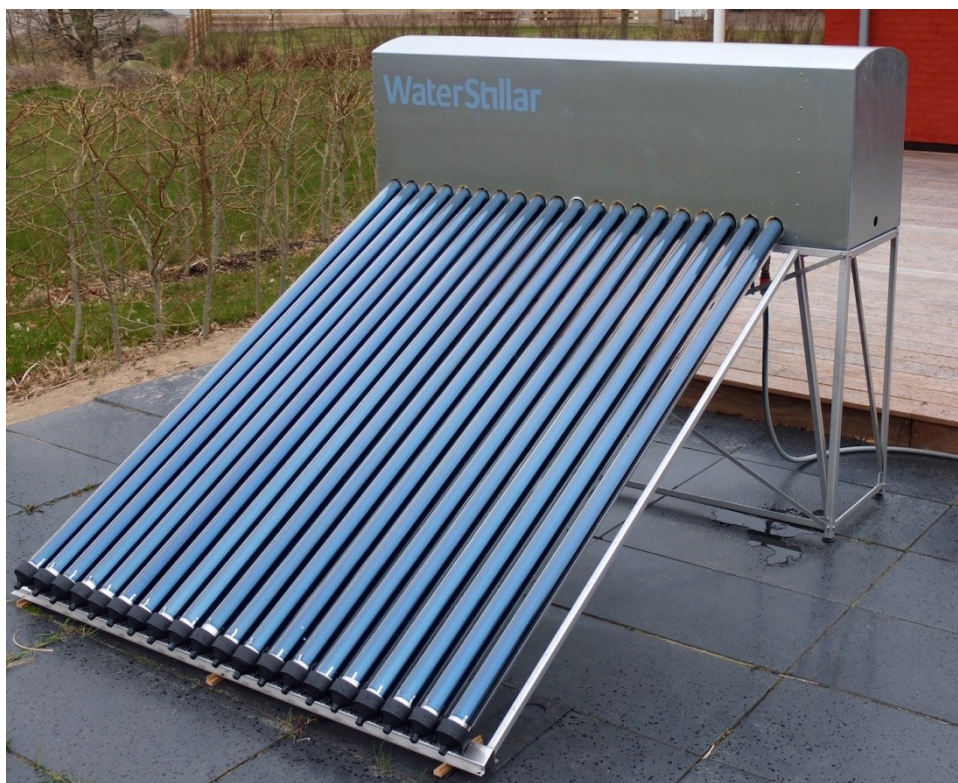
Som det fremgår af 3D tegningen (figur 33), er der indtænkt en mulighed for aftapning af drikkevand direkte ned i en 5GL flaske. Optimalt skal systemet selvsagt rørforbindes til en drikkevandshane inde i huset - men i fald det ikke kan lade sig gøre, så kan aftapningen altså ske manuelt.



Figur 31 Designudkast version 2. Desværre er de krumme hjørner ikke produktionsmæssigt muligt i tyndpladestål, uden det koster uforholdsmæssigt meget. Underskabet leveres som ekstra tilbehør.



Figur 32 Generation 3. Den hvide kasse har den ulempe, at regnvand ikke løber af.



Figur 33 Endeligt design – dog skal kassen males hvid og stativet skal ændres.

4.2 Udvikling i udpluk

4.2.1 Fordamperkarret og overløb

Efter de kritiske punkter for varmeoverførslen var erkendt, var opgaven at finde en nem og færdig måde at overføre termisk energi til fordamperkarret. Dette betød redesign af fordamperkassen og en del udfordringer med at få fremsendt de nødvendige dele fra Kina til afprøvningen.

Vel fremme viser det sig, at indstiksrørene har en anden diameter end de i Danmark tilgængelige vakuumrør. Derfor iværksatte projektet en eftersøgning i Europa - og i Polen kunne der købes et antal rør, som kunne bruges.

AKS fremstiller på denne tilrettede baggrund - indstiksrør, nye vakuumrør, ny geometri i fordamperkarret - en prototype, med termofølerlommer. Enheden er fuldsvejst i hånden og er isoleret med varmebestandig skumisolering.

Konstruktionen afslører kompleksiteten i designet. Dels er der udfordringer med geometrien i den nederste del af karret og dels er den nødtvungne opdeling af karret lig med lange, teknisk svære og dyre svejsninger. Det betyder yderligere, at der er dårligere korrosionsbestandighed i konstruktionen. Alt sammen elementer, som gør, at der skal ske redesign af enheden:



Figur 34 Model af enhedens bunddel. Til venstre ses fordamperskarret og til højre er karret for destillatopsamlingen. .

Ovenstående billede (figur 36) er det endelige design af enhedens bunddel og indeholder en række fordele – pris, holdbarhed og styrke.

Monoprofilen kunne simpelthen ikke bukkes i et stykke med mindre særlige værktøjer blev udviklet. Da de var på plads, kunne profilen bukkes og ønsket om et relativt enkelt design og en billigere produktionspris forventes når enheden skal produceres.

4.2.2 Badevandsbeholderen

Ud over, at det er en almindelig, horisontalt liggende væskebeholder der er trykprøvet til 10 bar og lavet af rustfrit 316 stål - så er udfordringen med denne, at den skal kunne produceres på almindelig vis, uden at komme til at koste for meget.

Projektet har flyttet rundt med tankens placering nogle gange og der findes 2 forslag, som er synligt forskellige: 1) Tanken svejses i gavlen, hvorved endebundene stikker ud i isoleringen og bliver dermed ikke en del af kondenseringsfladen i konstruktionen og 2) hele tanken holdes indenfor i fordampers (kondenseringsrummet og ind/ud rør til/fra tanken stikker ud igennem endegavlene).

Sidstnævnte måde at gøre det på vinder, grundet 3 forhold: Dels bliver kondenseringsfladen større, dels spares der en vanskelig svejsning på ca. 1 meters længde og dels er det billigere at producere.

4.2.3 Isolering og yderdel

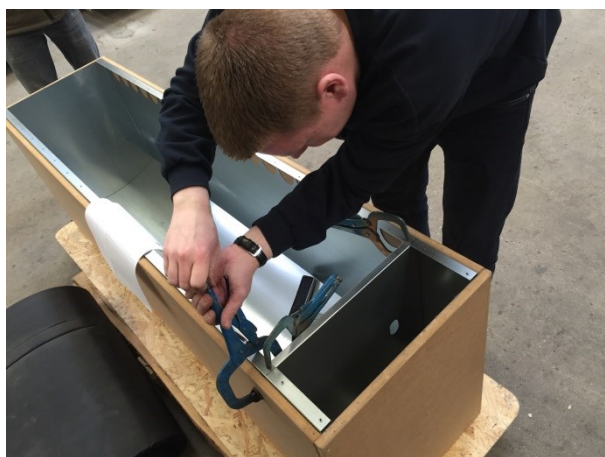
Det enkle design af WaterStillar Family giver nogle udfordringer mht. konstruktion og materialevalg. Godt nok er det kantede design enkelt at bukke i tyndplade - men hjørnerne er vanskelige at få runde, så man ikke river sig på dem - og der ikke er et åbent sted for rustdannelse.

Helstøbte designs i plast er ikke en mulighed pga. UV-bestråling. Støbning i glasfiber/polyester er muligt, men alt for dyrt. Så, tilbage står (indtil videre) metal-tyndplade - og det billigste/bedste er galvaniseret plade som bruges til tagbelægning. De fås med hhv. 10 or 40 års garanti og i den ønskede hvide farve. Rustfri plade er alt for dyrt og er i længden ikke rustfrit.

Tyndplade i typisk 0,5 mm er ganske blødt og selv om der bukes profiler i pladen, så viser det sig at understøtning er nødvendig. Stabiliseringen kan ske via PU-skum (som i et køleskab) og en underliggende bærende og støttende konstruktionsdel.

PU-støbning er en kendt teknik og PU-isolering er fremragende for WaterStillar Family. Det har mere end et formål (isolering og understøtning), er billigt og isolerer bedre end stenuld.

Projektet udviklede en støbeform for den endelige prototype og har efter samråd med en producent af 2-komponent PU-skum gennemført opskumning med varmetåleligt PU-skum.



Figur 35 Enheden placeres omvendt i en støbeform, hvorefter PU-skummet fyldes i.

4.2.4 Stativ og underskab

Eftersom konstruktionen bliver relativt høj, så er den også relativt vakkelvorn, hvis ikke der er et stabilt stativ under. Kravene til stativet er, at det skal kunne leveres adskilt således at pakning/forsendelse kan holdes på en standardpalle.

Materialevalget skal gøre, at det bliver stift og stabilt uden at ruste. Valget falder på varmtgalvaniseret stål og en dansk virksomhed med speciale i netop dette har tegnet og beregnet et stativ i 2 mm stål, som bukes i vinkler til lejligheden.

Trykket fra hele den væskefyldte konstruktion bliver overført direkte til stativet i en vertikal linje. Det sikrer stabilitet og bæreevne. Stativet forsynes med stilleskruer for præcis nivellering på installationsstedet.

AQD har besluttet, at underskabet (plader/låger) til WaterStillar Family bliver ekstraudstyr. Meromkostningen for 4 skørter incl. 2 hængslede låger er høj og vi mener, at salget af disse bør ske til dem der vil betale for det.

4.2.5 Opfyldning af fødevand - ventilløsning

WaterStillar Family skal være enkel, billig og robust. Ellers har den ikke en chance på de markeder, hvor den skal sælges.

En hovedudfordring har været, at finde en relativt fejlfri og billig løsning for det forhold, at fordamperkarret til stadighed skal være fyldt med fødevand.

Den endelige løsning for projektet blev en specielt udviklet vakuumventil (figur 38). Den virker ved at en membran "suges" op mod en dyse, som har fødevandet indkoblet. Suget eller vakuummet som holder membranen på plads er en vandsøjle (ca. 1 meter) i det rør, som sidder med udmundningen i karret, som skal efterfyldes.



Figur 36 Specielt udviklet vakuumventil til enheden. Virker stabilt og vedligeholdet af ventilen kan klares på 5 min.



Naturstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.nst.dk