

Til
Dansk Fjernvarme

Dokumenttype
Projektrapport

Dato
Juni 2019

Ny alternativ parabolisk solfangertype med egenskaber, der vurderes interessante til fjernvarmeformål

F&U PROJEKT 2017-07

ANALYSE AF MARKEDSPOTENTIALET FOR NYT SOLARSYSTEM



F&U PROJEKT 2017-07 ANALYSE AF MARKEDSPOTENTIALT FOR NYT SOLARSYSTEM - AURORA

Projektnavn **Ringkøbing Fjernvarmeværk - Analyse af markedspotentialt for ny type planparabol solfanger**
Projektnr. **1100035473**
Modtager **Dansk Fjernvarme**
Dokumenttype **Rapport**
Version **01**
Dato **06-06-2019**
Udarbejdet af **Rambøll i samarbejde med projektdeltagerne**
Kontrolleret af **Klaus Fafner, Rambøll**
Godkendt af **Jesper Skovhus Andersen, Ringkøbing Fjernvarmeværk**
Beskrivelse **Ny alternativ parabolisk solfangertype med egenskaber, der vurderes interessante til fjernvarmeformål**



INDHOLD

1.	Projektbeskrivelse	1
1.1.1	Beskrivelse	1
1.1.2	Projektansvarlig	1
1.1.3	Øvrige projektdeltagere	1
1.2	Taksigelse	2
2.	Introduktion	3
2.1	Formål og indhold	3
2.1.1	Opgave 1 Sammenlignende test og analyse	3
2.1.2	Opgave 2 Vurdering af potentiale	4
2.2	Hypotese	4
2.3	Metode	4
2.3.1	Opgave 1 Sammenlignende test og analyse	4
2.3.2	Opgave 2 Vurdering af potentiale	6
3.	Beskrivelse og Analyse	7
3.1	AURORA - et nyt solarsystem	7
3.2	Teknologi og opbygning	7
3.3	Anvendelse	9
3.3.1	Varmtvandsproduktion	9
3.3.2	Køling	9
3.3.3	Læring og formidling	9
3.3.4	Delkonklusion - Anvendelse	11
3.4	Egenskaber	12
3.4.1	Effektivitet	12
3.4.2	Konstant høj udgangstemperatur - styret fra kontrolrum	23
3.4.3	Ingen "plummervand" - styret fra kontrolrum	24
3.4.4	"Out of sun"-funktion - styret fra kontrolrum	25
3.4.5	"Out of wind"-funktion - styret fra kontrolrum	25
3.4.6	Arealbesparende	26
3.4.7	Enkel opstilling i terræn - også kuperet - uden planering	26
3.4.8	Vedligeholdelsesudgifterne er begrænsede	27
3.4.9	CO ₂ reducerende	28
3.4.10	Behov for mindre akkumuleringstank	28
3.4.11	Bevaring af biodiversiteten	29
3.5	AURORA i samspil med anden teknologi	29
3.5.1	AURORA og anden grundlast generelt	29
3.5.2	AURORA i kombination med plane solfangere	30
3.5.3	AURORA i kombination med luft-til-vand varmepumper	31
3.5.4	AURORA i kombination med halmfyrede værker mv.	32
3.5.5	AURORA som en decentral energibooster i eksempelvis et transmissionssystem	32
3.5.6	Delkonklusion - AURORA i samspil med anden teknologi	32
3.6	AURORA - status over tekniske principper og mekaniske elementer samt tiltag i serieproduktion	33
3.6.1	Status ift. tekniske principper og mekaniske elementer	33
3.6.2	Tiltag i serieproduktionen	33
3.6.3	Delkonklusion - AURORA - status over tekniske principper og mekaniske elementer samt tiltag i serieproduktion	34
3.7	AURORA's markedspotentiale	34

3.7.1	Markedspotentiale for fjernvarmebranchen i Danmark	37
3.7.2	Markedspotentiale for fjernvarmebranchen i udlandet	39
3.7.3	Markedspotentiale for køling og læring	39
3.7.4	Delkonklusion - AURORA's markedspotentiale	40
4.	Konklusion	42
4.1	Opgave 1 Opsummering	42
4.2	Opgave 2 Opsummering	42
5.	Kilder & Referencer	48

FIGURER

Figur 1 - Parkopstilling af AURORA i harlekintern	8
Figur 2 - Eksempel på AURORA anlæg ved parkopstilling	8
Figur 3 - Effektivitet - AURORA vs. Plane (Wh/m^2)	13
Figur 4 - AURORA's effektivitet 5.-8. maj 2018 ekskl. aften produktion pga. skygge	14
Figur 5 - Varmeproduktion 2. juli 2018 - teoretisk og praktisk - AURORA vs. Plane	14
Figur 6 - Varmeproduktion 17. juli 2018 - teoretisk og praktisk - AURORA vs. Plane	15
Figur 7 - Solhøjde Ringkøbing	16
Figur 8 - Solvinkel Ringkøbing	17
Figur 9 - Potentiale for varmeproduktion - Plane- vs. Parabol-solfangere	18
Figur 10 - Effektivitet nov.-feb. - AURORA vs. Plane (Wh/m^2)	20
Figur 11 - Øjeblikksbillede af AURORA's styresystem konstant høj udgangstemperatur på 90,5 C.	24
Figur 12 - Solvarmepris og grundareal som funktion af anlægsstørrelse AURORA vs. Plane	36
Figur 13 - Vurdering af AURORA's Markedspotentiale - 393 danske fjernvarmeselskaber efter størrelse (GWh/år)	38

TABELLER

Tabel 1 - Beregnet solvarmeproduktion AURORA vs. Plane	19
Tabel 2 - Effektfaktoren - AURORA vs. Plane (jan.-dec.)	19
Tabel 3 - Effektivitet - AURORA vs. Plane	21
Tabel 4 - AURORA's markedspotentiale ved 30 pct. dækning af samlet solvarmeproduktion	38

1. PROJEKTBEKRIVELSE

1.1.1 Beskrivelse

Nærværende rapport "Analyse af markedspotentialet for nyt solarsystem - AURORA" er udarbejdet af Rambøll Danmark A/S med bidrag fra projektkredsen, finansieret af Dansk Fjernvarmes F&U konto. Solarsystemet AURORA er udviklet af ScandiMir ApS.

Nærværende rapport tager forbehold for eventuelle fejl og mangler.

1.1.2 Projektansvarlig

Ringkøbing Fjernvarmeværk, CVR: 37560219

Projektansvarlig:

Jesper Skovhus Andersen, Direktør

Faglig projektleder:

Svend Erik Hansen, Maskinmester

1.1.3 Øvrige projektdeltagere

Rambøll Danmark A/S

Projektleder: Klaus Fafner, Energirådgiver (redaktør)

Thomas Rønn, Energirådgiver

Solrød Fjernvarmeværk

Kaj Holm, Driftschef

ScandiMir ApS

Michala Bruhn Petersen, Direktør

Carsten Boye Bisonnel, Adm. direktør



Bright ideas. Sustainable change.

1.2 Taksigelse

Nærværende rapport er resultatet af et F&U-projekt. Dansk Fjernvarmes F&U-konto er oprettet med det formål at støtte forskning og udvikling inden for fjernvarmesektoren. Projektet sætter fokus på ny og mere effektiv anvendelse af styret solvarme og har dermed bl.a. til formål at bidrage til, at Dansk Fjernvarme fortsat kan være en af de førende og mest innovative fjernvarmesektorer i verden.

Projektet er gennemført med bidrag og feedback fra projekt- og prototypekredsen, herunder fra Solrød Fjernvarmeværk A.m.b.a. og Ringkøbing Fjernvarmeværk A.m.b.a. En stor tak skal derfor rettes til direktør Jesper Skovhus Andersen og medarbejdere, Ringkøbing Fjernvarmeværk, direktør Kaj Holm og medarbejdere, Solrød Fjernvarmeværk, samt til ScandiMir for vigtige bidrag til nærværende rapport.

2. INTRODUKTION

Varmeplan Danmark 2010 vurderede et behov for at udbygge solvarmen til fjernvarme med 2-4 mio. m² inden 2020 og på sigt komme op på i alt 8 mio. m² solfangerareal, idet de vil kunne dække omkring 10 % af fjernvarmeproduktionen i Danmark. I 2017 havde det samlede solfangerareal passeret 1,3 mio. m² fordelt på 115 kollektive anlæg. Ifølge Det Internationale Energiagentur (IEA) er 75% af verdens samlede areal med større solfangerareal (anlæg større end 500 m²) placeret i Danmark.¹

ScandiMir ApS har udviklet et nyt alternativ CSP-baseret, plan-parabolsk, dobbelt-akset solarsystem - "AURORA" - der har en række egenskaber, der vurderes interessante for bl.a. fjernvarmebranchen. Dette nye solarsystem vil dels kunne skærpe konkurrencen og produktudviklingen på markedet, dels give mulighed for bedre soludnyttelse ved f.eks. at kombinere solarsystemet med plane solfangere, supplere halmfyrede værker i sommersæsonen samt luft til vand-varmepumper i ydersæsonerne - ligesom den høje udgangstemperatur kan udnyttes til høj COP ved køling via f.eks. absorptionskølere. AURORA er udviklet uden statsstøtte eller støtte fra EU eller lignende i hele prototypefasen, og denne F&U-støttede rapport kan derfor betragtes som den første uvildige tredjeparts-vurdering.

2.1 Formål og indhold

Projektets formål er at vurdere potentialet i fjernvarmesektoren for: ScandiMir 's nye solarsystem AURORA

ScandiMir har opstillet og testet to AURORA test-parabol-solfangere på henholdsvis Solrød og Ringkøbing Fjernvarmeværker, hvor de begge steder nu har afsluttet prototypefasen med gode resultater. Næste skridt er således at vurdere markedspotentialet inden for bl.a. fjernvarmesektoren for dette nye solarsystem.

Projektet omfatter to hovedopgaver, som beskrevet nedenfor:

2.1.1 Opgave 1 Sammenlignende test og analyse

Denne opgave består af to delopgaver:

Måling af ydelse for det nye solarsystem AURORA (testanlægget) sammenlignet med plane solfangere og lokalitetens solindfald:

- Analyse af målingerne fra "AURORA's" opsamlede data og analyse af målinger fra de plane solfangeres data via "Solvarmedata.dk"

¹Kilde: Rambøll Danmark A/S i samarbejde med Aalborg Universitet. Der tages forbehold for evt. nyere versioner samt det faktum, at der i øjeblikket også fokuseres på varmepumpeløsninger, øvrige teknologier m.v.

- Målingerne analyseres med hensyn til forskelle mellem AURORA og de plane solfangere, herunder forskelle i den reelle ydelse.

2.1.2 Opgave 2 Vurdering af potentiale

På baggrund af analyseresultaterne fra Opgave 1 vurderes det nye solarsystems indpasnings- og anvendelsesmuligheder i fjernvarmesystemer, som følger:

- Tekniske løsninger som parkanlæg, enten alene eller i kombination med plane anlæg
- Fordele, hvad angår anlæg, drift og vedligehold, set i forhold til plane solfangeranlæg.
- Som ydelses-effektivisering / supplement i kombinationsanlæg med plane solfangere, varmepumper, halmfyr, biomasse og køling.
- Overslagsmæssigt vurderes endvidere det økonomiske potentiale for udbredelse af AURORA. Denne delopgave gennemføres dog med forbehold for, at nærmere teknisk-økonomiske aspekter skal afklares mellem producent og aftager.

2.2 Hypotese

AURORA's dimensionering og konstruktion, herunder egenskaber og funktionalitet, forventes at udvise en række fordele - både som solitæranlæg, som i kombination, og som supplement til øvrige teknologier på markedet.

Det forventes, at AURORA på årsbasis har markant højere ydelse pr. m² grundareal i forhold til de plane solfangere.

Totaløkonomisk forventes varmeprisen for AURORA at ligge fordelagtigt i forhold til de plane solfangere, idet det forventes, at AURORA's anlægsudgifter vil kunne matche de plane solfangeres, mens drifts- og vedligeholdelsesudgifter vurderes at ligge under de planes.

Det forventes, at det nye solarsystem AURORA har et væsentligt markedspotentiale i både ind- og udland for både små og store anlæg.

2.3 Metode

2.3.1 Opgave 1 Sammenlignende test og analyse

For at analysere AURORA's ydeevne er der trukket rådata fra AURORA (testanlæggene), opstillet på Solrød og Ringkøbing Fjernvarmeværker. Data er aflæst direkte fra AURORA's styresystem (PLC), udviklet af ScandiMir - i samarbejde med ABB.

For at analysere de plane solfangeres ydeevne er der trukket rådata fra Solvarmedata (www.solvarmedata.dk).

Ovennævnte data er herefter anvendt til at sammenligne AURORA's ydeevne med de plane solfangere.

Da testanlægget på Ringkøbing Fjernvarmeværk er placeret nær varmeværkets plane solfangeranlæg, blev solarsystemets data herfra fundet egnet til at foretage en forholdsvis nøjagtig sammenligning, specielt i forhold til solindstrålingen - i modsætning til testanlægget på Solrød Fjernvarmeværk, da dette er placeret ca. 6 km (i fugleflugtslinje) til det nærmeste solvarmeanlæg, der ligger i Havdrup SV.

Begge lokationer har imidlertid skyggevirkninger fra miljø og bygningsmasse.

På grund af sammenligningsmuligheden i forhold til solindstrålingen fokuseres der i nedennævnte på målingerne fra Ringkøbing Fjernvarmeværk, dog med forbehold for solarsystemets manglende mulighed for optimal energiproduktion - på grund af skyggevirkninger fra ca. kl. 18.20 i sommerhalvåret - hvilket betyder reduktion i energiproduktionen på op til flere timer dagligt.

Et estimat for AURORA's energiproduktion uden skyggetimer, jf. ovenfor, kunne vælges at tillægges måleresultaterne for at belyse det fulde potentiale, men da et estimat ikke kan verificeres konkret, medtages estimater ikke i måleresultaterne i nærværende rapport. Der tages i stedet forbehold for, at AURORA's potentiale naturligt er højere, end målingerne udviser. I serieproduktion øges effektiviteten med op til 25% i forhold til nærværende målinger - bl.a. pga udvidelse af spejlareal m.v.

AURORA's styrke ligger i at kunne udnytte solindstrålingen hele dagen - fra solopgang til solnedgang - med en fri vinkelret indstråling på spejlsektionerne. AURORA kan udnytte solindstrålingen fra en solhøjde på ca. 5 grader over horisonten om morgenen til samme solhøjde om aftenen.

Alle målingerne i rapporten er gennemført i løbet af 2018 samt i begyndelsen af 2019.

Data fra måletidspunkter foreligger i diagram og skemaform.

Følgende værktøjer er anvendt til at analysere ovenstående datamateriale:

- Rambølls timebaserede produktions-/forbrugsanalyser
- Danish Design Reference Year (DRY) data.
- EU PVGIS kalkulationsprogram til at bestemme solindstrålingen (med og uden tracking).

2.3.2 Opgave 2 Vurdering af potentiale

Følgende analyseprogrammer og metoder er anvendt:

- EnergyPro til at analysere samspillet mellem andre varmeproduktionsenheder.
- Rambøll Danmark A/S's selskabs- og samfundsøkonomiske modeller til at vurdere økonomiske nøgletal.
- Overvågning, indsamling af data og test i praksis via prototype-lokationerne i Ringkøbing og Solrød for at vurdere AURORA's egenskaber og funktionalitet.

3. BESKRIVELSE OG ANALYSE

3.1 AURORA - et nyt solarsystem

AURORA er et nyudviklet solarsystem, udviklet af den danske ingeniørvirksomhed ScandiMir ApS. AURORA er frigivet til det danske og udenlandske marked 1. maj 2019 efter et ca. 5-årigt udviklingsforløb, hvor ScandiMir's ingeniørgruppe har samarbejdet med en række danske og udenlandske samarbejdspartnere frem til markedsmodning. Samarbejdspartnerne tæller bl.a. ABB samt Ringkøbing og Solrød Fjernvarmeværker, hvor prototyperne løbende er blevet testet.

Solarsystemet AURORA blev i vinteren 2018 nomineret til Denmark Bridge Award 2018.

3.2 Teknologi og opbygning

AURORA er baseret på CSP-teknologien (Concentrated-Solar-Power). Solens stråler reflekteres i prototypfasen via p.t. en 25 m² stor spejloverflade (sølv), formet som en plan-parabol til en receiver, hvorfra vand - eller alternativt termisk olie - opvarmes. Målingerne reflekterer i prototypfasen dog alene 22,9 m² på grund af ca. 2,1 m² receiver-skygge. AURORA i serieproduktion vil øge effektiviteten med op til 25% pga. bl.a. større spejlsektioner m.v.

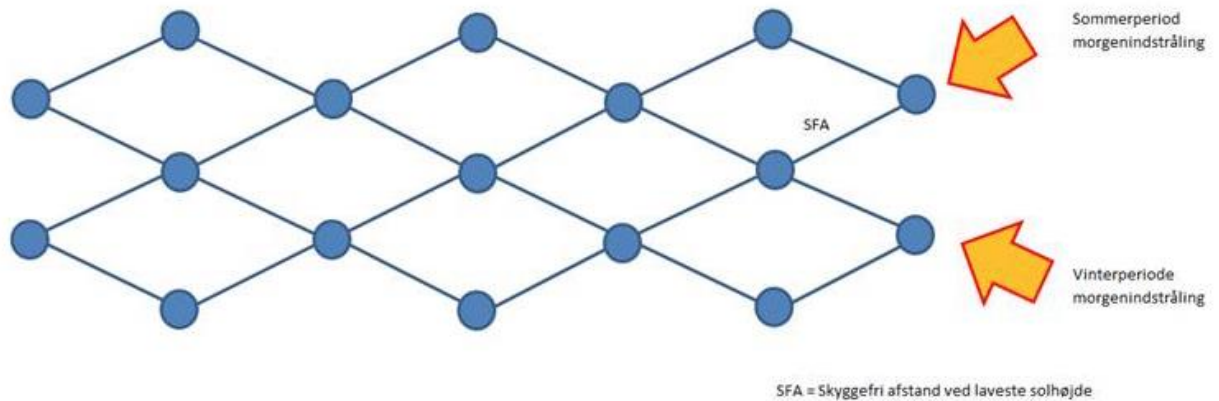
AURORA's spejlparabol er hævet ca. 0,5 m over det underliggende terræn i sin laveste position, båret af et fundament med et lejret tårn, hvorigennem en aktuator sikrer, at parabolen kan dreje om begge akser (kompaskurs og elevation) og dermed følge solens bane fra solopgang til solnedgang med en dobbeltakset suntracker ("solsporere").

AURORA er udviklet som et autonomt, enkeltstående anlæg, men kan kombineres til større parkanlæg, inddelt i undergrupper af op til 20-25 stk., hver gruppe styret af en kontrolenhed (PLC). Parkopstillingen forsynes med anemometre (vind- hastighedsmålere) uden bevægelige dele, der stormsikrer de enkelte enheder.

AURORA styres via en internetforbindelse, men producerer normalt ved udfald af samme. Ved strømudfald forsyner en indbygget "UPS" – Uninterruptible Power Supply – med nødvendig energi, der sikrer, at systemet straks kan dreje "out-of-sun", dvs. til den position, der benævnes: "Safe-mode" eller "homing" - hvor parabolen står i vandret position.

Ved parkopstilling opstilles AURORA i harlekintern, der er vurderet at være den struktur, der minimerer intern skyggevirksomhed og dermed optimerer udnyttelsen af solindstrålingen, jf. figur 1 nedenfor. Hver AURORA-unit med en varmeproduktion på 25 MWh pr. år vil i parkopstilling optage ca. 80-100 m² grundareal.

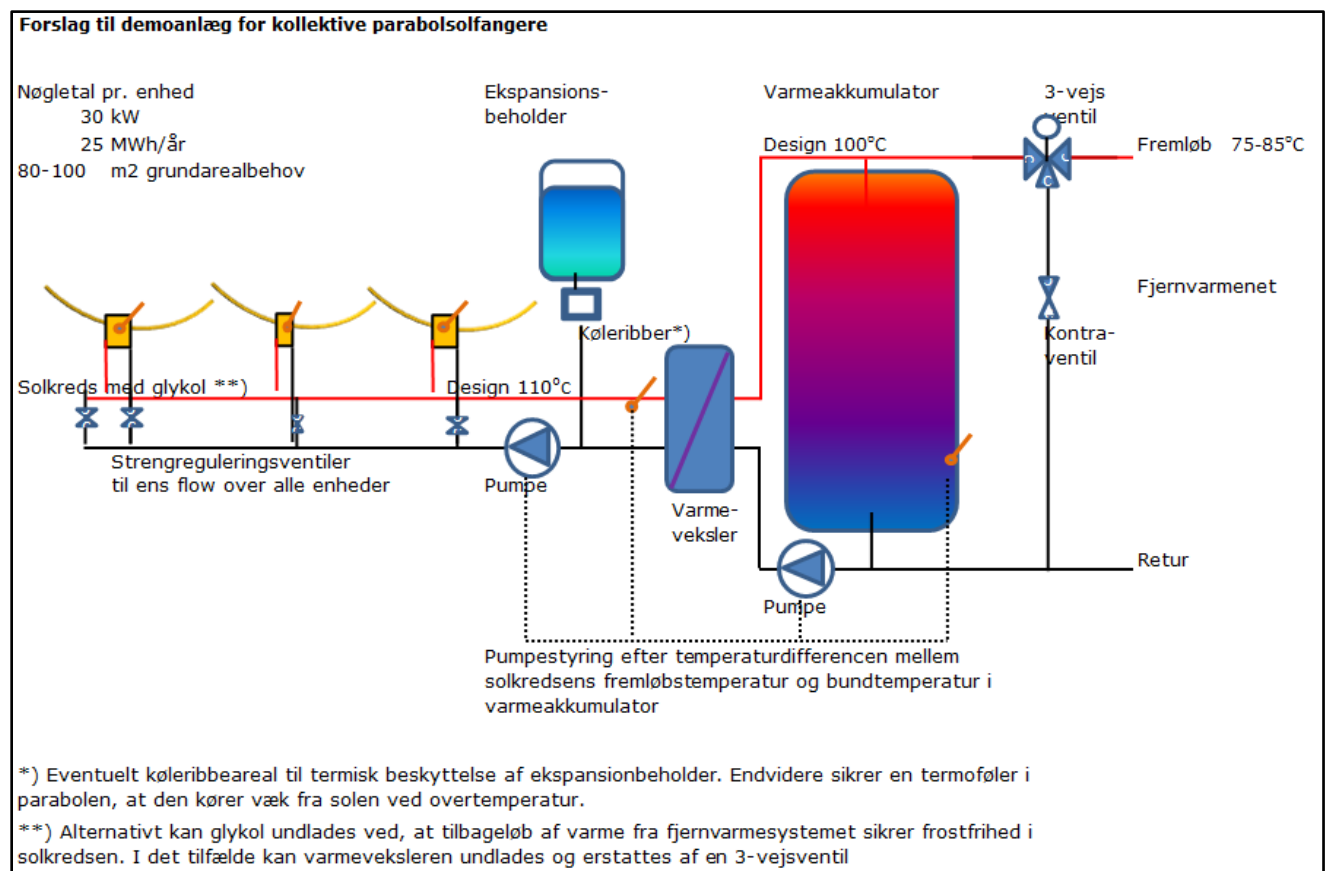
Figur 1 Parkopstilling af AURORA i harlekintern



Skitse Rambøll

Af nedenstående figur 2 ses et eksempel på, hvordan AURORA kan indgå i en parkopstilling med beskrivelse af det samlede anlæg.

Figur 2 Eksempel på AURORA anlæg ved parkopstilling



Skitse Rambøll

3.3 Anvendelse

I udviklings- og testperioden er AURORA vurderet i forhold til anvendelsesmuligheder inden for opvarmning af vand, køling samt i læring- og formidlingsøjemed, hvilket uddybes særskilt i nedenstående afsnit.

3.3.1 Varmtvandsproduktion

AURORA kan anvendes til f.eks. varmtvandsproduktion på såvel danske som udenlandske fjernvarmeværker til opvarmning af mindre landsbyer, der ikke er tilsluttet de større værker via tilhørende akkumuleringstank samt til varmtvandsproduktion til f.eks. spahoteller, badelande mv.

Af ovenstående figur 2 fremgår en lagringstype, som ved eksempelvis max. 50 kWh/m³ - vil svare til 260 m³ pr. husstand for helårs opvarmning. Akkumuleringstanken kan også bestå af et jordvarmelager i mindre størrelse f.eks. 13.000 - 20.000 m³, da dette vurderes at kunne dække behovet i en mindre landsby.

3.3.2 Køling

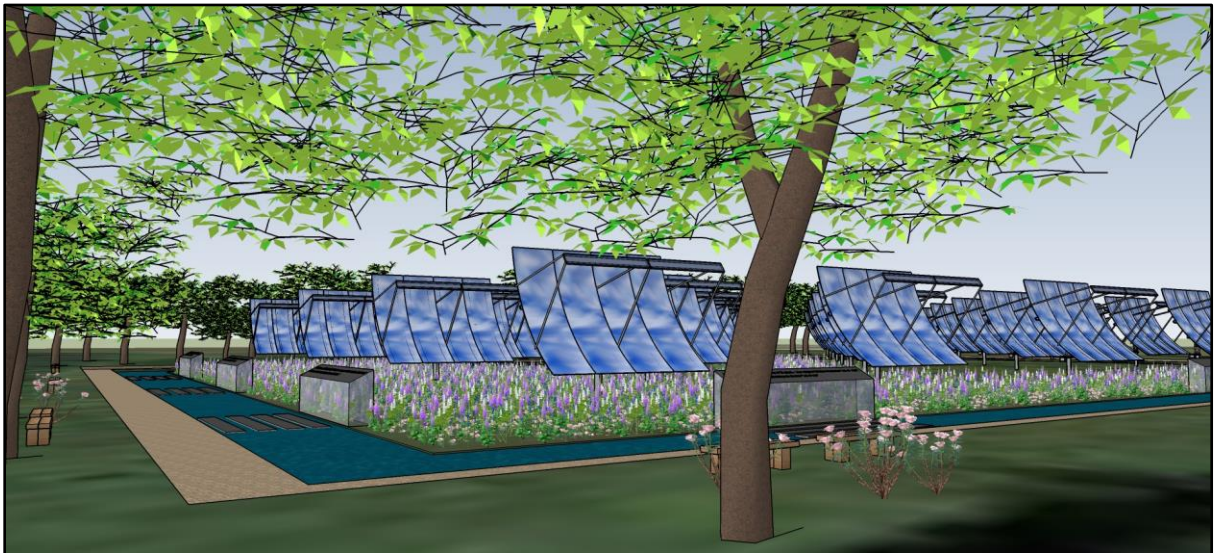
AURORA kan anvendes til køling via en absorptionskøler. En absorptionskølemaskine er en kølemaskine, hvori kondensationen i modsætning til kompressions kølemaskinen udføres ved en temperatur påvirket opløsning af kølemidlet. Dette kaldes også termisk kompressor. Kølemidlet absorberes i et opløsningsmiddel ved lav temperatur i et andet stof og desorberes ved højere temperaturer. Temperaturafhængigheden af den fysiske opløselighed af to stoffer anvendes i processen. Forudsætningen for processen er, at de to stoffer er opløselige i hinanden i det respektive temperaturinterval. AURORA's anvendelighed i forbindelse med absorptionskølere er kendetegnet ved en mulig relativ høj udgangstemperatur, der forbedrer virkningsgraden væsentligt.

3.3.3 Læring og formidling

AURORA kan anvendes i lærings- og formidlingsøjemed, idet ScandiMir ApS samarbejder med klimaekspert Jesper Theilgaard - direktør i Klimaformidling ved Jesper Theilgaard - om opstilling af AURORA klima-læringsparker, hvor AURORA indgår som parkelement til produktion af varme eller køling samtidig med, at AURORA indgår i et innovativt læringsunivers, hvor teknologien bag solarsystemet, klimaudfordringer og behovet for grønne energiløsninger formidles til besøgende målrettet, interaktivt og eksperimenterende. AURORA klima-læringsparkerne henvender sig til et bredt publikum, heriblandt skoler, universitetsmiljøer, erhvervsliv og borgere i ind- og udland - idet læringsmaterialet målrettes og tilpasses de besøgendes læringsbehov. AURORA klima-læringsparken udfylder et muligt behov for alternative læringsmiljøer, som supplement til den gængse klasseundervisning samt forelæsninger - i ind- og udland.

I AURORA klima-læringsparkerne opstilles AURORA endvidere på en bund af vilde blomster - til sikring af den lokale flora og fauna - som har til formål at værne om den lokale biodiversitet, herunder bi-bestand m.v.

Teknologien, idégrundlaget og designløsningen vurderes at have et stort potentiale og ScandiMir ApS er således opfordret til af juryen² for Danish Design Award 2019³, at indstille AURORA klima-læringsparkerne til Danish Design Award, når første park er opstillet: *"The AURORA Learning Universe (ALU) is a really great project. However, it needs to live a bit and get more documentation for the impact. We strongly encourage ALU to apply again next year."*⁴ Løsningen var med i opløbet til at modtage Danish Design Award 2019 i kategorien: *Better Learning - en designpris for løsninger, der fører til nye måder at lære og uddanne sig på*, men kunne naturligt ikke gå videre til opløbet, idet løsningen endnu ikke er implementeret i praksis, hvilket var et krav for modtagelse af prisen.

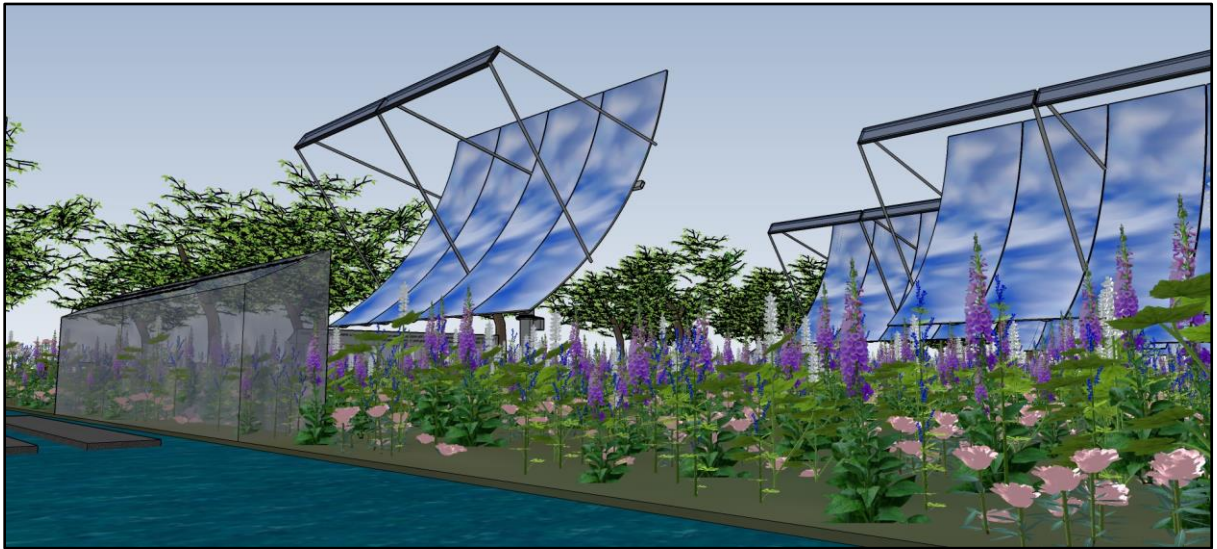


Eksempel på design af AURORA klima-læringspark, Kilde: ScandiMir ApS

² Danish Design Award Jury 2019: Anders Bang Kiertzner, Executive Design & Innovation Strategist, **Monolith**; Ulla Riber, Group Vice President, Head of **ISS Corporate Garage**; Thomas Madsen-Mygdal, adm. direktør og medstifter, **Twentythree**; Søren Skafte Overgaard, Partner og Bestyrelsesmedlem i **Fridays & Partners**; Rikke Ullersted, Partner og Kreativ Leder, **Makers and Explores**; Mark Wee, Adm. direktør, **Designsingapore Council**; Mads Quistgaard, Stifter og partner, **Urgent.Agency**; Lene Dammand, Rektor, **Det Kongelige Danske Kunstakademis Skoler For Arkitektur, Design og Konservering**; Lars Thøgersen, Adm. Direktør, **CPH ID**; Lars Ploug-Sørensen, Senior Project Director, **Danfoss Drivers**; Joel Towers, Dekan, **Parsons School Of Design**; Erik Balck Sørensen, Investment Director, **Vækstfonden Venture**; Christina Halskov, Medstifter af **Halskov & Dalsgaard Design**; Betinna Maisch, Dr. Senior Key Expert Konsulent, **Siemens Corporate Technology**; Anne-Louise Sommer, Adjungeret Professor, Direktør for **Designmuseum Danmark**. Kilde: <http://danishdesignaward.com/jury/>

³ Danish Design Award gennemføres i et samarbejde mellem Danish Design Center og brancheorganisationen Design Denmark. (www.danishdesignaward.com)

⁴ Jury, Danish Design Award 2019



Eksempel på design af AURORA klima-læringspark, Kilde: ScandiMir ApS

3.3.4 Delkonklusion - Anvendelse

AURORA har brede anvendelsesmuligheder og kan med fordel anvendes inden for både opvarmning, køling samt i læring- og formidlingsøjemed.

3.4 Egenskaber

AURORA har en række unikke egenskaber, der adskiller AURORA fra de øvrige solarsystemer på det danske marked. Nedenfor er listet de væsentligste unikke egenskaber, der hver for sig er verificeret under observation og tests, jf. beskrivelse i kapitel 4 Metode. Der gøres rede for resultaterne af analyserne i de 11 punkter, i særskilte afsnit nedenfor:

1. Høj effektivitet
2. Konstant høj udgangstemperatur - styret fra kontrolrum
3. Ingen "Plummervand" - styret fra kontrolrum
4. "Out of sun"-funktion - styret fra kontrolrum
5. "Out of wind"-funktion - styret fra kontrolrum
6. Areal besparende med en faktor 0,6 i forhold til plane solfangere
7. Kan opstilles i kuperet terræn
8. Vedligeholdelsesudgifter forventes begrænsede
9. Stærkt CO₂-reducerende
10. Behov for mindre akkumuleringsstank
11. Bevarende af biodiversiteten



Fotos: ScandiMir ApS

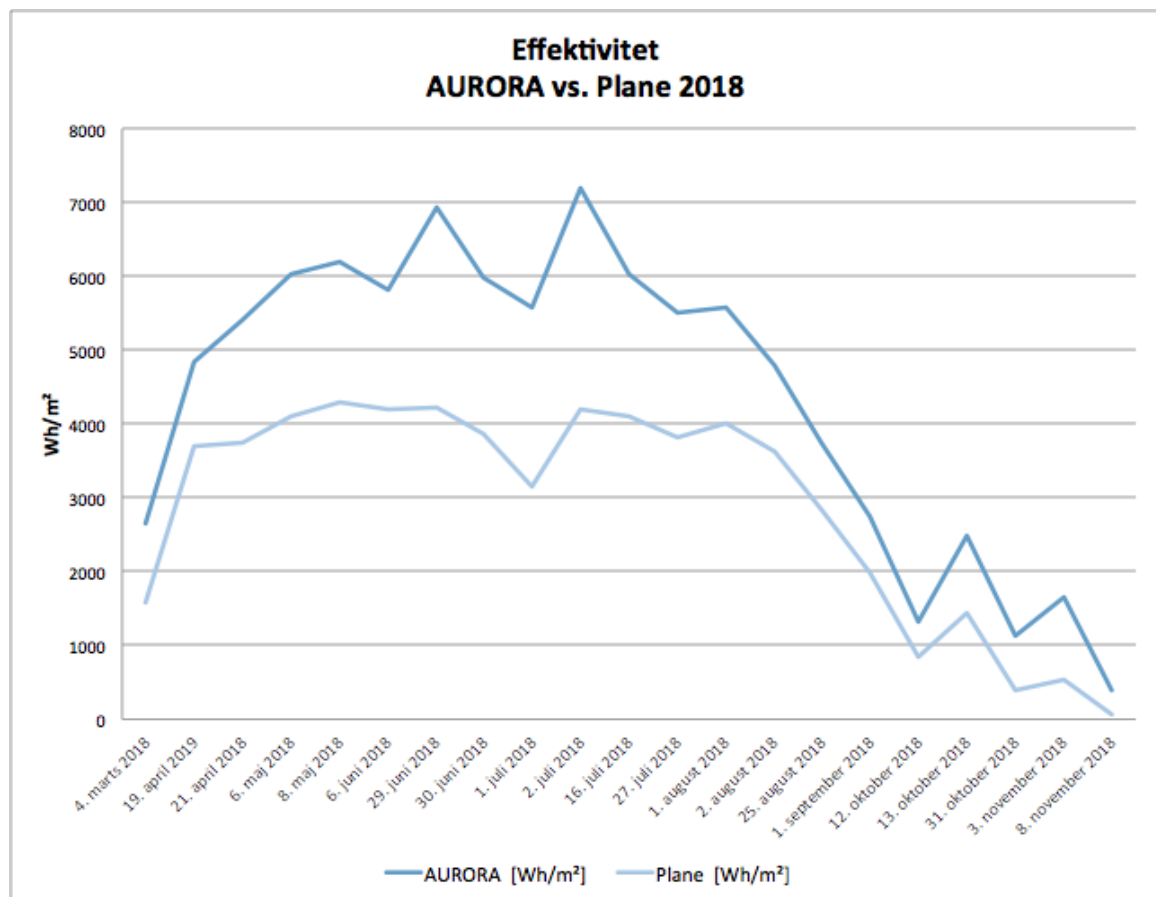
3.4.1 Effektivitet

AURORA opnår høj effektivitet pr. m² grundareal, idet den dobbeltaksede suntracker sikrer, at AURORA's spejlparabol følger solen dagen igennem og dermed sikrer optimal udnyttelse af solindstrålingen. I modsætning til plane solfangere, som typisk kan opnå en ydelse på ca. 170-180

kWh pr. m² grundareal/år, viser beregninger, at AURORA vil kunne nå op på ca. 280-300 kWh pr. m² grundareal/år. Med andre ord har AURORA en ydelse, der overgår de plane solfangeres med ca. 60 % pr. m² grundareal. Forskellen skyldes AURORA's mulighed for at producere i dagens ydertimer samt, at solindstrålingen altid vil ramme de plan-parabolske spejle vinkelret fra en solhøjde på ca. 5 grader over horisonten om morgenen til ca. 5 grader over horisonten om aftenen. AURORA producerer således hele året, selv på årets korteste dag, når solen står lavt på himlen.

AURORA producerer pr. m² spejlareal ca. 0,83 MWh/m²/år - mod et gennemsnit for de plane solfangere på ca. 0,44-0,50 MWh/m²/år. På årsbasis forventes én AURORA at producere ca. 25 MWh ved 30 m² spejlareal i forbindelse med serieproduktion, jf. afsnit 5.6 AURORA i serieproduktion. I nedenstående figur 3 samt figur 4 ses eksempler på AURORA's effektivitet i forhold til de plane solfangere. Af begge figurer gælder det, at AURORA ikke har mulighed for at producere frem til solnedgangen på grund af den tidligere omtalte skyggevirkning fra ca. kl. 18.20 jf. afsnittet: Soltid og AURORA nedenfor.

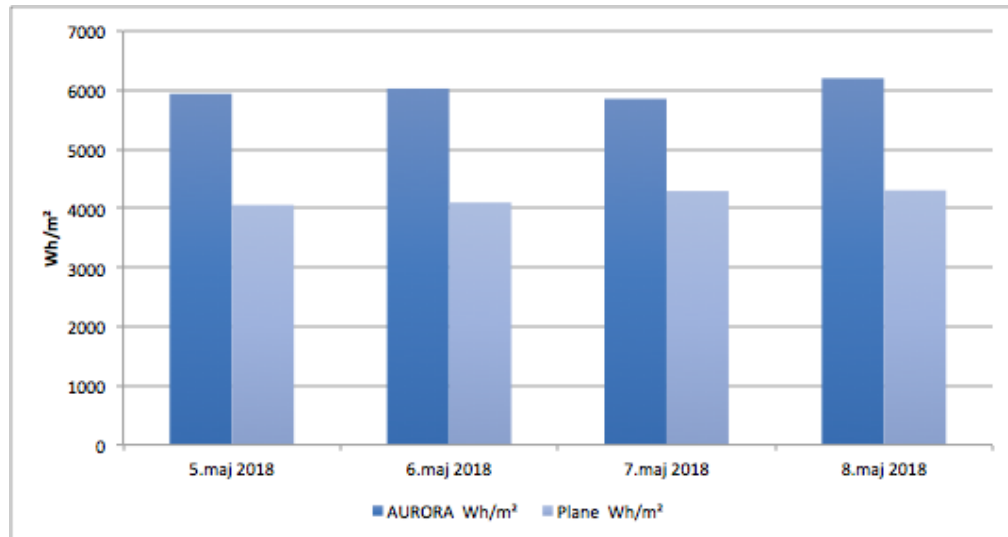
Figur 3 Effektivitet - AURORA vs. Plane (Wh/m²)



Kilde: Rådata fra AURORA samt data fra solvarmedata.dk fra plane i Ringkøbing. Hen over året 2018 er der foretaget målinger af AURORA's energiproduktion målt i kWh. Disse er omregnet til Wh/m² og sammenholdt med værdier fra samme dag fra "solvarmedata.dk" fra Ringkøbing.

Hvad angår figur 4 kan det estimeres, at under optimale forhold uden skyggevirkning og yderligere et par timers produktion til solnedgang i dagene 5.-8. maj frem til ca. kl. 20.00⁵ - vil effektiviteten formentlig øges med ca. 10 pct. for AURORA. (Dette estimat fremgår ikke af figuren.)

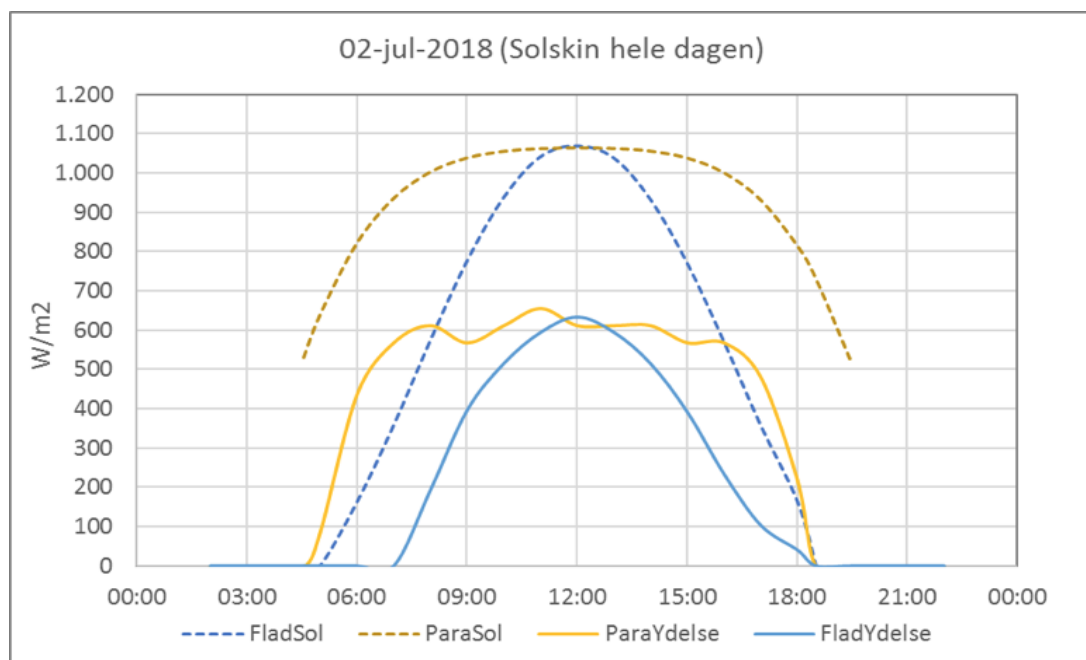
Figur 4 AURORA's effektivitet 5.-8. maj 2018 ekskl. aften produktion pga. skygge



Kilde: Rådata fra AURORA samt data fra solvarmedata.dk fra plane i Ringkøbing.

For at belyse de teoretiske forskelle vs. den reelle varmeproduktion for de to systemer ses af nedenstående figur 5 fra 2. juli 2018, 2 gule og 2 blå kurver. De stiplede kurver er de teoretisk mulige, mens de fuldt optrukne afspejler fakta fra den pågældende dag.

Figur 5 Varmeproduktion 2. juli 2018 - teoretisk og praktisk - AURORA vs. Plane



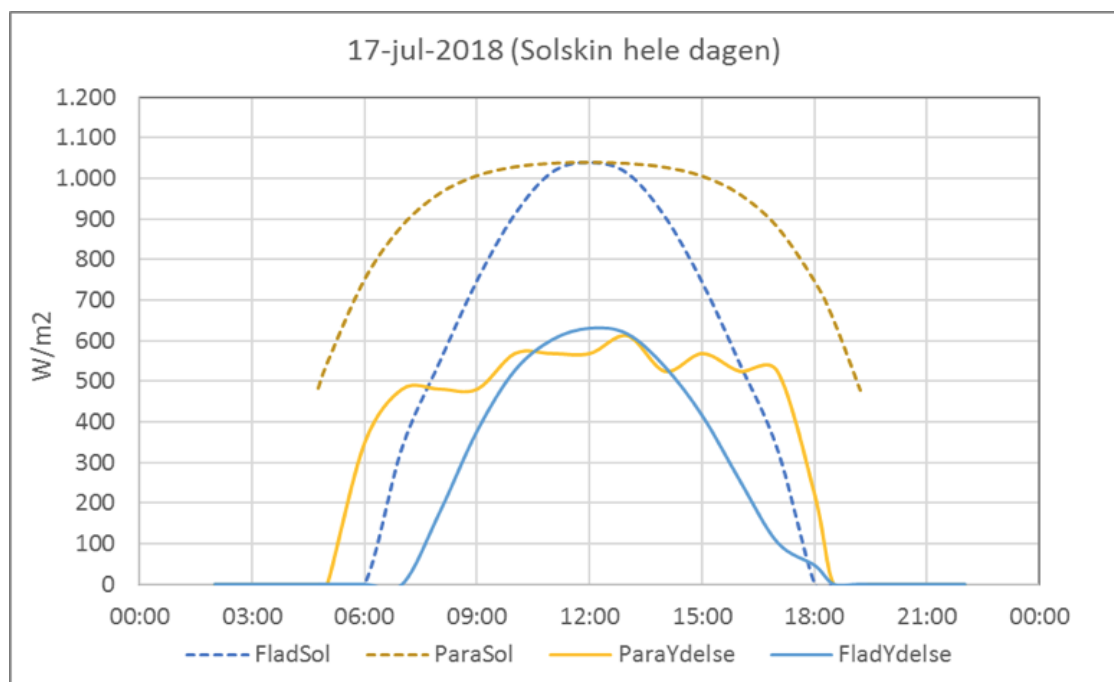
Kilde: Rådata fra AURORA og data fra solvarmedata.dk fra plane i Ringkøbing

⁵ Kilde: www.suninfo.dk/Almanak, Torben Hermansen

Det fremgår af figuren, at AURORA både teoretisk samt i praksis producerer mere i løbet af dagen i forhold til de plane solfangere, idet AURORA starter tidligere og slutter senere på dagen - ligesom AURORA opfanger solens stråler vinkelret, hvilket giver en højere ydelse generelt. Det fremgår af den fuldt optrukne gule kurve, der repræsenterer AURORA, at AURORA starter et par timer tidligere end den fuldt optrukne blå, der repræsenterer de plane solfangere. Det ses også, at produktionen stopper samtidig - begge kl. ca. 18:20. Dette skyldes for de planes vedkommende, at solen er i vest 270 grader kl. 18:22 og dermed ikke stråler direkte ind på de plane solfangerne længere, mens årsagen til produktionsstoppet for AURORA - som tidligere nævnt - er begrundet i skygge fra fjernvarmeverket. AURORA skulle have fortsat produktionen til ca. 5 grader over horisonten til ca. kl. 21:20 /ca. kurs 305 - hvilket ville have øget energien med ca. 3 timers produktion. Den lille blå "pukkel", der ses fra kl. ca. 17:45 til lukning kl. ca. 18:20, hidrører fra den akkumulerede varmemængde i de serieforbundne plane solfangere.

Nedenstående figur 6 fra 17. juli 2018 viser det samme, men at de plane solfangere midt på dagen producerer mere, kan bl.a. forklares med den langt større kapacitet af energiholdig vand. Der kan evt. være gået en sky for solen, hvorved AURORA's produktion falder, mens der er kapacitet i de plane solfangere til at udglatte dette forhold. AURORA's produktionskurve glattes ligeledes ud ved AURORA i parkopstilling. Det kan alternativt skyldes unøjagtigheder i prototypens måling. På trods heraf ses det, at arealet under AURORA's gule kurve fortsat er større end arealet under de planes blå kurve, hvilket betyder, at AURORA samlet set producerer væsentlig mere varme end de plane solfangere i løbet af dagen.

Figur 6 Varmeproduktion 17. juli 2018 - teoretisk og praktisk - AURORA vs. Plane



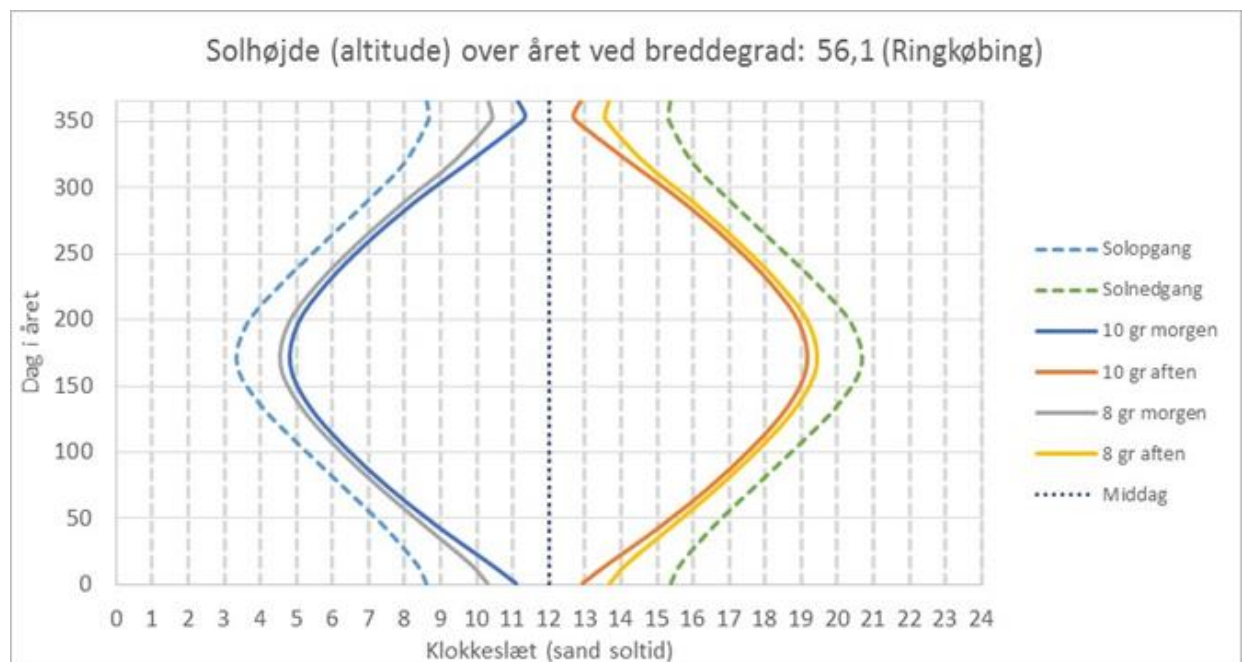
Kilde: Rådata fra AURORA og data fra solvarmedata.dk fra plane i Ringkøbing.

3.4.1.2 Soltid og potentiale for varmeproduktion - dobbelt "sun-trackende" vs. plane

I nedenstående kurveforløb i figur 7 ses solopgang og -nedgang over året og er en illustration over, hvad tid på dagen eksempelvis AURORA fanger solens stråler over et år, såfremt der er optimal solindstråling uden skyggevirkninger. På årets længste dag vil AURORA kunne fange solen i ca. 16 timer og på årets korteste dag ca. 4 timer.

For AURORA, som fanger solens stråler ca. 5 grader over horisonten om morgenen og til samme højde om aftenen, er det den grå og gule kurve (8 grader morgen og aften), der ligger tættest op af AURORA's indstilling. Det bemærkes, at figuren angiver sand soltid (UTC+1), samt at den største solhøjde nås ved 57 grader over horisonten.

Figur 7 Solhøjde Ringkøbing

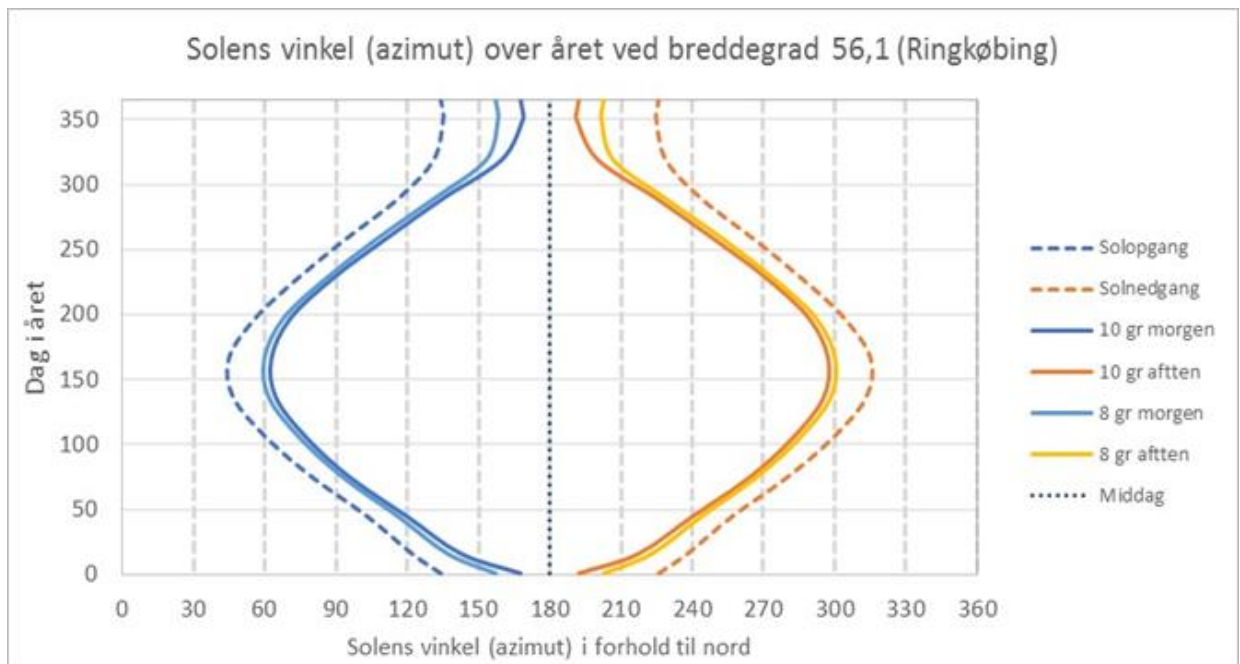


Kilde: Almanak v/Torben Hermansen

Nedenstående figur 8 angiver solens kompasskurs (azimut) i forhold til nord. AURORA er i Ringkøbing indstillet til at fange solen i området azimut 30 grader til 288 grader, idet AURORA får skygge fra bygningsmassen fra ca. 270 grader.

De plane solfangere vil kunne fange solen i området fra 90 grader til 270 grader, men alt efter opstilling, behøves en større solhøjde end ca. 25 grader for fuld belysning af solen.

Figur 8 Solvinkel Ringkøbing



Kilde: Almanak v/Torben Hermansen

AURORA kan fange solen i alle de forekommende solhøjder - dvs. fra solopgang til solnedgang, mens de plane solfangere har den begrænsning, at de må vente med at fange solen til, at den står mellem øst og vest og samtidig har en højde på ca. 25 grader og derover.

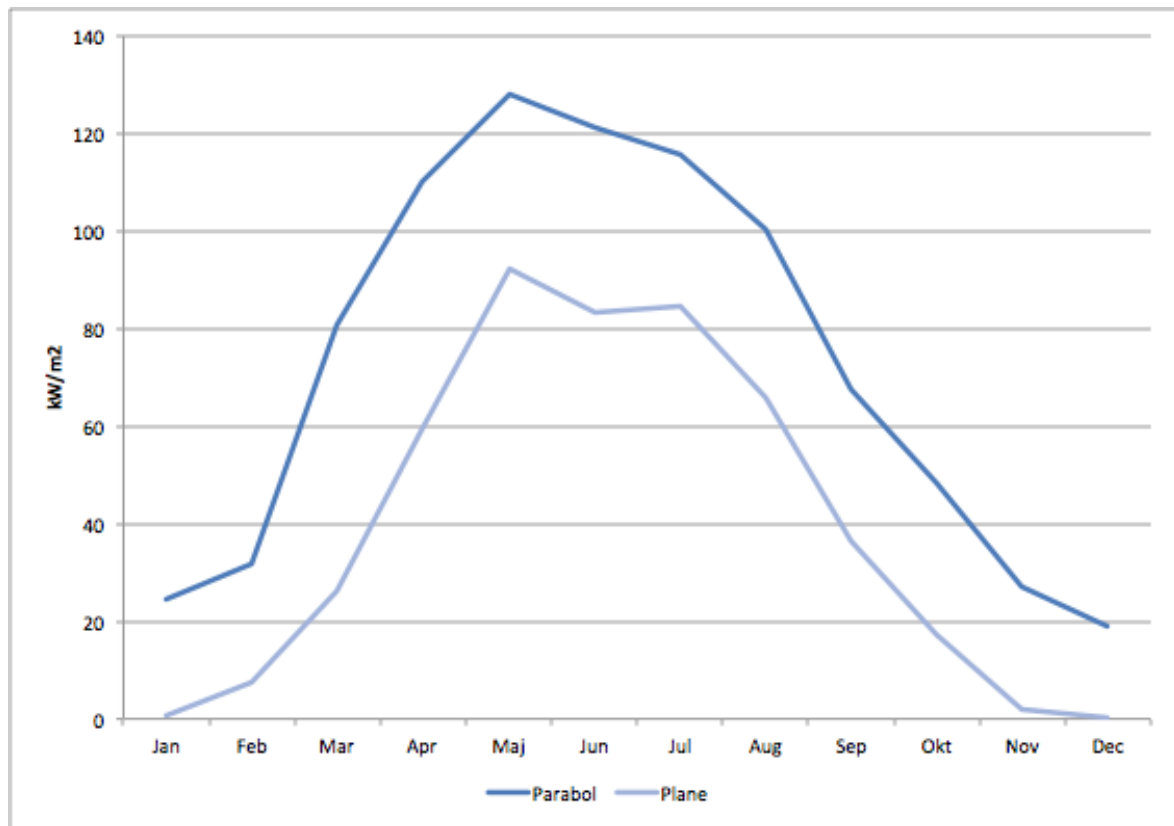
I nedenstående figur 9 ses en grafisk fremstilling af de to systemers maks. potentiale - målt som systemernes gennemsnitlige månedlige maksimale ydeevne, når der ses bort fra den skyggevirkning AURORA i øjeblikket er påvirket af på Ringkøbings Fjernvarmeværk.

De tilgrundliggende talværdier fremgår af tabel 1 nedenfor, hvorfra også effektfaktoren i tabel 2 er beregnet fra.

Som det fremgår af figur 9 og tabel 1, er et dobbelt "sun-trackende" system helt naturligt mere effektivt, da solindstrålingen hele tiden vil ramme spejlfladen, der netop følger solen vinkelret.

Af tabel 2 fremgår det, at den gennemsnitlige månedlige varmeproduktion er markant forskellig i perioden november, december og januar. De plane solfangere kan stort set ikke producere i vintermånederne, hvorimod det dobbeltaksede sol-trackersystem kan fange solens stråler og producere også på årets korteste dag i december.

Figur 9 Potentiale for varmeproduktion - Plane- vs. Parabol-solfangere



Kilde: PVGIS-CMSAF er gældende for lokationen 56°5' N 8°16' Ø Ringkøbing Fjernvarmeværk - Rindum Værket. Kurverne beskriver gennemsnitlig månedlig varmeproduktion fra det givne system (kWh/m²)

Parabol-kurve (mørkeblå): 2-akset suntracker system. Plan-kurve (lyseblå): Hældning = 35, Syd. Beregnet solvarmeproduktion baseret på Solindstråling

I princippet vil de stationære plane solfangere opnå den samme vinkelrette indstråling ved en solhøjde på - i dette tilfælde 35 grader i Ringkøbing - hvilket dog kun vil være kortvarigt, da solen jo hele tiden bevæger sig over dagen. En solhøjde på 35 grader vil opnås i korte perioder fra 21. marts til 22. september. Der produceres dog varme på de plane solfangere - også uden vinkelret indstråling.

En anden begrænsning for de plane solfangere er kompaskursen (azimut). Det er kun muligt at producere varmeenergi med de stationære plane solfangere, der vender mod syd, når solens kompaskurs er mellem øst og vest. Altså en kompaskurs mellem 90-270 grader - dvs. 180 grader virkefelt - idet der i sagens natur ikke kan produceres, når solen skinner ind på bagsiden af disse. Den maksimale solhøjde i øst og vest (azimut 90 grader og 270 grader) på lokationen er 29 grader over horisonten, og det forekommer den 23. juni - altså ved midsommertid.⁶

⁶ Kilde: www.suninfo.dk/Almanak/Torben Hermansen

Tabel 1 Beregnet solvarmeproduktion AURORA vs. Plane

[KW/m ²] Plane solfangere: hældning=35°, Syd.					[KW/m ²] 2-akset suntracker system				
Måned	GId	GIm	Qd	Qm	Måned	GId	GIm	Qd	Qm
Jan	1,11	34,4	0,02	0,7	Jan	1,5	46,4	0,79	24,4
Feb	1,73	48,5	0,26	7,4	Feb	2,22	62,2	1,14	31,9
Mar	3,88	120,3	0,84	26,1	Mar	5,24	162,5	2,61	80,8
Apr	5,26	157,7	1,99	59,6	Apr	7,51	225,2	3,68	110,3
Maj	5,74	178	2,97	92,2	Maj	8,61	267	4,13	128
Jun	5,73	171,9	2,77	83,2	Jun	8,49	254,7	4,05	121,4
Jul	5,57	172,7	2,72	84,5	Jul	7,95	246,4	3,74	115,8
Aug	4,93	152,8	2,12	65,8	Aug	6,87	213,1	3,24	100,5
Sep	3,63	108,9	1,21	36,3	Sep	4,7	141	2,25	67,6
Okt	2,45	75,9	0,55	17,1	Okt	3,17	98,2	1,56	48,4
Nov	1,33	39,8	0,06	1,8	Nov	1,78	53,4	0,9	27,1
Dec	0,85	26,5	0	0,1	Dec	1,16	36	0,61	19
Middel	3,53	107	1,3	40	Middel	4,45	135	2,4	73
Totalt for året	1287		475		Totalt for året	1806		875	

Kilde: Databasen: PVGIS-CMSAF er gældende for lokationen 56°5' N 8°16' Ø Ringkøbing Fjernvarmeværk - Rindum Værket.

GId: Gennemsnitlig daglig sum af den globale solindstråling pr. kvadratmeter til det givne system (kWh/m²)

GIm: Gennemsnitlig månedssum af den globale solindstråling pr. kvadratmeter til det givne system (kWh/m²)

Qd: Gennemsnitlig daglig varmeproduktion fra det givne system (kWh/m²)

Qm: Gennemsnitlig månedlig varmeproduktion fra det givne system (kWh/m²)

Tabel 2 Effektfaktoren - AURORA vs. Plane (jan.-dec.)

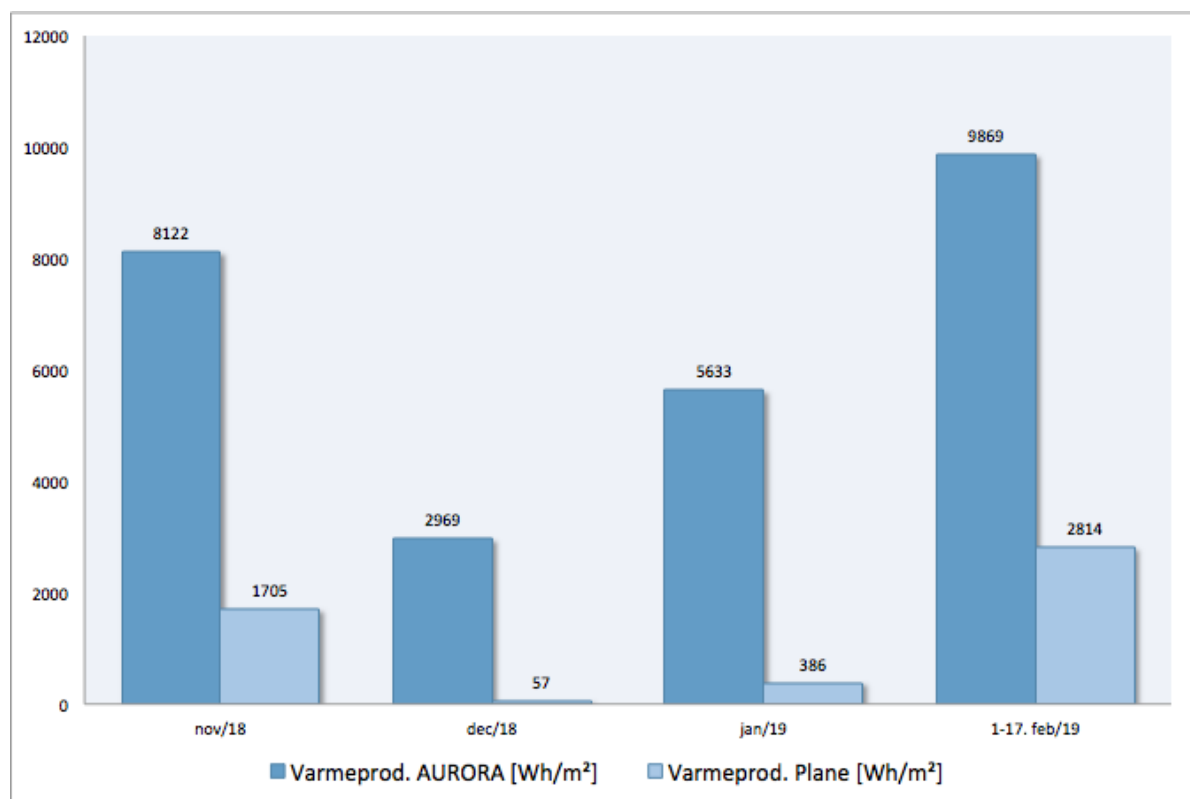
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec
Qm plane	0,7	7,4	26,1	59,6	92,2	83,02	84,5	65,8	36,3	17,1	1,8	0,1
Qm parabol	24,4	31,9	80,8	110,3	128	121,4	115,8	100,5	67,6	48,4	27,1	19
Effekt faktor	34,9	4,3	3,1	1,9	1,4	1,5	1,4	1,5	1,9	2,8	15,1	190,0

Effektfaktoren er angivet ved beregning: $Qm_{parabol}/Qm_{plane}$.

3.4.1.3 Ydersæsonerne - AURORA vs. Plane solfangere

Figur 10 samt tabel 3 viser AURORA's effektivitet i forhold til de plane solfangere i månederne november, december 2018 og i januar frem til medio februar 2019. Det fremgår, at udnyttelsesgraden og varmeproduktionen for AURORA er væsentlig højere ift. de plane solfangere - dette igen alene, fordi AURORA følger solen hele året.

Figur 10 Effektivitet nov.-feb. - AURORA vs. Plane (Wh/m²)



Kilde: Rådata fra AURORA samt data fra solvarmedata.dk fra plane i Ringkøbing

Som det fremgår af Figur 10 kan AURORA producere ved de lave solhøjder på lokationen i december måned. Selv på årets korteste dag omkring den 21. december, med en maximal solhøjde på 11 grader - kan AURORA producere.

Tabel 3 Effektivitet - AURORA vs. Plane

Måned	Sol-indstråling	Varmeprod . Plane	Varmepro d AURORA	Udnyttelse s-grad Plane	Udnyttelse s-grad AURORA	AURORA "X" gange bedre
	[Wh/m ²]	[Wh/m ²]	[Wh/m ²]	[%]	[%]	"X"
jan 2019	43708	386	5633	0,9	12,9	14,6
5. feb 2019	3518	415	1616	11,8	45,9	3,9
1.-17. feb 2019	32943	2814	9869	8,5	30,0	3,5
jul 2018	214000	89311	113406	41,7	53,0	1,3 ¹⁾
nov 2018	45000	1705	8122	3,8	18,0	4,8
dec 2018	21000	57	2969	0,2	9,6	52,1

Kilde: Rådata fra AURORA samt data fra solvarmedata.dk fra plane i Ringkøbing.

1) Juli kan iflg. effektfaktoren blive 1,4 gange bedre end de plane solfangere jf. tabel 2 ovenfor. (Her tages der igen forbehold for skygge af værket fra kl. ca. 18:20).

3.4.1.4 Bidrag fra diffus solstråling

Ved solindfald skelnes mellem direkte og diffus indstråling. Den direkte solindstråling kommer direkte fra solen. Den diffuse indstråling består dels af diffus himmelstråling spredt i atmosfæren og dels af reflekteret diffus indstråling fra jordoverfladen og andre objekter.

Ved målingerne kunne der ikke konstateres en specifik ydelsesforskel, der kunne henføres til, at plane solfangere skulle have ekstra udbytte af diffus solindstråling. Dette er imidlertid et emne, der kan anbefales et nærmere studie. Erfaringsmæssigt vil diffus stråling i bedste fald generere "Plummervand"⁷ i de plane solfangeranlæg, der kan løfte returtemperaturen, men ikke levere vand med fremløbstemperaturer. Omvendt stiger temperaturerne ved brug af AURORA meget hurtigt, så snart solen skinner, og vandet kan dermed hurtigt bruges i forbindelse med fremløbet. Der findes således ikke belæg for, at diffus stråling, udnyttet af de plane solfangere, skulle øge effektiviteten nævneværdigt i forhold AURORA og CSP teknologien generelt.

I den forbindelse blev følgende antagelser diskuteret:

⁷ Se underafsnit 3 Plummervand nedenfor.

- Udbyttet af en solfanger er den absorberede energi minus varmetabet, men først når den cirkulerende væske er nået op på en anvendelig minimumstemperatur. Når den cirkulerende væske har en lavere temperatur, vil den cirkulere som unyttigt plummervand. Varmetabet fra solfangeren afhænger (lineært) af temperaturforskellen mellem absorber og omgivelserne. Dersom der var en lille temperaturforskel mellem den anvendelige minimumstemperatur og omgivelserne, vil den diffuse stråling formodentligt kunne bidrage med et direkte udbytte. Men det er ikke tilfældet ved normale driftsforhold, hvor en relativ stor temperaturforskel er nødvendig. Det kræver direkte solindstråling for at komme op på den anvendelige minimumstemperatur, mens diffus indstråling kun bidrager ved at mindske varmetabet fra solfangeren.
- Meget plummervand er en risiko for plane solfangere pga. deres store termiske masse og en stor radiatoreffekt. Den diffuse stråling forventes her give et positivt bidrag ved at mindske radiatoreffekten (mindske varmetabet). For parabol-solfangeren er plummervand derimod ikke en risiko, fordi den termiske masse er væsentlig mindre, ligesom radiatoreffekten af den relativ lille receiver er væsentlig mindre end for plane solfangere ved sammen driftstemperaturer. For AURORA-prototypen er receiverens bagside blændet af for solen, men i den endelige model vil receiverens bagside kunne modtage direkte såvel som diffus solindstråling, hvoraf sidstnævnte vil mindske varmetabet fra receiveren. Dog vil bidraget være begrænset, da overfladen er lille.

3.4.1.5 Delkonklusion - Effektivitet

AURORA udnytter solens indstråling optimalt pga. den dobbeltaksede suntracker, der sikrer, at solens stråler fanges vinkelret på spejlparabolen fra solopgang til solnedgang året igennem - ca. 5 grader over horisonten om morgenen til ca. 5 grader over horisonten om aftenen. AURORA producerer derfor markant større energimængde over dagen og på årsbasis i forhold til de stationære plane solfangere. AURORA har en ydelse, der overgår de plane solfangere med ca. 60 % pr. m² grundareal om året, idet de plane typisk kan opnå en ydelse på 170-180 kWh pr. m² grundareal/år, mens AURORA vil kunne nå op på ca. 280-300 kWh pr. m² grundareal pr. år. (Med andre ord: AURORA producerer samme energimængde, som de plane solfangere, med et arealforbrug op til ca. 40 % mindre end for de plane solfangere). AURORA producerer generelt væsentlig mere end de plane solfangere igennem alle årets måneder, men har et særligt forspring i ydersæsonen, dvs. nov., dec., jan., feb. AURORA producerer også på årets korteste dag på Ringkøbing-lokationen, hvor solen når en højde på 11 grader over horisonten. De plane solfangere har svært ved at fange solens stråler i vintermånederne, fordi solhøjden ikke er stor nok.

Ved målingerne kunne der ikke konstateres en specifik ydelsesforskel, der kunne henføres til, at plane solfangere skulle have ekstra udbytte af diffus solindstråling. Erfaringsmæssigt vil diffus stråling i bedste fald generere "Plummervand" i de plane solfangeranlæg, der kan løfte returtemperaturen, men ikke levere vand med fremløbstemperaturer. Omvendt stiger

temperaturerne ved brug af AURORA meget hurtigt, så snart solen skinner, og vandet kan dermed hurtigt bruges i forbindelse med fremløbet. Der findes således ikke belæg for, at diffus stråling, udnyttet af de plane solfangere, skulle øge effektiviteten nævneværdigt i forhold AURORA og CSP teknologien generelt.

3.4.2 Konstant høj udgangstemperatur - styret fra kontrolrum

Prototypens 22,9 m² effektive spejlareal koncentrerer solenergien på ca. 1,5 m² receiver, altså en koncentration med faktor ca. 15,3. Dette indebærer en mulig høj udgangstemperatur, der kan reguleres over det i receiveren gennemstrømmende flow. Ved parkopstilling reguleres alle underunits til én varmeveksler via frekvensregulerede pumper, hvorfor der kun tillades gennemgang til varmeveksler ved en på forhånd indstillet temperatur. Opnås denne ikke pga. skydække eller lign., cirkulerer mediet blot videre til den rette temperatur er opnået.

Det betyder, at uafhængig af årstiden og udendørstemperaturen kan der vælges en temperatur der afspejler efterspørgslen i fjernvarmenettet. Eksempelvis, hvis der er brug for en lavere temperatur om sommeren end om vinteren, så kan denne indstilles således at systemet automatisk holder en konstant temperatur uanset om der er brug for 60, 80 eller 100 grader varm fremløbstemperatur. Målet er at undgå plummervand, men levere den efterspurgte temperatur året rundt, når solen skinner.

Det bemærkes, at AURORA's effektivitet - i modsætning til de plane solfangere - er uafhængig af udgangstemperatur, idet prototypens receiver kun udgør ca. 1,5 m² og indeholder en forholdsvis lille vandmængde under stort flow, hvorved radiatoreffekten (konvektion) nedsættes.

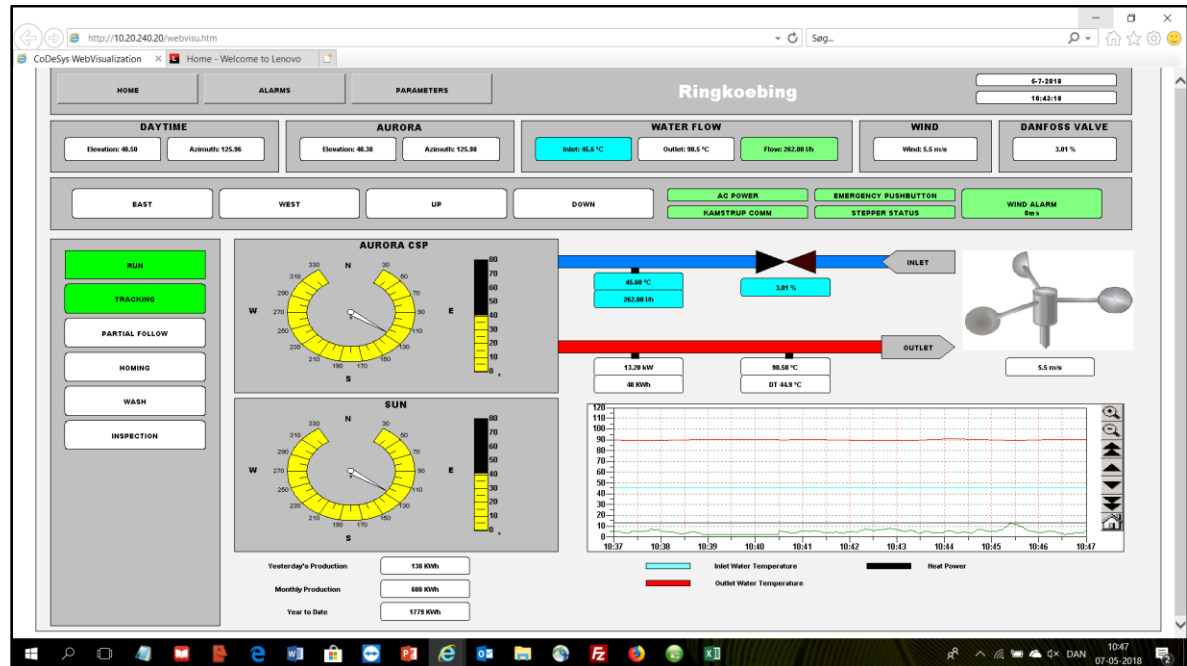
AURORA's mulighed for et outlet med en konstant høj temperatur udgør en fordel for fjernvarmeværkerne, idet akkumuleringsstankens størrelse kan minimeres med typisk en faktor ca. 0,67 (dvs. der spares ca. 33%), hvilket mindsker omkostningsniveauet generelt. Den høje temperatur muliggør samtidig, at anlægget kan anvendes til køling, jf. afsnit 5.3 Anvendelse.

I opsætningen af AURORA på Rindum Værket i Ringkøbing ses i nedenstående figur 11 et øjebliksbillede af styresystemets kontrolflade den 7. maj 2018, kl. 10.47. Af diagrammets røde flade kurve ses den konstant høje udgangstemperatur på 90,5 grader C.

Delkonklusion - Konstant høj udgangstemperatur - styret fra kontrolrum

AURORA giver mulighed for en konstant høj udgangstemperatur. Uafhængig af årstiden og udendørstemperaturen kan der vælges en temperatur der afspejler efterspørgslen i fjernvarmenettet. Målet er at undgå plummervand, men levere den efterspurgte temperatur året rundt, når solen skinner. Muligheden for konstant høj udgangstemperatur giver mulighed for mindre akkumuleringsstank og dermed lavere omkostninger generelt. Den høje temperatur muliggør samtidig, at anlægget kan anvendes til køling.

Figur 11 Øjeblikksbillede af AURORA's styresystem konstant høj udgangstemperatur på 90,5 C.



Kilde: Skærmaflæsning af AURORA styresystem

3.4.3 Ingen "plummervand" - styret fra kontrolrum

"Plummervand", der defineres som vand med temperaturer lavere end fremløbstemperaturen, der i sagens natur ikke kan sendes ud til forbrugeren, forekommer ikke jfr. ovenstående. AURORA opvarmer vand hurtig i perioderne mellem diffus - og fuld indstråling og kan lagre vandet i rørsystemet til det har opnået den rette temperatur til at blive frigjort til net eller buffer tank. Alt der lukkes ud gennem varmeveksleren kan videresendes til den bestemte anvendelse.

Denne funktion bidrager til omkostningsbesparelse og større fleksibilitet for værket.

Delkonklusion - "plummervand" - styret fra kontrolrum

AURORA lukker kun vand ud til varmeveksleren til en forudbestemt temperatur, hvilket medfører, at varmeværket bestemmer, hvorvidt det opvarmede vand skal gå direkte til forbrugeren - eller til akkumuleringstank. Funktionen bidrager til omkostningsbesparelse og større fleksibilitet for værket.

3.4.4 "Out of sun"-funktion - styret fra kontrolrum

AURORA er udstyret med en "out-of-sun"-funktion, en variabel parameter, der sikrer, at parabolen blot drejer ud af solen - dvs. drejer til vandret position - hvilket sikrer systemet mod overophedning samt giver mulighed for straksophør af produktion, når værket har opnået det ønskede produktionsmål.

AURORA har desuden en funktion for "partial follow", hvor fokus automatisk stilles væk fra receiveren i en indstillelig vinkel på f.eks. 6 grader. Denne funktion sikrer, at en max. produktionstemperatur ikke overskrides og kommer i anvendelse, når aftaget via varmeveksleren ikke er stort nok. Funktionen er at betragte som en ekstra "overkøgningsikring". Systemet er dog i udgangspunktet tryksat til 4 bar - og "koger" derved først ved ca. 140 grader C.

AURORA's "out-of-sun"-funktion sparer værkerne for tiltag til sikring af straksophør af produktion (ved straksuddrejning fra solen), når det ønskede produktionsmål er opnået. Denne funktion sparer omkostninger til evt. tilkalkning med efterfølgende afvaskning af overflader, evt. anden midlertidig afdækning, samt omkostninger til gennempumpning for natkøling eller total aftapning af medie, hvis der er tale om længere perioder uden behov for varmeproduktion.

AURORA's "out-of-sun"-funktion vurderes at bidrage til øget fleksibilitet og stor sikkerhed i driften, markante omkostningsbesparelser samt væsentlige lettelser i arbejdsgangene.

Delkonklusion - "Out-of-sun" funktion - styret fra kontrolrum

AURORA's "out-of-sun"-funktion bidrager til øget fleksibilitet og sikkerhed i driften, lettere arbejdsgange samt omkostningsbesparelser i forbindelse med tiltag for at sikre skygge, køling af systemet samt mulighed for straksophør af produktionen, idet parabolen automatisk eller manuelt - ved ordrer - drejes væk fra solen, når et ønsket produktionsmål er nået eller ved fare for overophedning.

3.4.5 "Out of wind"-funktion - styret fra kontrolrum

AURORA er stormsikret til en vindhastighed på 70 m/s. En sådan storm har vi endnu ikke haft i Danmark. En variabel parameter sikrer, at parabolen drejer til udgangspositionen "safe mode"/"homing" - dvs. til vandret position - ved vindstød over en forudindstillet værdi bestemt af værket. Pt. er AURORA indstillet til "homing" eller "safe-mode"⁸ ved vindstød på 17 m/s eller derover. Funktionen har endvidere en yderligere digital indstillelig automatik, som medfører, at systemet tæller ned og genstarter - f.eks. efter 1 min - om muligt, hvis vinden har lagt sig tilstrækkeligt. På denne måde sikres en optimal produktion - også i perioder med kraftige vindstød.

⁸ "Safemode" angiver positionen af AURORA's 25 m² spejlflade i vandret liggende position

AURORA's "out-of-wind"-funktion afværger mulige stormskader og bidrager dermed til stor fleksibilitet, stabilitet og sikker drift i perioder med kraftig vind. Funktionen reducerer således evt. omkostninger til retablering af materiel ved kraftig storm - da stormskader kan undgås, herunder at kraftig vind forhindrer produktion, idet AURORA generelt forsøger at producere, når det er muligt - inden for de forudbestemte grænser. Generelt set har AURORA en konstruktion, der gør den robust over for kraftig vind.

Delkonklusion - "Out-of-wind" funktion - styret fra kontrolrum

AURORA's "out-of-wind"-funktion (parabolen drejer ud af vinden ved forudbestemt vindhastighed) bidrager til øget sikkerhed og stabilitet i driften i perioder med kraftig vind - ligesom funktionen reducerer evt. omkostninger til retablering af beskadiget materiel forårsaget af kraftig storm - da stormskader kan undgås.

3.4.6 Arealbesparende

AURORA producerer samme energimængde, som de plane solfangere, med et arealforbrug, op til ca. 40 % mindre end for de plane solfangere.

AURORA's markant reducerede behov for grundareal i forhold til de plane solfangere er omkostningsbesparende i forhold til køb eller leje af jord. Et evt. overskydende areal kan selvsagt også anvendes til at øge energimængden væsentligt, såfremt det for de plane solfangere nødvendige grundareal, i stedet anvendes til energiproduktion med AURORA.

Delkonklusion - Arealbesparende

AURORA producerer samme mængde energi, som de plane solfangere på op til ca. 40 % mindre areal i forhold til, hvad de plane solfangere skal bruge for at producere samme energimængde. AURORA's markant reducerede behov for grundareal i forhold til de plane solfangere bidrager til omkostningsbesparelser ift. køb eller leje af jord. Alternativt kan energiproduktionen øges væsentligt ved at opstille AURORA units på det til formålet afsatte grundareal.

3.4.7 Enkel opstilling i terræn - også kuperet - uden planering

AURORA kan opstilles i kuperet terræn - og behøver ikke et planeret grundareal, hvilket bidrager til stor fleksibilitet og kan give omkostningsbesparelser. Dog er det klart, at en grund, der hælder mod nord, vil give problemer for de lavere liggende opstillinger. Den mest hensigtsmæssige hældning af grunden vil være mod syd - og ujævnheder og bakker i terrænet er ingen hindring for opstilling. Opstillingen foregår ved at bore et hul i jorden med en dybde på ca. 1 meter og en diameter på ca. 0,8 meter. Heri støbes beton, og efter en skabelon fastgøres 4 stk. 36 mm galvaniserede gevindstænger for senere justeringsmulighed for fundamentets lodrette position.

Naturligt kan AURORA ikke opsættes på mosejord, men det vil en jordbundsundersøgelse kunne afklare.

Delkonklusion - terræn

AURORA kan opstilles på kuperede og bakkede jordarealer uden planering, hvilket bidrager til stor fleksibilitet og samtidig bevarelse af flora og fauna på jordarealerne, reduktion af anlægsomkostningerne samt mulighed for at inddrage normalt ikke egnede jordarealer.

3.4.8 Vedligeholdelsesudgifterne er begrænsede

Da AURORA's plan parabol ikke kan komme længere ned mod jordoverfladen end ca. 0,5 m, vil der ikke være behov for udgifter til at klippe græsset, som evt. blot kan vokse vildt, hvis dette ønskes. Der kan alternativt aktivt sås en bund af vilde blomster for samtidig at værne om biodiversiteten, herunder sikre bi-bestand, insekter mv. Parabolen er dog kun kortvarig i denne lave position - ved start og slut på dagen.

Vedligeholdelsesudgifter vil i al væsentlighed - udover smøring i de monterede smørenipler - forekomme i forbindelse med afvaskning af spejle. AURORA kan til det formål let fra kontrolrummet stilles i vaske-position "wash mode", der gør det nemt og hurtigt at vaske spejlene.

I "wash mode" går AURORA først 90 grader ud af solen (azimut) for at forhindre blænding/brænding, for derefter at gå til korteste aktuator længde for at lette en hurtig rengøring.

Vedligeholdelsesudgifterne for AURORA forventes at ligge i størrelsesordenen ca. 5 - 10 kr./MWh, mens vedligeholdelsesudgifterne for de plane solfangere anslås at ligge i størrelsesordenen ca. 20 - 55 kr./MWh. Denne vurdering er dog ikke verificeret i nærværende rapport, da det ikke har været muligt at verificere et entydigt, gennemsnitligt niveau for de plane solfangere - på grund af bl.a. forskelle i tidligere og nyere anlæg. Det samme gør sig gældende for entydig verifikation af niveauet for vedligeholdelse for de plane solfangere i forhold til tæring, utætheder i pakninger, tilstopning af rør, evt. græsklipning, beskadigelser i forbindelse med græsklipning m.v. Dette punkt er generelt forbundet med stor usikkerhed, og emnet ligger uden for denne F&U-rapport, men indhentet stikprøver indikerer, at der kan være en tendens til, at vedligeholdelsesudgifterne for plane solfangere bliver undervurderet.

AURORA's robuste konstruktion medfører, at der ikke forventes tæring, utætheder, tilstopning af rør m.v. - hvilket i sig selv reducerer vedligeholdelsesudgifterne i forhold til de plane. Alene afvaskning af spejle samt smøring m.v. - via monterede smørenipler et par gange årligt - vil være standard vedligeholdelse. Ved samme lejlighed kan tilses, at det underliggende terræn ikke springer i skov.

Delkonklusion - Vedligeholdelsesudgifterne

Vedligeholdelsesudgifterne i forbindelse med driften af AURORA er begrænsede, idet spejlparabolens min. 0,5 m. afstand til jordoverfladen eliminerer behovet for vedligehold af det underliggende terræn, bl.a. græsslåning. Vedligehold i forbindelse med afvaskning af spejlene lettes via en "wash-mode"-funktion. AURORA's vedligeholdelsesudgifter vurderes at ligge i størrelsesordenen ca. 5 - 10 kr./MWh, mens vedligeholdelsesudgifterne for de plane solfangere anslås ud fra ikke nærmere vurderede stikprøver hos fjernvarmeselskaber at ligge i størrelsesordenen ca. 25 - 55 kr./MWh, hvilket udgør en ca. 80 % besparelse ved opstilling af AURORA frem for de plane solfangere.

3.4.9 CO₂ reducerende

Da AURORA med det nye 30 m² spejlareal i serieproduktion forventes at producere energi, svarende til 25 MWh/år vil der, når der henses til fyring med let fyringsolie, kunne ses en besparelse på ca. 9 tons CO₂/år afhængig af solindstrålingen.

Miljømæssigt reducerer AURORA CO₂-udledningen med ca. 5,2 tons pr. år/pr. unit ved erstatning af en kondenserende naturgaskedel. Der vil heller ikke være udslip af andre klimagasser (CH₄ og N₂O) eller af lokale forureningsstoffer (SO₂, NO_x, partikler mv.), ligesom der heller ikke skal tilkøres brændsel eller bortskaffes forbrændingsrester. Sidstnævnte kan være en udfordring ved valg af biomasse-produktionsanlæg og kan kræve ekstra foranstaltninger og dermed fordyrelser.

Ovenstående gælder generelt for solarenergi.

Delkonklusion - CO₂ reducerende

AURORA udleder ingen CO₂ eller andre klimagasser i atmosfæren. AURORA reducerer CO₂-udledningen med ca. 9 tons pr. år pr. unit ved erstatning af let fyringsolie, ligesom AURORA reducerer CO₂-udledningen med ca. 5,2 tons pr. år pr. unit ved erstatning af en kondenserende naturgaskedel. Dette gælder generelt for solarenergi.

3.4.10 Behov for mindre akkumuleringstank

Alene fordi der produceres med en relativ konstant høj udgangstemperatur kan der påregnes et reduceret behov for akkumuleringstank. Besparelsen vil være i størrelsesordenen ca. 30 - 33%. En ikke uvæsentlig besparelse, da disse akkumulatorer (akkumuleringstanke) typisk kan koste ca. 1.000 kr. /m³ at opføre.

Delkonklusion - akkumuleringstank

AURORA's mulighed for højere driftstemperaturer - uden effektivitetstab - giver bedre udnyttelse af en tilhørende akkumuleringstank, der dermed kan anlægges i en mindre størrelse, hvilket reducerer omkostningsniveauet væsentligt - ca. 30-33 %.

3.4.11 Bevaring af biodiversiteten

Idet AURORA's spejlparabol svæver min. 0,5 m over det underliggende terræn, kan de underliggende arealer bevares i sin oprindelige, naturlige tilstand, eksempelvis til vild flora og fauna. Såfremt der ikke i forvejen findes vild beplantning på jordstykket, kan en bund af vilde markblomster sås for at værne om den lokale biodiversitet. Jordarealerne udtages dermed ikke fra de samlede naturlige vilde flora- og fauna-arealer - selvom jordarealerne også anvendes til energiproduktion. Dog skal sikres, at arealet ikke springer i skov.

AURORA er således en særlig miljøvenlig energiløsning i forhold til at værne om biodiversiteten, som i dag er hårdt presset pga. omfattende ensartethed i agerbruget - hvilket reducerer bi-bestand, insekter m.v., generelt benævnt biodiversiteten.

Delkonklusion - biodiversitet

AURORA giver mulighed for at værne om den oprindelig vilde fauna og flora på det areal, hvor AURORA bliver opstillet til energiproduktion, idet AURORA er løftet over jordarealet, som således er "frit". AURORA udgør dermed en miljøvenlig energiløsning i forhold til at værne om den lokale biodiversitet.

Generelt: I undersøgelsen blev der detekteret 11 unikke fordele ved AURORA, benævnt ovenfor, som alle vurderes at være omkostningsbesparende i forbindelse med anlæg, drift og vedligeholdelse samt miljø.

3.5 AURORA i samspil med anden teknologi

AURORA kan anvendes som mindre anlæg til varmtvandsproduktion til f.eks. spahoteller, badelande mv. eller som større anlæg til fjernvarmeproduktion.

Nedenfor gives en overordnet beskrivelse af mulighederne for samspil med anden energiteknologi, men der er behov for en dybere analyse af dette potentiale. Generelt kan det dog konkluderes, at AURORA kan levere højere stabile temperaturer en større del af døgnet - og i ydersæsonerne - øger potentialet for solenergi i samspil med andre energiteknologier, herunder: Plane solfangere, luft-til-vand varmepumper, halmfyr samt biomasseanlæg, som beskrevet nedenfor.

3.5.1 AURORA og anden grundlast generelt

Når AURORA indgår i et fjernvarmesystem, har det i samspil med en varmeakkumulator reguleringsmæssig førsteprioritet, og vil derfor erstatte varmeproduktion fra anden grundlast.

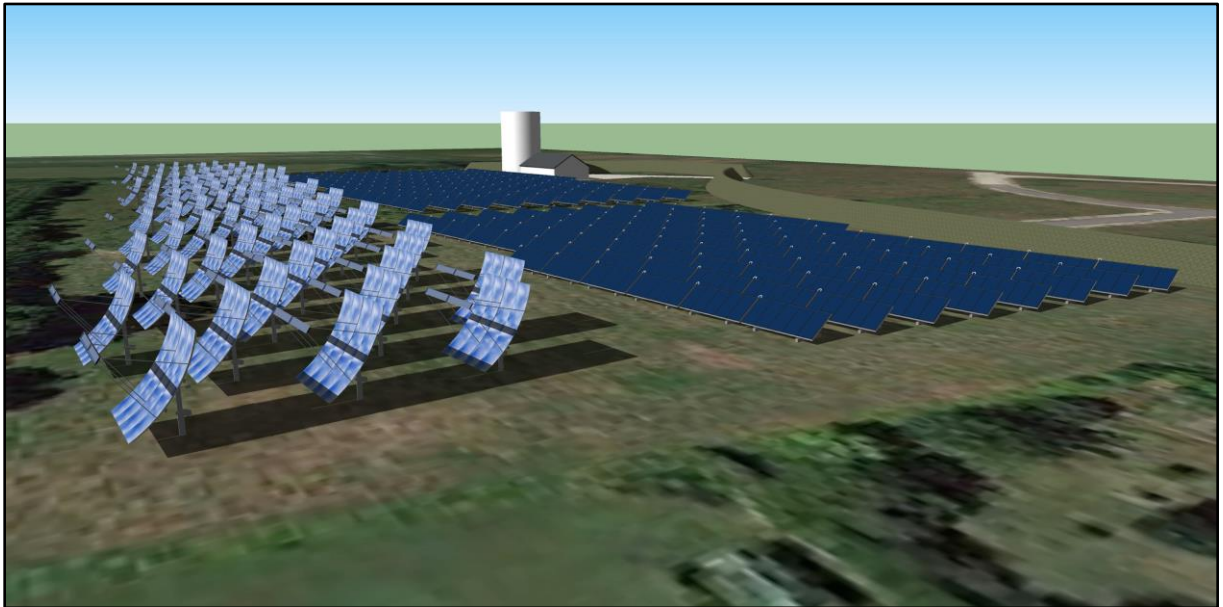
Dog kan fortrængning af anden grundlast med solvarme være problematisk økonomisk set. Det skyldes, at grundlast, der er karakteriseret ved at have en høj anlægspris og en lav varmepris, som hovedregel bør have så meget produktionstid som muligt for at kunne afskrive investeringen. Solvarme vil derfor i værste fald kunne nedsætte rentabiliteten af anden eksisterende grundlast. På den anden side vil mindre drift på grundlastanlægget medføre længere teknisk levetid. Men derudover gælder der typisk følgende i samspillet mellem solvarme og anden grundlast:

- I mindre fjernvarmesystemer uden kraftvarme eller varmepumpe og kun kedler vil solvarmeanlægget direkte betyde brændselsbesparelser alt efter hvilke brændsler, de oprindelige kedler er baseret på. Til optimeringen benyttes akkumuleringstank.
- I mindre fjernvarmesystemer med decentral gasfyret kraftvarme eller eldreven varmepumpe skal solvarmeanlægget samordnes med kraftvarme- eller varmepumpeanlægget, der reguleres eller står standby af hensyn til el-sidens markedsvilkår. Til optimeringen benyttes akkumuleringstank eller evt. sæsonlagring.
- I større fjernvarmesystemer med affaldsbaseret kraftvarmeproduktion som grundlast vil solvarme fortrænge affaldskraftvarme om sommeren, hvorfor det ekstra affald skal sæsonlagres hvis mulig indtil, der uden for sommersæsonen igen bliver plads til affaldskraftvarmen.
- Grundlastenheders revisionsperiode lægges almindeligvis i sommerhalvåret, hvor varmebehovet er lavt. Herved bliver der mere "plads" til solvarme i stedet for at erstatte den manglende grundlast med ofte dyrere og mindre miljøvenlige reservelastkedler.

3.5.2 AURORA i kombination med plane solfangere

AURORA kan med fordel kombineres med plane solfangere, idet AURORA kan booste temperaturen - specielt i ydertimerne/ydersæsonen - hvor disse teknologier ikke fanger solens indstråling optimalt.

Vi ser i nedenstående billeder et eksempel, hvor AURORA kombineres med plane solfangere, hvor AURORA, som beskrevet, kan booste temperaturen.



*Eksempel på AURORA park opstilling (venstre) i samspil med plane solfangere (højre),
Visualisering: Rambøll Danmark A/S*



*Eksempel på AURORA park opstilling i samspil med plane solfangere,
Visualisering: Rambøll Danmark A/S*

3.5.3 AURORA i kombination med luft-til-vand-varmepumper

En anden højaktuel kombination vil være samspillet med luft-til-vand-varmepumper, der jo netop i yderperioderne ikke yder deres optimale, bl.a. på grund af til-isning ved lavere udendørs temperaturer (i vinterhalvåret).

AURORA kan bidrage med ekstra energitilførsel til varmepumpeanlæggets fordampere-enhed via rørforinger over samme, der kommer direkte fra AURORA's outlet.

Det betyder, at de to kan supplere hinanden om sommeren, ved at varmepumpen leverer når solen ikke skinner, og AURORA kan øge effektiviteten af varmepumpen om vinteren i højere grad end plane solfangere, da solen fanges i en længere periode. I kombination med en akkumuleringsstank vil der samlet set være en lavere udnyttelse af en tredje energikilde (gas, olie eller biomasse) - og i lange perioder kan det helt undværes.

3.5.4 AURORA i kombination med halmfyrede værker mv.

AURORA ses også fordelagtig i kombination med bl.a. halmfyr, specielt ved den lave indfyring ved sommerforbruget. Halmkedler producerer typisk mindre effektivt ved lavere varmebehov, som i sommermånederne, hvor AURORA kan klare sommerforbruget i en udvidet periode i forhold til de plane. I sommerperioden kan halmfyret serviceres og klargøres til vintersæsonen.

AURORA kan tillige kombineres med fjernvarmesystemer, der benytter biomasse eller gas marginalt om sommeren til at honorere forbrugernes varmebehov og temperaturkrav. På netop disse værker samt - som ovenfor nævnt i forbindelse med halmfyrede værker - kan arbejdskraft spares samtidig med, at sommersæsonen også kan udvides, og CO₂-udledningen dermed reduceres yderligere.

3.5.5 AURORA som en decentral energibooster i eksempelvis et transmissionssystem

AURORA's mulighed for at levere høje konstante temperaturer, kan, i højere grad end de plane solfangere, udnyttes decentralt i et fjernvarmenet. Eksempelvis kunne AURORA med fordel udnyttes i et transmissionssystem for at få boost af varmen i nettet. Det kunne dels øge fleksibiliteten af energiteknologien anvendt i transmissionssystemet og sænke omkostningerne til pumpedriften.

3.5.6 Delkonklusion - AURORA i samspil med anden teknologi

AURORA kan med fordel supplere teknologier som plane solfangere, luft-til-vand-varmepumper, halmfyr samt biomasse, idet AURORA kan booste produktionen og øge den årlige samlede ydelse, såfremt de forskellige teknologier kombineres med AURORA. AURORA kan ligeledes bidrage med større anvendelsesmuligheder af et kombi-anlæg, ved at spare manuel arbejdskraft via sin enkle automatiserede betjening. Ved fyring med halm og andre biobrændsler er det nødvendig med manuel overvågning af brandhensyn, såvel som bortskaffelse af aske-andele. Ved lange transmissionsledninger kan AURORA være en fordel ved at booste temperaturen undervejs, ligesom en del barmarksanlæg har vanskelighed ved yderligt liggende aftagere - så også her er AURORA en god ide.

I forbindelse med samspillet mellem solvarme og grundlast kan det konkluderes:

- I mindre fjernvarmesystemer med:
 - kun kedler, vil solvarmeanlæg betyde brændselsbesparelser. Til optimering benyttes akkumuleringstank.
 - decentralt gasfyret kraftvarme eller eldreven varmepumpe skal solvarmeanlægget samordnes med kraftvarme- eller varmepumpeanlægget, der reguleres eller står standby af hensyn til el-sidens markedsvilkår. Til optimeringen benyttes akkumuleringstank eller evt. sæsonlagring.
- I større fjernvarmesystemer med affaldsbaseret kraftvarmeproduktion som grundlast, vil solvarme fortrænge affaldskraftvarme om sommeren, hvorfor det ekstra affald skal sæsonlagres hvis mulig indtil, der uden for sommersæsonen igen bliver plads til affaldskraftvarmen.
- Grundlastenheders revisionsperiode lægges almindeligvis i sommerhalvåret, hvor varmebehovet er lavt. Herved bliver der mere "plads" til solvarme i stedet for at erstatte den manglende grundlast med ofte dyrere og mindre miljøvenlige reservelastkedler.

3.6 AURORA - status over tekniske principper og mekaniske elementer samt tiltag i serieproduktion

3.6.1 Status ift. tekniske principper og mekaniske elementer

De tekniske principper har undervejs i forløbet vist sig absolut holdbare. Udfald i prototypefasen er løst ved tilpasning af AURORA undervejs. Samtlige mekaniske elementer er dimensioneret og konstrueret robust - og der er i forløbet ikke konstateret funktionsproblemer.

I AURORA ses i øvrigt ikke problemer med tæring eller utætte pakninger, da rørføringerne til og fra receiveren er almindelig VVS udførelse med alm. galvaniserede rør, der alle er isolerede. Der optræder ikke fugt omkring det nye receiver element.

Vedligeholdelsesomkostningerne er reduceret til spejlvask et par gange om året samt smøring i de monterede smørenipler.

3.6.2 Tiltag i serieproduktionen

Til sikring af, at AURORA's effektivitet øges i overensstemmelse med de ambitiøse mål, der er sat for serieproduktionen (ca. 25% større effektivitet end ved prototypemodellerne) implementeres justeringer og kvalitetsoptimering forinden - idet erfaringerne fra prototypefasen omsættes til praksis - uden de tekniske principper dog påvirkes. Herudover initieres tillige diverse æstetiske tiltag ("hose" til ledninger og fleksible slanger m.v.).

3.6.3 Delkonklusion - AURORA - status over tekniske principper og mekaniske elementer samt tiltag i serieproduktion

De tekniske principper har undervejs i forløbet vist sig absolut holdbare. Udfald i prototypefasen er løst ved tilpasning af AURORA undervejs. Samtlige mekaniske elementer er dimensioneret og konstrueret robust - og der er i forløbet ikke konstateret funktionsproblemer.

Til sikring af, at AURORA's effektivitet øges i overensstemmelse med de ambitiøse mål, der er sat for serieproduktionen (ca. 25% større effektivitet end ved prototypemodellerne) implementeres justeringer og kvalitetsoptimering forinden - idet erfaringerne fra prototypefasen omsættes til praksis - uden de tekniske principper dog påvirkes. Herudover initieres tillige diverse æstetiske tiltag ("hose" til ledninger og fleksible slanger m.v.).

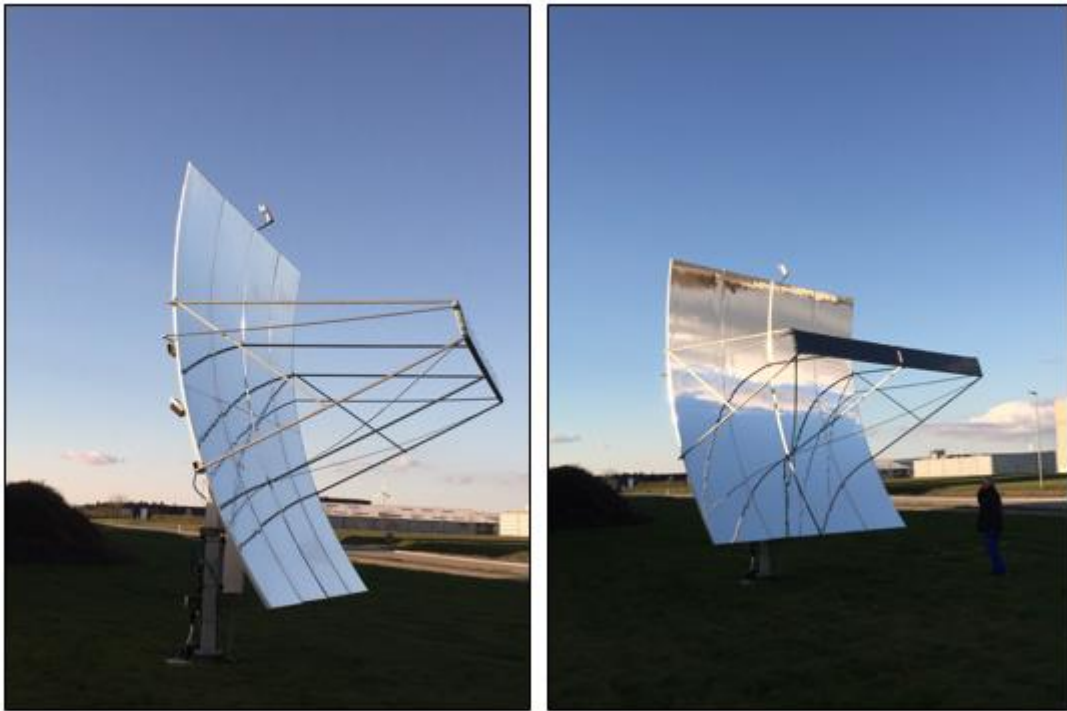
3.7 AURORA's markedspotentiale

AURORA vurderes at være attraktivt for fjernvarmeværker for både mindre og større anlæg - i ind- og udland - jf. analysen ovenfor, idet:

- den totale varmepris, ligger fordelagtig i forhold til de plane, idet
 - drifts- og vedligeholdelsesudgifterne anslås at ligge under de plane solfangere
 - anlægsudgifterne vurderes at ligge på niveau med eller evt. under de plane solfangeres, da i) opstillingsmetoden er enkel; ii) der ikke er udgifter til planering af det underliggende terræn; iii) der er mulighed for mindre akkumuleringsstank og iv) arealbehovet er markant mindre
 - AURORA's egenskaber og funktioner, herunder bl.a. "out-of-sun"-funktionen, "out-of-wind"-funktionen samt konstant høj udgangstemperatur, bidrager netop via automatisering til en i) mindre tidskrævende arbejdsgang i driftssituationen, hvilket generelt løser nogle velkendte, arbejdskrævende problemstillinger - ii) ligesom der opnås bedre sikkerhed i driften
- AURORA kan opstilles i parkopstilling, som selvstændig teknologi, men også med fordel i kombination med øvrige teknologier, da AURORA kan booste varmeproduktionen (og dermed den samlede årlige varmeproduktion) i de perioder, hvor de øvrige teknologier ikke selv kan producere optimalt

AURORA's egenskaber (afsnit 5.4 Egenskaber) vil selvsagt værdisættes og vægtes forskelligt og være afhængig af det enkelte fjernvarmeværks behov, udfordringer, nuværende varmeforsyningsanlæg, udbygningsplaner mv.

De nævnte egenskaber vurderes generelt at være ressourcebesparende.

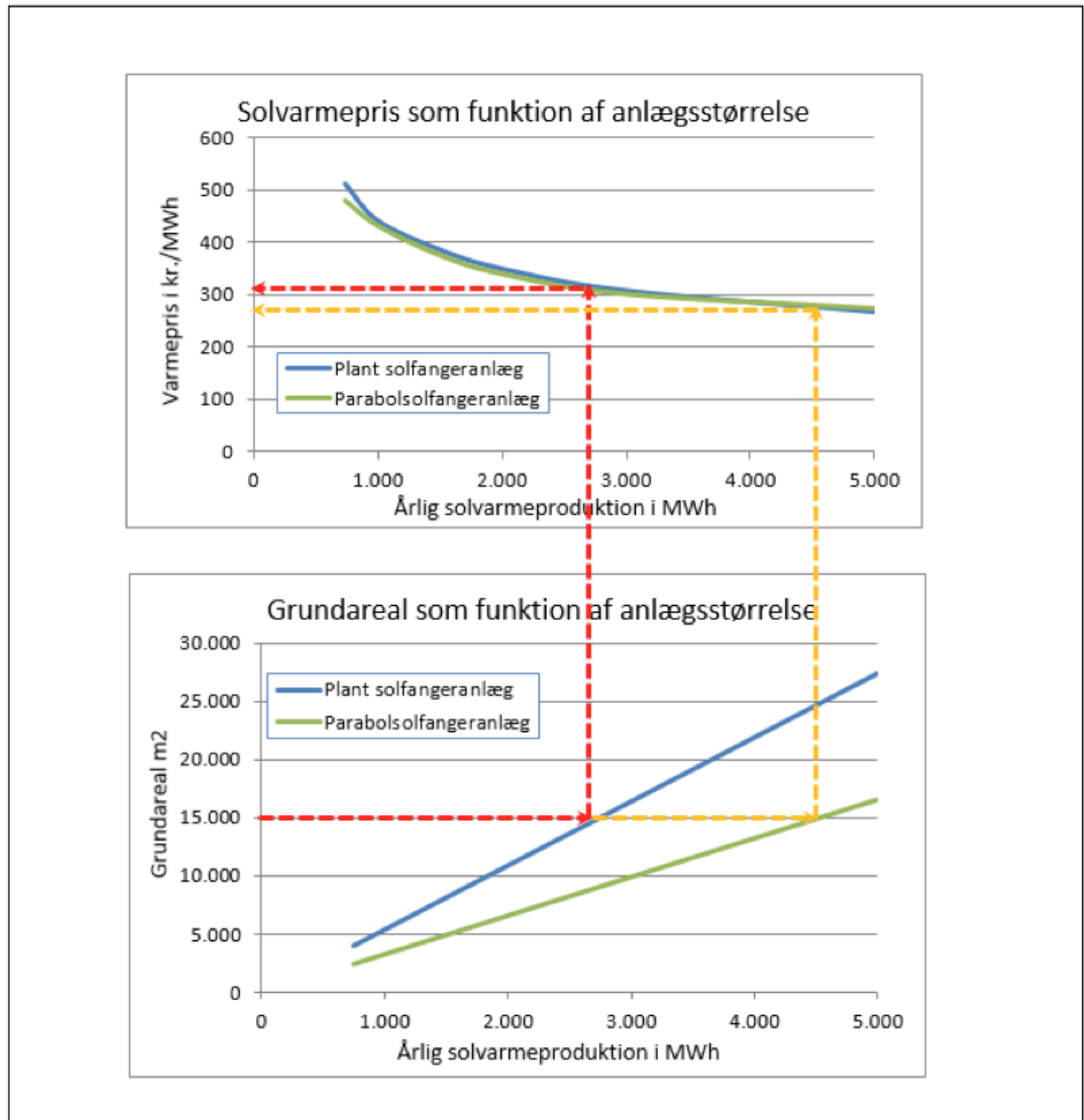


Fotos: ScandiMir ApS

I figur 12 er der opstillet en indikativ visning af varmeprisen for AURORA set i forhold til de plane solfangere (inklusive kommunegaranteret finansiering af anlægsinvesteringen).

Som figuren illustrerer, anvender AURORA for enhver anlægsstørrelse (angivet ved årlig solvarmeproduktion i MWh) mindre areal (se nederste diagram) til nogenlunde samme eller lavere varmepris (se øverste diagram) i forhold til de plane.

Figur 12 Solvarmepris og grundareal som funktion af anlægsstørrelse AURORA vs. Plane



Figuren illustrerer, at såfremt der er 15.000 m² grundareal til rådighed, så vil der kunne opstilles 180 stk. AURORA'er, der hver producerer 25 MWh/år, hvilket svarer til 4.500 MWh/år til en varmepris til lidt under 300 kr. pr. MWh (gul stiplede linje). De plane solfangere (rød stiplede linje) kan på samme grundareal producere væsentligt mindre - ca. 60-65 % af AURORA's ydeevne. På de 15.000 m² grundareal vil der kunne opsættes ca. 5.770 m² plane solfangere, der hver producerer ca. 0,475 MWh/m²/år - dvs. 2.740 MWh/år til en varmepris lidt over 300 kr. pr. MWh.

3.7.1 Markedspotentiale for fjernvarmebranchen i Danmark

Det vurderes, at AURORA kan have et væsentligt markedspotentiale set i forhold til de forventninger, Varmeplan Danmark 2010 vurderede, jf. 1 Indledning:

“Varmeplan Danmark 2010 vurderede et behov for at udbygge solvarmen til fjernvarme med 2-4 mio. m² inden for 2020 og på sigt komme op på i alt 8 mio. m² solfangerareal, idet de vil kunne dække omkring 10 % af fjernvarmeproduktionen i Danmark. I 2017 havde det samlede solfangerareal passeret 1,3 mio. m² fordelt på 115 kollektive anlæg.”⁹

Da ovenstående beregninger er baseret på opstilling af de plane solfangere, sammenholdes dette fremtidsperspektiv med opstilling af AURORA i stedet, hvilket vil udgøre et markedspotentiale for AURORA på ca. 38.000 - 76.000 stk. AURORA'er vs. 2-4 mio. m² plane solfangere, idet 1 mio. m² plane solfangere kan ækvivaleres med 19.000 AURORA units. Det vurderes, at grundarealet kan reduceres markant ved opsætning af AURORA, da de plane solfangere behøver ca. 1,6 gange mere grundareal end AURORA.

Der er iflg. Varmeplan Danmark 2010, som ovenfor nævnt, allerede efter 2017 installeret mere end 1,3 mio. m², som samlet solfangerareal, resterer der i denne sammenhæng mellem 0,7-2,7 mio. m². Dette svarer til et samlet potentiale - udtrykt i antal AURORA'er - på ca. 13.300 til 51.300 units.

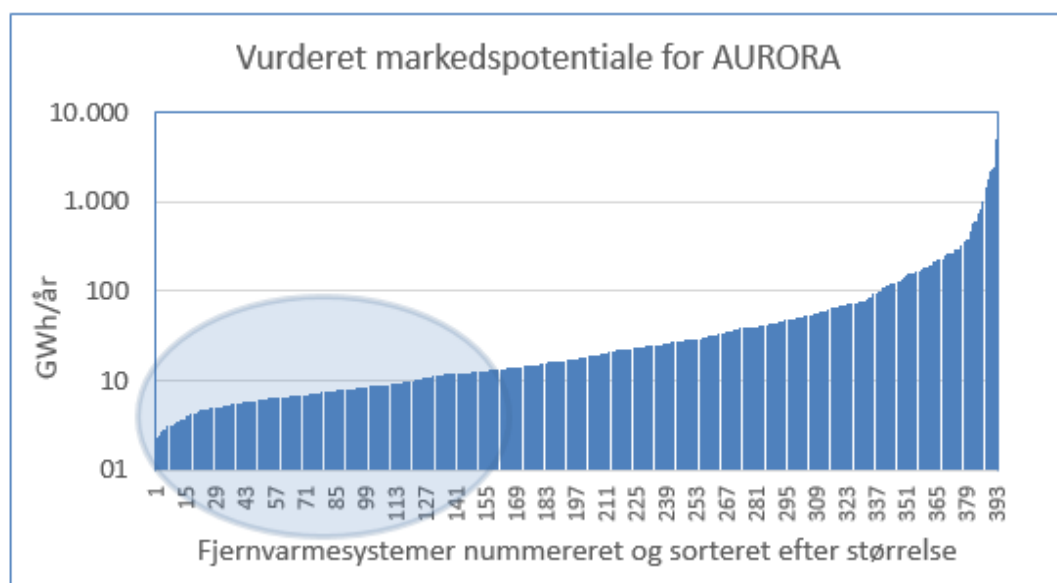
For at anskueliggøre markedspotentialet i forskellige segmenter, betragtes markedet herunder for henholdsvis i) mindre værker med en årlig varmeproduktion op til 10-15 GWh, ii) større værker, der ligger over 15 GWh og iii) “Olielandsbyer” hvor olie til opvarmning udfases.

Ad i) Mindre anlæg med årlig varmeproduktion < 15 GWh

Hvad angår de 100-150 mindre anlæg op til en årlig varmeproduktion på op til 15 GWh (markeret i figur 12, hvor alle landets knap 400 fjernvarmeselskaber er sorteret efter størrelse) vurderes det, at AURORA vil kunne bidrage med >ca.30 % årsforbruget som sommerforbrug. Typisk dækkes >ca 20% af årsforbruget med de plane solfangere som sommerforbrug, men med AURORA kan sæsonen udvides til >ca.30 % af årsforbruget, som sommerforbrug.

⁹ Kilde: Rambøll Danmark A/S i samarbejde med Aalborg Universitet. Der tages forbehold for evt. nyere versioner samt det faktum, at der i øjeblikket også fokuseres på varmepumpeløsninger, øvrige teknologier m.v.

Figur 13 Vurdering af AURORA's Markedspotentiale - 393 danske fjernvarmeselskaber efter størrelse (GWh/år)



Da det antages, at AURORA i de mindre fjernvarmesystemer har et potentiale til at dække ca. 30% af den samlede varmeproduktion med solvarme, vil det svare til et markedspotentiale for de udvalgte værker (markerede), som vist i nedenstående tabel 4. Andelen på 30% er under forudsætning af, at der bygges en akkumuleringskøle tank sammen med solvarmeanlægget, eller at der allerede er en akkumuleringskøle tank til rådighed, anlagt tidligere til kraftvarmeproduktion.

Med forbehold for, at nogle af selskaberne i figur 13 allerede har investeret i forskellige former for billig og miljøvenlig varmeproduktion, hvilket kan begrænse "pladsen" for solvarme, vurderes der samlet et AURORA-markedspotentiale på min. ca. 7.200 - 17.600 stk. AURORA'er i den danske fjernvarmesektor, jf. tabel 4, inden for dette segment.

Tabel 4 AURORA's markedspotentiale ved 30 pct. dækning af samlet solvarmeproduktion

Antal fjernvarmeanlæg	Anlægsstørrelse "Mindre eller lig"	Samlet varmeproduktion GWh/år	30% dækning med solvarme GWh/år	Antal AURORA
100	≤8,5 GWh/år	590	180	7.200
150	≤12,5 GWh/år	1120	340	13.600
175	≤15 GWh/år	1460	440	17.600

Ad ii) Større anlæg med årlig varmeproduktion >15 GWh

Hvad angår de 250-300 større anlæg med en årlig varmeproduktion på over 15 GWh, vurderes det, at flere værker i dag har udbygget deres fulde varmeproduktion, men at omlægning til den fremtidige varmeproduktion med færre centrale kraftværker, kræver flere typer af energikilder, herunder sol. I den sammenhæng ses der et stort potentiale for AURORA, da løsningen kræver et mindre areal og i højere grad end plane solfangere kan kombineres med mange forskellige energikilder og dermed øge de større værkers fleksibilitet af energikilder. Her kunne specielt fremhæves kombinationen med varmepumper, boost i transmissionen og mindre biomasseværker.

Generelt for begge 2 ovenstående segmenter gælder det, at de fjernvarmeværker, der kan have særlig interesse, f.eks. kan være de decentrale kraftvarmeværker, der er i gang med omlægning af deres produktion, som følge af bortfald af grundbeløbet ultimo 2018.

Ad iii) "Olielandsbyer" hvor olie til opvarmning udfases

I forbindelse med udfasning af olie til opvarmning er der flere mindre landsbyer, der har brug for en vedvarende energikilde, og her er solen et oplagt medie. Indtil videre har investeringerne i en løsning med en kombineret sol og akkumulatortank været for dyre. Med en markant lavere investering i jordareal og akkumulatortank med AURORA løsningen, er det nærliggende at gentænke denne mulighed. Der foreligger ikke et samfundsøkonomisk studie af denne løsning, men det anbefales, at dette gøres da der samlet set findes over ca. 4000 potentielle olielandsbyer i Danmark med i gennemsnit 45-50 huse.

3.7.2 Markedspotentiale for fjernvarmebranchen i udlandet

AURORA's markedspotentiale i udlandet er ikke verificeret i denne rapport, men AURORA's potentiale kan reelt foldes ud i alle lande i verden med fjernvarmedækning. AURORA's markedspotentiale er naturligt væsentlig større i udlandet end i Danmark - alene på grund af Danmarks markedsstørrelse vs. eksempelvis EU m.v., samt det faktum, at det inden for få år forventes, at fjernvarmeudbygningen videreudvikles markant i udlandet - angiveligt også inspireret af den danske fjernvarmemodel.

3.7.3 Markedspotentiale for køling og læring

Ud over markedet til varmeproduktion, vurderes det, at AURORA også har et marked inden for både køling og i lærings- og formidlingsøjemed:

- *Køling:* Det vurderes, at der er et betydeligt marked for AURORA inden for køling. Markedet for køling er dog ikke behandlet/analyseret i denne rapport, men AURORA vurderes umiddelbart at have et stort potentiale inden for køling i en lang række industrier - ikke mindst i udlandet.

- *AURORA klima-læringsparker:* Markedet for AURORA klima-læringsparker er heller ikke behandlet/analyseret i denne rapport, men det vurderes umiddelbart at konceptet AURORA klima-læringsparker har et væsentligt potentiale i både ind- og udland - i et samspil mellem skoler, universiteter, værker og kommuner.

3.7.4 Delkonklusion - AURORA's markedspotentiale

AURORA vurderes at være attraktivt for fjernvarmeværker for både mindre og større anlæg i ind- og udland samt for de såkaldte "olielandsbyer", idet

- den totale varmepris, ligger fordelagtig i forhold til de plane, pga. i) drifts- og vedligeholdelsesudgifterne anslås at ligge under de planes, ii) anlægsudgifterne ligger på niveau med de planes, iii) AURORA's øvrige egenskaber og funktioner, bidrager via automatik til væsentlig mindre tidskrævende arbejdsgange i driften, hvilket løser nogle velkendte, arbejdskrævende problemstillinger (out-of-sun og out-of-wind-funktioner m.fl.) - ligesom der opnås bedre sikkerhed i driften via overvågning fra kontrolrummet
- AURORA kan opstilles i parkopstilling, som selvstændig teknologi, men også med fordel i kombination med øvrige teknologier, da AURORA kan booste varmeproduktionen (og dermed den samlede årlige varmeproduktion) i de perioder, hvor de øvrige teknologier ikke selv kan producere optimalt

AURORA's egenskaber vil selvsagt værdisættes og vægtes forskelligt og være afhængig af det enkelte fjernvarmeværks behov og anskuelse i forbindelse med "den grønne omstilling".

Det vurderes, at AURORA både i mindre og større anlæg har et betydeligt markedspotentiale i fjernvarmebranchen i ind- og udland, inkl. branchens "olielandsbyer" - ligesom AURORA også vurderes at have et væsentligt potentiale inden for køling samt for konceptet AURORA læringsparker i ind- og udland:

- **Totale markedspotentiale - udbygning:** Baseret på vurderingen fra Varmeplan Danmark 2010 vurderes AURORA at have et væsentligt markedspotentiale - totalt set på ca. 0,7-2,7 mio. m², der mangler at blive udbygget med solfangeranlæg frem mod 2020, hvilket svarer til et samlet potentiale - udtrykt i AURORA'er - på ca. 13.300 til 51.300 units. Med opstilling af AURORA kan værkerne få inddækket deres sommerforbrug med > ca.30 % (ift. > ca.20 % ved brug af plane solfangere), pga. AURORA's større dagsproduktion generelt samt bedre ydeevne i ydersæsonerne.
- **Markedspotentiale - større værker:** I forbindelse med omlægning til den fremtidige varmeproduktion på eksempelvis større værker, vurderes AURORA at have et stort potentiale, da løsningen kræver et mindre areal og i højere grad end plane solfangere kan

kombineres med mange forskellige energikilder og dermed øge de større værkers fleksibilitet af energikilder. Her kunne specielt fremhæves kombinationen med varmepumper, boost i transmissionen og mindre biomasseværker.

- **Markedspotentiale - "olielandsbyer":** AURORA vurderes at have et væsentligt potentiale i forbindelse med udfasning af olie til opvarmning i flere mindre landsbyer. Indtil videre har investeringerne i en løsning med en kombineret sol og akkumulatortank været for dyre. Med en markant lavere investering i jordareal og akkumulatortank med AURORA løsningen, er det nærliggende at gentænke denne mulighed. Der foreligger ikke et samfundsøkonomisk studie af denne løsning, men det anbefales, at dette gøres da der samlet set i Danmark findes over ca. 4000 potentielle olielandsbyer i Danmark med i gennemsnit 45-50 huse.
- **Markedspotentiale - vedr. bortfald af grundbeløb:** Generelt gælder det, at de fjernvarmeværker, der kan have særlig interesse, kan være de decentrale kraftvarmeværker, der er i gang med omlægning af deres produktion, som følge af bortfald af grundbeløbet ultimo 2018.
- **Markedspotentiale - udland, køling, læring:** Det vurderes, at AURORA har et betydeligt markedspotentiale globalt inden for varmeproduktion - ligesom AURORA også vurderes, at have et betydeligt markedspotentiale i ind- og udland inden for køling i en lang række industrier samt inden for læring. Disse emner er dog ikke verificeret i nærværende rapport, men anbefales analyseret særskilt.



Foto: AURORA ved Ringkøbing Fjernvarmeværk

4. KONKLUSION

Det foreliggende og analyserede datamateriale sammenfattes i dette afsnit. Hermed verificeres AURORA's markedspotentiale og besvarer opgave 1 og 2, jf. Afsnit 2 Formål:

4.1 Opgave 1 Opsummering

❖ **Effektivitet - AURORA vs. Plane**

AURORA udnytter solens indstråling optimalt pga. den dobbeltaksede suntracker, der sikrer, at solens stråler fanges vinkelret på spejlparabolen fra solopgang til solnedgang året igennem - ca. 5 grader over horisonten om morgenen til ca. 5 grader over horisonten om aftenen. AURORA producerer derfor markant større energimængde over dagen og på årsbasis i forhold til de stationære plane solfangere. AURORA har en ydelse, der overgår de plane solfangere med ca. 60% pr. m² grundareal om året, idet de plane solfangere typisk kan opnå en ydelse på 170-180 kWh pr. m² grundareal/år, mens AURORA vil kunne nå op på ca. 280-300 kWh pr. m² grundareal/år. AURORA producerer generelt væsentlig mere end de plane solfangere igennem alle årets måneder, men har et særligt forspring i ydersæsonen, dvs. nov., dec., jan., feb. AURORA producerer også på årets korteste dag på Ringkøbing-lokationen, hvor solen når en højde på 11 grader over horisonten. De plane solfangere har svært ved at fange solens stråler i vintermånederne, fordi solhøjden ikke er stor nok.

Ved målingerne kunne der ikke konstateres en specifik ydelsesforskel, der kunne henføres til, at plane solfangere skulle have ekstra udbytte af diffus solindstråling. Erfaringsmæssigt vil diffus stråling i bedste fald generere "Plummervand" i de plane solfangeranlæg, der kan løfte returtemperaturen, men ikke levere vand med fremløbstemperaturer. Omvendt stiger temperaturerne ved brug af AURORA meget hurtigt, så snart solen skinner, og vandet kan dermed hurtigt bruges i forbindelse med fremløbet. Der findes således ikke belæg for, at diffus stråling, udnyttet af de plane solfangere, skulle øge effektiviteten nævneværdigt i forhold AURORA og CSP teknologien generelt.

4.2 Opgave 2 Opsummering

❖ **Anvendelse**

AURORA vurderes at have brede anvendelsesmuligheder og kan med fordel anvendes inden for både opvarmning, køling samt i læring- og formidlingsøjemed.

❖ **Egenskaber**

Ud over høj effektivitet, som blev verificeret i opgave 1 har AURORA en række egenskaber, som vurderes, som værende en fordel for værkerne, idet de bidrager til

omkostningsbesparelser, øget driftssikkerhed og anvendelsesmuligheder, mindre arbejdskrævende arbejdsgange, værn om miljøet mv.:

- **Konstant høj udgangstemperatur - styret fra kontrolrummet** AURORA giver mulighed for en konstant høj udgangstemperatur. Uafhængig af årstiden og udendørstemperaturen kan der vælges en temperatur der afspejler efterspørgslen i fjernvarmenettet. Målet er at undgå plummervand, men levere den efterspurgte temperatur året rundt, når solen skinner. Muligheden for konstant høj udgangstemperatur giver mulighed for mindre akkumuleringskøle og dermed lavere omkostninger generelt. Den høje temperatur muliggør samtidig, at anlægget kan anvendes til køling.
- **Ingen "Plummervand" - styret fra kontrolrummet** AURORA lukker kun vand ud til varmeveksleren til en forudbestemt temperatur, hvilket medfører, at varmeværket bestemmer, hvorvidt det opvarmede vand skal gå direkte til forbrugeren - eller til akkumuleringskøle. Funktionen bidrager til omkostningsbesparelse og større fleksibilitet for værket.
- **"Out of sun"-funktion - styret fra kontrolrummet** AURORA's "out-of-sun"-funktion bidrager til øget fleksibilitet og sikkerhed i driften, lettere arbejdsgange samt omkostningsbesparelser i forbindelse med tiltag for at sikre skygge, køling af systemet samt mulighed for straksophør af produktionen, idet parabolen automatisk eller manuelt - ved ordrer - drejes væk fra solen, når et ønsket produktionsmål er nået eller ved fare for overophedning.
- **"Out of wind"-funktion - styret fra kontrolrummet** AURORA's "out-of-wind"-funktion bidrager til øget sikkerhed og stabilitet i driften i perioder med kraftig vind - ligesom funktionen reducerer evt. omkostninger til reetablering af beskadiget materiel forårsaget af kraftig storm - da stormskader kan undgås.
- **Areal besparende** AURORA producerer samme mængde energi, som de plane solfangere på op til ca. 40 % mindre areal i forhold til, hvad de plane solfangere skal bruge for at producere samme energimængde. AURORA's markant reducerede behov for grundareal i forhold til de plane solfangere kan bidrage til omkostningsbesparelser ift. køb eller leje af jord. Alternativt kan energiproduktionen øges ved at opstille AURORA units på det til formålet afsatte grundareal.
- **Kan opstilles i kuperet terræn** AURORA kan opstilles på kuperede og bakkede jordarealer uden planering, hvilket bidrager til stor fleksibilitet og samtidig

bevarelse af flora og fauna på jordarealerne, reduktion af anlægsomkostningerne samt mulighed for at inddrage normalt ikke egnede jordarealer.

- **Vedligeholdelsesudgifter forventes begrænsede** Vedligeholdelsesudgifterne i forbindelse med driften af AURORA er begrænsede, idet spejlparabolens min. 0,5 m. afstand til jordoverfladen eliminerer behovet for vedligehold af det underliggende terræn, bl.a. græsslåning. Vedligehold i forbindelse med afvaskning af spejlene lettes via en "wash-mode"-funktion. AURORA's vedligeholdelsesudgifter vurderes at ligge i størrelsesordenen ca. 5 - 10 kr./MWh, mens vedligeholdelsesudgifterne for de plane solfangere anslås at ligge i størrelsesordenen ca. 25 - 55 kr./MWh, hvilket udgør en ca. 80 % besparelse ved opstilling af AURORA frem for de plane solfangere.
- **CO₂-neutral** AURORA udleder ingen CO₂ eller andre klimagasser i atmosfæren. AURORA reducerer CO₂-udledningen med ca. 9 tons pr. år/unit ved erstatning af let fyringsolie, ligesom AURORA reducerer CO₂-udledningen med ca. 5,2 tons pr. år/pr. unit ved erstatning af en kondenserende naturgaskedel. Dette gælder generelt for solarenergi.
- **Behov for mindre akkumuleringskøle** AURORA's mulighed for højere driftstemperaturer - uden effektivitetstab - giver bedre udnyttelse af en tilhørende akkumuleringskøle, der dermed kan anlægges i en mindre størrelse, hvilket reducerer omkostningsniveauet væsentligt - ca. 30-33 %.
- **Bevaring af biodiversiteten** AURORA giver mulighed for at værne om den oprindelig vilde fauna og flora på det areal, hvor AURORA bliver opstillet til energiproduktion, idet AURORA er løftet over jordarealet, som således er "frit". AURORA udgør dermed en miljøvenlig energiløsning i forhold til at værne om den lokale biodiversitet.

❖ **AURORA i samspil med anden teknologi**

AURORA kan med fordel supplere teknologier som plane solfangere, luft-til-vand-varmepumper, halmfyr samt biomasse, idet AURORA kan booste produktionen og øge den årlige samlede ydelse, såfremt de forskellige teknologier kombineres med AURORA. AURORA kan ligeledes bidrage med større anvendelsesmuligheder af et kombianlæg, ved at spare manuel arbejdskraft via sin enkle automatiserede betjening. Ved fyring med halm og andre biobrændsler er det nødvendig med manuel overvågning af brandhensyn, såvel som bortskaffelse af aske-andele. Ved lange transmissionsledninger kan AURORA være en fordel ved at booste temperaturen undervejs, ligesom en del barmarksanlæg har vanskelighed ved yderligt liggende aftagere - så også her er AURORA en god ide.

I forbindelse med samspillet mellem solvarme og grundlast kan det konkluderes:

- I mindre fjernvarmesystemer med:
 - kun kedler, vil solvarmeanlæg betyde brændselsbesparelser. Til optimering benyttes akkumuleringskølebeholder.
 - decentralt gasfyret kraftvarme eller eldrevne varmepumper skal solvarmeanlægget samordnes med kraftvarme- eller varmepumpeanlægget, der reguleres eller står på standby af hensyn til el-sidens markedsvilkår. Til optimeringen benyttes akkumuleringskølebeholder eller evt. sæsonlagring.
- I større fjernvarmesystemer med affaldsbaseret kraftvarmeproduktion som grundlast, vil solvarme fortrænge affaldskraftvarme om sommeren, hvorfor det ekstra affald skal sæsonlagres hvis mulig indtil, der uden for sommersæsonen igen bliver plads til affaldskraftvarmen.
- Grundlastenheders revisionsperiode lægges almindeligvis i sommerhalvåret, hvor varmebehovet er lavt. Herved bliver der mere "plads" til solvarme i stedet for at erstatte den manglende grundlast med ofte dyrere og mindre miljøvenlige reservelastkedler.

❖ **Status over tekniske principper og mekaniske elementer samt tiltag i serieproduktion**

De tekniske principper har undervejs i forløbet vist sig absolut holdbare. Udfald i prototypefasen er løst ved tilpasning af AURORA undervejs. Samtlige mekaniske elementer er dimensioneret og konstrueret robust - og der er i forløbet ikke konstateret funktionsproblemer.

Til sikring af, at AURORA's effektivitet øges i overensstemmelse med de ambitiøse mål, der er sat for serieproduktionen (ca. 25% større effektivitet end ved prototypemodellerne) implementeres justeringer og kvalitetsoptimering forinden - idet erfaringerne fra prototypefasen omsættes til praksis - uden de tekniske principper dog påvirkes. Herudover initieres tillige diverse æstetiske tiltag ("hose" til ledninger og fleksible slanger m.v.).

❖ **AURORA's markedspotentiale**

AURORA vurderes at være attraktivt for fjernvarmefaciliteter for både mindre og større anlæg i ind- og udland samt for de såkaldte "olieområder", idet

- den totale varmepris, ligger fordelagtig i forhold til de planlagte, pga. i) drifts- og vedligeholdelsesudgifterne anslås at ligge under de planlagte, ii) anlægsudgifterne ligger på niveau med de planlagte, iii) AURORA's øvrige egenskaber og funktioner, bidrager via automatik til mindre tidskrævende arbejdsgange i driften, hvilket løser

nogle velkendte, arbejdskrævende problemstillinger (out-of-sun og out-of-wind-funktioner m.fl.) - ligesom der opnås bedre sikkerhed i driften via overvågning fra kontrolrummet

- AURORA kan opstilles i parkopstilling, som selvstændig teknologi, men også med fordel i kombination med øvrige teknologier, da AURORA kan booste varmeproduktionen (og dermed den samlede årlige varmeproduktion) i de perioder, hvor de øvrige teknologier ikke selv kan producere optimalt

AURORA's egenskaber vil selvsagt værdisættes og vægtes forskelligt og være afhængig af det enkelte fjernvarmeværks behov og anskelse i forbindelse med "den grønne omstilling".

Det vurderes, at AURORA både i mindre og større anlæg har et betydeligt markedspotentiale i fjernvarmebranchen i ind- og udland, inkl. branchens "olielandsbyer" - ligesom AURORA også vurderes at have et væsentligt potentiale inden for køling samt for konceptet AURORA læringsparker i ind- og udland:

- **Totale markedspotentiale - udbygning:** Baseret på vurderingen fra Varmeplan Danmark 2010 vurderes AURORA at have et væsentligt markedspotentiale - totalt set på ca. 0,7-2,7 mio. m², der mangler at blive udbygget med solfangeranlæg frem mod 2020, hvilket svarer til et samlet potentiale - udtrykt i AURORA'er - på ca. 13.300 til 51.300 units. Med opstilling af AURORA kan værkerne få inddækket deres sommerforbrug med > ca.30 % (ift. > ca.20 % ved brug af plane solfangere), pga. AURORA's større dagsproduktion generelt samt bedre ydeevne i ydersæsonerne.
- **Markedspotentiale - større værker:** I forbindelse med omlægning til den fremtidige varmeproduktion på eksempelvis større værker, vurderes AURORA at have et stort potentiale, da løsningen kræver et mindre areal og i højere grad end plane solfangere kan kombineres med mange forskellige energikilder og dermed øge de større værkers fleksibilitet af energikilder. Her kunne specielt fremhæves kombinationen med varmepumper, boost i transmissionen og mindre biomasseværker.
- **Markedspotentiale - "olielandsbyer":** AURORA vurderes også at have et potentiale i forbindelse med udfasning af olie til opvarmning i flere mindre landsbyer. Indtil videre har investeringerne i en løsning med en kombineret sol og akkumulatortank været for dyre. Med en markant lavere investering i jordareal og akkumulatortank med AURORA løsningen, er det nærliggende at gentænke denne mulighed. Der foreligger ikke et samfundsøkonomisk studie af denne løsning, men det anbefales, at dette gøres da der samlet set findes over ca. 4000 potentielle olielandsbyer i Danmark med i gennemsnit 45-50 huse.

- **Markedspotentiale - vedr. bortfald af grundbeløb:** Generelt gælder det, at de fjernvarmeværker, der kan have særlig interesse, kan være de decentrale kraftvarmeværker, der er i gang med omlægning af deres produktion, som følge af bortfald af grundbeløbet ultimo 2018.
- **Markedspotentiale - udland, køling, læring:** Det vurderes, at AURORA har et betydeligt markedspotentiale globalt inden for varmeproduktion - ligesom AURORA også vurderes at have et betydeligt markedspotentiale i ind- og udland inden for køling i en lang række industrier samt inden for læring. Disse emner er dog ikke verificeret i nærværende rapport, men anbefales analyseret særskilt.

5. KILDER & REFERENCER

- Solvarmedata (www.solvarmedata.dk)
- Almanakken v/Torben Hermansen
- Udtræk af rådata fra prototype AURORA på Ringkøbing Fjernvarmeværk
- Danish Design Award (danishdesignaward.com)
- Aalborg Universitet
- ScandiMir ApS
- Ringkøbing Fjernvarmeværk
- Solrød Fjernvarmeværk