

Udvidet måleserie på større direkte gasfyret absorptionsvarmepumpe

**Projektrapport
Februar 2020**

RAPPORT

Kolofon

Titel:	Udvidet måleserie på stor direkte gasfyret absorptionsvarmepumpe
Rapportkategori:	Projektrapport
Forfatter:	Jan de Wit, Steen D. Andersen, Johan Bruun, DGC
Dato for udgivelse:	28.02.2020
Copyright:	Dansk Gasteknisk Center a/s
ISBN-nr.:	978-87-7795-417-7
Sagsnummer:	747-26
Sagsnavn:	Forlængelse af måleperiode på stor direkte fyret abs.varmepumpe
URL:	https://www.dgc.dk/publikationer/soeg
Arkivering:	H:\747\26 Forlængelse DABS\Rapportering\Rapport_final.docx

Resumé

I denne rapport præsenteres resultatet af en række målinger for en større varmepumpeinstallation på Hjallerup Fjernvarme. Den her anvendte varmepumpetype er ny i fjernvarme sammenhæng, idet der er tale om en direkte fyret absorptionsvarmepumpe som har erstattet en ældre gaskedel.

Varmepumpen er installeret på centralen i Klokkeholm og skal medvirke til højere årligt varmeudbytte fra fjernvarmeforsyningens solvarmeanlæg samt nedbringe varmetab fra fjernvarmetransmissionsledningen ud til solfangerfeltet.

De to udførte målinger på selve varmepumpen viser, at denne yder meget tæt på det lovede. Finttrimning og justering efterfølgende har bragt ydelsen til det lovede. Dansk tradition for høj energiuudnyttelse har gjort at varmepumpen er forsynet med ekstra røggaskøling. Røggassens temperatur bringes hermed ned på ca. 25 – 30 °C.

Målingerne har også vist, at varmepumpeinstallationen nedbringer varmetab fra transmissionsledningen, men endnu ikke fuldt realiserer det øgede varmeudbytte fra solfangeranlægget. Det sidste skyldes, at eksisterende ventiler i forsyningen har fejlfunktion eller ikke er placeret, som tegningsmaterialet ellers viser. Det sidste vil der blive taget hånd om på et driftsmæssigt belejligt tidspunkt.

DGC takker Hjallerup Fjernvarme, varmepumpeleverandøren Danstoker samt gasdistributionselskab Evida for aktiv og positiv medvirken i dette opfølgningsprojekt.

Dansk Fjernvarme og Gasselskabernes samarbejdsudvalg for Gasanvendelse og Installationer takkes for finansiell støtte hertil.

Indholdsfortegnelse	Side
Resumé.....	3
1. Indledning, baggrund og formål	5
2. Hjallerup Fjernvarme	6
3. Ideen med varmepumpe til afkøling af akkumuleringskøle tank generelt	9
4. Det aktuelle koncept i Hjallerup/Klokkerholm.....	11
5. Måleprogram for projektet.....	13
6. Måleresultater	14
6.1. Målinger mv. på selve varmepumpen	14
6.2. Hvad har driftsmålingerne vist?	17
7. Drift og vedligehold.....	18
8. Konklusion.....	19
9. Referencer	20
Bilag 1 Varmepumpen	21
Bilag 2 Udetemperaturer i måleperioden	22
Bilag 3 Eksempler på andre danske fjernvarmeanlæg, hvor der køles på tank og lign.	23
Bilag 4 Eksempel på datablad (uddrag) for de to anvendte solfangerpaneltyper i Hjallerup	24
Bilag 5 Data for produktionsudstyr på Hjallerup/Klokkerholm Fjernvarme	26

1. Indledning, baggrund og formål

Hjallerup Fjernvarme idriftsatte i efteråret 2018 en direkte gasfyret absorptionsvarmepumpe. Projektaktiviteterne omkring udlægning af varmepumpen har opnået støtte fra EUDP-forsknings- og demonstrationsmidler samt støtte fra øvrige partnere i det nu afsluttede EUDP-projekt /2/. Parterne i projektet var Dansk Gasteknisk Center, Grøn Energi/Dansk Fjernvarme, entreprenør/ingeniørfirma Aktive Energi Anlæg (AEA) og Hjallerup Fjernvarme. Varmepumpen kom i drift sidst i fyringssæsonen 2018/2019 /1/.

Installation af varmepumpen har til hensigt at nedbringe fjernvarmedistributionstab og at øge udbyttet fra Hjallerup Fjernvarmes solvarmeanlæg ved hjælp af adgang til koldere vand. Den her anvendte varmepumpe type er ny i fjernvarmesammenhæng, idet der er tale om en direkte fyret absorptionsvarmepumpe som har erstattet en ældre gaskedel.

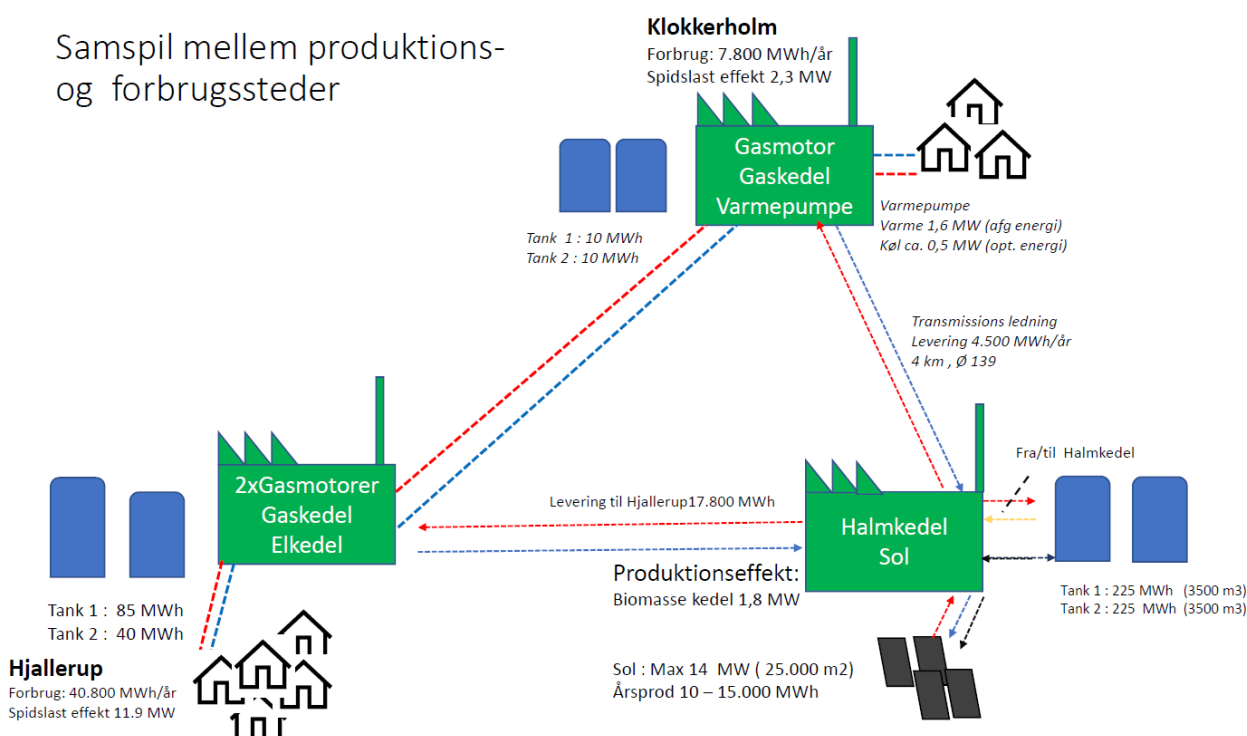
Grundet en vejrbetinget meget kort måleperiode i EUDP-projektet var de rapporterede driftsdata ret sparsomme. Der blev derfor oprettet et projekt støttet af Dansk Fjernvarmes F&U-konto og gasdistributionsselskabernes samarbejde om drift og teknik til at tilvejebringe driftsdata mv. for varmepumpekonceptet på Hjallerup Fjernvarme. Varmepumpen (direkte fyret absorptionsvarmepumpe) er den første af sin slags på et dansk fjernvarmeværk, hvorfor dette er særlig interessant.

Nærværende projekts hovedformål er at følge driften af varmepumpen i varmesæsonens overgangsperiode for derudfra at kunne formidle driftserfaringer for en sådan direkte gasfyret absorptionsvarmepumpe i tilknytning til fjernvarmeforsyningens øvrige produktions- og driftsudstyr.

2. Hjallerup Fjernvarme

Hjallerup Fjernvarme dækker forsyningen i såvel Hjallerup som Klokkeholm. Man råder over tre produktionsfaciliteter, et værk centralt i Hjallerup, et solfanger- samt halmkedelbaseret produktionsanlæg i udkanten af Hjallerup og et værk i Klokkeholm.

Figur 1 viser en oversigtstegning over produktionssteder, materiel og forbindelser samt en række nøgletal derom.



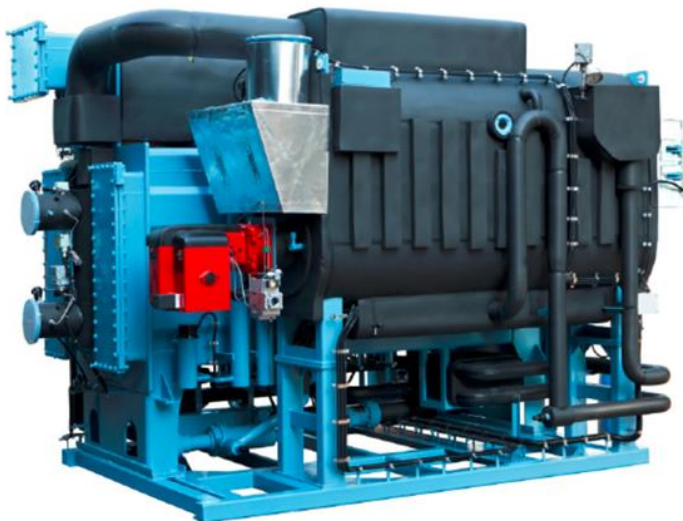
Figur 1 Oversigtstegning over Hjallerup Fjernvarmes produktionsanlæg på de tre produktionslokaliteter.

Varmepumpen er installeret på værket i Klokkeholm. Hensigten med varmepumpeinstallationen er at kunne drive transmissionsledningen derfra ud til solfangerfeltet ved lavere temperatur end ellers. Hermed spares et varmetab fra transmissionsledningen, og der kan langsomt over døgnet fyldes koldt vand i den ene tank ude ved solfangerfeltet. Dette kolde vand vil kunne udnyttes i perioder, hvor solen ikke alene kan klare forsyningen til at øge udbyttet fra solfangerfeltet, idet solfangere, der drives ved lavere vandtemperatur, da har større ydelse og vil få længere effektiv daglig drift, se nærmere i næste kapitel samt solfangerdata i Bilag 4.



Figur 2 Varmecentralen i Klokkeholm, hvor den direkte gasfyrede absorptionsvarmepumpe er installeret.

På Figur 3 ses et billede af en varmepumpe af samme mærke (Thermax, leveret af Danstoker A/S), som den der er idriftsat ved Hjallerup Fjernvarme. Varmepumpen i Klokkeholm er forsynet med ekstra røgekølere for at opnå høj energiudnyttelse og maksimalt varmeudbytte.



Figur 3 Direkte gasfyrte absorptionsvarmepumpe af mærket Thermax. Gasbrænderen ses som rød blok til venstre i billedet.



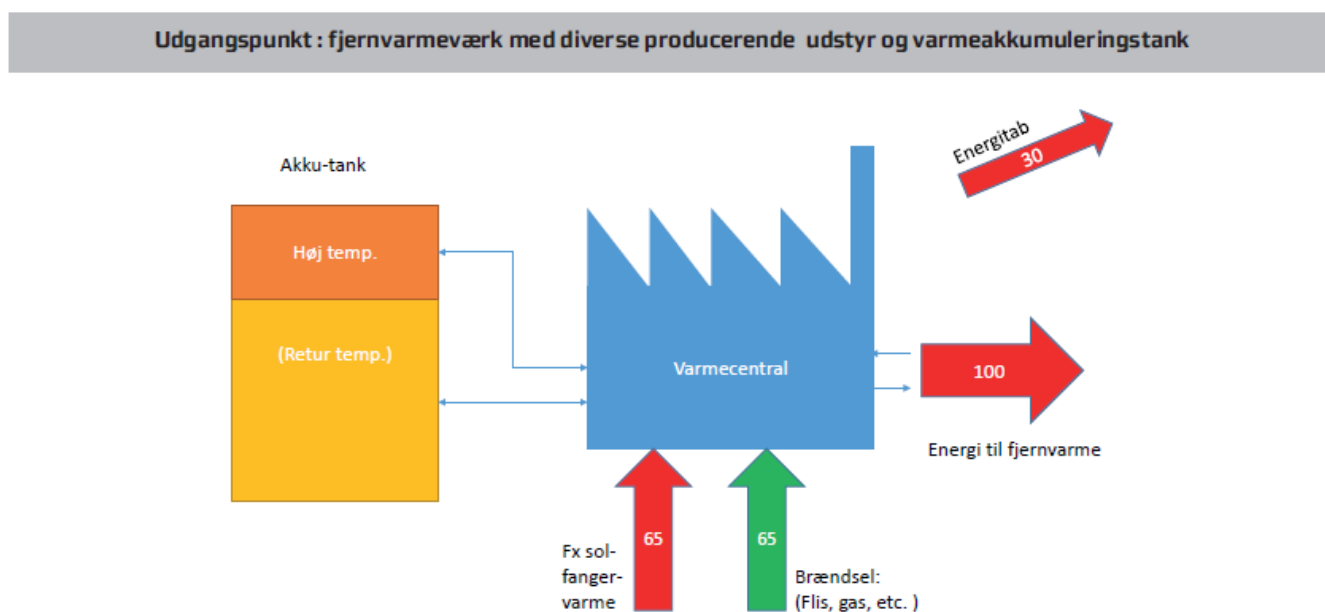
Figur 4 Varmepumpen under indbaksning på værket.

3. Ideen med varmepumpe til afkøling af akkumuleringskøle tank generelt

Her præsenteres først overordnet ideen med varmepumper, der udnytter værksinterne kilder til umiddelbart varmeoptag, som eksempelvis køling på nederste del af en akkumuleringskøle tank. I kapitel 4 gennemgås det specifikke og aktuelle koncept for Hjallerup/Klokkerholm.

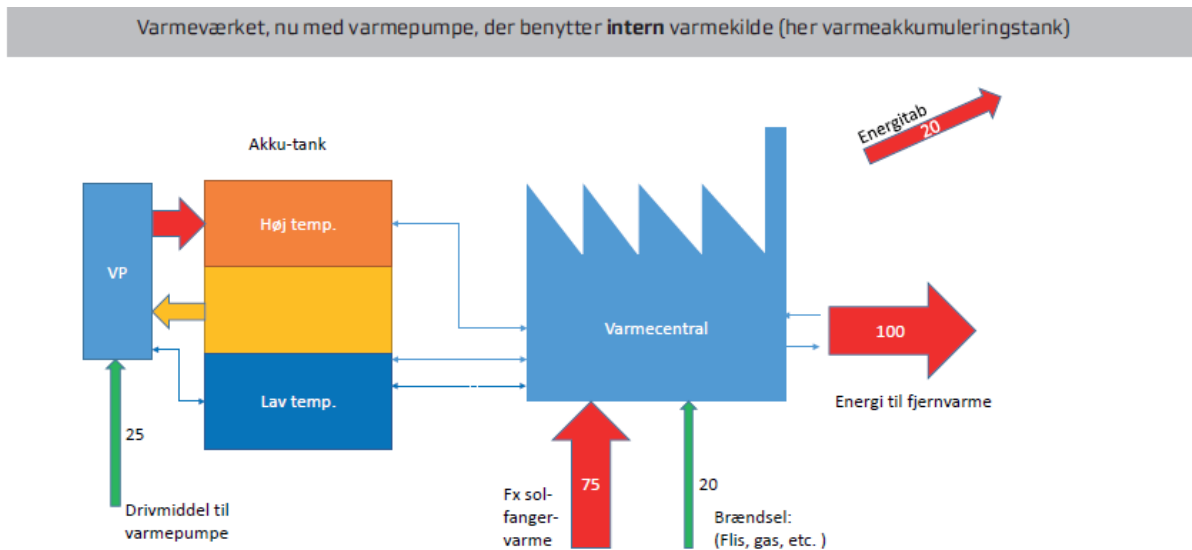
På Figur 5 ses en fjernvarmecentral. Varmen produceres på en række enheder inde i centralen samt på et tilknyttet solfangeranlæg. Varmeværket har en tilknyttet traditionel akkumuleringskøle tank, hvor det kolde lag i bunden af tanken har en temperatur identisk med returtemperaturen til værket fra fjernvarmenettet.

Der leveres i alt 100 (netto) dele varme ud fra værket. Solenvarme anlægget yder som det kan ses 65 dele varme ind til centralen. Der indfyres, som det fremgår af figuren, også 65 dele brændsel. Da kan varmecentralen klare den nødvendige varmeleverance (100 dele varme) samt de tab, der ligger i centralen og det tilknyttede udstyr.



Figur 5 Oprindeligt fjernvarmeværk.

Fjernvarmecentralen forsynes (se Figur 6) nu med en varmepumpe, der afkøler vandet i bunden af tanken og afleverer den her optagne energi samt sin drivenergi højere oppe i tanken. Grundlæggende er dette egentlig blot en nettoenergitilførsel i tanken svarende til drivenergien for varmepumpen (her sat til 25 energiandele, som det fremgår af figuren). Nu står man dog med en koldere temperatur i bunden af tanken end før.



Figur 6 Samme fjernvarmeverk, men nu med varmepumpe, der køler nederste del af akkumuleringskøle.

Dette koldere vand vil man kunne udnytte til at øge udbyttet fra solfangeranlægget; dette vil nemlig levere mere varme i timen og kunne få længere effektiv daglig driftstid, når vandtemperaturniveauet hertil (og gerne herfra) sænkes i forhold til tidligere. Her ses på figuren, at solvarmeanlægget nu yder 75 varmeandele mod tidligere 65 dele.

De fyrede enheder på værket vil også kunne få højere energiudnyttelse, idet røgen kan køles længere ned. Og varmetab fra transmissionsledninger (fx ud til solfangerfelt) kan reduceres. Dette fører til, at tabene omkring centralen reduceres fra 30 til 20 energiandele i forhold til den oprindelige situation, som det fremgår af Figur 5 og Figur 6.

Det samlede resultat for anlægget er:

- Solfangeranlægget forøger sin ydelse og årlige leverance.
- Produktionstab på centralen og varmetab i visse dele af nettet kan reduceres.
- For situationen på Figur 6 skal der nu i alt bruges 45 andele brændsel/drivenergi (20 til værk og 25 til drift af varmepumpe) mod i alt 65 dele før.

4. Det aktuelle koncept i Hjallerup/Klokkerholm

Varmepumpen er som nævnt etableret på fjernvarmecentralen i Klokkerholm. Herfra går en ca. 4 km transmissionsledning ud til solvarmeanlægget. I forbindelse med projektet er også etableret en ekstra akkumuleringskøle tank ude på solfeltet til det afkølede vand, varmepumpen producerer på dens kolde side. Tanken er, som den allerede eksisterende tank, på 3500 m³. Den nye akkumuleringskøle tank er fuldt coatet netop af hensyn til dette kolde vand, og den anden akkumuleringskøle tank er coatet en tredjedel op.

Ude ved solfeltet er også fjernvarmeforsyningens halmkedel installeret. Denne har ikke umiddelbart udbytte af ekstra koldt tilgangsvand. Derfor kan tilgang til halmkedlen gerne være vand af mellemtemperatur. Begge akkumuleringskøle tanke har tilgang/udtag i bund, midte og top.

I perioder, hvor solfeltet alene kan klare varmeforsyningen, kan tilgang til solfangere være returtemperatur fra nettet og afgangstemperatur være lig med fremløbstemperatur til fjernvarmenettet, eller højere, hvis eksempelvis varmeproduktionen overstiger behov og skal lægges på lager i tankene i systemet.

I perioder, hvor supplerende varmeproduktion til solvarmen er nødvendig, er det meningen, at der fra varmepumpen hen over døgnet sendes afkølet vand ud på lager i tank ved solfelt, og at der sendes vand med lavere temperatur retur til Klokkerholm. Her foretages så slutopvarmning enten med varmepumpens varme side, kedler eller kraftvarmeanheden. Transmissionsledningen drives nu med lavere temperatur, og varmetabet derfra sænkes.

Det afkølede vand fra tanken anvendes som tilgang til solfeltet (eventuelt shuntet op til minimumstilgangstemperatur 20 °C). Fra solfeltet modtages vand med tilsvarende lavere temperatur end vanligt. Når man driver sådanne solfangere eksempelvis 20 grader lavere, vil ydelsen stige lidt over 20 % ved en middelindstråling.

I beregningsforudsætningerne for projektet er regnet med at solvarmens årlige forsyningsandel til fjernvarmesystemet stiger fra 21 til 24,6 %. Dette betyder en stigning i solvarmeleverancen på ca. 17 %.

Varmepumpen kan på den kolde side levere ca. 15 m³ vand i timen med en temperatur på 10 – 12 °C. Dette betyder på døgnbasis en mulig leverance af koldt vand til tank på ca. 360 m³. Vandet shuntes efterfølgende op, så tilgangen til solfangerne er ca. 20 °C. Dette betyder, at der vil være ca. 500 – 600 m³ vand med en temperatur lavere end nettets returtemperatur til rådighed for solfeltet. I

overgangsperioderne vil den daglige effektive driftstid for solvarmen ofte være 3 – 5 timer, hvilket er identisk med et vandbehov på ca. 400 – 800 m³, afhængigt af indstråling, skyforhold mv.

Der er en direkte leverance af fjernvarme ind til Hjallerup (se Figur 1) ude fra centralen ved solfeltet. Dette betyder, at hvis/når solfeltet ikke leverer til fremløbstemperatur, skal halmkedlen derude være i gang og klare dette.

Data for den installerede varmepumpe fremgår af Bilag 1.

5. Måleprogram for projektet

Der er i dette projekts måleperiode gennemført to præcisionsmålinger på selve varmepumpen. Disse målinger har omfattet såvel forbrug, ydelse og emission som aktuelle gasanalyser for sikker bestemmelse af den indfyrede effekt.

Der er endvidere indsamlet og analyseret driftsdata fra fjernvarmeforsyningens SRO-system.

Varmepumpen har egen gasmåler, hvorfra timedata, efter accept fra anlægsejer, løbende er tilsendt DGC.

Der er afholdt møder med såvel fjernvarmeforsyning som varmepumpeleverandør, hvor data er fremlagt og drøftet.

6. Måleresultater

6.1. Målinger mv. på selve varmepumpen

I forbindelse med projektet har Dansk Gasteknisk Center (DGC) foretaget to præcisionsmålinger på selve varmepumpen på forskellige måledage.

Til målingerne er dels anvendt DGC's medbragte præcisionsmåleudstyr og dels måleudstyr, der er monteret på varmepumpen. Sidstnævnte er eksempelvis udstyr som gasmåler til bestemmelse af indfyret effekt samt varmemålere til både optagen varmeeffekt på varmepumpens kolde side og afgiven varmeeffekt på den varme side. Også en række driftstermometre på værket og enheden aflæses for dermed bedst at kunne beskrive driftsbetingelserne under målingerne. Gassens brændværdi under målinger er fastlagt ved udtagelse af gasprøve, der efterfølgende er sendt til analyse og brændværdibestemmelse.

Tabel 1 Måledata for varmepumpen ved måling 1(31/10 2019)

Temperatur, udendørs ¹⁾	°C	9
Relativ fugtighed, udendørs ¹⁾	%	77 - 87
Barometerstand ¹⁾	mbar	1.022
Temperatur, kedelrum ¹⁾	°C	19
Relativ fugtighed, kedelrum ¹⁾	%	38 - 42
Brænderlast ²⁾	%	58 - 88
Røggastemperatur før economizer ²⁾	°C	160 - 173
Røggastemperatur efter economizer ²⁾	°C	27 - 30
Varmekreds ²⁾		
Fremløbstemperatur ²⁾	°C	72
Returtemperatur ²⁾	°C	37
Vandflow ²⁾	m ³ /h	27 - 34
Varmeydelse	kWh/h	1237
Kølekreds ²⁾		
Fremløbstemperatur ²⁾	°C	34
Returtemperatur ²⁾	°C	14
Vandflow ²⁾	m ³ /h	15,4
Køleydelse	kWh/h	361

¹⁾ Aflæst på DGC's medbragte måleinstrumenter

²⁾ Baseret på de på værket installerede målere/SRO-anlæg

Tabel 2 Måledata for varmepumpen ved måling 2 (22/11 2019)

Temperatur, udendørs ¹⁾	°C	8
Relativ fugtighed, udendørs ¹⁾	%	98
Barometerstand ¹⁾	mbar	1.008
Temperatur, kedelrum ¹⁾	°C	18
Relativ fugtighed, kedelrum ¹⁾	%	52
Brænderlast ²⁾	%	63 - 82
Røggastemperatur før economizer ²⁾	°C	159 - 170
Røggastemperatur efter economizer ²⁾	°C	25 - 28
Varmekreds ²⁾		
Fremløbstemperatur ²⁾	°C	72
Returtemperatur ²⁾	°C	35
Vandflow ²⁾	m ³ /h	30-32
Varmeydelse	kWh/h	1315
Kølekreds ²⁾		
Fremløbstemperatur ²⁾	°C	34
Returtemperatur ²⁾	°C	13
Vandflow ²⁾	m ³ /h	16,4
Køleydelse	kWh/h	393

¹⁾ Aflæst på DGC's medbragte måleinstrumenter

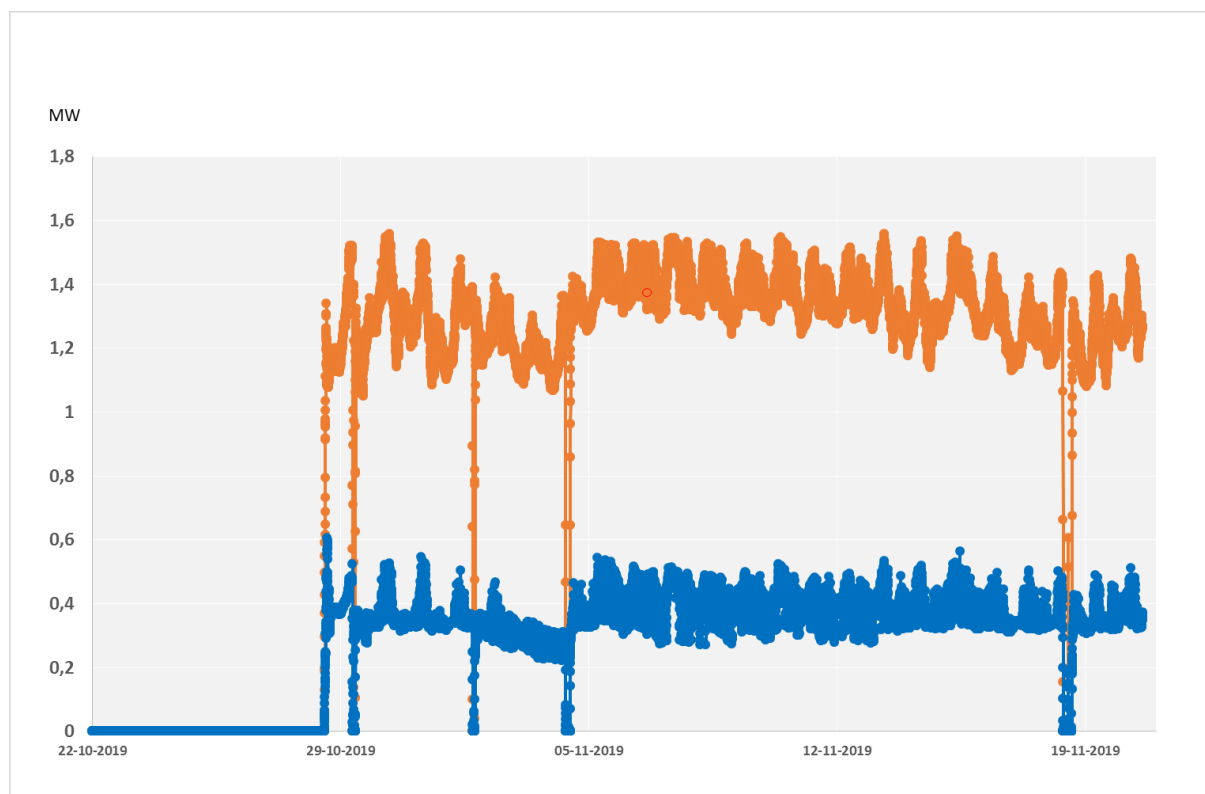
²⁾ Baseret på de på værket installerede målere/SRO-anlæg

Varmepumpen er som nævnt andetsteds udstyret med ekstra røgekøling via economizere. Dette giver en god fyringsvirkningsgrad, idet røgtemperaturen er nede omkring 27 – 30 °C.

Det fremgår af skemaerne, at varmepumpen under målingen ikke arbejder med fast last. Dette skyldes, at varmepumpen p.t. styres efter varmebehov i byen. Dette er ikke helt ideelt for varmepumpen; denne kunne bedre arbejde med fast last, og så kunne en anden produktionsenhed klare lastudsving. Dette kunne måske også gøres via akkumuleringstank.

Grundet ovenstående dellastdrift nås heller ikke en COP helt som det forventede. Der måles i den nuværende drift en COP på ca. 1,5 fremfor den forventede ca. 1,6 ved regulær fuldlastdrift.

I Figur 7 ses for en del af måleperioden varmepumpens drift med de nævnte hyppige lastudsving. Disse udsving påvirker, som det ses, både optagen effekt (kold side, blå) og afgiven effekt for varmepumpen (varmeside, brun).



Figur 7 Optagen og afgiven effekt for varmepumpen over en del af måleperioden.

6.2. Hvad har driftsmålingerne vist?

Målingerne fra indeværende projekt har vist, at driften (endnu) i overgangsperioder (og den koldere del af varmesæsonen) ikke helt er, som det var intentionen med installationen.

Varmpumpen går en del op og ned i last i sin drift. Dette giver ikke optimal COP. Varmpumpen styres efter aktuelt varmebehov i byen (Klokkerholm) fremfor fra sin kolde side stabilt at levere afkølet vand til solvarmeanlæggets ene akkumuleringskøle-tank. Den anvendte varmpumpe har en temperaturmæssig begrænsning på varm afgang på ca. 71 °C. Denne skal derfor ikke stå for slutopvarmning til enten fremløb til by eller top af tank; andet produktionsudstyr må klare dette og dermed tilpasse lasten.

Transmissionsledningen fra Klokkerholm og ud til solvarmeanlægget drives koldere end tidligere, hvilket giver en besparelse i varmetabet herfra. Den drives nu med ca. 38/14 °C mod tidligere 74/37 °C.

Solvarmeanlægget forsynes med lavere tilgangstemperatur end tidligere, hvilket givetvis vil give en højere ydelse derfra. Men afgangstemperaturen fra solvarmeanlægget holdes ikke koldere, hvilket betyder, at den indregnede oprindelige besparelse næppe fuldt opnås.

Med lavere afgangstemperatur fra solvarmeanlægget var det tanken, at halmkedlen skulle levere slutopvarmning derude for den del af varmen, der leveres via forsyningsledning til Hjallerup. Dette lader sig ikke fuldt realisere, idet temperaturstratificeringen i tankene ude ved solvarme/halmkedel (p.t.) ikke kan styres, som det var intentionen. Der skabes ”plumrevand” i tankene, der ikke kan anvendes som tilsigtet.

Årsagen til ovenstående problemer er formentlig, at nogle eksisterende ventiler i fjervarmesystemet ikke sidder placeret, som tegningsmaterialet ellers viser, eller ikke fungerer som forventet. Dette vil der blive taget hånd om på driftsmæssigt passende tidspunkt.

7. Drift og vedligehold

Der er generelt sparsomt med oplysninger om drifts- og vedligeholdelseskostninger for de direkte gasfyrede absorptionsvarmepumper. De fleste kilder er enige om, at driften er ukompliceret, og at teknologien er driftssikker. I et tidligere EUDP-projekt angående absorptionsvarmepumpen i Hjallerup blev drifts- og vedligeholdelseskostningerne estimeret til 10 DKK/MWh_{varme}. Dette tal er på linje med varme produceret på en traditionel kedel som angivet i Teknologikataloget /6/.

Varmpumpen i Hjallerup bliver taget ud af drift i sommerperioden, da solfangeranlægget kan levere den nødvendige varme på denne tid af året.

Normalt opereres varmepumpen under vakuum. Det er dog ikke hensigtsmæssigt at lade den stå med vakuum i længere perioder. Opstår der en lækage, vil der blive suget luft ind med ilt, som vil bidrage til korrosion af varmepumpens forskellige kamre. Varmepumpen konserveres derfor i stillandsperioden med nitrogen, hvor den tryksættes til ca. 0,3 barg for at undgå indtrængning af ilt ved tilfælde af lækage. Lithiumbromid-opløsningen forbliver i varmepumpen, mens den er konserveret.

På Hjallerup Fjernvarmeværk er det Danstoker, som har leveret varmepumpen, der står for at konservere varmepumpen. En sådan konservering kan leverandøren klare på få timer, reelt ca. 2 timer på anlægget samt den nødvendige kørsel. Andre værker vælger selv at konservere deres varmepumper, hvis de har ekspertisen og udstyret til rådighed.

Leverandøren tager aktuelt vandprøver fra kredsløbsvæsken (lithiumbromid-opløsningen), som sendes til analyse, hvorfra det kan vurderes, om der skal tilsættes mere inhibitor, før den opstartes igen til næste varmesæson.

Der kan tegnes serviceabonnement for sådanne varmepumper. Hovedparten af de danske anlæg får dog udført service i regning, hvorfor der ikke tegner sig et klart billede af omkostningen til et sådant serviceabonnement. Et abonnement kan tilpasses individuelt og vil normalt også ofte indeholde en tidsgaranti i forbindelse med udkald.

8. Konklusion

Projektarbejdet har fokuseret på en række driftsmåliger for en større varmepumpeinstallation på Hjallerup Fjernvarme. Varmepumpen er en direkte fyret absorptionsvarmepumpe med en ydelse på ca. 1.6 MW varme. Den er installeret på centralen i Klokkeholm og skal medvirke til højere årligt varmeudbytte fra fjernvarmeforsyningens solvarmeanlæg samt nedbringe varmetab fra fjernvarmetransmissionsledning ud til solfangerfeltet.

De to udførte målinger på selve varmepumpen viser, at denne yder meget tæt på det lovede. Finttrimning og justering efterfølgende har bragt ydelsen til det lovede. Dansk tradition for høj energiuudnyttelse har gjort, at varmepumpen er forsynet med ekstra røggaskøling. Røggassens temperatur bringes hermed ned på ca. 25 – 30 °C.

Målingerne har vist, at varmepumpeinstallationen nedbringer varmetab fra transmissionsledningen, men endnu ikke fuldt realiserer det øgede varmeudbytte fra solfangeranlægget. Det sidste skyldes, at nogle eksisterende ventiler i forsyningen enten har fejlfunktion eller ikke er placeret, som det oprindelige tegningsmateriale ellers viser. Det sidste vil der blive taget hånd om på et driftsmæssigt belejligt tidspunkt.

Et anlægskoncept som i Hjallerup/Klokkeholm, hvor hensigten er, at en varmepumpe over døgnet laver et vandvolumen nederst i akkumuleringsstanken med en temperatur lavere end returtemperaturen fra nettet (der normalt er bundtemperatur i tank), har perspektiver særligt for øget udnyttelse af VE som sol, men giver også mulighed for øget brændselsudbytte på fyrede enheder på værkerne. Herunder er oplyst, hvor projektets deltagere ser fordele for danske fjernvarmeverker:

- I forbindelse med solvarme. Her udnyttes varmepumpens koldere vand de dele af året, hvor solvarmen ikke fuldt kan dække nettets samlede behov.
- I forbindelse med flisfyrede varmeproduktionsenheder. Røgen fra flisfyring har et meget højt vanddampindhold (fra både den ved forbrændingen dannede vanddamp samt det fordampede (høje) vandindhold i flisen).
- På visse transmissionsledninger. Disse vil kunne arbejde med lavere temperatur, og et varmetab herfra reduceres.
- Hvor der er andre fyrede enheder, fx kraftvarmeanheder. For disse vil varmeudbyttet kunne øges 20 – 30 %, kipprisen sænkes betragteligt, og både antal af driftstimer over året og det mulige driftsoverskud i forhold til varmeproduktion på alternativt fyrede enheder øges betragteligt.

9. Referencer

/1/ ”Varmepumpe klar til test i Hjallerup, DGC Nyhed September 2018, (<https://www.dgc.dk/nyhed/2018/varmepumpe-klar-til-test-i-hjallerup>), inklusiv en lille video om anlægget

/2/ ”VE-integration og optimering af varmepumpe produktion med direkte fyret absorptionsvarmepumpe”, Projektrapport (DGC, GrønEnergi/Dansk Fjernvarme og Aktive Energi Anlæg, tilgængelig på www.dgc.dk)

/3/ ”Overser vi en varmekilde til varmepumperne?”, Artikel i FJERNVARMEN, December 2019, Jan de Wit (DGC), Anders Andersen (EMD) & Karsten Bojesen Aalborg Universitet. Tilgængelig på www.dgc.dk

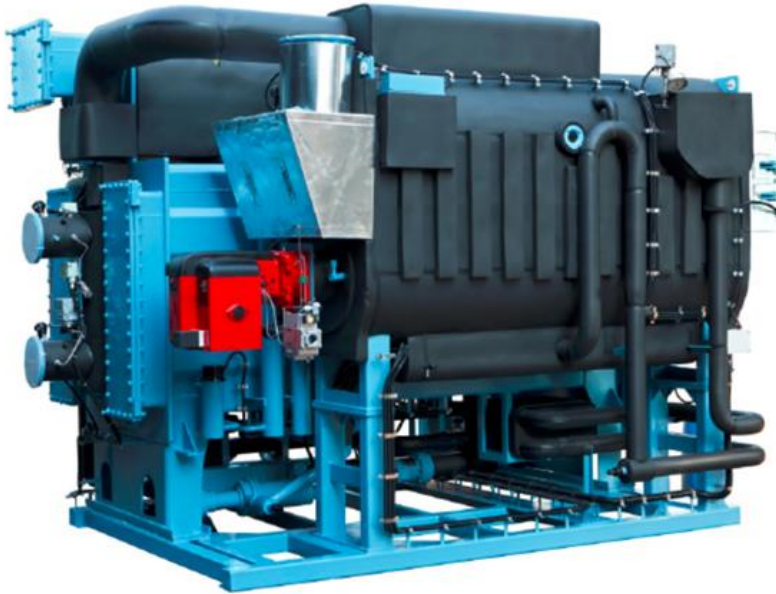
/4/ ”Fjernvarmeselskab går grønt”, Artikel om Christiansfeld Fjernvarmes anlæg, KRAFTVARME NYT Juni 2019

/5/de Wit, J., Eliassen, B. K., & Andersen, S. D. (2018). Nye gasteknologier matcher fjernvarmens krav til effektivitet. *GASenergi*, nr. 4.

/6/ Energinet. (august 2016 - Opdateret oktober 2019). *Teknologikatalog for produktion af el og fjernvarme*. København: Energistyrelsen.

Bilag 1 Varmepumpen

Herunder ses et billede af en varmepumpe af samme mærke (Thermax) som den, der er idriftsat ved Hjallerup Fjernvarme. Den aktuelle varmepumpe er forsynet med economizere/røgkølere på røgudgangen for at sikre god køling af røgen.



Data for den installerede varmepumpe og gasbrænder hos Hjallerup Fjernvarme

Direkte gasfyret absorptionsvarmepumpe

Fabrikat:	Thermax
Type:	GS 30B TP
Ydelse:	1612 kW varme
Byggeår:	2018

Gasbrænder

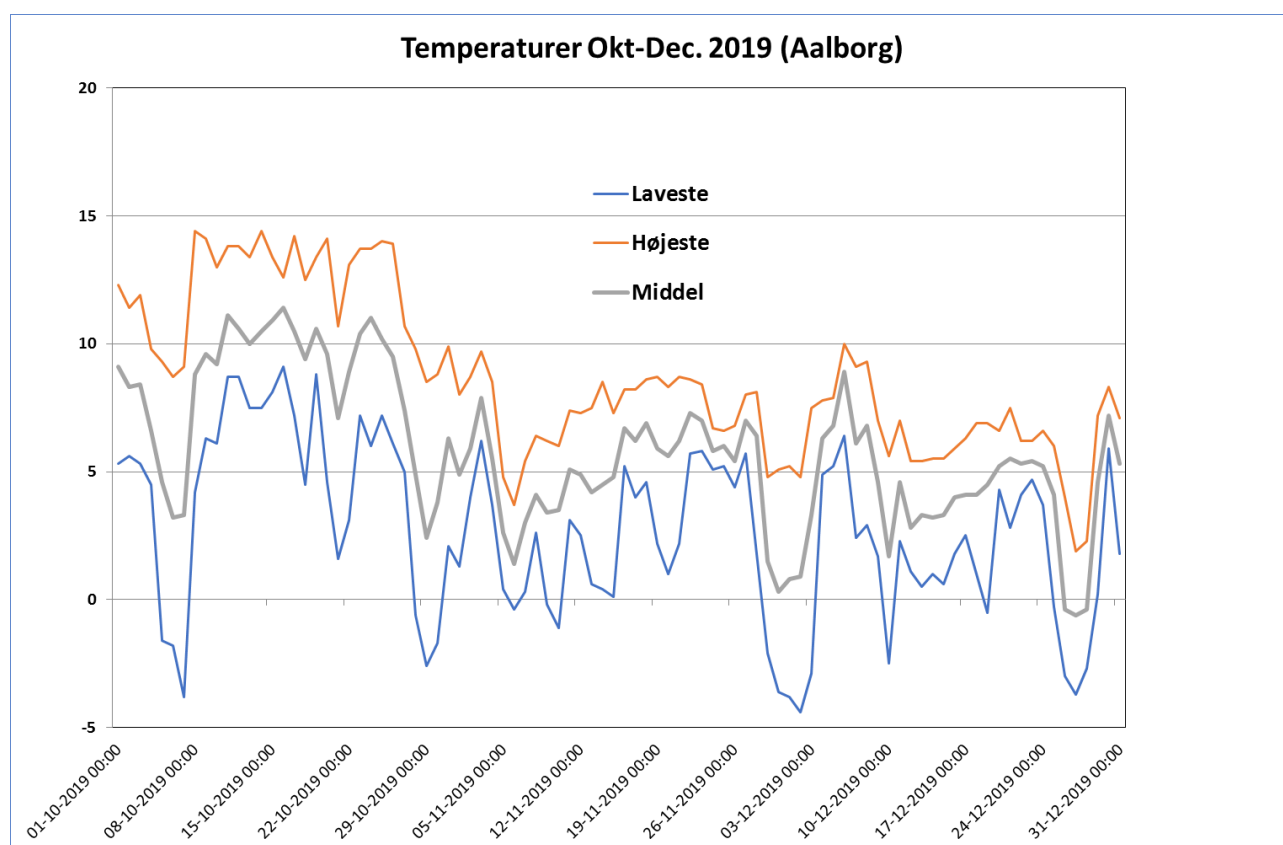
Fabrikat:	Dreizler
Type:	M1501-F1 ARZ
Serie nr.	1805625
Byggeår:	2018
Driftstimetæller:	2005
Brændsel:	Naturgas

Gasbrænderen kan arbejde modulerende (trinløst) i lastområdet 0 - 100 %

Bilag 2 Udetemperaturer i måleperioden

Herunder ses middel, minimum og maksimum udetemperaturer i døgnet for projektets måleperiode. (DMI for Aalborg).

Varmepumpen startede driften d. 28/10, netop hvor udetemperaturen generelt falder.



Bilag 3 Eksempler på andre danske fjernvarmeanlæg, hvor der køles på tank og lign.

Som nævnt er anlægskonceptet med varmepumpe til køling af nederste del af tanken særligt velegnet til anlæg, hvor der indgår solvarme og/eller flisfyring.

Der er etableret anlæg med sigte på øget soludbytte mv. hos eksempelvis Jægerspris samt Christiansfeld Fjernvarme. På disse anlæg anvendes såvel kompressionsvarmepumper som absorptionsvarmepumper. Der indgår endvidere mulighed for køling af udeluft, hvor så kompressionsvarmepumpen eksempelvis klarer opvarmning fra udetemperatur til ca. 20 °C, og absorptionsvarmepumpen klarer det resterende temperaturløft. Hermed opnås meget høj COP for kompressionsvarmepumpen samt gode driftsforhold for absorptionsvarmepumpen.

På et større antal flisfyrede kedelanlæg på danske fjernvarmeværker er etableret installeret varmepumper til fremskaffelse af ekstra koldt vand i tanken. Dette sikrer forbedret afkøling af røgen og dermed indvinding af røggassens betragtelige energiindhold i vanddampen fra både forbrænding og flisens oprindelige (og nu fordampede) vandindhold.

Bilag 4 Eksempel på datablad (uddrag) for de to anvendte solfangerpaneltyper i Hjallerup

Arcon-Sunmark Collector Type HT-HEATboost 42/08

Datasheet page 1/2

High efficiency to a competitive price

- Arcon-Sunmarks HT-HEATboost collector has a very attractive price/performance ratio.
- Recommended especially for systems where the demand is temperatures below 85 °C. It also maximizes value in combination with the HT-HEATstore collector series where the HT-HEATboost collector is very efficient for preheating the water in the beginning of each row.
- Reliability, life time and efficiency is well proven through more than 220.000 installed square meters
- Arcon-Sunmark HT-HEATboost exist in different variants, i.e. with different absorber pipe dimensions, making it possible to optimize flow conditions in challenging solar field layouts.
- ARCON has many years of well proven experience in optimizing yield from large collector fields, for the benefit of the customer.



Figure 1: HT-HEATboost placed on steel profiles. Other easy adaptable mounting systems are available on request. Refer to our installation manual.

Data

Outer dimensions: 2,52 x 5,96 x 0,18 m
Gross area: 15,00 m²
Aperture area: 13,75 m²
Weight, without liquid: 340 kg
Fluid content: 14 liter

Efficiency

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

where:

T_a = Ambient temperature [°C]
 T_m = Mean fluid temperature [°C]
 G = Irradiance [W/m²]

Efficiency factors:

$\eta_0 = 0,850$
 $a_1 = 2,30$ [W/(m²K)]
 $a_2 = 0,029$ [W/(m²K²)]

Efficiency (η)

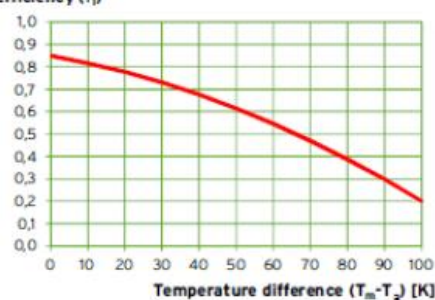


Figure 2: Efficiency curve ($G = 800$ W/m²). Tested in accordance with EN12975-2:2006+A1:2010. Issued by an accredited testing laboratory.

Temperatur difference [K] $T_m - T_a$	Collector output [W]		
	Solar irradiance [W/m ²]		
	400	700	1000
10	4319	7825	11331
30	3367	6874	10380
50	2097	5603	9109
70	507	4014	7520

Figure 3: Solar collector output at different solar irradiance

ARCON SUNMARK

Arcon-Sunmark Solfanger Type HT-HEATstore 35/10

Datablad side 1/2

Verdens højeste ydeevne til konkurrencedygtig pris

- Arcon-Sunmark's HT-HEATstore solfanger har verdens højeste ydeevne indenfor plade-solfangere. Vi anbefaler HEATstore solfanger til anlæg, hvor der er behov for høje temperaturer f.eks. i industrien eller til varmelagring.
- Arcon-Sunmark's HT-HEATstore er installeret i mere end 300.000 m² solfangeranlæg og er et pålideligt og gennemprøvet produkt.
- Arcon-Sunmark's HT-HEATstore findes i forskellige varianter, med forskellige rørdimensioner, hvilket gør det muligt at optimere flow forholdene fra anlæg til anlæg.
- Ved Arcon-Sunmark har vi specialiseret os i at optimere solfangeranlæg ved at kombinere de forskellige varianter. Kontakt os for at høre mere.



Figur 1: HT-HEATstore opstillet på stålprofiler. Andre smarte og fleksible løsninger kan imødekommes på opfordring.

Data

Udvendige dimensioner: 2,27 x 5,96 x 0,14 meter
 Total areal: 13,57 m²
 Transparent areal: 12,60 m²
 Vægt, uden væske: 250 kg
 Væskeindhold: 10,6 liter

Effektivitet

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

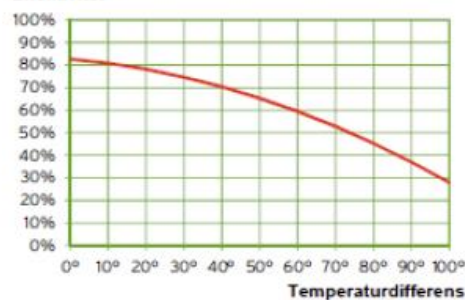
hvor:

T_a = Omgivelsestemperatur [°C]
 T_m = Middelvæsketemperatur [°C]
 G = Indstråling [W/m²]

Effektivitetsfaktorer:

η_0 = 0,827
 a_1 = 1,18 [W/(m²K)]
 a_2 = 0,032 [W/(m²K²)]

Effektivitet



Figur 2: Effektivitetskurve ($G = 800 \text{ W/m}^2$). Testet i overensstemmelse med EN12975-2:2008. Udført af anerkendt testlaboratorie. Testrapporten har reference nr. 3P01864-C.

Solfangereffekt [W]			
Temperaturdifferens [°C]	Solindstråling [W/m ²]		
	400	700	1000
$T_m - T_a$			
10	3979	7105	10231
30	3359	6485	9611
50	2417	5543	8669
70	1152	4278	7404

Figur 3: Tryktabskurve med rustfri flexslange

ARCON SUNMARK

Arcon-Sunmark A/S / Skørping Nord 3 / DK-9520 Skørping / Tel. +45 98 39 14 77 / mail@arcon-sunmark.com / www.arcon-sunmark.com

HT_HEATstore_35-10_stålprofil_DK_REV006

Bilag 5 Data for produktionsudstyr på Hjallerup/Klokkerholm Fjernvarme

Hjallerup, Gravensgade 18

- 2 stk. Jenbacher motorer type JMS 620, hver med total termisk ydelse på 4,4 MW
- 1 stk. Danstoker gaskedel, der yder 9,3 MW varme
- 1 stk. Zeta elkedel, der yder 6 MW

Klokkerholm, Borgergade 44

- 1 stk. Jenbacher motor type JMS 612, termisk ydelse på 1,8 MW
- 1 stk. Danstoker gaskedel, der yder 2,9 MW varme, ny brænder i 2018
- 1 stk. direkte fyret absorptionsvarmepumpe, varmeydelse ca. 1,6 MW

Bio/solvarme, Clausholmvej 1A

- 1 stk. Linka biomassekedel med halm som brændsel og yder 1,8 MW varme
- 1 stk. Arcon solvarmefelt, to typer paneler, nu i alt ca. 26.000 m²