

Varmepumpe kombineret med kondenserende kedel

Undertitel:
Kondenserende kedel optimeret med
returvandskøling

Slutrapport

September 2015

**SE Big Blue Rådgivning
SE Big Blue CTS
Robert Bosch
Ejerforeningen Nørrelundparken**

Ib Mørck
Kristian Vest Warming
Grete Feldbech Kjeldsen

Resumé

Projektets idé var at tage 2 kendte komponenter: en kondenserende kedel og en væske-vand eller luft-vand varmpumpe og bygge dem sammen på en ny og utraditionel måde. Varmepumpen anvendes til at nedbringe returtemperaturen til kedlen, hvilket øger kondensationen af røggassen og giver en bedre kedelvirkningsgrad – uden yderligere ombygning af varmeanlægget. Varmepumpen får til gengæld en højere brine-tilgangstemperatur, hvilket i teorien skulle give en bedre COP-værdi.

Projektet blev gennemført på en blokvarmecentral i en privat boligforening, som samtidig investerede i en ny, kondenserende, naturgasfyret kedel med en indfyret effekt på 310 kW. Kedlen suppleredes med en 43 kW væske-vand varmpumpe, varmeveksler og en 750 liter buffertank.

Varmepumpens effekt udgør kun 14 % af kedlens maksimale effekt, men har alligevel i referenceåret leveret 46 % af varmebehovet. Modsat det forventede kunne varmpumpen dække hele varmebehovet i perioden medio maj – ultimo september.

Det har ikke været muligt at opnå COP-værdien på 3,46, som oplyses af leverandøren. Den gennemsnitlige COP-værdi har i referenceåret været 3,08. Højest i november-marts og lavest i maj-august, hvor varmpumpen leverede al varmen ved 57°C i fremløbet. Præcis hvorfor den lovede COP-værdi ikke opnås, er ikke fuldstændigt afdækket, men det skyldes formentlig en kombination af:

- for korte jordslanger i forhold til de mange driftstimer (7.900 timer på 1 år) og deraf følgende lav jordtemperatur samt
- høj driftstemperatur (57°C) i sommermånederne.

Kedelvirkningsgraden blev forbedret med godt 3 % ved hjælp af varmpumpen i forhold til ren kedeldrift.

Energibesparelsen blev på 26 %, hvilket er mere end de forventede 10-20 %. Besparelsen på udgifterne til opvarmning blev 12 %, og skyldes udelukkende at ejerforeningen hos Skat fik tilsagn om delvis godtgørelse af elafgiften. Hvis den delvise godtgørelse af elafgiften ikke indregnes, er der i dette projekt ingen økonomisk gevinst.

Abstract

The project idea was to take two known components: a condensing boiler and a heat pump and build them together in a new and unconventional way. The heat pump is used to reduce the return temperature of the boiler, increasing the condensation of the flue gas and improve boiler efficiency.

It has not been possible to obtain the promised COP value of 3.46, The average COP value was 3.08 in the reference year - lowest in May to August. It is not fully uncovered why the promised COP value is not achieved, but it is probably due to a combination of:

- short ground collectors in relation to the operating hours (7,900 hours in one year) and
- high operating temperature (57°K) in the summer months.

In comparison to the boiler operating without the heat pump, the boiler efficiency was improved by 3.3 %.

The energy savings was 26%, which is higher than the expected 10-20%. The saving on heating costs was 12% and is entirely due to a partial reimbursement of the electricity tax. If the partial reimbursement of electricity tax is not included, this project has no economic benefit.

Indhold

1. Indledning	4
2. Baggrund	4
3. Formål.....	5
4. Projektorganisation.....	5
5. Tidsplan	7
6. Praktisk gennemførelse.....	7
6.1 Forudsætninger.....	7
6.2 Udvikling og dimensionering.....	8
6.2.1 Valg af varmepumpe	8
6.2.2 Dimensionering af jordvarmeslanger	8
6.2.3 Styring og regulering	9
6.2.4 Øvrige komponenter.....	10
6.2.5 Myndighedsgodkendelse.....	10
6.2.6 Elafgift – delvis godtgørelse	11
6.3 Etablering.....	11
6.4 Afprøvning (testperiode).....	12
6.4.1 Driftslog	13
6.4.2 Optimal driftsstrategi.....	17
6.5 Drift (referenceperiode)	18
6.5.1 Sommer-/vinterdrift.....	18
6.5.2 Jordtemperatur og COP-værdi.....	18
6.5.3 Kedelvirkningsgrad	21
6.5.4 Driftsresultater	23
6.5.5 Varierende elpris	24
7. Konklusioner	25
8. Potentiale	26
Bilag 1: Supplerende projektbeskrivelse	27
Bilag 2: Flowdiagram	29
Bilag 3: Driftsøkonomisk beregning - før projektstart	30
Bilag 4: Driftsøkonomisk beregning – efter projektslut	31
Bilag 5: Driftsøkonomisk opgørelse til Nørrelundparken	32
Bilag 6: Drifts- og betjeningsvejledning.....	33

1. Indledning

Bosch og SE Big Blue Rådgivning har i fællesskab udviklet og gennemført dette projekt, hvor to kendte teknologier kombineres med det formål at opnå en mere energioekonomisk drift af en naturgasfyret blokvarmecentral.

Projektet har fået økonomisk støtte fra Dansk Energi gennem forsknings- og udviklingsprogrammet Elforsk.

I ansøgningen var projektets titel: "Varmepumpe kombineret med kondenserende kedel". Denne titel gav undervejs i projektet anledning til misforståelser med hensyn til projektets formål, hvorfor vi indførte en ny arbejdstitel/undertitel: "Kondenserende kedel optimeret med varmepumpe".

2. Baggrund

Rundt om i Danmark står mange kedelanlæg og forsyner boligområder, boligblokke, kontorer, produktionsbygninger, skoler, institutioner mv. med varme, de såkaldte blokvarmecentraler. Varmecentralerne kan være forsynede med en eller flere kedler og anvender olie eller naturgas som brændsel.

På mange af de naturgasfyrede varmecentraler, er kedlerne fra først og midt i 1980'erne, hvor naturgasnettet blev udbredt i Danmark. En række af kedlerne er endnu ældre kedelanlæg, der er konverteret fra olie til naturgas.

De varmesystemer, som varmecentralerne betjener, er ofte fra før 1980'erne; typisk med relativt høje fremløbs- og returløbstemperaturer. Kedlerne kører derfor ofte med en dårlig virkningsgrad på grund af manglende kondensering af røggassen. Mange af kedlerne er i dag udtjente, og står til udskiftning.

Når det planlægges at renovere en varmecentral, analyseres det normalt hvilken ny teknologi, det vil være mest rentabelt at skifte til. Ofte viser det sig, at driften af varmecentralen vil være mest økonomisk rentabel, hvis der skiftes til opvarmning via varmepumper.

Denne løsning vælges dog meget sjældent, fordi en varmepumpeløsning, udover reoveringen af selve varmecentralen, også vil kræve en gennemgribende og bekostelig reovering af transmission- og varmeanlægget fx i form af en udskiftning af radiatorer og andre varmeblæser. Dette er nødvendigt, så fremløbs- og returløbstemperaturen kan bringes ned på et niveau, hvor varmepumpeløsningen vil køre optimalt.

Typisk vælges en løsning, hvor de eksisterende kedler udskiftes til moderne kondenserende kedler, vel vidende at der langt fra altid opnås en effektiv kondenserende drift med de eksisterende fremløbs- og returløbstemperaturer.

Ved at etablere et system bestående af en varmepumpe i kombination med en kondenserende kedel kan synergien ved de to teknologier kombineres – i alt fald i teorien - så der opnås en høj COP-faktor for varmepumpen, samtidig med at den kondenserende drift som en kondenserende kedel giver mulighed for udnyttes mere effektivt, uden at det eksisterende varmesystem skal gennem en bekostelig ombygning.

Da der i dag også fås kondenserende oliekedler, vurderes løsningen også at være interessant for oliefyrede kedelanlæg.

Med denne løsning erstattes en del af det fossile brændselsforbrug med el. Samtidig forventes det, at der kan opnås en besparelse på det samlede energiforbrug til opvarmning.

Set i lyset af ønsket om et fossilfrit samfund i 2050, den store interesse for "smart grid" tankegangen og den forventede prisdifferentiering af fx elprisen, er det desuden interessant at få belyst, om varmepumpe-kedel løsningen kan bidrage til flytte brændselsforbruget - både set over døgnet og totalt set.

3. Formål

Formålet med projektet er i praksis at afprøve kombinationen af en varmepumpe og en kondenserende, naturgasfyret kedel på en varmecentral, der forsyner en boligklynge.

Princippet i projektet er at anvende en væske-vand eller luft-vand varmepumpe til at nedbringe returtemperaturen til kedlen og derved øge kondensationen af røggassen. Kombinationen af de to nævnte teknologier er endnu ikke afprøvet i praksis, men i teorien skulle det give et mindre energiforbrug og dermed en økonomisk driftsbesparelse.

Gennem projektet skal det afklares, om kombinationen i praksis tilvejebringer den forventede energieffektivisering af varmecentralen. Energibesparelsen er beregnet til ca. 5 % i fuldlast situationen og forventes i praksis at kunne blive 10-20 % af det samlede årlige energiforbrug til opvarmning.

Der anvendes udelukkende kendte komponenter (kondenserende kedel og varmepumpe), hvor synergien fremkommer ved at bygge dem sammen på en ny og utraditionel måde, jævnfør "Bilag 1: Supplerende projektbeskrivelse" og "Bilag 2: Flowdiagram".

Følgende forhold er søgt afklaret gennem projektet:

- Hvordan skal forholdet være mellem varmepumpens og kedlens effekt?
- Skal varmepumpen være med jordvarmeslange eller luftkøler?
- Hvordan påvirker varierende brændsels- og elpriser driftsstrategien?
- Kan den forventede energieffektivisering opnås?

4. Projektorganisation

SE Big Blue Rådgivning (SE Big Blue) har været projektleder og har haft den direkte kontakt til Elforsk og projektpartnerne. SE Big Blue har deltaget i udvikling af løsningen og været ansvarlig for målinger, analyser og dokumentation.

SE Big Blue CTS har udviklet og leveret styringen, der regulerer forholdet mellem kedel- og varmepumpedrift samt etableret en drifts-web.

Bosch har deltaget i udvikling og dimensionering af løsningen og leveret komponenterne til kedel- og varmepumpeanlæg. Bosh' underentreprenør Star VVS har stået for montering, opstart og indregulering af anlægget.

Ejerforeningen Nørrelundparken, der omfatter 42 private andelsboliger, har beredvilligt stillet deres blokvarmecentral til rådighed for projektet.

Bebyggelsen er opført i 1956-59 som en del af Anstalten Ribelund. Bygningerne skulle tjene som bo- og beskæftigelsessted for et antal voksne beboere og fik navnet Nørrelund. I 2004 renoveres

bygningerne, der indrettes 42 private andelsboliger og området skifter navn til Ejerforeningen Nørrelundparken¹.



Billede 1: Luffoto af Nørrelundparken, Ribe

40 af de 42 lejligheder er beliggende i hesteskoen og de sidste 2 lejligheder ligger for sig selv sydvest for hesteskoen. Øst for de sidstnævnte 2 lejligheder er en lille bygning med et fælles mødelokale og en lidt større bygning indeholdende kontor og transformerstation i den ene ende og kedelcentral i den anden ende. I forbindelse med installering af den nye kedel blev der etableret en ny kedel-/varmecentral midt i bygningen.

Fra varmecentralen og hen til hesteskoen og hele vejen under hesteskoen er der en større ingeniørgang, hvor blandt andet varmerørene fremføres til de enkelte lejligheder. Alle lejligheder har egen brugsvandsvarmeveksler og varmeafregningsmåler.

Den gamle kedelcentral består af 2 ældre naturgasfyrede pladejernskedler med kedelshunt og uden røggasvekslere. Det er kun den nyeste kedel på 496 kW, der er i drift. Den ældste kedel står udelukkende standby og indgår ikke i den daglige drift. I forbindelse med den løbende energirenovering af bebyggelsen er det besluttet at udskifte kedlerne med én kondenserende, naturgasfyret kedel på 310 kW.



Billede 2: Den gamle kedelcentral

¹ Kilder: Jubilæumsskrift – Ribelund 100 år og BBR-meddelelse på www.ois.dk.

Yderligere optimering af den nye kedels drift, herunder kondensation af røggassen, kan ske ved at nedbringe den forholdsvis høje returtemperatur fra bebyggelsen. Dette vil kræve en ret bekostelig udskiftning af radiatorer og eventuelt brugsvandsvekslere samt indregulering af varmeanlæggene. Som et alternativ til den fremgangsmåde er nærværende forsøgsprojekt fundet interessant.

Rammerne for samarbejdet mellem projektets partnere har fra starten været beskrevet i en samarbejdsaftale. Nogle af de tvivlsspørgsmål, der har meldt sig undervejs i projektet, er præciseret i et tillæg til samarbejdsaftalen.

5. Tidsplan

Projektforløbet har været opdelt i følgende faser:

Aktivitet	Periode
Udvikling og dimensionering	Februar - september 2013
- Myndighedsbehandling	
o Fortidsminder – frivillig forundersøgelse	
o Projektforslag iht. Varmeforsyningsloven	
Etablering	Oktober - december 2013
- Varmepumpe og veksler installeres	
Afprøvning (Testperiode)	December 2013 - juni 2014
- Forskellige driftsstrategier afprøves for at finde den mest optimale	
Drift (Referenceperiode)	Juli 2014 - juni 2015
- Optimal drift	
Afslutning (Rapportering)	Juli - september 2015

Tabel 1: Tidsplan for projektet

6. Praktisk gennemførelse

6.1 Forudsætninger

Varmecentralen opbygges med:

- Varmepumpe med jordslange eller luftkøler
- Kondenserende kedel med 2 returstudse
- Buffertank med mulighed for lagdeling
- Varmevexler til optimeret drift

Varmepumpen opvarmer centralvarmevand fra ca. 40 °C (35-45 °C, årstidsafhængigt) til 55 °C. Varmen hentes fra en jordslange eller udeluften. Der ledes en delstrøm af denne brine gennem en veksler, der opvarmer brinen yderligere ved at køle på returløbet fra centralvarmen. Den højere tilløbstemperatur på brinen giver en forbedret COP-faktor på varmpumpen.

Kedlen er forsynet med 2 returløb, for at få en energieffektiv drift. Vandtemperaturen til det ene returløb er ca. 55 °C fra varmpumpen. For at få en effektiv kondenserende drift på kedlen er vandtemperaturen på det andet returløb ca. 30 °C. Dette sikres ved at lade en delstrøm af returløbet løbe gennem veksleren, hvor man overfører noget af energien til varmpumpen.

Tabel 2: Projektbeskrivelse fra ansøgningen til Elforsk

En væsentlig årsag til at projektet blev gennemført hos Nørrelundparken er, at de havde besluttet at udskifte deres naturgasfyrede kedler til én ny kondenserende, naturgasfyret kedel fabrikat

Bosch, type Logano plus SB615 med en nominel ydelse på 310 kW. Kedlen er udstyret med 2 returstudse, hvilket som nævnt er en forudsætning for at gennemføre dette projekt i praksis. Se eventuelt "Bilag 1: Supplerende projektbeskrivelse".

Energibesparelsen ved at udskifte kedlen er beregnet i beregningsprogrammet Gaspro². Årsvirkningsgraden er for den gamle kedel beregnet til 91 % og for den nye kedel til 101 %.

6.2 Udvikling og dimensionering

6.2.1 Valg af varmepumpe

Valget stod mellem en luft-vand eller en væske-vand varmepumpe. Valget faldt på en væske-vand varmepumpe af følgende årsager:

- Men en luft-vand varmepumpe er medietemperaturen på den kolde side lig med udeluftens temperatur. Med en væske-vand varmepumpe er medietemperaturen på den kolde side lig med jordtemperaturen. Vi vurderede, at det især om sommeren ville være en fordel med en væske-vand varmepumpe, og den større temperaturforskel mellem "kølemediet" og returløbstemperaturen på centralvarmeanlægget.
- Beboerne var ikke specielt glade for at få en luft-vand varmepumpe, dels af frygt for mulige støjgener og dels fordi den ville blive meget synlig i området.

Med udgangspunkt i ugentlige registreringer af naturgasforbruget i 2012 (jævnfør bilag 3) så det ud til, at det graddageafhængige naturgasforbrug var i størrelsesordenen 34 kW eller 2.200 m³_n/måned; svarende til 37 % af det samlede graddagekorrigerede naturgasforbrug.

Ifølge de nævnte forbrugsregistreringer viste det sig, at fremløbstemperaturen fra kedelcentralen til centralvarmeanlægget lå på 65-72°C og returløbstemperaturen 33-39°C. Returløbstemperaturen var dermed noget bedre end de ca. 35-45°C, som vi regnede med inden projektet startede.

Bosch' største væske-vand varmepumpe, Greenline HE D43 har en ydelse på 43 kW³. Den valgte vi, idet den kunne levere den nødvendige varme i sommermånederne. Vi havde ingen forventninger om, at varmepumpen kunne levere den nødvendige fremløbstemperatur; heller ikke om sommeren, hvorfor kedlen forventeligt altid skal hæve temperaturen en smule.

Varmepumpen er dimensioneret til at køre med et ΔT på 7°C og et flow på 5,3 m³/h på afgangssiden. På tilgangssiden har varmepumpen et ΔT på 5°C og et flow på 5,8 m³/h. Normalt har denne varmepumpe et ΔT på 3°C på tilgangssiden, men grundet det ekstra trykfald i systemet hidrørende fra varmeveksleren, er det nødvendigt med et større ΔT end normalt.

6.2.2 Dimensionering af jordvarmeslanger

Beregningen af slangelængden til varmepumpen er foretaget i Bosch' beregningsprogram VPW2100. Programmet tager højde for den ønskede fremløbstemperatur til centralvarmeanlægget, jordtypen og antal driftstimer. Tre forhold, der alle har indvirkning på den nødvendige slangelængde.

² Gaspro er et beregningsprogram, der kan anvendes til beregning af energiforbrug og økonomisk besparelse ved installation af ny naturgaskedel. Programmet er udviklet af Dansk Gasteknisk Center A/S og er almindeligt anerkendt i branchen.

³ I beregningerne er forudsat anvendt en anden varmepumpe, Compress 5000 LW med en ydelse på 42 kW.

Betydningen af den ønskede fremløbstemperatur er mindre end de 2 andre parametre. Jo højere fremløbstemperatur der er behov for, jo kortere slangelængde skal der bruges, da varmepumpens kompressor skal levere en større del af energien, hvilket medfører et større eloptag og mindre brug af den gratis energi fra jorden og dermed en kortere jordslangelængde.

Hos Nørrelundparken var udgangspunktet for driften af varmepumpen henholdsvis 55°C i fremløb og en jordtype svarende til "tør jord". Det graddageafhængige varmebehov på ca. 26.000 m³ naturgas (286.000 kWh) skulle varmepumpen i så vidt muligt kunne dække. Dette medfører et stort antal driftstimer på varmepumpen: ca. 6.000 timer/år ifølge beregningsprogrammet.

De faktiske forhold med hensyn til jordtypen viste sig at være "vådt sand". Der blev ikke foretaget nogen rettelser af slangelængden, da afvigelsen mellem "tør jord" og "vådt sand" ikke blev vurderet til at være af så betragtelig en størrelse, at det ville give komplikationer. Derudover står grundvandet i området meget højt, hvilket også ville give et boost til brinetemperaturen. Samtidig ville der kunne hentes en temperaturforøgelse på brinen via varmeveksleren (veksler til afkøling af returløbsvand til kedlens nederste returstud).

Det kan på denne baggrund anbefales, at der altid foretages en eller flere "prøveboringer" med et pælebor. Der er ikke umiddelbart behov for en decideret jordbundsanalyse, men snarere en kontrol af, om der er sand, ler eller muld 1 meter nede i jorden. Den praktiske erfaring viser, at folk i almindelighed ikke ved, hvilken type af jord der kommer op fra en dybde på 1 meter. Ligeledes skal slangelængden holdes op i mod det beregnede antal driftstimer.

6.2.3 Styling og regulering

Varmecentralen består af følgende hovedkomponenter:

- Kedel
- Varmepumpe
- Varmeveksler med tilhørende motorventil og styling (CTS-anlæg)

Udgangspunktet var at stylingen af varmecentralen skulle være så enkel som mulig. Både af hensyn til omkostningerne og betjeningsvenligheden samt mulighederne for efterfølgende at lokalisere eventuelle fejl på anlægget. Desuden skulle det være muligt at anvende henholdsvis kedel og varmepumpe uden de 2 andre hovedkomponenter.

Kedel og varmepumpe har hver deres stand-alone styringsenhed indbygget. Det blev besluttet at anvende disse stylinger uden kommunikation mellem kedel- og varmepumpestyling.

Stylingen til varmeveksleren skulle være så simpel som mulig, og det skulle være mulig at foretage ændringer, hvis det undervejs i projektet viste sig at være formålstjenligt. Der blev derfor lavet et mindre CTS-anlæg, som samtidig kunne anvendes til opsamling af måledata (temperaturer, tryk, flow samt el- og naturgasforbrug).

Styringsmæssigt er CTS-anlægget begrænset til regulering af den 3-vejs motorventil, der fordeler flowet til henholdsvis buffertank og kedlens nederste returløbsstud.

Varmepumpen kunne være udnævnt til master i systemet og have kaldt kedlen ind ved behov via et 0-10 V signal. Denne løsning er fravalgt af flere årsager:

- Ved tidligere og lignede sager har Bosch erfaring for, at varmepumpeeffekten i anlægget helst skal udgøre ca. 25 % af den samlede effekt. I Nørrelundparken udgør varmepumpens effekt kun ca. 12 % af den samlede effekt.
- Det forventede behov for en konstant høj fremløbstemperatur gjorde at kedlen alligevel ville skulle arbejde med i serie med varmepumpen.

- Ønsket om at undgå unødvendige alarmer på varmepumpens regulering grundet for høj fremløbstemperatur på det fælles fremløb (>80 °C)

Der blev etableret en offentlig tilgængelig webside (driftsweb) med et oversigtsbillede (flowdiagram) og øjebliksværdier for temperaturer, tryk, flow og energimængder:

<http://norrelundparken.se-bb.dk>

Alle måledata blev i hele projektperioden opsamlet i SE Big Blues energistyringsprogram, hvortil der også var offentlig adgang:

<http://norrelundparken.energykey.enervision.dk/displayLogin.do>

Brugernavn: Nørrelundparken

Adgangskode: Farupvej

6.2.4 Øvrige komponenter

Der blev valgt en buffertank på 750 liter. Størrelsen vurderedes at være tilstrækkeligt til at sikre en stabil lagdeling i buffertanken. Da varmepumpens effekt svarer til det graddageuafhængige energibehov, også i sommermånederne, vil der ikke på noget tidspunkt være overskudskapacitet til at lade en større bufferbeholder op.

Som tidligere nævnt er alt i varmecentralen søgt bestykket med gængse komponenter. Det viste sig dog at være vanskeligt at finde ventiler og især flowmålere til montering i brinekredsen. Mediet i brinekredsen er en blanding af IPA sprit og vand og har dermed andre egenskaber end almindeligt vand. Det lykkedes ikke at opdrive en anvendelig ultralydsmåler, hvilket havde været at foretrække på grund af et forholdsvis lavt tryktab. Derimod blev der fremskaffet en vingehjulsmåler, der kunne erklæres egnet til mediet.

6.2.5 Myndighedsgodkendelse

I forbindelse med ansøgningen hos Esbjerg Kommune om nedgravning af jordvarmeslanger blev DONG og Sydvestjyske Museer opmærksomme på projektet.

Sydvestjyske Museer vurderede: "at der vil være risiko for at påtræffe jordfaste fortidsminder i forbindelse med anlægsarbejdet". Da vi risikerede at stå med en stor regning, hvis vi under nedgravningen af jordvarmeslangerne stødte på fortidsminder, valgte vi at indgå en frivillig aftale med Sydvestjyske Museer om en forhåndsundersøgelse af arealet, hvor jordvarmeslangerne skulle nedgraves. Heldigvis var der ingen spor af "vikinger" på arealet.

DONG påpegede, at Esbjerg Kommune i henhold til Varmeforsyningsloven (*Bekendtgørelse af lov om varmforsyning, nr. 1184 af 14. december 2011*) skulle kræve, at der blev udarbejdet et projektforslag i henhold til retningslinjerne i Projektbekendtgørelsen (*Bekendtgørelse om godkendelse af projekter for kollektive varmforsyningsanlæg, nr. 374 af 15. april 2013*).

I projektforslaget forsøgte vi at gøre det meget tydeligt, at naturgasforsyningen ikke var valgt fra, men at projektet gik ud på at optimere driften af det nye kedelanlæg. Projektforslaget indeholdt ud over en beskrivelse af projektets formål også de krævede selskabs- og samfundsøkonomiske beregninger.

Esbjerg Kommune hastebehandlede projektforslaget, og godkendte projektet uden bemærkninger.

Varmecentralen er omfattet af §21 og §22 i bekendtgørelse nr. 374, idet

- Nørrelundparkens varmecentral er en blokvarmecentral, der udelukkende forsyner boligerne i Nørrelundparken med varme.
- Nørrelundparken er beliggende i naturgasområde. Varmecentralen er tilsluttet naturgasnettet. Varmecentralen vil også efter projektet være aftager af naturgas.
- Varmeproduktionsanlægget er under 3 MW, hvorfor der ikke kan stilles krav om omstilling til kraftvarmeproduktion.

Der sker ingen ændringer i varmeproduktionsanlæggets kapacitet eller forsyningsområdet omfang i forbindelse med projektet.

Tabel 3: Uddrag af Projektforslaget

Det er vores opfattelse, at DONG's efterlysning af et projektforslag i nogen grad kan tilskrives manglende kommunikation fra projektets partnere om, hvad formålet med projektet var. Vi fandt derfor frem til en arbejdstitel, som vi mener, er mere sigende med hensyn til projektets indhold end den oprindelige projekttitel:

Kondenserende kedel optimeret med returvandskøling

6.2.6 Elafgift – delvis godtgørelse

Ejerforeningen Nørrelundparken er ikke registreret i BBR som værende elopvarmet, og er derfor ikke umiddelbart berettiget til godtgørelse af elafgift på den del af elforbruget i varmecentralen, der anvendes til varmepumpen, og som derfor medgår til rumvarme i beboelserne.

Til gengæld er ejerforeningen momsregistrerede hvad angår varmecentralen. På en anmodning om bindende svar har Skat givet tilsagn om delvis godtgørelse af elafgiften på den del af elforbruget, som anvendes til varmepumpen og dermed til rumvarme. Skats bindende svar er gældende i 5 år, hvorefter ejerforeningen skal fremsende en ny forespørgsel.

I praksis betyder det, at udgiften på el til varmepumpen ikke er ca. 1,60 kr./kWh men i stedet ca. 1,14 kr./kWh⁴.

Elafgift	Afgift brutto øre/kWh	Delvis godtgørelse øre/kWh	Afgift netto øre/kWh
Rumvarme 2014	83,3	42,1	41,2
Rumvarme 2015	87,8	49,8	38,0

Tabel 4: Elafgift og rumvarmegodtgørelse for 2014 og 2015

6.3 Etablering

I forbindelse med kedeludskiftningen etablerede ejerforeningen Nørrelundparken et helt nyt kedelrum tættere på ingeniørgangen.

Efter opstilling af den nye kedel og omkobling fra de gamle kedler installeredes varmepumpe, varmeveksler og CTS-anlæg.

⁴ Gennemsnit for 2014 og 2015. Alle priser er eksklusiv moms.



Billede 3, 4 og 5: Besigtigelse af den nye varmecentral



Billede 6: Varmeveksler og motorventil

6.4 Afprøvning (testperiode)

Den nye kedel har som tidligere nævnt 2 returstudse: en øvre og en nedre. Den nederste skal sikre at kedlen har størst muligt kondenserende drift ved at lede det koldeste centralvarmevand igennem denne. I følge databladet for kedlen anbefales det at volumenstrømmen ved den nederste returstud udgør minimum 10 % af den samlede volumenstrøm i anlægget.

Det opvarmede vand fra varmepumpen ledes til den øverste returstud, hvorefter kedlen opvarmer vandet yderligere, hvis ikke vandet har den ønskede fremløbstemperatur.

Under testperioden undersøges og testes forskellige driftsscenerier for at kunne bestemme den mest økonomiske drift fx:

- Hvad sker der, hvis veksleren bypasses?
- Hvad sker der, hvis varmepumpe ikke er i drift?
- Hvor stor en del af det samlede anlægsflow skal over veksleren og dermed den nederste kedelretur: 10, 15, 20 % eller mere?

Takket være driftswebben kan styring af motorventilen og dermed ændring af flowmængden gennem varmeveksleren foretages eksternt, mens omskiftning på 3-vejsventilerne på brinekredsen skal foretages lokalt i varmecentralen.

Omkring den 1. december 2013 ser det ud til, at varmeanlægget har stabiliseret sig med hensyn til jordtemperatur og kedeltemperatur, og testperioden kan begynde. På grund af forskellige småproblemer med driften og juleferien starter testperioden først rigtigt den 1. januar 2014.

I det følgende er dele af logbogen fra testperioden gengivet med supplerende forklaring og relevante kurver over temperaturen på den nederste kedelretur, kedelvirkningsgrad og varmepumpens COP-værdi.

6.4.1 Driftslog

Uge 1-3

I hele december har flowet gennem varmeveksleren (og den nederste kedelretur) været 25 % af det samlede anlægsflow. Det sættes nu ned til 10 %, som er det af Bosch anbefalede minimumsflow. Varmepumpen kører med normalt brineflow gennem jordslange og varmeveksler

Flowændringen medfører, at returtemperaturen falder fra 13-14°C til 8-9°C. Dog først efter den 10/1, hvor det lykkes at få varmepumpen til at køre konstant.

Onsdag d. 1/1 2014, kl. 15:15	Flowet gennem varmeveksleren ændres fra 25 til 10 %. Motorventilens åbningsgrad er ca. 19 %.
Fredag d. 3/1 2014, kl. 13:30	Varmepumpen stopper på grund af manglende væske (-tryk) på brinesiden.
Mandag d. 6/1 2014, kl. 09:15	Varmepumpen startes igen efter påfyldt væske. Der er monteret en ekstra trykekspressionsbeholder på brinekredsen.
Fredag d. 10/1 2014, kl. 12:30	Der er nu ændret parameter for driften og varmepumpen kører konstant (fuld kapacitet). (Der blev ændret på varmekurvens ude- og fremløbstemperatur, på max. temperaturen for vinterdrift, ved ikke hvad der var udslagsgivende). Varmepumpens varmeydelse stiger med ca. 25 %.
Fredag d. 17/1 2014, kl. 23:25	Kedlen stopper på grund af manglende vand (-tryk) på centralvarmesiden. Vand påfyldes og kedlen startes igen d. 18/1 2014, kl. 08:15. Varmepumpen har kørt konstant under hele kedelstoppet.

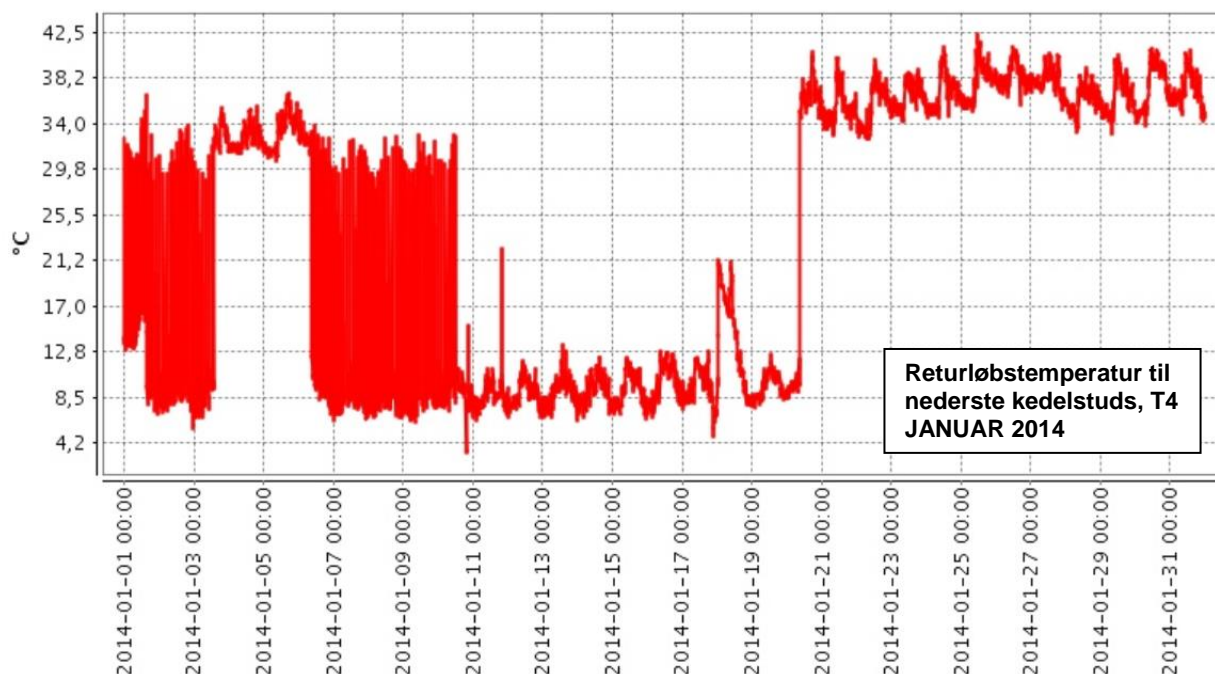


Diagram 1: Returløbstemperatur til nederste kedelstuds, T4 i januar 2014

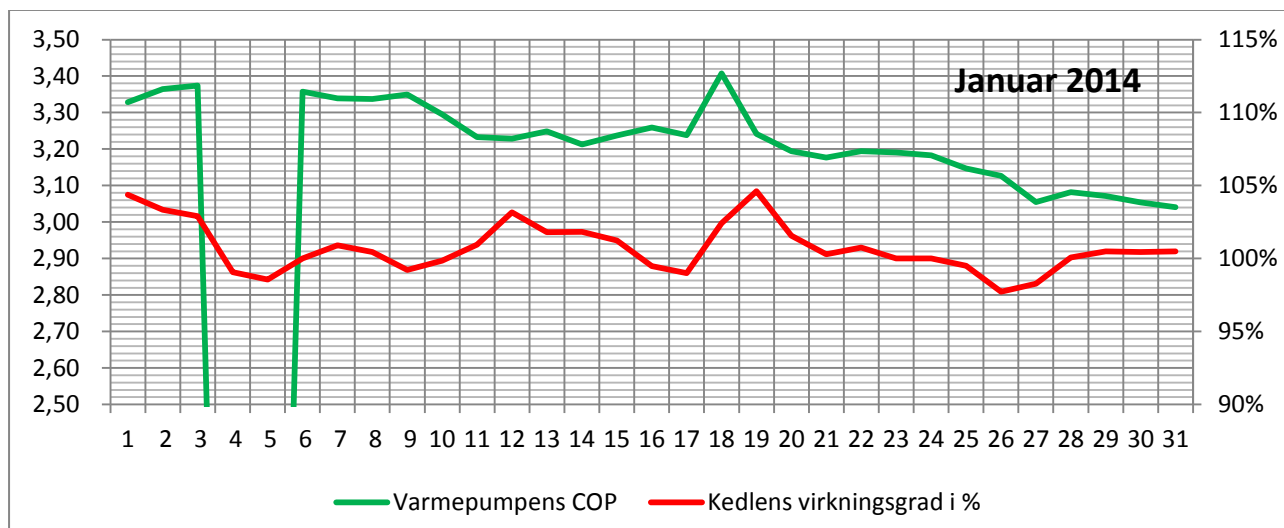


Diagram 2: Varmepumpens COP og kedlens virkningsgrad i januar 2014

Uge 4-7

3-vejsventilen på brinekredsen lukkes, så varmeveksleren sættes ud af drift. Varmepumpen kører fortsat med brineflow gennem jordslangerne.

Centralvarme flowmængde gennem varmeveksler er fortsat på 10 % (min. flow).
Returtemperaturen til nederste kedelstuds er lig returtemperaturen fra centralvarmeanlægget.

Efter 1 uge ændres flowet til 30 %. Varmepumpens COP falder fra 3,20 til 3,05, mens kedelvirkningsgraden stabiliserer sig omkring 100 %.

Efter yderligere 1 uge ændres flowet til 20 %. Varmepumpens COP stiger til 3,10, mens kedelvirkningsgraden fortsat ligger omkring 100 %.

Mandag d. 20/1 2014, kl. 09:10	3-vejsventilen drejes så brinen fra varmpumpen nu kun løber gennem jordslangen.
Søndag d. 26/1 2014, kl. 22:00	Reguleringsventilen tillader nu et flow på 30 % (åbningsgrad ca. 52 %) gennem lav kedeltilslutning i stedet for 10 % som tidligere indstillet.
Lørdag d. 1/2 2014, kl. 01:00	Reguleringsventilen tillader nu et flow på 20 % (åbningsgrad ca. 30 %) gennem lav kedeltilslutning i stedet for 30 %. Der ses ikke umiddelbart nogen ændring i røggastemperaturen, som da der blev ændret fra 10 til 30 % flow.

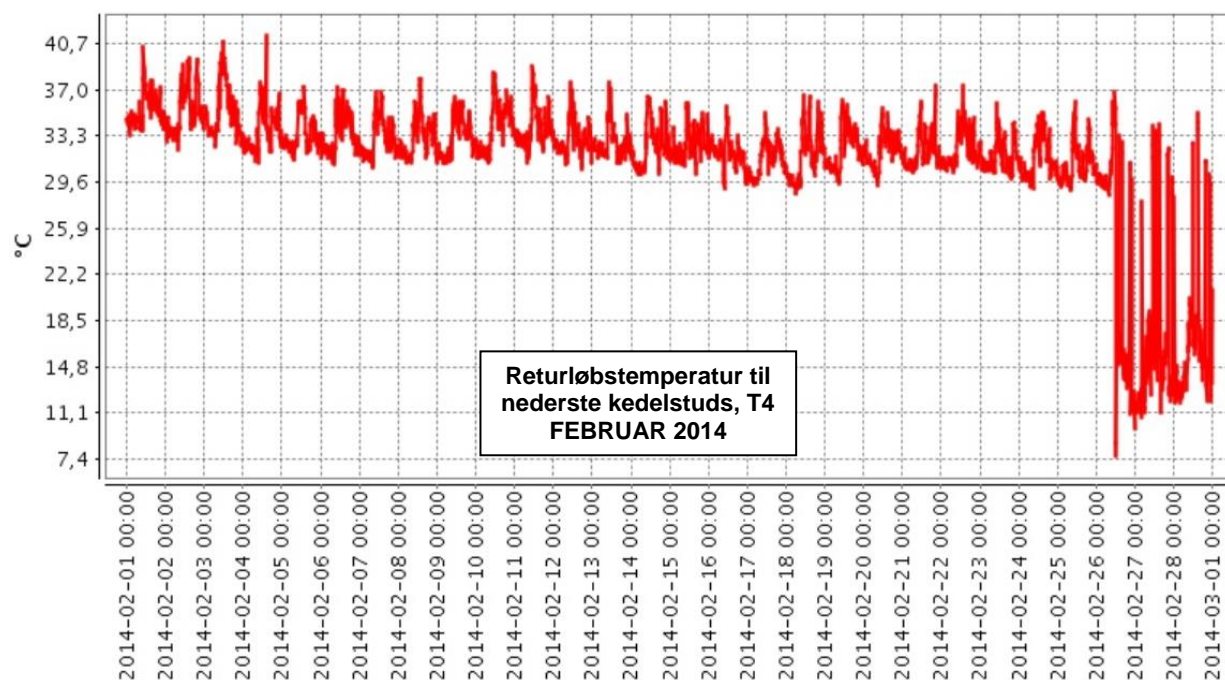


Diagram 3: Returløbstemperatur til nederste kedelstuds, T4 i februar 2014

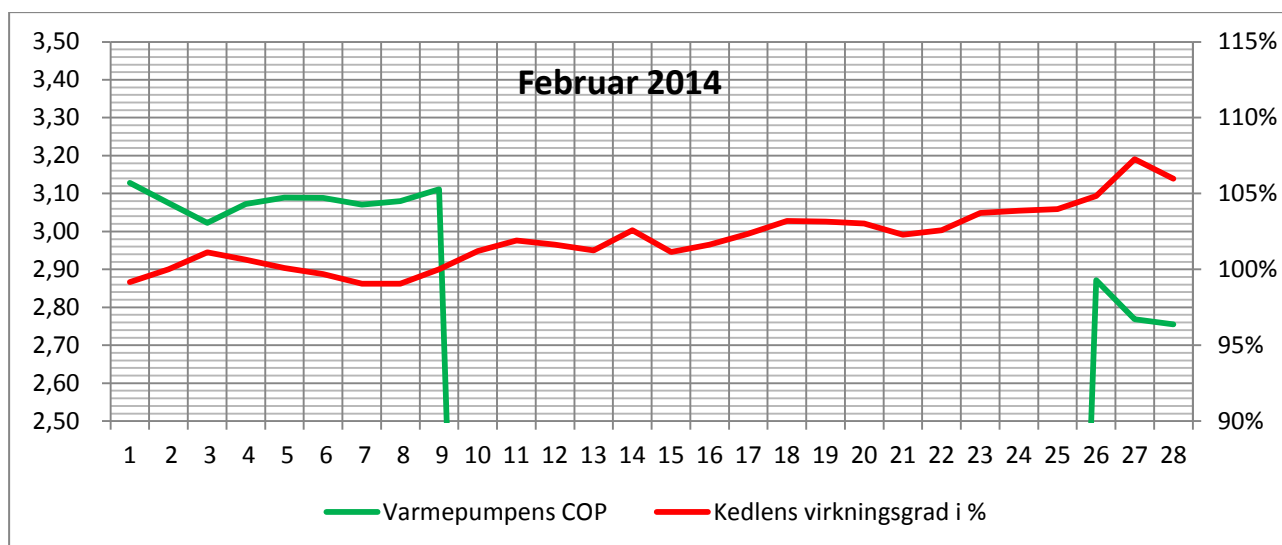


Diagram 4: Varmepumpens COP og kedlens virkningsgrad i februar 2014

Uge 7-9

Der laves en referencemåling, hvor varmepumpen stoppes. Centralvarmeflowet gennem varmeveksleren varieres fra 100 % (kun flow gennem nederste kedelstuds) til 0 % (kun flow via buffertank til øverste kedelstuds). Kedelvirkningsgraden er i denne periode 102,5 %.

Til sidst ændres flowet til henholdsvis 15 og 20 % gennem varmeveksleren. Kedlens virkningsgrad er højest ved 15-20 % flow gennem varmeveksleren.

Søndag d. 9/2 2014, kl. 12:00 Varmepumpen stoppes.

Søndag d 9/2 2014, kl. 20.00 Reguleringsventilen åbnes 100 % (åbningsgrad 100 %), kun flow gennem lav kedeltilslutning.

Onsdag d. 12/2 2014, kl. 01:00	Reguleringsventilen stilles til åbningsgrad 70 %
Søndag d. 16/2 2014, kl. 09:00	Reguleringsventilen stilles til åbningsgrad 0 %, kun flow gennem høj kedeltilslutning (flow gennem buffertank).
Tirsdag d. 18/2 2014, kl. 09:00	Reguleringsventilen stilles til åbningsgrad 20 % (flow på 10 – 15 %).
Torsdag d. 20/2 2014, kl. 09:00	Reguleringsventilen stilles til 15 % flow.
Mandag d. 24/2 2014, kl. 09:00	Reguleringsventilen stilles til 20 % flow (åbningsgrad ca. 30 %).

Uge 9-13

Varmepumpe startes op igen med brineflow gennem varmeveksler. 3-vejsventilen på brinekredsen lukkes, så jordslangerne er ude af drift.

Centralvarme flowmængde gennem varmeveksler holdes på 20 % i starten, men ændres efter et par dage til 50 %.

Efter 14 dage åbnes for jordvarmeslangerne igen for at få en stabil drift på varmepumpen. Flowet til nederste kedelstuds nedsættes gradvist til 40, 30, 20 og 15 %. Selv ved 15 % flow har varmepumpen mange start/stop, når det er mildt og lavt varmebehov.

Onsdag d. 26/2 2014, kl. 12:05	Varmepumpen startet op. Der er ikke nok kapacitet i varmeveksleren, så reguleringsventilen åbnes til 100 %, men så er der ikke noget flow over buffertanken, hvorfor reguleringsventilen stilles til åbningsgrad 70 % (ca. 50 % flow). Varmepumpen stopper når tanken er fuld (afgangstemperatur er 57°C).
Mandag d. 10/3 2014, 10:15	Reguleringsventilen stilles i automatik med et flow på 50 %.
Mandag d. 10/3 2014, kl. 12:00	3-vejs ventilen til jordslangen åbnes, da der ikke er nok varmekapacitet i returvandet til kedlen. Centralvarmeanlægget er meget effektivt, og varmepumpen er for stor til at have en optimal drift.
Mandag d. 10/3 2014, kl. 12:45	Reguleringsventilen stilles til et flow på 40 %.
Mandag d. 10/3 2014, 15:15	Reguleringsventilen stilles til et flow på 30 %. Det viste sig at 40 % flow betød at varmepumpe ikke kunne køre konstant.
Onsdag d. 12/3 2014, kl. 9:00	Reguleringsventilen stilles til et flow på 20 %. Det viste sig, ved et flow på 30 % kørte varmepumpen stadig ikke konstant.
Torsdag d. 13/3 2014, kl. 12:55	CTS anlægget er blevet genstartet efter at have været uden forbindelse siden ca. kl. 8:20. Alle data var dog gemt og blev overført til EnergyKey ved genstart.
Mandag d. 24/3 2014 kl. 15:30	Reguleringsventilen stilles til et flow på 15 %. Når vejret var godt og varmemeforbruget lille, så kørte varmepumpen ikke konstant.

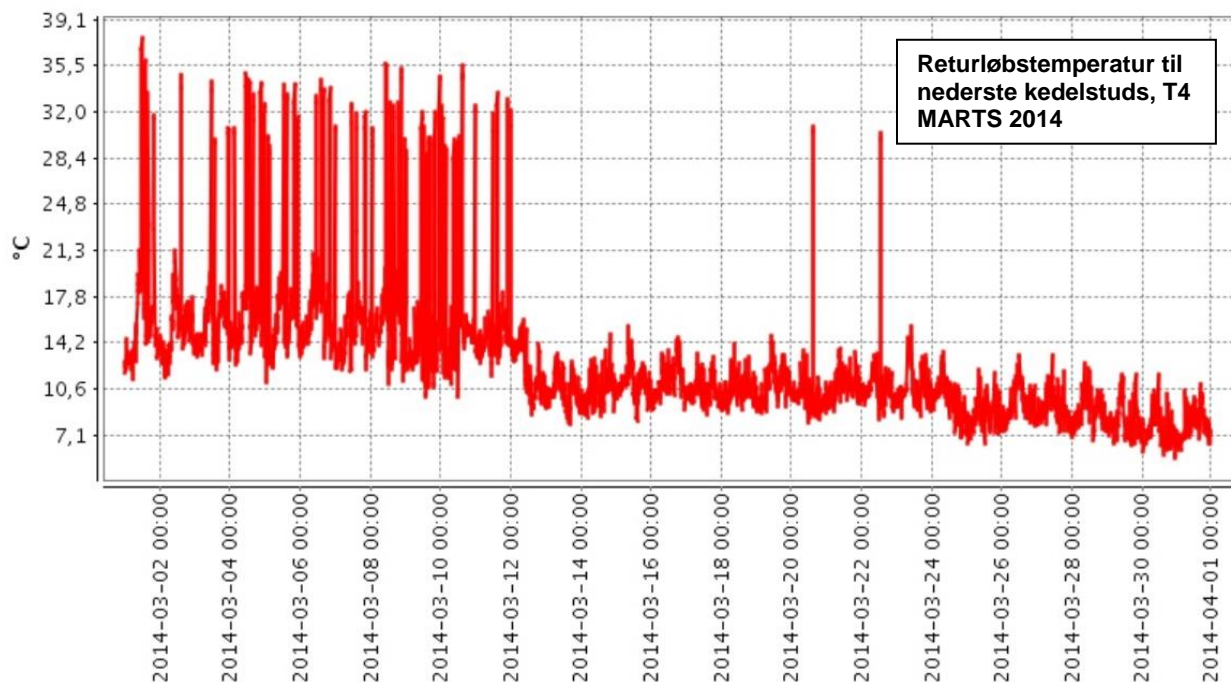


Diagram 5: Returløbstemperatur til nederste kedelstuds, T4 i marts 2014

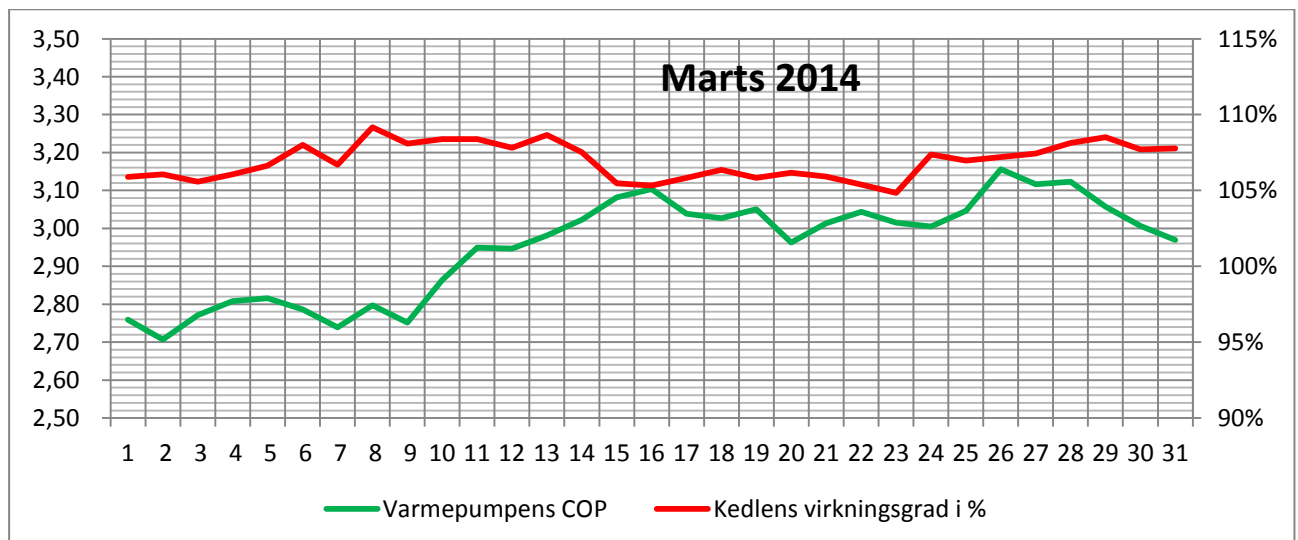


Diagram 6: Varmepumpens COP og kedlens virkningsgrad i marts 2014

6.4.2 Optimal driftsstrategi

På baggrund af de beskrevne tests af forskellige driftssituationer vurderes det, at den mest optimale driftssituation er med 15-20 % centralvarmeflow gennem varmeveksleren/den nederste kedelstuds.

Ved 30 % eller større centralvarmeflow gennem varmeveksleren får varmepumpen for mange start/stop.

Returtemperaturen til kedlen ved 15-20 % flow er ikke meget højere end ved det anbefalede minimum flow på 10 %. Samtidig er sikkerheden mod eventuel frysning af kedelvandet forårsaget af brine med temperaturer under 0°C bedre.

6.5 Drift (referenceperiode)

Referenceperioden startede den 1. juli 2014 og varede 1 år. I det følgende beskrives først erfaringerne med sommer-/vinterdrift, udviklingen i jordtemperaturen samt opnåede COP-værdier, og kedelvirkningsgrader. Dernæst beskrives den opnåede driftsbesparelse og afslutningsvis nogle betragtninger vedrørende varierende elpriser.

6.5.1 Sommer-/vinterdrift

Den mest økonomiske driftssituation i testperioden skulle være udgangspunkt for driftsstrategien i referenceperioden. Imidlertid var det ved at være sommer, og varmebehovet var så lille, at det var svært at få varmepumpen til at køre bare nogenlunde kontinuerligt.

I forsøget på at give varmepumpen mere driftstid, arbejdede vi blandt andet med at øge flowet i centralvarmeanlægget ved at sænke kedel-/ fremløbstemperaturen til centralvarmeanlægget. Inden projektet var fremløbstemperaturen mellem 65 og 72°C, og der var ingen, der turde tro på, at fremløbstemperaturen kunne sænkes så meget, at varmepumpen kunne klare hele opvarmningen.

Men i maj 2014 var fremløbstemperaturen uden problemer sænket til omkring 60°C, og da varmebehovet i juni ikke var større end varmepumpens kapacitet opstod idéen om at forsøge at slukke kedlen, og fra den 13. juni - 22. september 2014 og igen fra den 1. – 5. oktober 2014 var varmepumpen den eneste varmekilde.

Denne driftsstrategi er gentaget med held i sommeren 2015. En del af forklaringen på, at det kan lade sig gøre at stoppe kedlen om sommeren, er formentlig, at varmfordelingsrørene i installationsgangen under bebyggelsen udgør en ret stor buffer. Vandindholdet i rørene er beregnet til ca. 8 m³.

Varmepumpens drift er bestemt af indstillingerne i den indbyggede styring, som er indstillet til at holde en fremløbstemperatur på 57°C ved føler T10 efter buffertanken. Når fremløbstemperaturen er under 57°C kører varmepumpen indtil fremløbstemperaturen igen når 57°C. I vinterperioden er varmepumpen derfor i drift hele tiden, mens den i sommerhalvåret starter og stopper efter behov. Varmepumpen har i referenceperioden haft mere end 7.500 driftstimer.

Når det vurderes, at varmepumpen har kapacitet nok til at efterkomme energibehovet til centralvarmeanlægget skiftes til sommerdrift. Skiftet foretages manuelt.

Ved sommerdrift stoppes kedlen, ventilen ved kedlens nederste returstuds lukkes og 3-vejsventilen på brinen drejes, så brinen bypasses uden om varmeveksleren. Herved sikres det, at der ikke sker en unødvendig energioverførsel mellem brinen og centralvarmevandet.

Ved omskiftning til vinterdrift startes kedlen, ventilen ved kedlens nederste returstuds åbnes og 3-vejsventilen på brinen drejes, så brinen ledes gennem varmeveksleren.

6.5.2 Jordtemperatur og COP-værdi

Når både kedel og varmepumpe er i drift er jordtemperaturen lig med temperaturen på brinetilgangen til varmeveksleren T7. Når kedlen er stoppet er jordtemperaturen lig med temperaturen på brinetilgangen til varmepumpen T6.

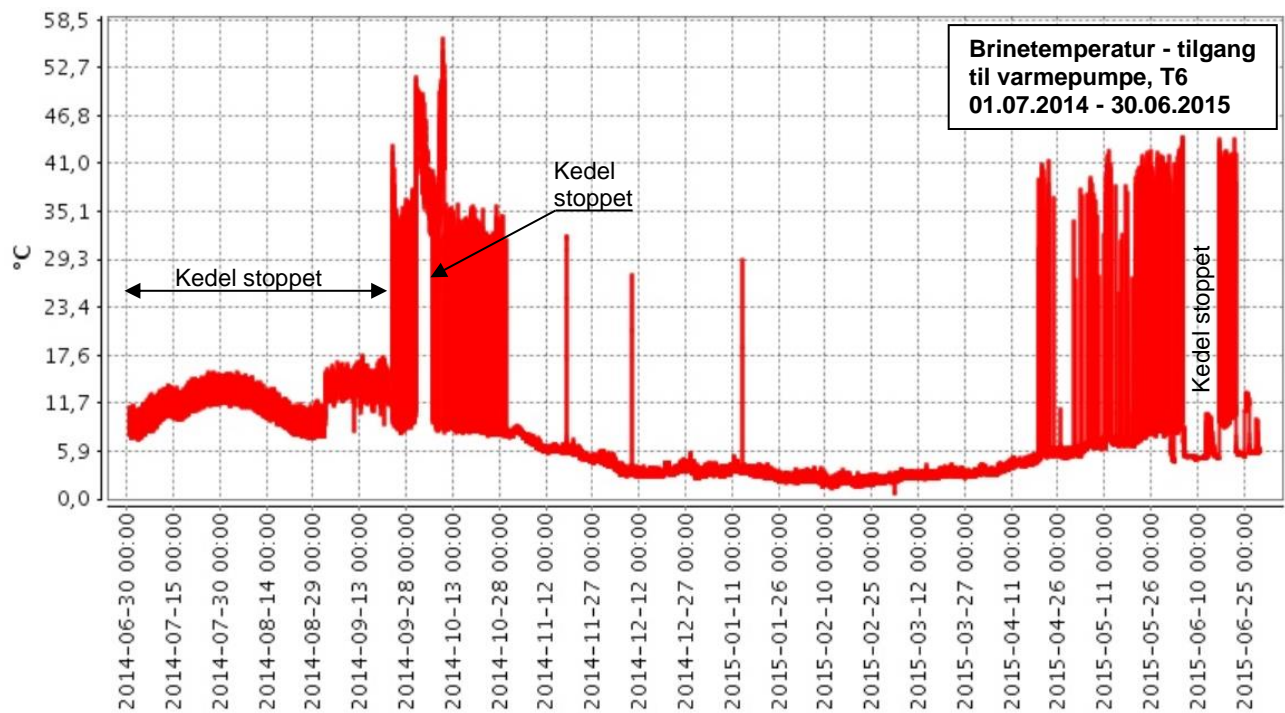


Diagram 7: Brinetemperatur – tilgang til varmepumpe, T6 i referenceperioden (01.07.2014-30.06.2015)

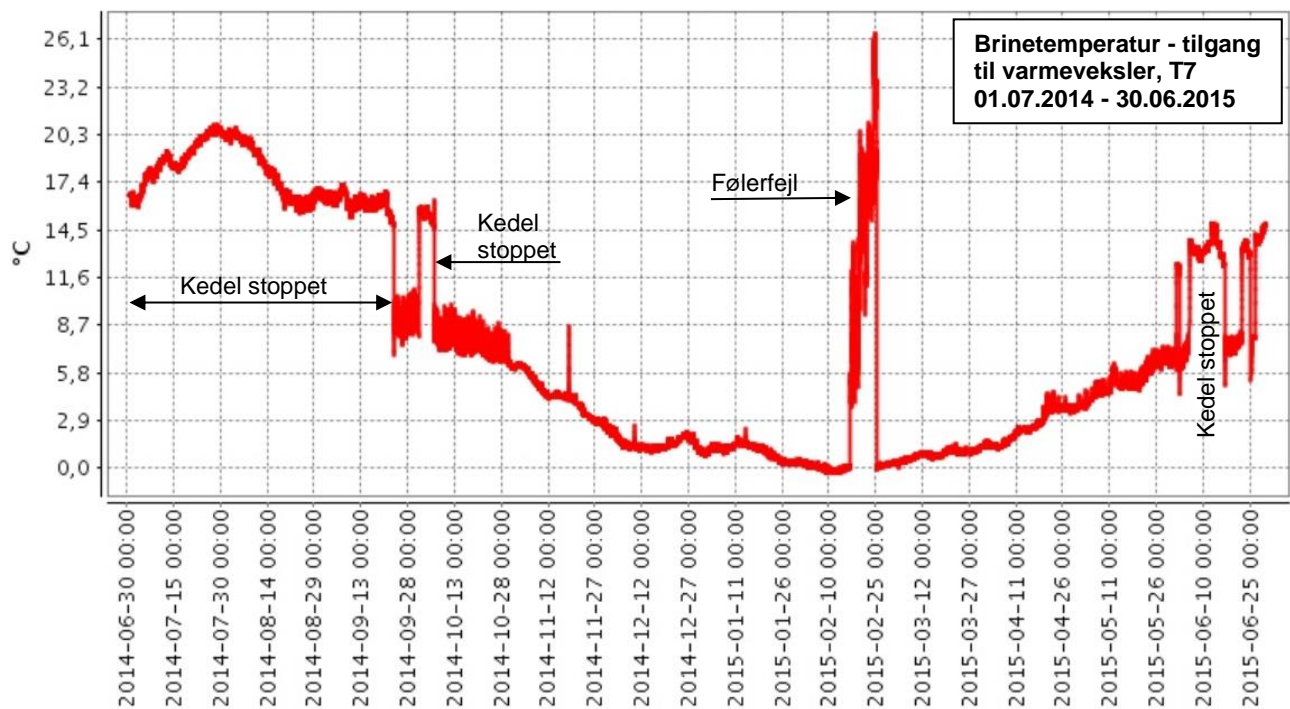


Diagram 8: Brinetemperatur – tilgang til varmeveksler, T7 i referenceperioden (01.07.2014-30.06.2015)

Som det fremgår af diagrammerne 7 og 8 ovenfor, så er jordtemperaturen 8-12°C i juli-september 2014, den falder jævnt til 0°C i februar 2015 for så at stige til 6°C i juni 2015. I juli-september 2015 stiger jordtemperaturen fra 6°C til 8-9°C og falder igen til 6°C, jævnfør diagram 9 nedenfor.

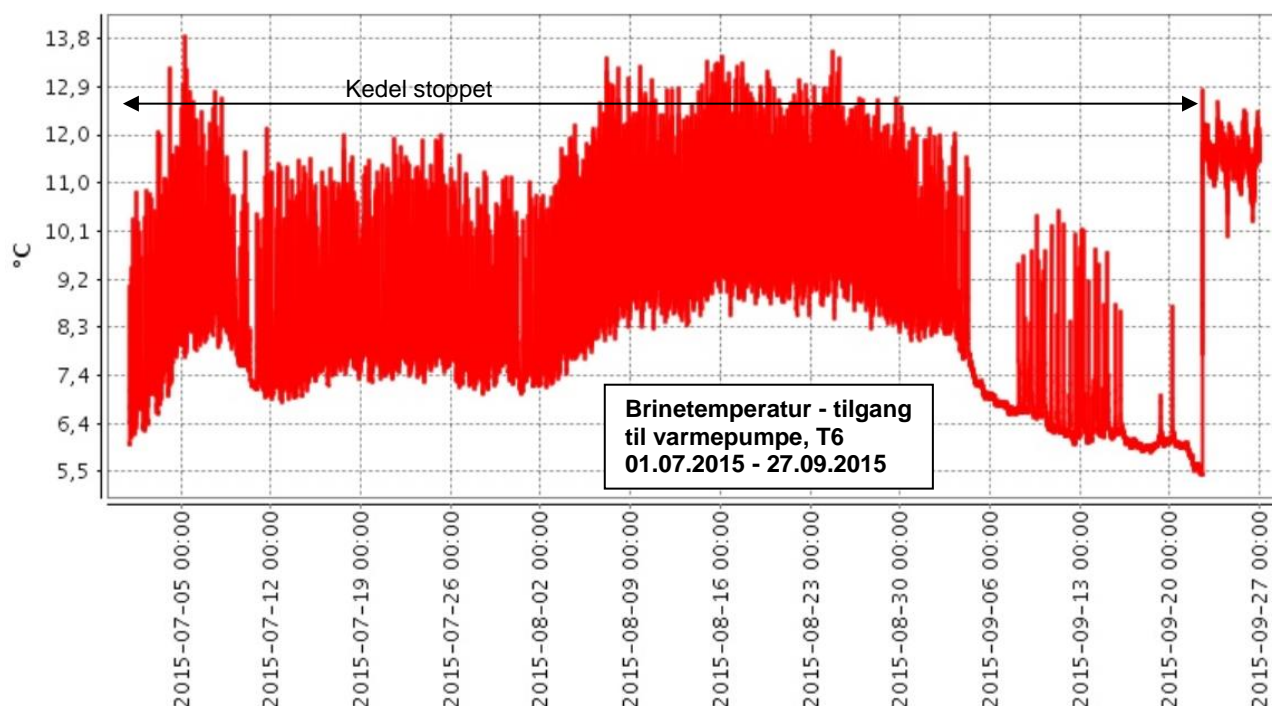


Diagram 9: Brinetemperatur – tilgang til varmepumpe, T6 efter referenceperioden (01.07.2015-27.09.2015)

Normalt vil jordtemperaturen være 12-15°C ved fyringssæsonens start ultimo september, og ved fyringssæsonen slutning primo maj vil den være ca. 0-2°C. På grund af de mange driftstimer (7.900 timer i referenceåret) når jordtemperaturen ikke at regenerere til "normalt" niveau i sommermånederne.

I referenceperiode har varmepumpen haft en gennemsnitlig COP-værdi på 3,08, jævnfør bilag 4. I varmepumpens datablad er års COP-værdien ved +2/+55°C opgivet til 3,46.

I juli, august og september 2014 samt juni 2015, hvor kedlen var stoppet og fremløbstemperaturen fra varmepumpen har været på sit højeste, har COP-værdien har været forholdsvis lav (2,93-2,98, jævnfør bilag 4). Det samme gør sig gældende i maj 2015, hvor COP-værdien var 2,92, selvom kedlen stadig var i drift.

I vinterperioden, er fremløbstemperaturen fra varmepumpen lavere, da flowet i centralvarmevandet øges og temperaturstigningen i buffertanken derved mindskes. Dette medfører en højere COP-værdi (3,00-3,32), jævnfør diagram 10 nedenfor og bilag 4. De højeste COP-værdier opnås i perioden november 2014 – marts 2015 (3,17-3,32).

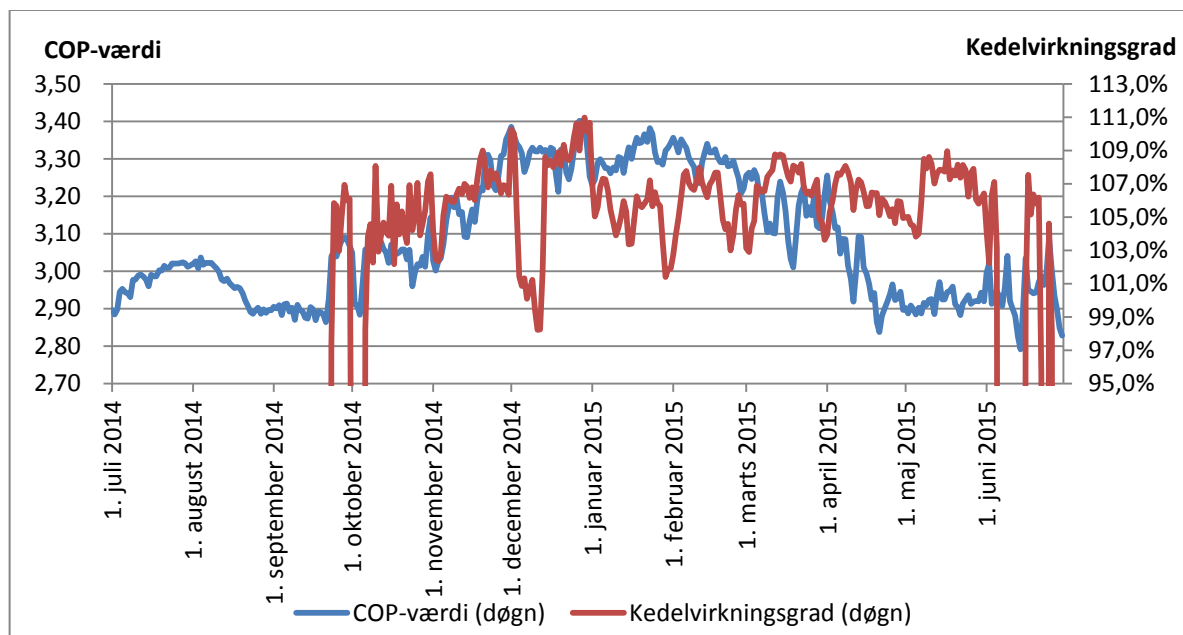


Diagram 10: COP-værdi og kedelvirkningsgrad i referenceperioden (01.07.2014-30.06.2015)

6.5.3 Kedelvirkningsgrad

Den gennemsnitlige kedelvirkningsgrad⁵ har i referenceperioden været 105,8 %, jævnfør diagram 10 ovenfor og bilag 4. Den bedste kedelvirkningsgrad opnås i perioden november-maj.

Referenceperiode: 1. juli 2014 - 30. juni 2015													
	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj.	Jun.	Total
COP	2,98	2,95	2,93	3,03	3,18	3,32	3,31	3,30	3,17	3,00	2,92	2,94	3,08
Kedelvirkningsgrad	0,00%	0,00%	104,5%	103,6%	106,3%	106,3%	105,2%	106,0%	106,7%	106,2%	106,9%	103,7%	105,7%

Tabel 5: COP-værdier og kedelvirkningsgrader (månedsgennemsnit) i referenceperioden.

I testperioden i uge 7-9 (medio februar 2014) blev der gennemført et forløb, hvor kun kedlen var i drift, og hvor fordelingen af flowet gennem den øverste og nederste kedelstuds varieredes. Kedelvirkningsgraden var i denne periode 102,5 %.

Hvis vi sammenligner de 2 driftssituationer vil det sige, at effekten af at køle en delstrøm af returløbet fra centralvarmeanlægget ved hjælp af varmepumpen er en forbedring af kedelvirkningsgraden på ca. 3,3 %.

Returtemperaturen fra centralvarmeanlægget, T2 ligger i fyringssæsonen hovedsageligt mellem 30 og 40°C med en svag stigning i april og maj, jævnfør diagram 12 nedenfor. Temperaturen på tilgangen til nederste kedelstuds ligger, jævnfør diagram 13 nedenfor, i fyringssæsonen mellem 9 og 20°C.

⁵ Virkningsgraden beregnes som summen af energien fra gaskedlen (Energi fra centralvarmeanlæg + energi fra varmeveksler – energi fra varmepumpe) divideret med den tilførte gasmængde. Gasmængden korrigeres for variationer i brændværdien (månedsoptjent) i henhold til Energinet.dk's oplysninger: <http://energinet.dk/DA/GAS/Gasdata-og-kvalitet/Sider/Braendvaerdier.aspx>.

Ser vi på en kurve over kondensatmængde som funktion af røggastemperatur (diagram 14) fremgår det, at gevinsten ved at køle returløbet helt ned til 15°C i forhold til at nøjes med mindre fx 25°C er begrænset.

Når vi i dette forsøg ender med en returtemperatur til nederste kedelstuds på ca. 15°C, skyldes det at vi i testperioden har erfaret, at vi opnår en mere stabil drift af varmepumpen, jo mindre flow der ledes gennem varmeveksleren.

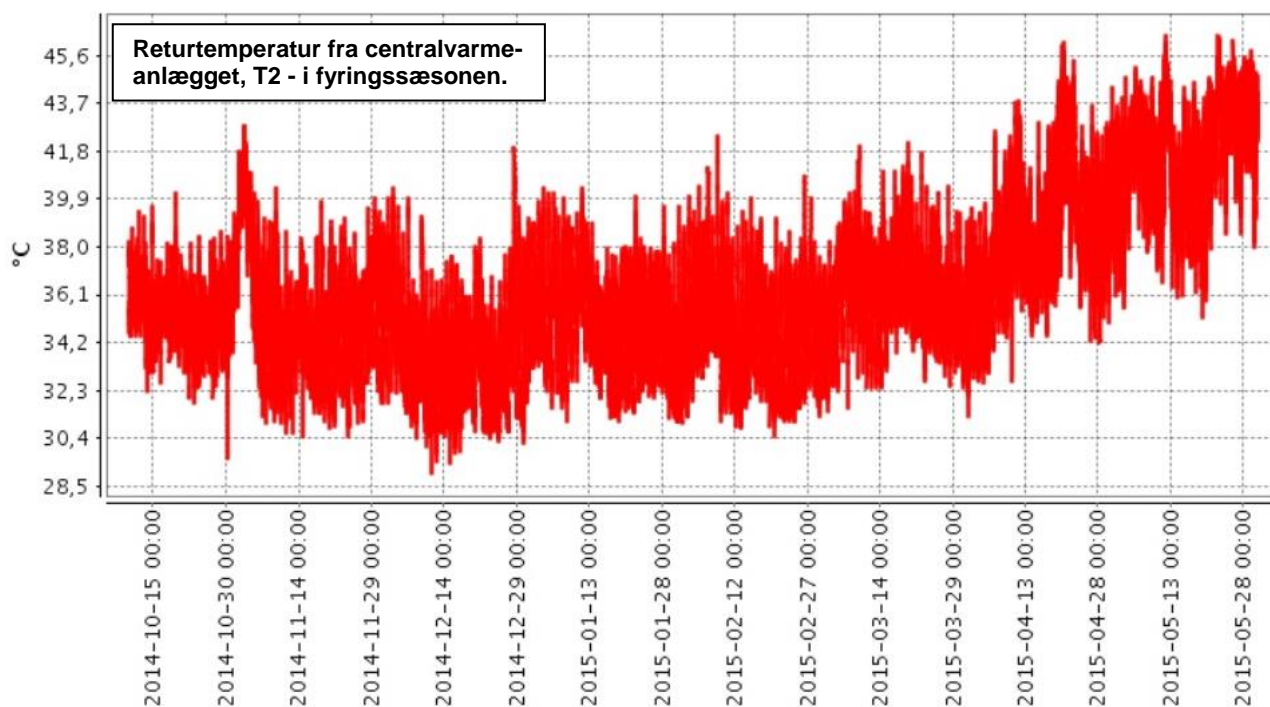


Diagram 12: Returløbstemperatur fra centralvarmeanlægget, T2 (10.10.2014-31.05.2015)

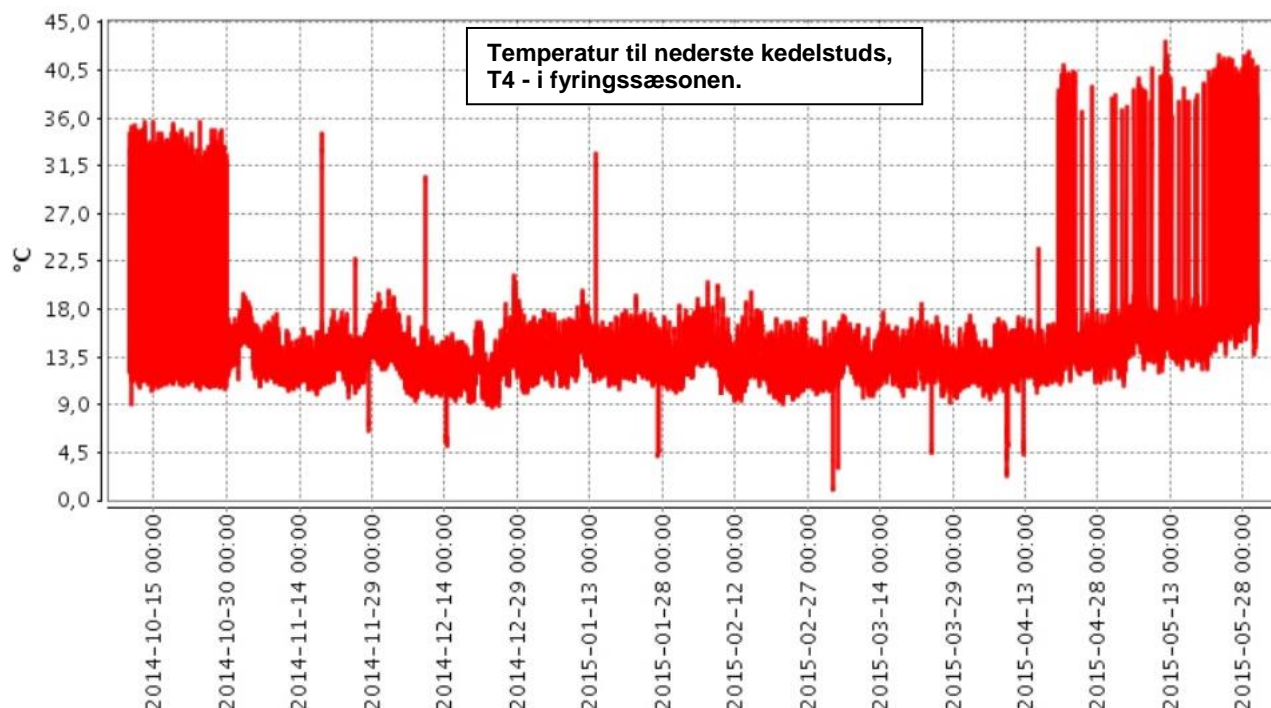


Diagram 13: Temperatur tilgang nederste kedelstuds, T4 (10.10.2014-31.05.2015)

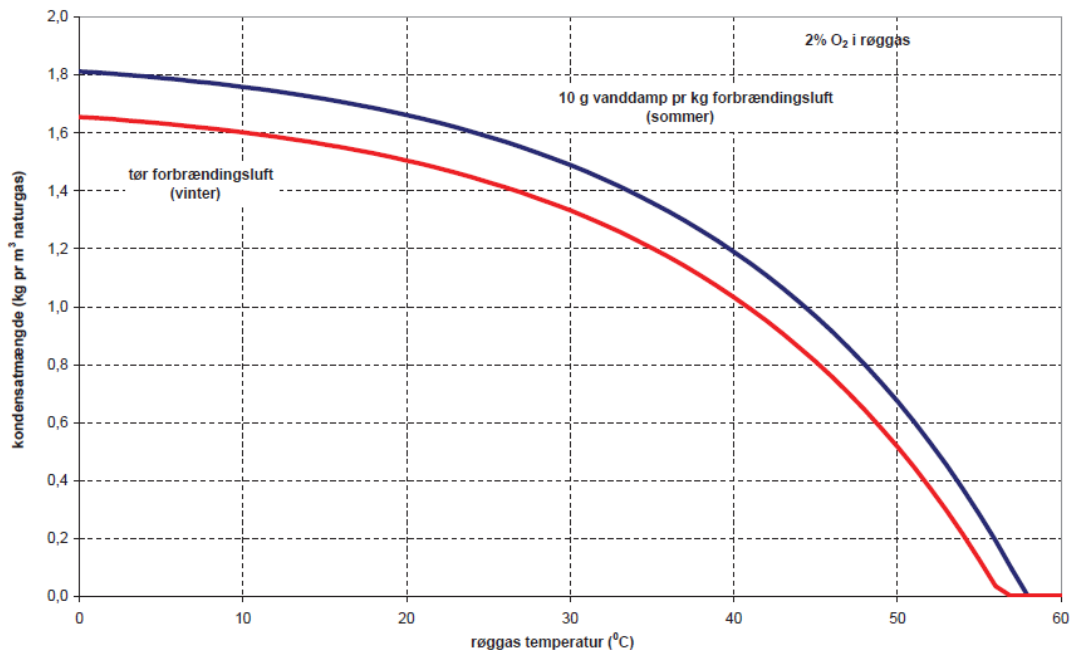


Diagram 13: Kondensatmængde som funktion af røggastemperatur
Kilde: DGC vejledning 65

6.5.4 Driftsresultater

Inden projektstart forventede vi at energibesparelsen ved at kombinere kedlen med en varmepumpe i praksis at besparelsen kunne blive 10-20 % af det samlede årlige energiforbrug til opvarmning. I det aktuelle tilfælde hos Ejerforeningen Nørrelundparken havde vi beregnet en forventet energibesparelse på 252.455 kWh/år (36 %) og en økonomisk besparelse på 48.849 kr./år (12 %), jævnfør bilag 3.

Når de registrerede naturgas- og elforbrug i referenceperioden graddagekorrigeres og sammenlignes med det graddagekorrigerede naturgasforbrug inden projektstart⁶, bliver den samlede energibesparelse ved både at skifte kedel og etablere varmepumpe 264.265 kWh, jævnfør bilag 5.

Ud over ca. 2 uger i februar 2014 under testperioden har vi ikke haft en driftsperiode kun med den nye kedel, og vi har ikke mulighed for at opdele energibesparelsen ved de 2 tiltag. Vi har derfor valgt at holde fast i, at besparelsen ved kedeludskiftning er 78.279 kWh/år svarende til 10 % af det historiske naturgasforbrug, som tidligere beregnet i Gaspro⁷. I Gaspro beregnes kedelvirkningsgraden for den nye kedel til 101 %. Sammenholdt med de opnåede 102,5 % ved ren kedeldrift i testperioden mener vi, at det er en rimelig antagelse at holde fast i Gaspro beregningens resultat.

Energibesparelsen ved at anvende varmepumpen bliver da 185.986 kWh, hvilket svarer til 26 % af det historiske graddagekorrigerede naturgasforbrug.

⁶ Det graddagekorrigerede naturgasforbrug i 2012 anvendes som baseline, jævnfør bilag 3 og 5.

⁷ Ifølge Gaspro-beregningen forbedres kedelvirkningsgraden fra 91 til 101 %.

Økonomisk er resultatet status quo, hvis vi anvender de oprindelige priser på el- og naturgas⁸. Der er faktisk en lille merudgift på 1.082 kr./år. Til alt held har Ejerforeningen Nørrelundparken af Skat fået godkendt delvis godtgørelse af elafgiften⁹, hvorved den økonomiske besparelse i stedet bliver 50.692 kr./år.

6.5.5 Varierende elpris

Varmepumpens effekt er så lille i forhold til varmebehovet, at den har kørt næsten konstant i referenceperioden; den har som tidligere nævnt haft ca. 7.900 driftstimer. Der er således ikke overskydende kapacitet til fx at opvarme en større buffertank i perioder med lav elpris.

Det varme brugsvand fremstilles i pladevarmevekslere i lejlighederne, hvorfor der ikke kan accepteres lavere fremløbstemperatur end 57°C, heller ikke i kortere perioder med lav elpris.

Prisen for at producere varme på kedlen varierer kun i mindre grad med kedelvirkningsgraden. Som det fremgår af diagram 10, har kedelvirkningsgraden hovedsageligt ligget mellem 100 og 110 %. Ved 100 % er prisen 0,60 kr./kWh. Denne pris er anvendt i alle beregningerne. Ved 110 % er prisen 0,55 kr./kWh.

Prisen for at producere varme på varmepumpen varierer i højere grad med COP-værdien. I en situation som her, hvor der gives delvis godtgørelse af elafgiften, vil elprisen altid være lavere end naturgasprisen¹⁰, og det vil derfor altid være en fordel at lade varmepumpen producere så meget varme som muligt.

Hvis der ikke kan opnås delvis godtgørelse af elafgiften, er det, som det fremgår af nedenstående diagram 14, en fordel at lade kedlen overtage varmeproduktionen ved COP-værdier under ca. 2,8.

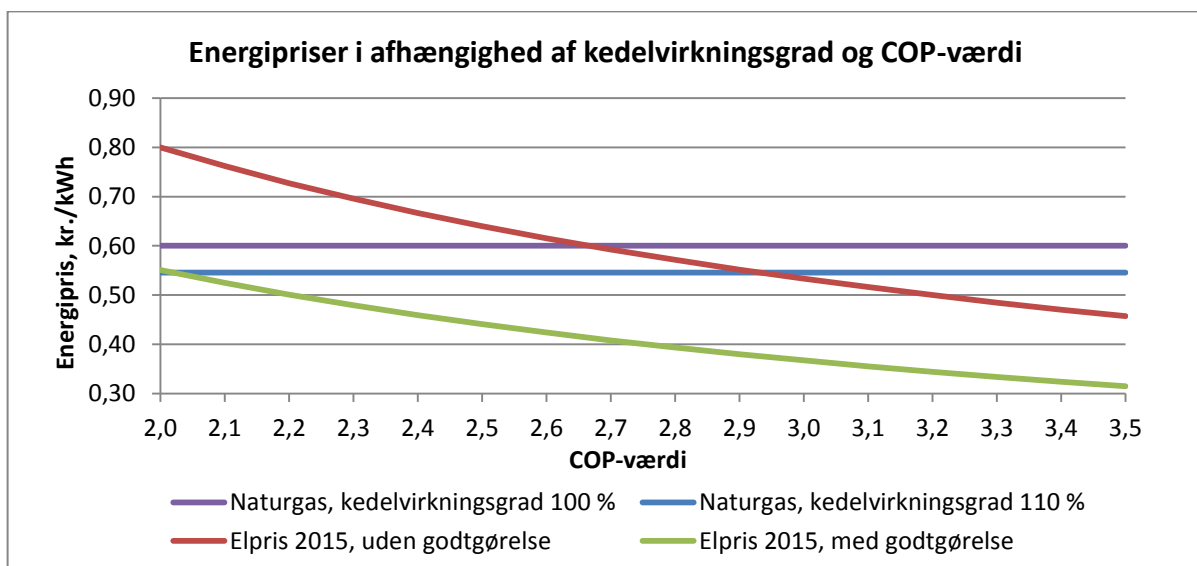


Diagram 14: Energipriser i afhængighed af kedelvirkningsgrad og COP-værdi

⁸ 1,60 kr./kWh el og 6,60 kr./m³ naturgas, ekskl. moms.

⁹ I afsnit 6.2.6 er der redegjort for elprisen og den delvise godtgørelse af elafgiften.

¹⁰ Ved de anvendte naturgas og elpriser, se note 7.

Hvis man med dette koncept vil flytte brændsels-/energiforbruget skal varmepumpens effekt udgøre en større del af den samlede installerede varmeeffekt. Alternativt skal der installeres flere varmepumper.

7. Konklusioner

Projektet idé var at optimere en kondenserende, naturgasfyret kedels drift ved hjælp af en varmepumpe, der køler en delstrøm af returløbet til kedlen, og i øvrigt leverer så meget varme som muligt.

Gennem projektet er en række forhold omkring projektets idé søgt afklaret. På baggrund af dette enkeltstående forsøgsprojekt kan der udledes nogle tendenser og anbefalinger og peges på områder, som kræver ekstra opmærksomhed, hvis man ønsker at etablere tilsvarende anlæg.

Den valgte varmepumpe udgør kun 12 % af den samlede varmeydelse (14 % af maksimal kedelydelse). Alligevel har den leveret 46 % af varmekonsumet i referenceåret. Det har til gengæld betydet, at den har haft 7.900 driftstimer på et år. Dette har igen betydet, at jorden tilsyneladende ikke kan nå at regenerere temperaturmæssigt i sommermånederne. Man kan frygte, at jorden på sigt vil blive så kold, at varmepumpens COP-værdi falder. Ved dimensionering af varmeslanger til denne slags anlæg bør der tages hensyn til den øgede driftstid.

Væske-vand varmepumpen blev foretrukket frem for en luft-vand varmepumpe. Dels for ikke at skæmme området og undgå eventuelle støjgener og dels for at få den lavest mulige medietemperatur til at køle retur vandet til kedlen med. I praksis vil det formentlig ikke have gjort den store forskel, hvis vi i stedet havde valgt en luft-vand varmepumpe, idet forskellen i kondensation ved returtemperaturer (og røggastemperaturer) på henholdsvis 15 og 25°C ikke er særlig stor.

Det har ikke været muligt at opnå COP-værdien på 3,46 ved +2/+55°C, som oplyses af leverandøren. Den gennemsnitlige COP-værdi har i referenceåret været 3,08. Højest i november-marts og lavest i maj-august, hvor varmepumpen leverer al varmen ved 57°C i fremløbet. Præcis hvorfor den lovede COP-værdi ikke opnås, er ikke fuldstændigt afdækket, men det skyldes formentlig en kombination af:

- for korte jordslanger
- lav jordtemperatur på grund af mange driftstimer og
- høj driftstemperatur i sommermånederne.

Kedelvirkningsgraden blev i dette projekt forbedret med godt 3 % ved hjælp af varmepumpen i forhold til ren kedeldrift.

Inden man vælger at installere en varmepumpe på tilsvarende måde som i dette projekt, bør det undersøges, om der kan opnås delvis godtgørelse af elafgiften. Hvis der ikke kan det, kræver det en nøjere analyse af naturgas- og elpriser samt forventet COP-værdi, for at vurdere, om det økonomisk er en god idé.

Den simple tilbagebetalingstid for dette projekt er beregnet til ca. 8 år, når den delvise godtgørelse af elafgiften medregnes. Etablering af en større eller en ekstra varmepumpe samt en større buffertank, så det er muligt at producere varme til lager med varmepumpen ved lave elpriser, vil kræve, at der udvikles en styring, der tager højde for de varierende elpriser og den gældende naturgaspris. Det vil formentlig forlænge tilbagebetalingstiden væsentligt, hvorfor det ikke vurderes at være et realistisk scenarie for nuværende.

Forventningen om at kunne spare 10-20 % på energiforbruget og opvarmningsudgifterne holder stik, hvis den delvise godtgørelse af elafgiften indregnes. I dette projekt blev energibesparelsen 26 % og den økonomiske besparelse på 12 %. Hvis den delvise godtgørelse af elafgiften ikke indregnes, er der i dette projekt ingen økonomisk gevinst.

Det viste sig ret hurtigt efter starten af projektet, at returløbstemperaturen fra centralvarmeanlægget var ca. 5°C lavere end forventet. På anlæg med højere returløbstemperaturer end i dette tilfælde forventes energibesparelsen at blive større. Returtemperaturen må dog ikke være over 55°C, idet varmepumpen ikke kan levere ret meget højere fremløbstemperatur.

8. Potentiale

Kombinationen af en kondenserende, naturgasfyret kedel og en mindre varmepumpe til optimering af returvandstemperaturen til kedlen vurderes at være velegnet til middelstore blokvarmecentraler.

Det anslås, at der stadig findes en hel del varmecentraler i Danmark med en installeret effekt fra 100-1.000 kW, og som anvender naturgas eller olie som brændsel¹¹. På halvdelen af disse varmecentraler vurderes driften af kedlerne at foregå helt uden eller med delvis kondensering af røggassen.

Varmecentralerne findes både hos virksomheder, kommuner og boligforeninger, og er både olie- og naturgasfyrede varmecentraler, hvor en fuldstændig udskiftning til VE-anlæg ikke er mulig og/eller bekostelig.

Løsningen er dog ret dyr, hvis det vælges at anvende en væske-vand varmepumpe.

Styringsmæssigt er løsningen forholdsvis simpel, med standard stand-alone styringer til både kedel og varmepumpe. Styringen til varmevekslernes motorventil kan løses med et mindre CTS-anlæg. Udvikling af en standardiseret styring til varmeveksleren kunne gøre løsningen billigere, men det er tvivlsomt, om det salgsmæssigt potentiale er stort nok til, at det sker.

¹¹ Antal og størrelsen på varmecentraler i Danmark er i forbindelse med ansøgningen for 2 år siden vurderet af Bosch til 5.000 stk. Tallene svarer til de tal, der anvendes i den under punkt 8 omtalte artikel i Gasteknik nr. 5, 2007 af Jan de Witt, Dansk Gasteknisk Center A/S. Spørgsmålet er hvor mange, der er tilbage i dag.

Bilag 1: Supplerende projektbeskrivelse

Problematikken

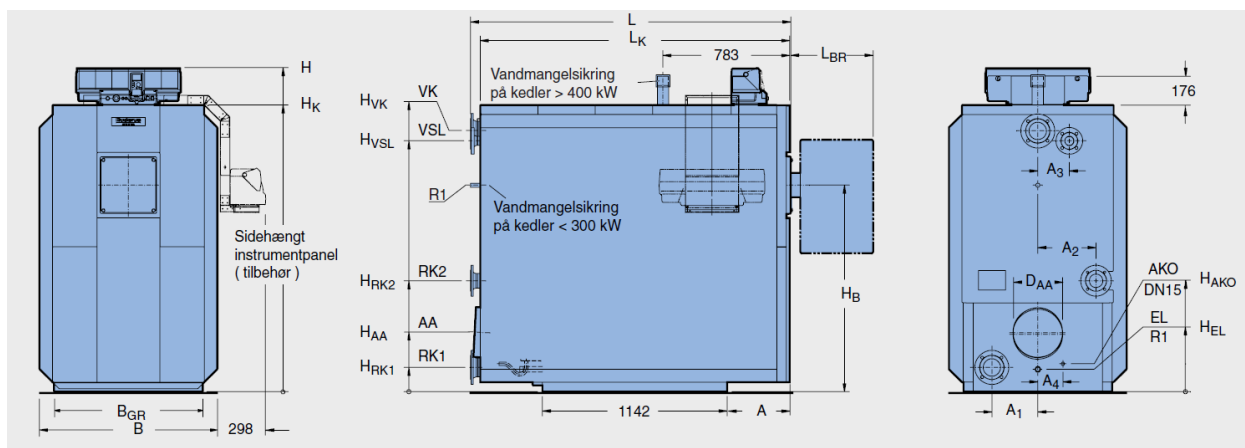
På mange naturgasfyrede kedelanlæg sker der ingen eller kun delvis kondensering af røggassen, selvom der er installeret en kondenserende kedel. Som regel skyldes det, at det tilsluttede transmissions- og varmesystem er designet til høje frem- og returløbstemperaturer.

For at kunne udnytte kondenseringsvarmen fra den vanddamp, der er indeholdt i røggassen, skal røggassen afkøles til under dugpunktet. Røggastemperaturen skal være under 54°C for at få en rimelig kondenserende drift og derved en virkningsgrad på 100 % på en gaskedel. Hvis røggastemperaturen sænkes til 45°C eller 35°C bliver virkningsgraden henholdsvis 103 % og 106 % på gaskedlen. For en oliefyret kedel skal røggastemperaturen under 44°C for at virkningsgraden er 100 %.

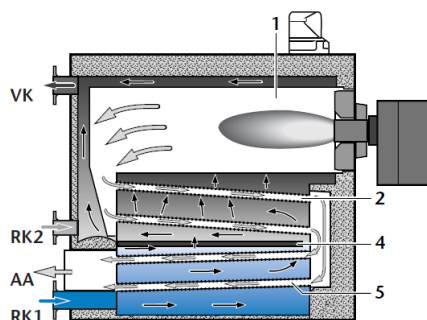
Udskiftning af kedelanlægget med en varmepumpe vil ofte kræve en gennemgribende og bekostelig renovering af transmissions- og varmesystemet, for at få frem- og returtemperaturer bragt ned på et niveau, hvor varmepumpen kører optimalt.

Suppleres kedelanlægget med en traditionel varmepumpe, som monteres på returløbet til kedlen, forringes muligheden for kondenserende drift på kedlen, idet varmepumpen blot hæver returtemperaturen til kedlen.

Kombineres varmepumpen derimod med en kedel med 2 returstudse samt en varmeveksler, hvor returløbet fra varmesystemet dels afkøles yderligere inden det sendes retur til kedlen, og dels forvarmer brinen til varmepumpen, opnås 2 samtidige driftsmæssige fordele.



Figur 1: Eksempel på kondenserende naturgaskedel med 2 returstudse. RK1 og RK2 er returstudse

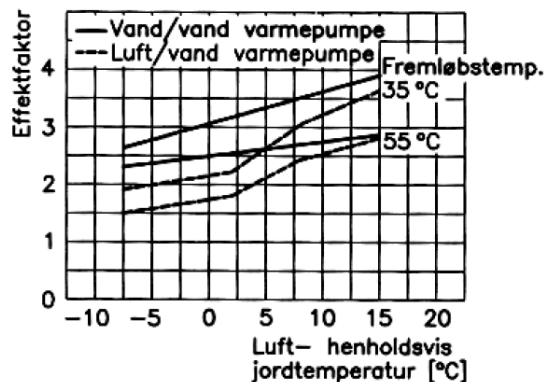


Figur 2: Eksempel på flowforløb gennem kedelkrop

På Figur 2 ses flowforløbet gennem kedelkroppen:

- VK, angiver fremløbstuds
- AA, angiver røggasaftræk
- RK1, angiver kold returstuds
- RK2, angiver varm returstuds

Ved at etablere et system bestående af en varmepumpe i kombination med en kondenserende kedel kan synergien ved de to teknologier kombineres, så der opnås en høj COP faktor for varmepumpen, samtidig med at den kondenserende drift, som en kondenserende kedel giver mulighed for, udnyttes meget mere effektivt, uden at det eksisterende varmesystem skal ombygges.



Figur 3: Eksempel på opnåelig COP faktor for varmepumper

Figur 3 viser et diagram, der er et eksempel på opnåelig COP faktor for mindre varmepumper beregnet til rumopvarmning. Det fremgår af diagrammet, at den højeste effektivitet opnås i lavtemperatursystemer med højst mulig luft- eller jordtemperatur. I det foreslåede system udnyttes den høje returtemperatur fra varmesystemet til at sikre, at varmepumpen har en relativ høj COP faktor gennem hele driftsperioden.

Anlægsbeskrivelse

- Varmepumpe med jordslange eller luftkøler
- Kondenserende kedel med to returstudse
- Buffertank med mulighed for lagdeling
- Varmeveksler til optimeret drift

Varmepumpen opvarmer centralvarmevand fra ca. 40 °C (35-45°C, årstidsafhængigt) til 55°C. Varmen hentes fra en jordslange eller en luftkøler. Der ledes en delstrøm af denne brine gennem en veksler, der opvarmer brinen yderligere ved at køle på returløbet fra centralvarmen. Den højere tilløbstemperatur på brinen giver en forbedret COP værdi på varmepumpen.

Kedlen er forsynet med 2 returløb, for at få en energieffektiv drift. Vandtemperaturen til det ene returløb er ca. 55°C fra varmepumpen. For at få en effektiv kondenserende drift på kedlen er vandtemperaturen på det andet returløb ca. 30°C. Dette sikres ved at lade en delstrøm af returløbet løbe gennem veksleren, hvor man overfører noget af energien til varmepumpen.

Bilag 4: Driftsøkonomisk beregning – efter projektslut

	Referenceperiode: 1. juli 2014 - 30. juni 2015												Total Enhed
	Juli	August	September	Oktober	November	December	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	
Aflæsninger													
Gasforbrug	0	0	3.575	15.413	36.504	59.849	64.908	60.719	48.694	29.744	20.553	5.486	345.443 kWh
Energi fra VP	22.530	24.734	25.757	27.286	31.422	31.079	30.844	27.339	30.440	29.701	30.078	29.272	340.482 kWh
Efterforbrug til VP	7.568	8.377	8.789	9.004	9.879	9.366	9.327	8.296	9.616	9.910	10.309	9.955	110.397 kWh
COP	2,98	2,95	2,93	3,03	3,18	3,32	3,31	3,30	3,17	3,00	2,92	2,94	3,08
Energi fra varmeveksler	0	0	890	3.885	7.678	9.179	10.109	9.329	9.565	8.555	8.586	3.298	71.074 kWh
Graddagekorrigeret													
GUF	22.530	24.552	23.760	24.552	23.760	24.552	24.552	22.176	24.552	23.760	24.552	23.760	287.058 kWh
GAF VP	0	86	2.979	3.958	9.934	7.130	7.594	6.061	7.123	7.052	4.728	4.099	60.745 kWh
GAF gas	0	0	5.333	22.311	47.330	65.380	78.342	71.278	58.910	35.306	17.584	4.080	405.855 kWh
Sum af GUF og GAF	22.530	24.638	32.072	50.821	81.025	97.062	110.488	99.515	90.585	66.118	46.864	31.938	753.657 kWh
Efterforbrug	7.568	8.345	9.124	9.408	10.594	9.548	9.721	8.568	10.007	10.281	10.036	9.475	112.673 kWh
Tilført energi til VP og kedel (gas+efterforbrug)	7.568	8.345	14.457	31.719	57.924	74.927	88.063	79.846	68.917	45.587	27.620	13.554	518.528 kWh
Økonomi													
Gasforbrug	0	0	3.200	13.387	28.398	39.228	47.005	42.767	35.346	21.184	10.551	2.448	243.513 kr.
Efterforbrug	8.631	9.517	10.406	10.730	12.082	10.889	11.087	9.772	11.413	11.725	11.446	10.806	128.504 kr.
Sum af el- og gasforbrug	8.631	9.517	13.606	24.117	40.481	50.117	58.092	52.539	46.758	32.909	21.997	13.254	372.017 kr.
Antal graddage, perioden	5	38	61	143	263	422	430	414	367	262	180	78	2.663 Graddage
Antal graddage, normalår	22	18	91	207	341	461	519	486	444	311	154	58	3.112 Graddage
Kedelvirkningsgrad	0,00%	0,00%	104,5%	103,6%	106,3%	106,3%	105,2%	106,0%	106,7%	106,2%	106,9%	103,7%	105,8%
Gas-pris:	6,60 kr/m ³												
kWh-pris. Gas	0,60 kr/kWh (ved 11 kWh/m ³)												
kWh-pris. El	1,14 kr/kWh												

Bilag 5: Driftsøkonomisk opgørelse til Nørrelundparken

Denne udregning af besparelsen er lavet specielt til Ejerforeningen Nørrelundparken. I den første tabel er anført forventet besparelse beregnet på baggrund af naturgasforbruget i 2012. I de 2 sidste tabeller er den opnåede besparelse beregnet med og uden graddagekorrektion samt med og uden delvis godtgørelse af elafgiften.

Ejerforeningen Nørrelundparken						Dato: 17.09.2015	
Elforskningsprojekt nr. 345-058: Kedel optimeret med returvandskøling							
Energiforbrug og udgifter: NORMALDRIFT							
Før projektstart (udgangspunkt)	Forbrug		Energipris		Udgift	Besparelse	
Jævnfør Bilag 3 til ansøgningen.	Nm ³ /år	kWh/år	kr./m ³	kr./kWh	kr./år	kWh/år	kr./år
Historisk gasforbrug 2012	68.365	752.015	6,60	0,60	451.209		
Historisk gasforbrug graddagekorrigeret	71.163	782.793	6,60	0,60	469.676		
Beregnet gasforbrug med ny kedel (-10 %)	64.047	704.513	6,60	0,60	422.708	78.279	46.968
Beregnet gasforbrug med VP	31.767	349.435	6,60	0,60	209.661		
Beregnet elforbrug med VP		102.624		1,60	164.198		
Beregnet energiforbrug i alt med VP		452.059			373.859	252.455	48.849
Beregnet besparelse i alt med både ny kedel og VP						330.734	95.817
Forbrug i referenceperioden	Forbrug		Energipris		Udgift	Besparelse	
01.07.2014-30.06.2015	Nm ³ /år	kWh/år	kr./m ³	kr./kWh	kr./år	kWh/år	kr./år
Naturgasforbrug, målt	31.404	345.443	6,60	0,60	207.266		
Elforbrug, målt UDEN rabat på elafgift		110.397		1,60	176.636		
Samlet energiforbrug, målt		455.841			383.902	296.174	67.307
Naturgasforbrug, graddagekorrigeret	36.896	405.855	6,60	0,60	243.513		
Elforbrug, graddagekorrigeret		112.673		1,60	180.277		
Samlet energiforbrug, graddagekorrigeret		518.528			423.790	264.265	45.886
Besparselsen ved kedeludskiftningen:						78.279	46.968
Besparselsen ved at installere og anvende varmepumpen er:						185.986	-1.082
Forbrug i referenceperioden	Forbrug		Energipris		Udgift	Besparelse	
01.07.2014-30.06.2015	Nm ³ /år	kWh/år	kr./m ³	kr./kWh	kr./år	kWh/år	kr./år
Naturgasforbrug, målt	31.404	345.443	6,60	0,60	207.266		
Elforbrug, målt MED rabat på elafgift		110.397		1,14	125.908		
Samlet energiforbrug, målt		455.841			333.174	296.174	118.035
Naturgasforbrug, graddagekorrigeret	36.896	405.855	6,60	0,60	243.513		
Elforbrug, graddagekorrigeret		112.673		1,14	128.504		
Samlet energiforbrug, graddagekorrigeret		518.528			372.017	264.265	97.659
Besparselsen ved kedeludskiftningen:						78.279	46.968
Besparselsen ved at installere og anvende varmepumpen er:						185.986	50.692
Rødlig markering er faktiske målte forbrug.							
Grønlig markering er graddagekorrigerede forbrug.							

Bilag 6: Drifts- og betjeningsvejledning



ELFORSK projekt nr. 345-05

Ejerforeningen Nørrelundparken Blokvarmecentral

Varmepumpe kombineret med kondenserende kedel Kondenserende kedel optimeret med returvandskøling



DRIFTS- OG BETJENINGSVEJLEDNING FOR VARMEPUMPE- OG VEKSLERINSTALLATION



Ejerforeningen Nørrelundparkens blokvarmecentral
Drifts- og betjeningsvejledning for varmepumpe- og vekslerinstallation
ELFORSK projekt nr. 345-058

Side: 2 af 8
Dato: 01.06.2015

Indhold

1. Beskrivelse af centralvarmeanlægget.....	3
2. Kedel.....	3
3. Varmepumpe.....	4
3.1. Oversigt over følere i varmepumpens indbyggede styring	4
4. Varmeveksler og CTS-anlæg	5
4.1. Reguleringsstrategi	5
4.2. Sommer-/vinterdrift.....	5
5. Energimålinger	5
6. Driftsweb	5
7. Flowdiagram.....	6

1. Beskrivelse af centralvarmeanlægget

Blokvarmecentralen på Farupvej 3A, 6760 Ribe forsyner Ejerforeningen Nørrelundparkens 42 lejligheder, et fælleshus samt en kontor- og værkstedsbygning med varme.

I varmecentralen, der er etableret i oktober 2013 til afløsning af en ældre varmecentral, er opstillet:

- 1 stk. naturgasfyret, kondenserende kedel fabrikat Robert Bosch, type Logano plus SB615, 310 kW.
- 1 stk. vand-vand varmepumpe fabrikat Robert Bosch, type Greenline HE D43, 43 kW med 2.200 m jordvarmeslanger nedgravet vest for Nørrelundparken 6A-C og 7A-G.
- 1 stk. varmeveksler fabrikat Alfa Laval, type CB30-24L.
- 1 stk. 750 l buffertank fabrikat Bosch, type P 750W..

I hver lejlighed er der et direkte tilkøbet radiatoranlæg og en brugsvandsvarmeveksler.

Cirkulationspumpen i centralvarmeanlægget kører konstant og er indstillet til hele tiden at holde et konstant tryk i anlægget.

Der er omløb med termostatventiler i de fjerneste ender af fordelingsledningerne for at sikre komforten hos forbrugerne.



Foto 1: Område med jordvarmeslanger er markeret med gult, kedelcentralen med K.

Varmepumpen opvarmer centralvarmevand fra ca. 40 °C (35-45°C, årstidsafhængigt) til 57°C. Varmen hentes fra en jordslangen. Der ledes en delstrøm af denne brine gennem varmeveksleren, der opvarmer brinen yderligere ved at køle på returløbet fra centralvarmen.

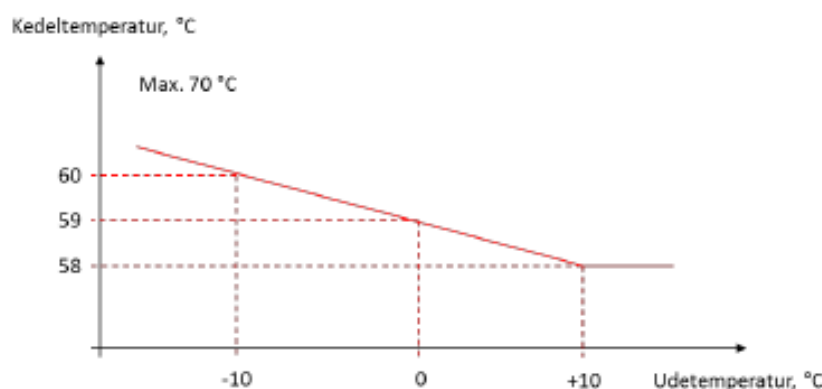
Kedlen er forsynet med 2 returløb. Vandtemperaturen til det ene returløb (det øverste) er ca. 57°C fra varmepumpen. For at få en effektiv kondenserende drift på kedlen er vandtemperaturen på det andet returløb max. 30°C. Dette sikres ved at lade en delstrøm af returløbet løbe gennem varmeveksleren, hvor noget af energien overføres til varmepumpen.

2. Kedel

Kedlens drift bestemmes af indstillingerne i den indbyggede kedelstyring.

Tidsprogrammet i kedelstyringen anvendes ikke.

Kedelstyringen er med udetemperatur-kompensering og regulerer efter den indstillede fremløbstemperatur, som illustreret på nedenstående kurve:



For at få varmepumpen til at køre mest muligt, skal der være så stort et flow gennem centralvarmeanlægget som muligt. Jo lavere fremløbstemperatur T1 til centralvarmeanlægget (samme temperatur som kedeltemperatur), desto større flow.

3. Varmepumpe

Varmepumpens drift er bestemt af indstillingerne i den indbyggede styring. Pt. er styringen indstillet til at holde en fremløbstemperatur på 57°C ved føler T10 efter buffertanken (føleren er benævnt T1 i varmepumpens styring, jævnfør nedenstående oversigt).

3.1. Oversigt over følere i varmepumpens indbyggede styring

Føler nr. i varmepumpens indbyggede styring ¹⁾	Mediet, der måles på	Føler nr. på flowdiagram
Eksternt placerede følere, som er tilsluttet varmepumpens regulering:		
T1	Fremløb fra buffertank til kedel	T10
T2	Udetemperatur	T _{ude}
Interne følere i varmepumpen:		
T6	Hotgasføler. Den fordampede gas, efter kompressoren.	
T8	Fremløb på varmepumpens sekundære side (Centralvarmeanlægget)	T9
T9	Returløb på varmepumpens sekundære side (Centralvarmeanlægget)	T8
T10	Den indkomne brine	T6
T11	Den udgående brine	T5

¹⁾ De nævnte følere er markeret på flowdiagrammet i parentes, med kursiv skrift og farven magenta.

Varmepumpens styring har også mulighed for udetemperatur-kompensering. Denne funktion udnyttes ikke.

Når varmepumpen i overgangsperioderne sent forår og tidligt efterår ikke længere kan køre kontinuerligt, men begynder at have en del start/stop, kan der forekomme alarmer på temperaturføler T10 (i varmepumpestyringen).

Disse alarmer forstyrrer ikke varmepumpens normale drift og kan resettes manuelt.

4. Varmeveksler og CTS-anlæg

4.1. Reguleringsstrategi

CTS-anlægget styrer, hvor stor en del af returflowet fra centralvarmeanlægget, der skal have en tur gennem varmeveksleren, inden det ledes retur til kedlen.

Den modulerende reguleringsventil, der fordeler returflowet fra centralvarmeanlægget mellem varmeveksler/kedel og buffertank/varmepumpe, styres efter temperaturen i T4 som holdes på max. ca. 30°C (gerne under 30°C, da det forbedrer kedlens virkningsgrad).

For at få den mest energiøkonomiske drift på kedlen er vandmængden, der løber gennem F2, lig med min. 15 % af den vandmængde der løber gennem F1. Ventilens åbningsgrad reguleres indenfor max. 60 % og min. 15 %.

Hvis der opstår behov for at ændre på reguleringsparametrene kontaktes CTS-afdelingen hos SE Energi & Klima, telefon 70 11 50 55.

4.2. Sommer-/vinterdrift

Når udetemperaturen er så høj, så varmepumpen kan dække hele varmebehovet slukkes kedlen og ventiler mærket S/V (på flowdiagrammet) lukkes:

- Afspærringsventilen på den nederste returledning til kedlen
- 3-vejsventilen ved flowmåler F3 lukkes for flow gennem varmeveksleren.

5. Energimålinger

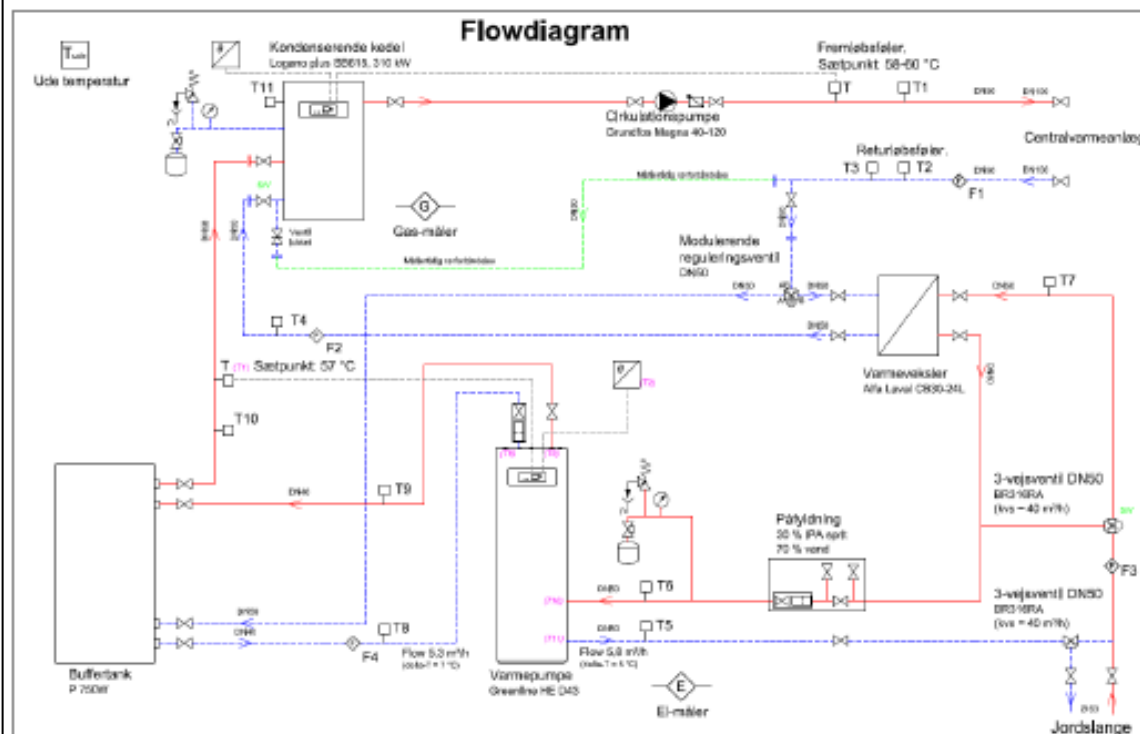
Oversigt over energimålinger i varmecentralen:

Energimåling	Flowmåler	Temperaturfølere	
E1 – Total leveret varmeenergi	F1	T1	T2
Gasmåler til kedel			
E2 – Energi overført fra varmeveksler	F2	T3	T4
E3 – Energi fra jordslange og varmeveksler	F3	T5	T6
E4 – Energi fra jordslange	F3	T5	T7
E5 – Energi fra varmeveksler	F3	T6	T7
E6 – Varmeenergi fra varmepumpen	F4	T8	T9
Elmåler til varmepumpen			

6. Driftsweb

Varmecentralen kan overvåges på driftswebben: <http://norrelundparken.se-bb.dk>, hvor aktuelle registreringer af temperaturer, flow, tryk mv. løbende vises på flowdiagrammet.

7. Flowdiagram



Bosch SE Big Blue
 Rådgivning A/S

Navn: Kondenserende kedel optimeret med returvandskøling.
 Design: IBM / JWP Dato: 2015-06-01

Nørrelundparken
 Farupvej 3A, Ribe