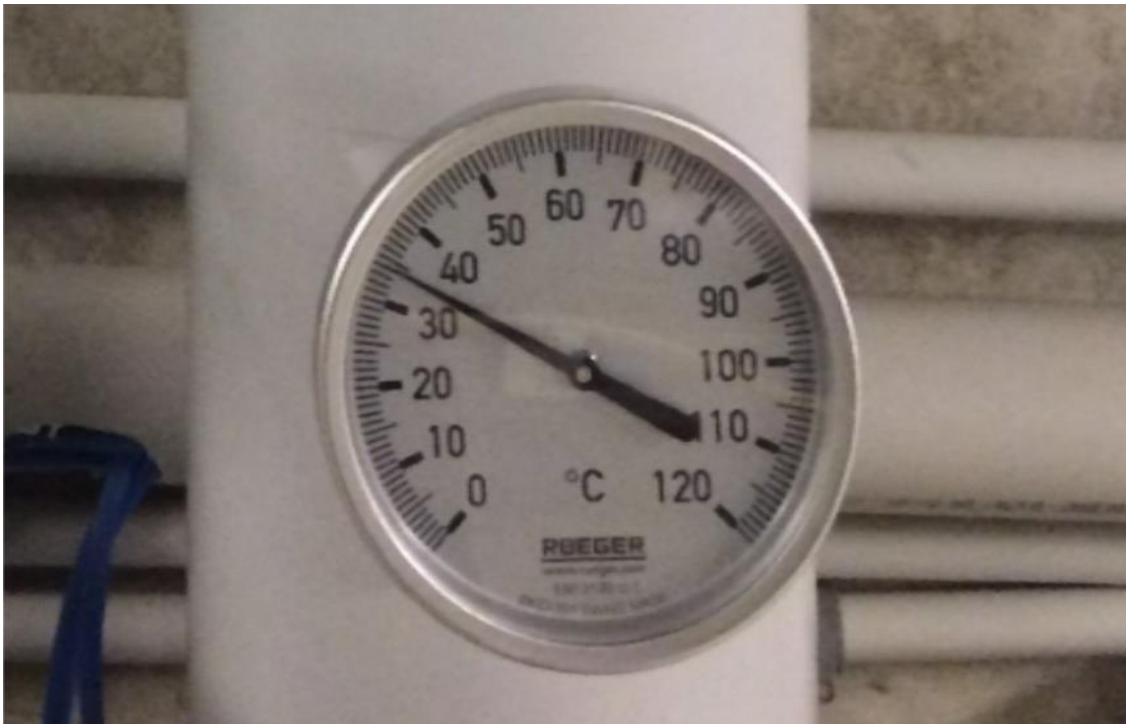


64015-0053 - ULTRA-LAVTEMPERATURFJERNVARME I BOLIGBLOKKE



Projektansvarlig

Sweco Danmark

Projektpartnere:

I/S Norfors

Hørsholm Almene Boligselskab.

2017-09-29

Udarbejdet:
Christian Nørr Jacobsen, Kasper Qvist, Johnny Iversen

Godkendt:
Christian Nørr Jacobsen

Indholdsfortegnelse

1	Projektinformationer	4
2	Projektets formål og resultater	4
3	Resumé	5
4	Introduktion	7
4.1	Teknisk definition af FV, LTFV og ULTFV	7
4.2	Baggrund for projektet	7
4.3	Projektbeskrivelse	9
5	Demonstrationssite	10
6	Overordnet systemanalyse af eksisterende forhold	11
6.1	Louiselunds placering i ledningsnettet	11
6.2	Varmecentraler i Louiselund	11
6.2.1	Brugsvand	12
6.2.2	Rumvarme	12
6.3	Afgrænsning af demonstrationsanlæg	13
6.4	Indledende test med sænkning af temperaturramper	14
7	Erfaringer og overvejelser omkring valg af varmepumpe	15
7.1	Udfordringer med valg af kølemiddel	16
7.2	Alternative kølemidler i varmepumpekoncept	17
7.2.1	Ammoniak:	17
7.2.2	CO ₂ :	17
7.2.3	Andre typiske kølemidler:	17
7.3	Kriterier for varmepumpeløsning	18
7.4	Valg af varmepumpe til ULTFV-koncept	18
8	Detaljeret konceptbeskrivelse	19
9	Ejerforhold og tariffer	21
9.1	Ejerforhold af indkøbt materiel	21
9.2	Tariffer	21
10	Implementering og idriftsættelse	21
10.1	Distributionsnet	21
		1(43)

10.2	Rørføring i varmecentral	21
10.3	Varmepumpe	22
10.4	Udfordringer med implementering af ULTFV konceptet som retrofit	23
10.4.1	Genanvendelse af komponenter	24
10.4.2	Pladsforhold	24
10.4.3	Legionella sikring	25
10.4.4	Usikkerhed om systemrespons	25
10.5	Implementering i nybyggeri	26
11	Måling, overvågning og analyse	26
11.1	Definition af alternativer som ULTFV måles op imod	26
11.2	Udarbejdelse af måleprogram	26
11.3	Målinger og dokumentation af drift og performance	27
11.3.1	Måling af fremløbstemperatur fra blandesløjfe	27
11.3.2	Måling af returtemperatur fra blandesløjfe	28
11.3.3	Vurdering af hvor meget temperaturen i den forsynende returledning reduceres og effekt på øget kapacitet i nettet	29
11.3.4	Performance af varmpumpe	32
11.4	Brugerøkonomi	33
11.5	Analyse af koncept i relation til alternativer	34
11.5.1	Fremløbs- og returtemperatur	34
11.5.2	Konceptets egnethed for fordele i samspil med andre VE-teknologier	36
12	Rammevilkår for ULTFV	37
12.1	Krav om gulvvarme	37
12.2	ULTFV er mest oplagt ved nybyggeri	38
12.3	Boligblokkens placering i fjernvarmenettet.	38
12.4	Tilpassede ULTFV-tariffer	38
13	Tiltag i eksisterende boligblokke	39
13.1	Anvendelse af varme fra hovednettets returledning	39
13.2	Udskiftning af varmtvandsbeholder	40
13.3	Udskiftning af varmeveksler	40
13.4	Identifikation af potentielle boligblokke til (L)TFV	40
13.4.1	Placering i nettet	41
13.4.2	Varmeeffekt i boligblokken	41
13.4.3	Internt varmesystem	41
13.4.4	Forestående vedligehold og nuværende afkøling	41
14	Potentiale i Norfors' forsyningsområde	41
15	Formidling	43

16 Anbefalinger

43

Bilag

Bilag 1 Overordnet principdiagram nr. 1

Bilag 2 Overordnet principdiagram nr. 2

Bilag 3 Måleprogram

Forkortelser

FV Traditionel fjernvarme

LTFV Lavtemperaturfjernvarme

(L)TFV Et temperaturniveau mellem traditionel fjernvarme og lavtemperaturfjernvarme

ULTFV Ultra-lavtemperaturfjernvarme

1 Projektinformationer

Projekttitel	Ultra-Lavtemperaturfjernvarme i boligblokke
Projektidentifikation	64015-0053
Navn på programmet der har støttet projektet.	EUDP – Det Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram
Projektansvarlig virksomhed	Sweco Danmark, Granskoven 8, 2600 Glostrup
Projektpartnere	I/S Norfors, Savsvinget 2, 2970 Hørsholm Hørsholm Almene Boligselskab, v. DAB, Finsensvej 33, 2000 Frederiksberg
CVR-numre	Sweco Danmark: 48233511 I/S Norfors: 14748539 Hørsholm Almene Boligselskab: 26386489
Afleveringsdato	29.09.2017

2 Projektets formål og resultater

Dansk

Nærværende projekt har haft til formål, at udvikle, demonstrere og fremme et energieffektivt Ultra-lavtemperaturfjernvarme (ULTFV) koncept med en brugsvandsløsning til boligblokke, hvor brugsvandet delvist opvarmes vha. en varmepumpe, der anvender fjernvarmens returledning som varmekilde, således at det muliggør en fremløbstemperatur på fjernvarmen helt ned til 35 °C.

Projektet har trods udfordringer med at finde en egnet varmepumpe, samt udfordringer med at implementere ULTFV konceptet som retrofit i en eksisterende boligblok, vist at forsyning med ULTFV kan forsyne en boligblok med den nødvendige varmekomfort. Systemet havde en fremløbstemperatur til boligblokken på 40-45 °C, og til tider ned til 35 °C, mellem maj og august og kølede samtidig returvandet fra den øvrige del af byggeriet med 22,2 °C.

English

The purpose of this development and demonstration project was to develop, demonstrate and promote an energy efficient Ultra-Low temperature district heating (ULTDH) concept with a domestic hot water (DHW) solution with a storage tank for housing blocks, according to which DHW is partially heated by means of a heat pump, enabling district heating supply temperatures as low as 35°C

Despite the challenges of finding a suitable heat pump and implementing the ULTDH concept as a retrofit project in an existing housing block, the project has demonstrated that ULTDH can supply the necessary heating comfort to a residential block. The system had a forward temperature of 40-45 °C to the residential block, at times down to 35 °C between May and August, while cooling the return water from the other part of the building complex at 22,2 °C.

3 Resumé

Nærværende EUDP-projekt omhandlende udvikling og demonstrering af et Ultra-lavtemperaturfjernvarme (ULTFV)-koncept til boligblokke blev udført i perioden juli 2015 til og med juni 2017. Projektet har baseret sig på en række tidligere udførte støttede udviklings- og demonstrationsprojekter som har fokuseret på ULTFV til husstande. Der var ikke udvalgt en boligblok inden projektet begyndelse, men plejehjemmet Louiselund i Kokkedal blev i projektgruppen udvalgt som et demonstrationssite for implementering af ULTFV-konceptet primært baseret på, at byggeriet var nyt og næsten udelukkende opvarmet med gulvvarme.

Der blev foretaget en række systemanalyser på de eksisterende forhold i Louiselund, herunder test med sænkning af de oprindelige temperaturramper til rumvarmekredsen, for at sammensætte et ULTFV-koncept, der kunne implementeres som et retrofit til det eksisterende system.

Valget af varmepumpe til konceptet gav en del udfordringer, da de identificerede kommercielle løsninger, skulle kunne klare en indgangstemperatur til fordampere på 30-55 °C. Enten var varmepumpeløsningerne med brændbare kølemidler og underlagt ATEX krav grundet en fyldning på >1 kg, eller også måtte konceptet gå på kompromis og vælge en løsning, hvor indgangstemperaturen til fordampere blev blandet ned til maks. 20 °C. Udfordringerne med at finde en optimal varmepumpeløsning set fra et energimæssigt, økonomisk, pladsmæssigt og sikkerhedsmæssigt synspunkt rykkede den oprindelige tidsplan væsentligt. Valget blev et kompromis mellem de ønskede parametre for overhovedet at kunne udvikle og demonstrere et ULTFV-koncept i boligblokke. Den valgte varmepumpe blev en Thermia Robust ECO 26, som oprindeligt er designet til jordvarme eller anden lavtemperatur kilde.

ULTFV-systemet blev idriftsat i januar-februar 2017 som et retrofit på et eksisterende system. Løbende overvågning med driften efterfølgende viste, at systemet ikke kørte så optimalt, som det var ønsket, selvom ULTFV-systemet dog leverede den varmeydelse boligblokken krævede. En række yderligere tiltag, såsom udskiftning af varmtvandsbeholder tilpasset varmepumpen, varmeveksler samt automatisering af legionellabekæmpelsesprogram, blev implementeret for at optimere systemet.

Siden idriftsættelse af ULTFV-systemet i begyndelsen af 2017 har der været gennemført et omfattende måleprogram, for at dokumentere konceptets systemmæssige performance. Resultater fra måleprogrammet har vist, at det er lykkedes succesfuldt at forsyne den udvalgte boligblok med ULTFV. I februar var døgnmiddelværdien for fremløbstemperatur ca. 55-60 °C frem til boligblokken mens der fra midten af maj til og med august var en døgnmiddelværdi for fremløbstemperaturen ca. 40-45 °C. I projektet

anvendes varmen i returledningen i Louiselund til at forsyne én varmecentral (P1/P2). I P1/P2 blev returvarmen i gennemsnit afkølet med 22,2 °C over hele måleperioden. Afkølingen i P1/P2 medførte, at den samlede returtemperatur fra Louiselund tilbage til Norfors' hovednet i gennemsnit blev sænket med ca. 5 °C. Baseret på den konverterede varmeeffekt til ULTFV i P1/P2 (172 kW) har overordnede teoretiske estimater vist, at Norfors skal konvertere ca. 2,9 MW installeret varmeeffekt (ca. 4,5% af kraftvarmeværkets maksimale varmeeffekt) til ULTFV for at reducere returtemperaturen tilbage på værket med 1 °C.

På baggrund af den indsamlede datamængde fra projektet samt en række antagelser er brugerøkonomien ved ULTFV-forsyning ift. traditionel fjernvarmeforsyning beregnet. Resultatet viser en marginalt højere brugerøkonomisk omkostning ved ULTFV, ud fra gældende tarifsistem. Beregningsresultatet underbygger vigtigheden af at implementering af lavere fjernvarmetemperaturer som ved ULTFV skal følges af nye specifikke lavtemperaturtariffer, der kapitaliserer de resulterende systemfordele. Dette er nødvendigt for at skabe et økonomisk incitament for såvel kunden som forsyningsselskabet til at investere i en konvertering fra traditionel fjernvarme.

Baseret på erfaringer gjort i dette EUDP projektet er det klart, at et ULTFV-koncept som er demonstreret ikke er egnet til at implementere i alle eksisterende boligblokke. Der er således opstillet en række forudsætninger, som i større eller mindre grad skal være til stede ved en konvertering til ULTFV. Disse er:

- Krav til store varmeplader i byggeriet,
- Nybyggeri er at foretrække, da et retrofit af varmesystemet har vist sig at være udfordrende.
- Der skal være tilstrækkelig returvarme tilstede, så placeringen i nettet er vigtig.
- ULTFV-tariffer er vigtige at få fastlagt, så kundens bidrag til at opnå systemfordele afspejles i reducerede varmeomkostninger.

Rammevilkårene for at konvertere en boligblok til ULTFV udelukker desværre en del ældre eksisterende boligblokke, som typisk er en udfordring for mange fjernvarmeværker at få optimeret. På baggrund af erfaringerne i projektet er der i rapporten opstillet en række forslag til tiltag med en lidt højere fremløbstemperatur på 60-65 °C til ældre eksisterende boligblokke, som til en hvis grad kan medvirke til at opnå lignende systemfordele, som det succesfuldt blev opnået ved dette EUDP støttede projekt.

4 Introduktion

4.1 Teknisk definition af FV, LTFV og ULTFV

I dette projekt er der arbejdet med et koncept for ultra-lavtemperaturfjernvarme (ULTFV) kombineret med en varmepumpe til opvarmning af brugsvand.

Konceptet muliggør en fremløbstemperatur, der er væsentligt lavere end traditionelt for lavtemperaturfjernvarme (LTFV), idet brugen af en varmepumpe til opvarmning af brugsvand medfører en afkobling af temperaturkrav for henholdsvis rumvarme og brugsvand.

Grundet afkoblingen af temperaturkrav for henholdsvis rumvarme og brugsvand er det muligt, en stor del af året, at benytte fremløbstemperaturer under 45 °C hos forbrugeren, da rumvarme leveres via gulvvarme året rundt.

ULTFV definerer Sweco derfor teknisk som:

"Fjernvarme med en fremløbstemperatur typisk under 45 °C"

Ved ULTFV er der således behov for, vha. en form for booster, at løfte den leverede fremløbstemperatur for at kunne levere varmt brugsvand, der opfylder normkravene i DS439.

Nedenfor er opstillet en tabel, der overordnet sammenholder traditionel fjernvarme (FV), LTFV og ULTFV.

	FV	LTFV	ULTFV
Typisk fremløbstemperatur	70 °C – 80 °C	50 °C – 55 °C	< 45 °C
Brugsvandsproduktion	Beholder/veksler	Veksler	Booster
Egnet varmefordelingssystem	Radiator / gulvvarme	Radiator / gulvvarme	Gulvvarme ¹
Kobling af temperatur for rumvarme og brugsvand	Ja	Ja	Nej

Tabel 1: Oversigt over FV, LTFV og ULTFV

4.2 Baggrund for projektet

Udvidelse af FV-dækningen i Danmark fra ca. 50 % til 65 %, af det samlede varmebehov, forventes som et minimum. LTFV/ULTFV forventes at kunne spille en essentiel rolle i

¹ Ved brug af ULTFV i boliger med radiatorer er det nødvendigt at hæve fremløbstemperaturen i vintermånederne.

forbindelse med at muliggøre en sådan FV-udvidelse. LTFV/ULTFV er ikke så udbredt på nuværende tidspunkt, men forventes at blive det i de kommende år.

På nuværende tidspunkt er der, grundet udfordringer omkring sundhed og varmt brugsvand, kun lavet få forsøg med LTFV/ULTFV under 55 °C. De udførte forsøg med LTFV/ULTFV under 55 °C har vist sig mere eller mindre succesfulde. Disse projekter har imidlertid alle beskæftiget sig med traditionelle 1-families boliger og ikke i boligblokke.

Nærværende projekt bygger på koncept med ULTFV (<45 °C) som energiteknologi og med lokal varmepumpe til produktion af brugsvand.

For at FV-teknologien kan opnå målsætningerne om større markedsandele, er skridtet til LTFV/ULTFV en naturlig udvikling, da det medfører væsentlige systemfordele sammenlignet med det traditionelle system, herunder:

- Mindre varmetab i fjernvarmenettet.
- Bedre mulighed for at integrere og udnytte vedvarende energikilder som solvarme og geotermi.
- Bedre mulighed for udnyttelse af lavtemperatur overskudsvarme fra eksempelvis industri.
- LTFV/ULTFV kan distribueres fra returvandet i eksisterende hovednet, hvilket giver bedre udnyttelse og større kapacitet af den eksisterende infrastruktur.
- En lavere returtemperatur giver højere elvirkningsgrader på kraftvarmeværker.
- En lavere returtemperatur giver større udnyttelse af restvarmen i røggaskondensatorer.

En nedsættelse af temperaturen i FV-nettet har desuden stor energibesparende betydning. Specielt anvendelse af returvand fra den eksisterende FV-infrastruktur er forbundet med store fordele. Den eksisterende infrastruktur kan udnyttes bedre og den samlede energiudnyttelse optimeres med stor samfundsøkonomisk betydning til følge. Der forventes derfor et stort markedspotential for LTFV/ULTFV i fremtiden.

Ved en temperaturmæssig afkobling af brugsvandsopvarmning med en varmepumpe, muliggøres styring af produktionstidspunkt og derved elforbrug som kan udnyttes i et fremtidigt intelligent el-system (smart grid). Produktion af varmt brugsvand kan derved ske uden for peak-perioder for elforbrug.

I langt størstedelen af året kan eksisterende radiatorsystemer klare sig med lav fremløbstemperatur og den delvise afkobling til produktion af brugsvand medfører, at den sidste del af brugsvandsopvarmningen klares med varmepumpen (indirekte)². I de koldeste perioder kan fremløbstemperaturen hæves, så der leveres tilstrækkeligt med rumvarme, og samtidig er fjernvarmevandet varmt nok til at levere varmt brugsvand uden varmepumpen er i drift.

Projektets udfordring er at lave et robust og konkurrencedygtigt system/koncept, der fører til en forbedring af energieffektivitet og økonomi i såvel boligblokkens varmecentral som i resten af FV-systemet. Naturligt medie, høj COP og passende fysisk størrelse er vigtige

² Som demonstreret i ENS Demonstrationsprojekt: "Demonstrationsprojekter om varmepumper eller VE-baserede opvarmningsformer", 2013-2015.

parametre for ønsket design af varmepumpen. Dertil skal systemet være brugervenligt og let at installere/servicere.

Projektet relaterer sig til følgende tidligere- og nuværende projekter:

- EUDP 11-1, J. Nr. 64011-0076 – Heat Pumps for Domestic Hot Water Preparation in Connection with Low Temperature District Heating, 2010-2012
- ENS Demonstrationsprojekt: "Demonstrationsprojekter om varmepumper eller VE-baserede opvarmningsformer", 2013-2015.
- EUDP J. Nr. 64016-0103 – Ultra-lavtemperatur fjernvarme i nybyggeri, 2016-2018

I førstnævnte EUDP-projekt blev de første 5 ULTFV-units udviklet til husstande og 4 af dem blev implementeret i Birkerød. 3 af disse er stadig i drift.

I nævnte ENS demonstrationsprojekter om varmepumper blev de næste 25 ULTFV-units installeret i 2014 i olielandsbyen Geding ved Århus. Et større måleprogram blev udført og resultaterne har vist sig meget perspektivrige og har ført til, at AffaldVarmeAarhus er begyndt at se på at anvende ULTFV/LTFV i andre områder af deres forsyningsnet.

I sidstnævnte EUDP projekt demonstreres et ULTFV-koncept i nybyggeri med ca. 105 række- og parcelhuse i tæt/lavbebyggelse i Nivå.

4.3 Projektbeskrivelse

Projektet bestod af 4 overordnede elementer

1. Koncept, systemanalyse og potentialevurdering
2. Detailanalyse og projektering
3. Demonstration og implementering
4. Formidling

I det følgende beskrives de enkelte projektelementer meget kort.

Koncept-, systemanalyse og potentialevurdering

Det undersøges, hvilket ULTFV-koncept, der vil være bedst egnet til det udvalgte demonstrationssted set i henhold til de eksisterende forhold. Med udgangspunkt heri undersøges det, hvilken konsekvens konceptet har fra et teknisk og økonomisk synspunkt for både forbruger og selskab.

Derudover det undersøges potentialet for implementering af konceptet i boligblokke i I/S Norfors forsyningsområde.

Detailanalyse og projektering

På baggrund af koncept- og systemanalysen udvælges det bedst egnede koncept, som der udføres detailanalyse på samt projektering.

Demonstration og implementering

Tilbud på varmepumpeanlæg indhentes hos leverandører. Udbudsdokumentation for tilbud på implementering af forsyning og installation af ULTFV-koncept udfærdiges og udbydes, hvorefter implementeringsarbejdet påbegyndes.

Efter implementering idriftsættes ULTFV-systemet, og et måleprogram gennemføres med henblik på indsamling af data til analyse for at kortlægge konceptets tekniske robusthed samt økonomiske konsekvenser. Som baggrund herfor udarbejdes et detaljeret måleprogram, hvori måleparametre, beregninger m.v. for senere dokumentation og formidling fastlægges.

Formidling

Demonstrationsprojektets indhold og resultater formidles til branchen gennem slutrapporten, diverse konferencer samt artikel til tekniske fagmagasiner.

5 Demonstrationssite

I forbindelse med udvælgelse af demonstrationssite har der været dialog med projektpartnerne I/S Norfors og Hørsholm Almene Boligselskab (HAB) om relevante sites. I første omgang blev en screening af mulighederne for en afprøvning af et ULTFV-koncept undersøgt i Ådalsparken i Hørsholm, som er et stort boligbyggeri med 821 lejligheder. Lejlighederne bliver alle opvarmet af fjernvarme, der distribueres ud til de enkelte lejligheder via 5 varmecentraler fordelt i byggeriet. Ådalsparken blev dog hurtigt fravalgt, idet der var ét-streksanlæg radiatoranlæg i hele byggeriet. Det blev vurderet, at en sænkning af fremløbstemperaturen til ca. 45 °C lang fra ville kunne levere tilstrækkeligt med rumvarme.

Fokus blev i stedet rettet mod "Louiselund". Louiselund er et nyt plejecenter, som blev opført i 2012. Plejecenteret er beliggende i Kokkedal i Hørsholm Kommune og består dels af 90 plejeboliger fordelt på 6 blokke, og dels af 43 ældreboliger fordelt på 5 blokke. Der er desuden en større separat blok, der indeholder optræningsfaciliteter, café mv.

Rumopvarmning i Louiselund sker stort set udelukkende ved gulvvarme, hvilket er ideelt i forhold til at anvende fremløbstemperaturer ned til <45 °C i store dele af året. Udover gulvvarmekredsene er der i plejeboligblokkene hedeplader til opvarmning af indblæsningsluften i køkkenalrum-området, og i ældreboligblokkene er der små radiatorer i trappeopgangene og kældrene. Disse varmeafsætningssteder kræver lidt højere fremløbstemperatur end gulvvarmekredsene.



Figur 1: Louiselund Plejecenter, Kilde: DABBolig.dk

Louiselund blev i projektgruppen udvalgt som demonstrationssite for implementering af ULTFV-konceptet i nærværende udviklingsprojekt.

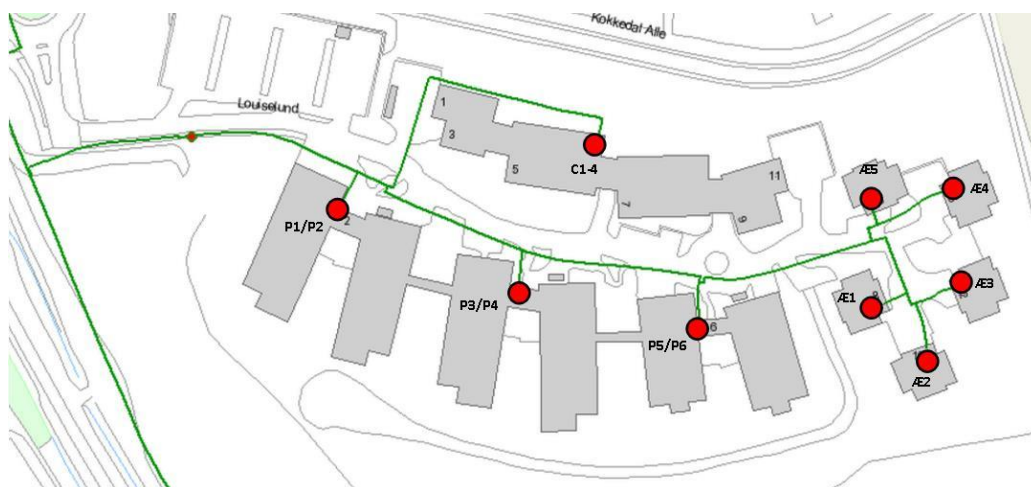
6 Overordnet systemanalyse af eksisterende forhold

6.1 Louiselunds placering i ledningsnettet

Louiselund ligger øst for Norfors' affaldsforbrændingsanlæg på Kærvej i Hørsholm og er tilsluttet den nordgående hovedledning, som går videre til et større rækkehusområde og Kokkedal Slot samt Golfklub. Der går en distributionsledning ind til Louiselund fra hovedledningen, hvor det kun er plejecenterets bygninger som er sluttet på.

6.2 Varmecentraler i Louiselund

Louiselund har 9 varmecentraler fordelt rundt om i byggeriet – 1 varmecentral i "hovedbygningen" (C1-4) med café, personaleområde og genoptræningscenter, 3 varmecentraler til de 6 plejeboligblokke (P1/P2, P3/P4 og P5/P6) og 1 varmecentral til hver af de 5 blokke med ældreboliger (Æ1, Æ2, Æ3 Æ4 og Æ5). Varmecentralernes placering ift. fjernvarmenettet kan ses på figuren herunder.



Figur 2: De 9 afsætningssteder i Louiselund

Alle 9 afsætningssteder har en varmecentral, hvorfra varmt brugsvand og rumvarme bliver produceret via hhv. spiralveksler og pladeveksler og cirkuleret rundt til lejlighederne og fællesområderne.

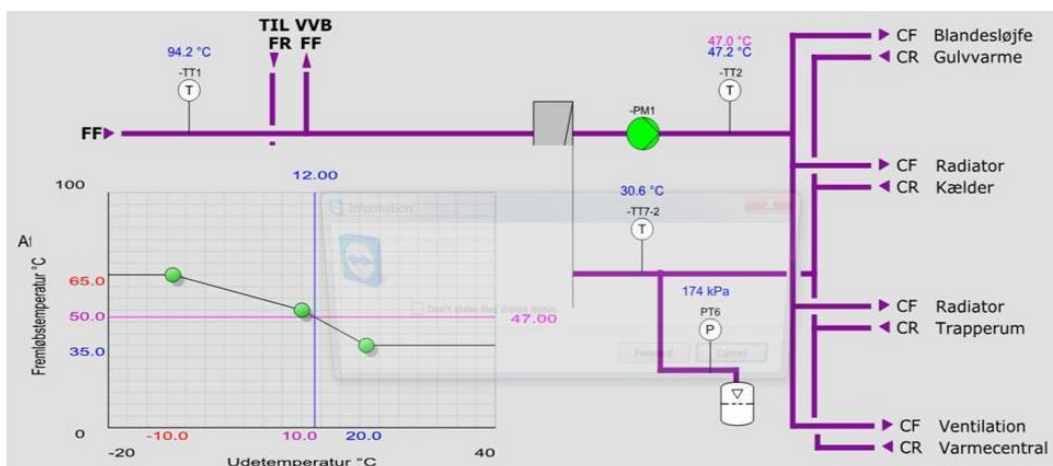
6.2.1 Brugsvand

Den eksisterende produktion af varmt brugsvand foregår via to spiralvekslere i brugsvandstanken. Fjernvarmen opvarmer kun brugsvandet via den øvre spiral, mens et varmegevindingsanlæg forvarmer brugsvandet via den nedre spiral. Ingen af varmegevindingsanlæg er dog i drift i dag grundet høje omkostninger ved at have dem i drift. Brugsvandsopvarmningen foregår således kun via fjernvarmen i den øvre spiral.

6.2.2 Rumvarme

Bygningerne i Louiselund er primært opvarmet via gulvvarme, hvilket gør dem ideelle ift. ULTFV-forsyning. Enkelte steder er der dog radiatorer og varmelegemer, der opvarmer indblæsningsluft i forbindelse med luftudskiftning i fællesarealer. Disse kræver en lidt højere fremløbstemperatur, end selve gulvvarmen gør, og de er dermed dimensionsgivende for det samlede temperaturniveau frem til rumvarmekredsen og dermed også temperaturniveauet på fjernvarmen.

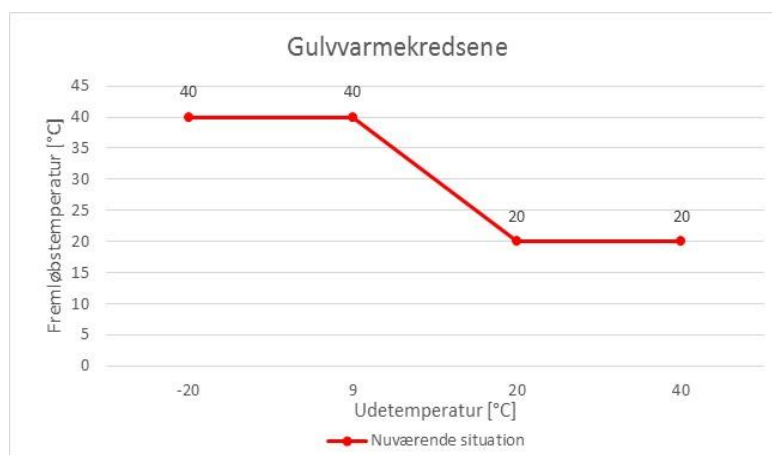
Rumvarmen er styret efter temperaturramper, hvor fremløbstemperaturen er fastlagt som funktion af udetemperaturen. Temperaturramperne er opstillet lidt forskelligt, alt efter om de gælder for plejeboligerne, ældreboligerne eller centeret. Herunder er vist, hvordan temperaturrampen i en af plejeboligblokkene, P1/P2, er styret.



Figur 3: Temperaturrempe for plejeboligblokken P1/P2

Det ses, at ved en udetemperatur på ≥ -10 °C eller koldere vil fremløbstemperaturen til rumvarmekredsen være 65 °C, mens ved en udetemperatur på ≥ 20 °C vil fremløbstemperaturen være 35 °C.

Gulvvarmekredsene er i sig selv også styret af en temperaturrempe, hvor fremløbstemperaturen er fastlagt som funktion af udetemperaturen. Temperaturrempen kan ses på figuren herunder:



Figur 4: Temperaturrempe for gulvvarmekredsene

Som det ses, vil fremløbstemperaturen være 40 °C for udetemperaturer ≤ 9 °C og 20 °C for udetemperaturer ≥ 20 °C. Imellem udetemperaturer på 9 °C til 20 °C skaleres lineært.

6.3 Afgrænsning af demonstrationsanlæg

For at demonstrere et ULTFV-koncept i Louiselund kan der etableres en blandesløjfe ved fjernvarmens nordgående hovedledning, således at fremløbstemperaturen frem til hele

byggeriet styres via denne. Løsningen forudsætter, at alle 9 afsætningssteder er forberedt til ULTFV-drift med lokal boostning af temperaturen med en varmepumpe, så der kan produceres varmt brugsvand. Et alternativ hertil er, at etablere en blandesløjfe inde i én af varmecentralerne, således at det kun er det ene afsætningssted der skal være forberedt til ULTFV-drift.

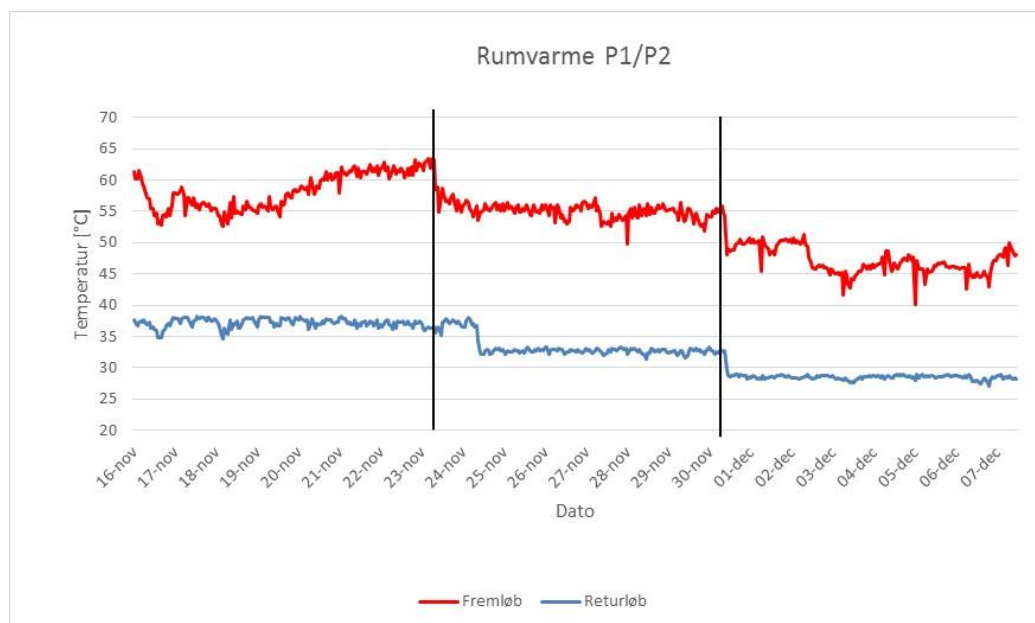
Det blev i projektgruppen vurderet, at demonstrationen kun skulle udføres i én varmecentral baseret på følgende hovedpunkter.

- Demonstration i én varmecentral giver projektet lige så stor demonstrationsmæssig værdi som en demonstration i alle 9 afsætningssteder.
- Demonstration i én varmecentral simplificerer omfanget af ombygningsarbejder og reducerer chancen for fejl eller problemer i implementerings- og driftsfasen.
- Demonstration i én varmecentral minimerer omkostningerne for projektet og gør, at EUDP budgettet kan overholdes.
- Demonstration i én varmecentral medfører ikke arbejde på en hovedledning der er i drift, hvilket er langt mindre risikabelt ift. forsyningsikkerheden.

Valget af demonstrationssted faldt derfor på varmecentralen i P1/P2, da denne central ligger "sidst" på returledningen fra Louiselund, således at returvarmen fra resten af Louiselund dermed kan udnyttes.

6.4 Indledende test med sænkning af temperaturremper

Under systemanalysen blev der foretaget en indledende test af rumvarmekredsene i Louiselund, ved at sænke temperaturremperne med samlet 10 °C i to omgange med 5 °C af gangen med en uges varighed for at observere, hvordan den eksisterende rumvarmekreds reagerede. Formålet med testen var primært for at se, om den eksisterende veksler kunne opretholde temperaturen på kundesiden samt om der var beboere eller personale, der mærkede en forskel. En graf over ændringen i frem- og returløbstemperatur på kundesiden kan ses herunder:



Figur 5: Logninger af frem- og returtemperatur til rumvarmekredsen i den indledende test.

Den indledende test viste nogle interessante resultater, hvor der var plads til at sænke fremløbstemperaturen frem fra rumvarmekredsen med op til 10 °C og returtemperaturen samtidig også faldt næsten 10 °C. Resultaterne gjorde, at der som udgangspunkt blev valgt at fortsætte med den eksisterende varmeveksler i ULTFV-konceptet.

7 Erfaringer og overvejelser omkring valg af varmepumpe

Som nævnt tidligere, baserer nærværende projekt sig på tidligere udførte demonstrationsprojekter i henholdsvis EUDP- og Energistyrelsens regi, hvor der blev udviklet og anvendt en Microbooster-unit til ULTFV til husstande, hvor det er fjernvarmevandet der opvarmes, og hvor akkumuleringstanken er på primærsiden. Udgangspunktet var inden projektet, at der til dette projekt skulle anvendes et tilsvarende koncept, blot opskaleret i forhold til leveret varmeeffekt. Ønsket om anvendelse af microbooster-konceptet var for at kunne eliminere al legionella-problematik ved at have varmtvandsbeholderen på primærsiden og yderligere for at sikre, at varmepumpen kørte så effektivt som muligt.

I projektet har der været forsøgt at finde en leverandør/producent der kunne levere eller tilpasse en løsning der var magen til, eller tæt på, tidligere anvendte koncept med MicroBoosteren, som var udviklet af Danfoss, DTU og Grontmij (nu Sweco). Der har foregået dialog med følgende danske leverandører (eller udenlandske leverandører med dansk afdeling) om mulighederne for levering af den ønskede varmepumpeløsning:

- Gastech Energi
- Viessmann
- Vølund
- Danfoss

- Gemina Termix
- Wavin
- Bundgaard Køleteknik
- InCool
- Klimadan

Der var dog ikke nogle af disse leverandører kunne levere en løsning magen til, eller tilpasse en eksisterende løsning, så den var lig med eller tæt på det ønskede koncept.

I det følgende vil en redegørelse, for de erfaringer gjort mht. valg af varmepumpe, forsøge at belyse rammevilkårene for varmepumper til boligblokke, herunder anvendelse af brændbare kølemidler og konsekvenserne ved anvendelse af andre kølemiddel alternativer.

7.1 Udfordringer med valg af kølemiddel

Et meget vigtigt aspekt i designet af en varmepumpeløsning til ULTFV i boligblokke, som blev identificeret i systemanalyse-fasen, var varmepumpens kølemiddel. En af hovedårsagerne til, at det ikke var muligt at få en løsning som Microboosteren eller tilsvarende var, at den tidligere udviklede husstandsunit (MicroBoosteren) anvender butan (R600) som kølemiddel. R600 har været valgt som kølemiddel på grund af dets gode egenskaber til at kunne klare en høj indgangstemperatur til varmepumpens fordampere, som tilfældet vil være med fjernvarmevand, hvis temperatur skal hæves. Typisk vil temperaturen på ULTFV ligger mellem 30-45 °C og i kolde periode eventuelt op til 55 °C.

R600 er et brændbart kølemiddel i familie med andre typisk anvendte kølemidler, Ethan (R170), Propan (R290), Isobutan (R600a) og Propylen (R1270). De brændbare kølemidler hører til "Gruppe 1" jf. DS/EN 378-2 og Arbejdstilsynets AT vejledning B 4.4. Kølemidler i gruppe 1 er defineret som:

- Eksplosive
- Yderst brandfarlige
- Meget brandfarlige
- Brandfarlige (hvis den tilladte maksimumtemperatur er højere end flammepunktet)
- Meget giftige
- Giftige
- Brandnærende

Kravene i DS/EN 378-2 træder i kraft ved en fyldning på varmepumpen på >1 kg kølemiddel og her opstår problemet, når konceptet opskaleres fra en husstandsinstallation til en boligblok. I microboosteren er der en fyldning på <1 kg, og den er derfor ikke underlagt DS/EN 378-2 og særlige ATEX krav. Ved anvendelse i boligblokke skal varmepumpen, baseret på Microbooster-konceptet, have væsentlig større varmeeffekt og dermed også en væsentlig større fyldning af brændbart kølemiddel, som vil overstige 1 kg. Dette medfører, at varmepumpens komponenter er underlagt

DS/EN 378-2 og kravene i ATEX. Kravene i ATEX betyder, at der bl.a. skal tages stilling til en række sikkerhedskrav/foranstaltninger såsom ventilation, alarmer, flugtveje mv. ved opstilling af varmepumpen. Varmepumpekomponenter tilpasset brændbare kølemidler, såsom ventiler, vekslere og kompressorer er typisk markant dyrere end tilsvarende komponenter til typiske kølemidler til varmepumpe applikationer, f.eks. R410A, R134A og R407C

Netop de dyre komponenter og de stramme sikkerhedskrav gør, at der ikke var nogle producenter, der har et sortiment af kommercielle varmepumpeprodukter i denne størrelse baseret på brændbare kølemidler. En varmepumpe til boligblokke baseret på brændbare kølemidler som i Microbooster-konceptet blev derfor forkastet.

7.2 Alternative kølemidler i varmepumpekoncept

Herunder er kort nævnt forskellige typiske kølemidler i relation til en varmepumpe i boligblokke. Der findes et stort udvalg af kølemidler, men der er i nærværende analyse fokuseret på de mest anvendte kølemidler til lignende applikationer.

7.2.1 Ammoniak:

Ammoniak som kølemiddel kan godt klare de ønskelige 30-55 °C ind i fordamperen men selvom ammoniak ikke er brændbart har kølemidlet samme problemstillinger vedrørende ATEX-krav som med de brændbare, da kølemidlet også er i gruppe 1 jf. DS/EN 378-2. Yderligere er en varmepumpe med ammoniak mere pladskrævende end en varmepumpe baseret på brændbare kølemidler, hvilket er u hensigtsmæssigt i typisk små varmecentraler i boligblokke. Ammoniak blev derfor vurderet til ikke at være et velegnet kølemiddel i nærværende projekt.

7.2.2 CO₂:

En varmepumpe med CO₂ som kølemiddel vil med temperaturniveauerne i nærværende projekt operere i det transkritiske område. Dette kræver gaskølere i stedet for vekslere, hvilket er langt mere pladskrævende end eksempelvis en varmepumpe med et brændbart kølemiddel. Selvom CO₂ ikke er i gruppe 1 jf. DS/EN 378-2 som ammoniak og brændbare kølemidler er det, kræver det stadig bl.a. alarmer og ventilation, da CO₂ er placeret i gruppe 2 jf. DS/EN 378-2. CO₂ blev derfor heller ikke vurderet til at være et velegnet kølemiddel i nærværende projekt.

7.2.3 Andre typiske kølemidler:

I de fleste varmepumpeapplikationer i Danmark anvendes kølemidler såsom f.eks. R410A, R134A og R407C. Disse kølemidler er ikke omfattet af ATEX krav ved fyldninger >1 kg. Yderligere muliggør anvendelse af disse kølemidler også, at varmepumpen kan gøres så kompakt som muligt.

I relation til nærværende projekt, hvor det ønskes at anvende fjernvarmen som varmekilde i fordamperen er der i imidlertid et problem idet, varmepumper med kølemidler såsom R410A, R134A eller R407C maksimalt kan klare fremløbstemperaturer ind i fordamperen på ca. 20 °C. Set fra et energi- og effektivitetsmæssigt synspunkt er ikke optimalt i forhold til det ønskelige koncept, hvor fremløbstemperaturen først må sænkes for så igen at skulle hæves yderligere med varmepumpen, hvilket giver en dårligere COP

værdi. Det blev dog vurderet, at det var det bedste bud for overhovedet at kunne implementere et ULTFV-system, der kunne demonstreres inden for den givne tidshorizont i EUDP projektet.

7.3 Kriterier for varmepumpeløsning

I nærværende projekt var der ikke tilknyttet en producent som projektpartner, der havde til opgave specifikt at udvikle en ULTFV-unit til boligblokke. Gennem dialog med en række producenter i projektprocessen stod det klart, at det var meget svært at få nogle af dem til at afvige fra deres kommercielle produkter, da de derfor dels ikke fuldt ud kunne stå inde for produktet og dels fordi der ikke umiddelbart var et efterfølgende marked, som produktet kunne indgå i. Det blev derfor valgt at se nærmere på kommercielle varmepumpeløsninger, der muliggjorde en demonstration af et ULTFV-konceptet, selvom løsningen ikke ville blive så energieffektivt som projektgruppen oprindeligt havde forestillet sig.

Til en kommerciel varmepumpeløsning til boligblokke blev følgende forudsætninger opstillet:

- Skal kunne klare fjernvarmetemperaturer ind i fordampere
- Skal helst kunne klare trykforhold i fjernvarmenettet
- Skal kunne levere en varmeeffekt høj nok ift. eksisterende forhold
- Skal være kompakt
- Skal kunne opstilles uden særlige sikkerhedsforanstaltninger
- Skal have en relativ lav indkøbspris

7.4 Valg af varmepumpe til ULTFV-koncept

Bedste bud på en kommerciel varmepumpeløsning til boligblokke, omstændighederne taget i betragtning, blev identificeret til at være en varmepumpe oprindeligt designet til jordvarme/brineanlæg. Varmepumpen blev af typen Thermia Robust ECO, som anvender R410A som kølemiddel, hvilket medfører at fremløbstemperaturen ind i varmepumpens fordamper maksimalt må være ca. 20 °C. Det krævede derfor, at fremløbstemperaturen blev blandet ned til ca. 20 °C, hvilket varmepumpen automatisk sørgede for i en blandekreds. Varmepumpen skulle derfor løfte fra 20 grader og op til ca. 60-65 °C, hvilket energimæssigt var langt mere ineffektivt end i det ønskede "Microbooster-koncept", da det således krævede mere el end løfte fra mellem 30-55 °C til ca. 60-65 °C.

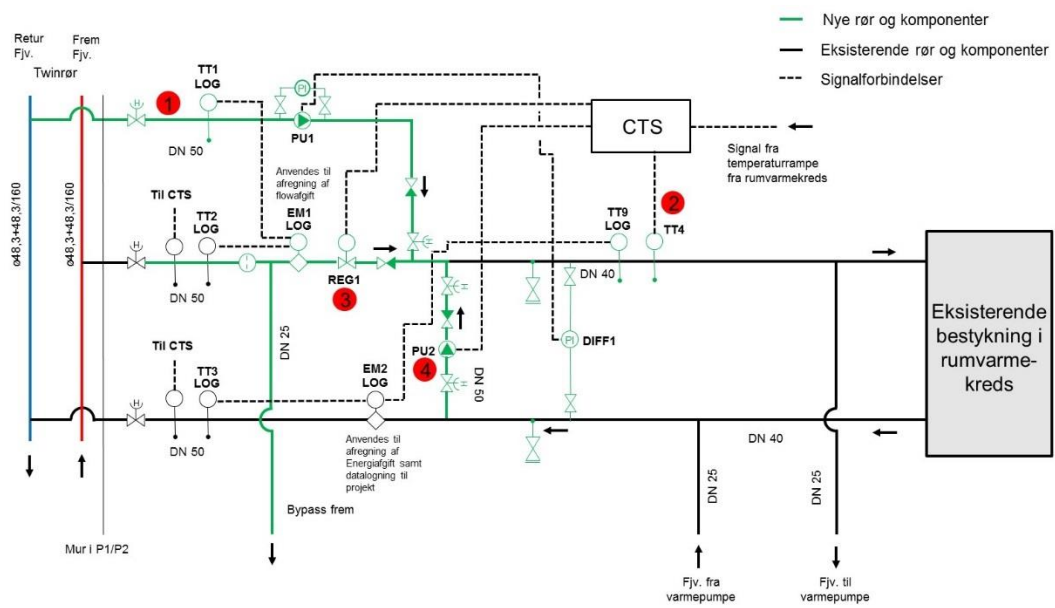
Med den valgte varmepumpe og krav til temperaturer op til ca. 20 °C gav det heller ikke umiddelbart teknisk og energimæssigt mening at hæve temperaturen på en delstrøm af fjernvarmevandet og lagre det i en akkumuleringstank på primærsiden, som med Microbooster-konceptet. Yderligere ville en sådan løsning kræve en del ombygning af eksisterende system og være en udfordring i relation til byggeriets brugsvandscirkulation og varmepumpens ladekredsprincip.

Begge fravalg (beholder på primærsiden og 30-55 °C ind i fordamper) var ikke optimalt set i forhold til det ønskede koncept, men det var et nødvendigt kompromis i nærværende

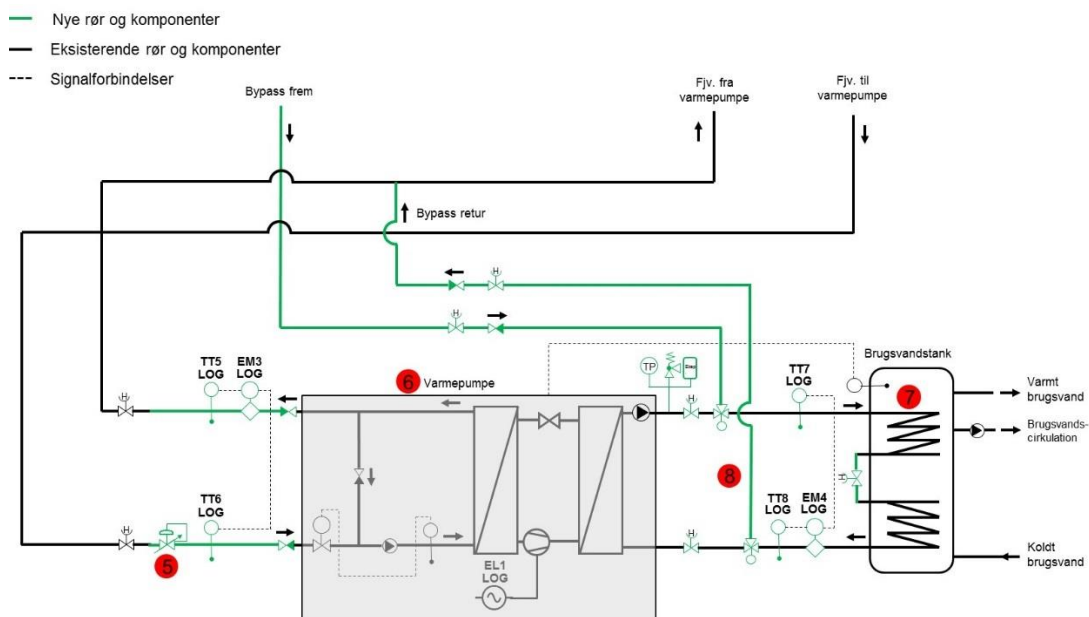
projekt for overhovedet at kunne lave et system der kunne demonstrere et ULTFV-koncept til boligblokke.

8 Detaljeret konceptbeskrivelse

Herunder er vist to figurer med diagram og systemets sammensætning. De rør/komponenter der er markeret med grønt er nye rørforbindelser/komponenter, mens de sorte er eksisterende rørforbindelser/komponenter. Der er på diagrammet markeret 8 områder af systemopbygningen som beskrives nærmere i det følgende. Der henvises til bilag 1 og 2 for diagrammer i større format.



Figur 6: Diagram med blandesløjfe samt rørforbindelse til rumvarmekreds og varmepumpe



Figur 7: Diagram med varmepumpe og brugsvandsopvarmning

1 – Der er anlagt et nyt stik fra forsyningsledningen i Louiselund. Returvandet anvendes som fremløbsledning, hvor PU1 pumper ind til centralen og styrer efter et differenstryk.

2 – Der er monteret en temperaturtransmitter, TT4, som måler fremløbstemperaturen og via CTS-anlægget sender styringssignal til reguleringsventilen ved (3) og shunt-pumpen ved (4).

3 – I tilfælde af at fremløbstemperaturen ved punkt (2) er for lav åbner reguleringsventilen, så varmt fjernvarmevand spædes til, indtil den ønskede temperatur opretholdes.

4 – I tilfælde af at fremløbstemperaturen ved punkt (2) er for høj starter shunt-pumpen indtil den ønskede fremløbstemperatur opretholdes.

5 – Trykket i fjernvarmenettet ligger typisk lige over 6 bar, som er det maksimale trykniveau som varmepumpen kan klare. Der er således installeret en trykreduktionsventil til at beskytte varmepumpen. Selv ned trykreduktionen foran varmepumpen er der dog stadig tilstrækkelig positivt differenstryk til stedet.

6 – Uanset fremløbstemperatur på fjernvarmen blander varmepumpen fjernvarmevandet ned i en blandekreds til en indgangstemperatur på ca. 20 °C. Varmepumpen kører on/off og styres efter en transmitter i toppen af brugsvandstanken.

7 – Varmepumpen leverer en konstant varmeeffekt på 26 kW og cirkulerer ca. 60-65 °C varmt vand gennem varmespiralerne i varmtvandsbeholderen i et lukket system.

8 – Der er i det lukkede kredsløb installeret to 3-vejsventiler, så brugsvandet både kan opvarmes med varmt fjernvarmevand taget fra før blandesløjfen eller varmepumpedrift. Foranstaltningen med 3-vejsventilerne er koblet til varmeanlæggets CTS og bruges i forbindelse med automatisk legionella-sikring ved boostning af temperaturen, eller hvis varmepumpen går i fejltilstand og stopper.

9 Ejerforhold og tariffer

9.1 Ejerforhold af indkøbt materiel

I projektet har der ikke været lavet særlige ejerforhold på indkøbt materiel, såsom på ny veksler, varmtvandsbeholder, blandesløjfe og varmepumpe. Disse dele er indkøbt af Norfors, som reelt har haft ejerskabet over indkøbt materiel i projektet, men det skal efter projektet afklares, hvordan det skal overgå til HAB.

9.2 Tariffer

Der blev til projektet ikke udarbejdet en ny tarifstruktur, som det ellers var lagt op til indledningsvis. Dette skyldes at anlægget først meget sent i forløbet kom i drift, og der ikke var et grundlag for at kunne fastsætte et helt nyt niveau for variable tariffer. I stedet for en helt ny tarifstruktur blev det i projektgruppen besluttet, at installere en ekstra flowmåler på den varme fremløbsledning før blandesløjfen (EM1 på figur 6). HAB blev i centralen P1/P2 således kun afregnet for det flow der kom fra den varme fremløbsledning og ikke det samlede flow fra centralen, som med ULTFV vil være højere end traditionel fjernvarme. Til gengæld afholdte HAB omkostninger til el til pumper og varmepumpe.

Generelt skal der dog ændres på en tarifstruktur ved forsyning med lavtemperatur eller ultra-lavtemperatur, for at fordele systemfordelene mellem forsyningselskab og forbruger.

10 Implementering og idriftsættelse

10.1 Distributionsnet

Der blev indledningsvis lagt et ekstra stik ind i centralen P1/P2, der således muliggjorde at udnytte returvarmen fra det øvrige Louiselund. Stikket blev lagt parallel med det eksisterende stik. Da eksisterende ledning var et twin-rør kunne det bedst svare sig også at anlægge det nye stik som twin-rør og afblænde den varme ledning med ventil og afpropning inde i centralen.

10.2 Rørføring i varmecentral

Rørføringen i varmecentralen inkl. blandesløjfe og shuntpumpe blev udført over et par dage, men kun med kortvarigt nedlukning for varmeforsyningen ved omkobling. I forbindelse med rørarbejderne blev rørene til varmegenvindingssystemet skåret over,

tømt for vand og afproppet, således at fjernvarmen kunne føres igennem først den øvre spiral og derefter den nedre.

Der var generelt god plads i varmecentralen til de nye installationer, hvilket forsimplede arbejdet væsentligt.



Figur 8: Billede af stikindføring og blandesløjfe med booster- og shuntpumpe.

10.3 Varmepumpe

Varmepumpen af typen Robust ECO 26 blev leveret og monteret af Klimadan A/S og var det sidste der blev monteret inden ULTFV-drift blev iværksat. Arbejdet foregik over et par dage, men nedlukningsperioden for produktion af det varme brugsvand var kun kort tid. Pladskravene, særligt vægareal, for hele varmepumpe-setuppet var forholdsvis store, men grundet de gode pladsforhold i varmecentralen blev det ikke til et problem.

Der var udfordringer med idriftsættelsen af varmepumpen. Udfordringerne opstod fordi, sætpunktet i brugsvandstanken var sat til ca. 55°C, hvilket medførte at der ikke var tilstrækkelig stor temperaturdifferens mellem det varme brugsvand i beholderen og varmepumpens fremløbstemperatur. Dette gav en dårlig afkøling i beholderen og vandet der returnerede til varmepumpen var derfor for varmt, som resulterede i at varmepumpen overophedede og stoppede helt.

Udfordringen blev løst ved at sænke sætpunktet i beholderen til ca. 49°C, hvor det stadig var muligt at opfylde vandnormen, for dermed at give den ekstra nødvendige temperaturdifferens. Løsningen var ikke optimal, og senere hen blev

varmtvandsbeholderen også udskiftet til en anden type med varmespiraler tilpasset varmepumpen.

Varmepumpen blev dimensioneret efter varmeeffekten på varmespiralerne i den oprindelige varmtvandsbeholder, men set i retrospekt var varmepumpens varmeeffekt på 26 kW muligvis for høj, og var medvirkende til at give problemet med afsætning af varme.

Herunder er vist opstillingen af varmepumpe-setuppet.



Figur 9: Billede af varmepumpeinstallation i P1/P2

10.4 Udfordringer med implementering af ULTFV konceptet som retrofit

Louiselund som ULTFV-konceptet blev installeret i er som tidligere nævnt i rapporten et plejehjem bygget i 2012. Varmeanlægget blev projekteret og udført efter de gældende dimensioneringskriterier, herunder et temperatursæt (80 °C/45 °C) på fjernvarmen. Hele opbygningen af anlægget, udførsel af rørforbindelser og udnyttelse af såvel væg- og gulvplads er således målrettet mod at opfylde de gældende kriterier i Norfors' tekniske bestemmelser som gør anlægget så servicevenligt som muligt.

Implementeringen af ULTFV konceptet som retrofit krævede store ændringer på varmeanlægget samt tilføjelser af rørføring. I det følgende redegøres for nogle af de vigtigste aspekter ved at retrofitte en varmecentral bygget til traditionel fjernvarme om til ULTFV.

10.4.1 Genanvendelse af komponenter

I projektet viste det sig vanskeligt at bibeholde følgende essentielle komponenter som var designet til et markant andet temperatursæt:

- Varmtvandsbeholder
- Varmeveksler
- Reguleringsventil

Varmtvandsbeholder

Varmtvandsbeholderen i centralen med en øvre- og nedre spiral var lidt speciel idet fjernvarmen leverede varme via den øverste spiral, mens et varmegenvindingsanlæg med ventilationsluft som varmekilde leverede varme gennem den nederste spiral. Den nederste spiral var dog aldrig i drift.

Spiralerne blev i projektet koblet sammen for at give større varmeplade, som varmepumpen kunne afsætte varme over. Det viste sig dog, at varmepumpen havde yderst vanskeligt med at afsætte varmen gennem spiralerne, hvilket medførte regelmæssige stop for varmepumpen for ikke at overophede, og yderligere en mindre energieffektiv drift. Problemet blev først udbedret efter at varmtvandsbeholderen blev skiftet til en type med spiraler designet til varmepumpens temperaturer og varmeeffekt.

Varmeveksler og reguleringsventil

Varmeveksleren og reguleringsventilen var monteret i en færdigleveret fjernvarmeunit, og var designet og tilpasset det dimensionerende temperatursæt. Ved en markant sænkning af fremløbstemperaturen, hvor temperaturdifferensen over vekslerens primærside samtidig blev lavere, havde veksleren i kolde perioder svært overføre nok varme. Det skal dog tilføjes, at det før omkoblingen til ULTFV blev konstateret at veksleren var på den halve varmeeffekt i forhold til principdiagrammet.

Genanvendelse af varmeveksleren var med ULTFV vanskelig at bibeholde set i forhold til forsyningssikkerheden til rumvarmekredsen. Varmeveksleren blev derfor udskiftet til en model af samme type men med væsentlig flere plader, mens reguleringsventilen blev bibeholdt. Systemet fungerede upåklageligt herefter.

10.4.2 Pladsforhold

I centralen P1/P2 var der gode pladsforhold både på gulv og på væggene til ny rørføring samt varmepumpe. På figur 9 er illustreret hvor omfattende og pladskrævende rørføringen blot til varmepumpen er. Yderligere er varmepumpen på størrelse med et mindre køle-fryseskab.

I mange andre varmecentraler, særligt i ældre byggerier, er pladsen meget mere trang end i nærværende tilfælde og et retrofit vil således være vanskeligt at finde plads til. Jo større brugsvandsbehovet i boligblokken, og dermed størrelsen på varmtvandsbeholderen, er, jo større varmepumpe er der behov for. Dimensionerne på varmepumpen eller flere i serie afhænger naturligvis af den ønskede varmeeffekt.

10.4.3 Legionella sikring

Varmepumpen kan godt levere en høj nok fremløbstemperatur (60-65 °C), således at en legionella sikring i teorien kunne foretages. I nærværende projekt havde den valgte varmepumpe, som tidligere nævnt, svært ved at afsætte varme i tanken, hvis temperaturforskellen blev for lille. Et legionella-program med opvarmning af hele tanken til 60-65 °C ville medføre en meget dårlig afkøling og alt for høj returtemperatur tilbage til varmepumpen, der således ville overophede og stoppe. Det var derfor ikke muligt at lade varmepumpen køre legionella-program. Løsningen blev, at installere et bypass fra den varme ledning uden om blandesløjfen, så det blev muligt at lede varmt fjernvarmevand gennem varmespiralerne, når tanken skulle køre et legionella-program. For at få denne løsning til at virke i praksis var det nødvendigt at stoppe varmepumpen, afspærre denne, åbne for bypasset og starte legionella-programmet i CTS-anlægget. Proceduren foregik manuelt indledningsvis, men var alt for besværligt og tidskrævende. Det blev derfor besluttet at automatisere styringen via CTS-anlægget vha. start/stop signal og installering af to 3-vejsventiler, så brugsvandsopvarmning kunne ske enten med varmepumpen eller fjernvarme.

10.4.4 Usikkerhed om systemrespons

Intet varmesystem er helt ens, og én ting er bestykningen i varmecentralen, en anden er boligblokkens rumvarme- og brugsvandskreds. Et retrofit har i dette projekt i høj grad været præget af følgende procedure:

- 1) Implementere tiltag eller optimering for at løse identificeret udfordring
- 2) Opdage/konstatere en ny teknisk udfordring
- 3) Undersøge årsagen og fastlægge løsning
- 4) Planlægge implementering af fastlagte løsninger samt bestille komponenter
- 5) Finde hensigtsmæssigt tidspunkt som entreprenøren kan udføre arbejdet, og koordinere nedlukning med forsyningselskab og boligselskab.
- 6) Gentagelse

Proceduren har været både tids- og økonomisk krævende i nærværende projekt.

Konvertering af et eksisterende varmesystem, i en varmecentral dimensioneret til traditionel fjernvarmen, til ULTFV via et retrofit, vil i større eller mindre grad kræve systemtilpasninger. Det var vist sig, at der vil være en vis usikkerhed om varmesystemets respons på konverteringen, som medfører efterfølgende ændringer eller tilføjelse af teknisk løsning. Et retrofit er ikke ideelt, men bestemt fysisk og teknisk muligt.

Naturligvis ville det i retrospekt have været nemmere at udskifte alle de dele af systemet, som i teorien ikke var ideelle til et ULTFV-koncept fra start, men så var det ikke muligt at undersøge, hvordan disse systemkomponenter

10.5 Implementering i nybyggeri

Implementeringsfasen som retrofit har været gavnlig for forståelsen af, hvor udfordringerne vil opstå i et varmeanlæg, der er dimensioneret til et andet temperatursæt. Erfaringerne fra dette projekt har været med til at optimere på konceptet som således i fremtiden kan bruges i nybyggerier, hvor en ULTFV-forsyning kan tænkes ind fra starten og hele varmeanlægget kan dimensioneres efter et lavere temperatursæt.

At designe og dimensionere varmeanlægget i en nybygget boligblok fra bunden er naturligvis klart at foretrække både set fra et økonomisk og teknisk synspunkt. At komponenter, rør- og kabelføring og CTS-styring er dimensioneret og optimeret fra starten gør, at der ikke er den samme usikkerhed om systemresponsen og behovet for udskiftninger og tilpasninger. Yderligere kan rør- og kabelføring, inkl. den ekstra rør- og kabelføring ved ULTFV-forsyning, optimeres, således at plads og serviceforhold tilgodeses. Alle de tekniske fordele ved at implementere et ULTFV-system fra starten i nybyggeri i stedet for et retrofit minimerer selvfølgelig også de samlede investeringsomkostninger.

11 Måling, overvågning og analyse

11.1 Definition af alternativer som ULTFV måles op imod

ULTFV-konceptet implementeret i Louiselund i dette projekt måles op mod følgende alternativer:

- FV med en fremløbstemperatur på ca. 85³/95⁴ °C og returtemperatur på ca. 50-55 °C
- LTFV med en fremløbstemperatur på 55 °C og en returtemperatur på 35 °C.

11.2 Udarbejdelse af måleprogram

Som led i dette demonstrationsprojekt er der udarbejdet og gennemført et måleprogram, se bilag 3, som grundlag for at dokumentere konceptets tekniske formåen, herunder:

- Afdække, hvor meget fremløbstemperaturen kan sænkes som funktion af udetemperatur og stadig sikre varmt brugsvand og indekomfort i nyere boligblokke med gulvvarme
- Undersøge, hvor meget returtemperaturen sænkes henover året ved ULTFV kontra traditionel FV.
- Belyse, hvor meget temperaturen i den forsynende returledning reduceres.

³ Sommertemperatur

⁴ Vintertemperatur

- Dokumentere, hvor meget fremløbstemperaturen fra blandesløjfen kan sænkes ved henholdsvis sommer- og vinterdrift.
- Afdække anlæggets driftssikkerhed

Måleprogrammet blev gennemført i perioden medio januar 2017 til ultimo juni 2017. Måleprogrammet er dog videreført efter projektets officielle afslutning 30.06.2017, for at indsamle et mere fyldestgørende datagrundlag for ULTFV-konceptets performance og potentiale. Denne ekstra dataperiode er medtaget i denne rapport.

Gennem måleprogrammets gennemførelse har Sweco og Norfors deltaget med følgende ansvarsområder:

Sweco:

- Behandling af data fremsendt af Norfors

Norfors:

Logning og levering af data vedrørende:

- Leveret varme
- Fremløb til blandesløjfe (fra Louiselunds returledning)
- Fremløb fra blandesløjfe
- Returløb til Louiselunds fordelingsnet fra P1/P2
- Fremløb ved varmecentral i P1/P2 (Fjernvarmens varme fremløb)
- Varme leveret fra fjernvarme til varmepumpens fordampere
- Elforbrug til varmepumpe
- Varme leveret fra varmepumpe.

11.3 Målinger og dokumentation af drift og performance

Som beskrevet i afsnit 11.2 er der gennemført et måleprogram i perioden medio januar 2017 til ultimo juni 2017 med forlængelse til og med august.

Målinger af konceptets performance præsenteres gennem hele måleprogrammets periode.

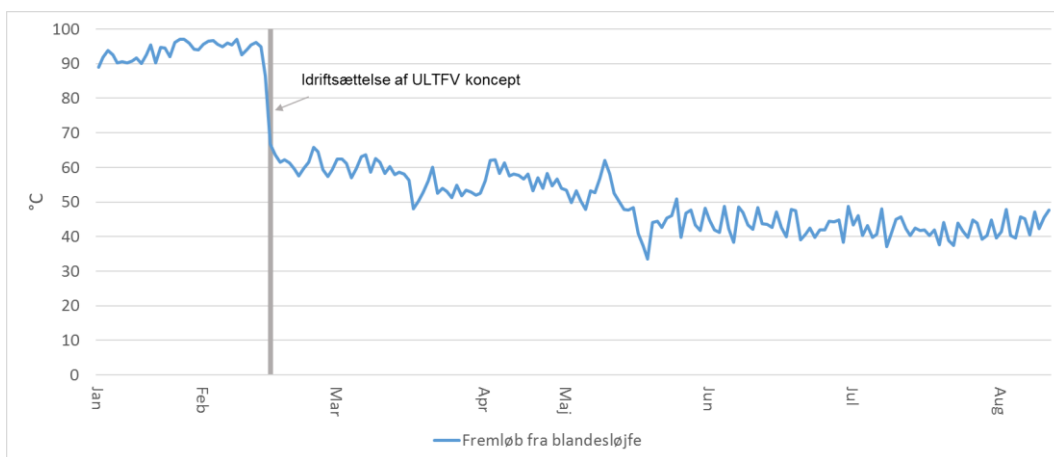
Til måling af data, blev der installeret 3 Kamstrup Multical 602 på udvalgte punkter i systemet samt en bimåler til el-forbrug, for at kunne indsamle et fyldestgørende datagrundlag for de enkelte delelementer i konceptet og deres indvirkning på systemet.

11.3.1 Måling af fremløbstemperatur fra blandesløjfe

For at afdække, hvor meget fremløbstemperaturen kan sænkes som funktion af udetemperaturen og stadigt sikre varmt brugsvand samt indekomfort, er

fremløbstemperaturen fra blandesløjfen gradvist blevet reduceret i måleperioden. Målet her var at kortlægge den nødvendige fremløbstemperatur samt forsyningens ydeevne som funktion af udetemperatur.

Fremløbstemperaturen efter blandesløjfen blev indledningsvist sænket til ca. 60 °C, hvorefter den gradvist er blevet reduceret til mellem 40 °C og 50 °C frem mod og under sommerperioden.



Figur 10: Målt fremløbstemperatur (døgnmiddel) fra blandesløjfe til P1/P2 i perioden medio januar 2017 til medio august 2017

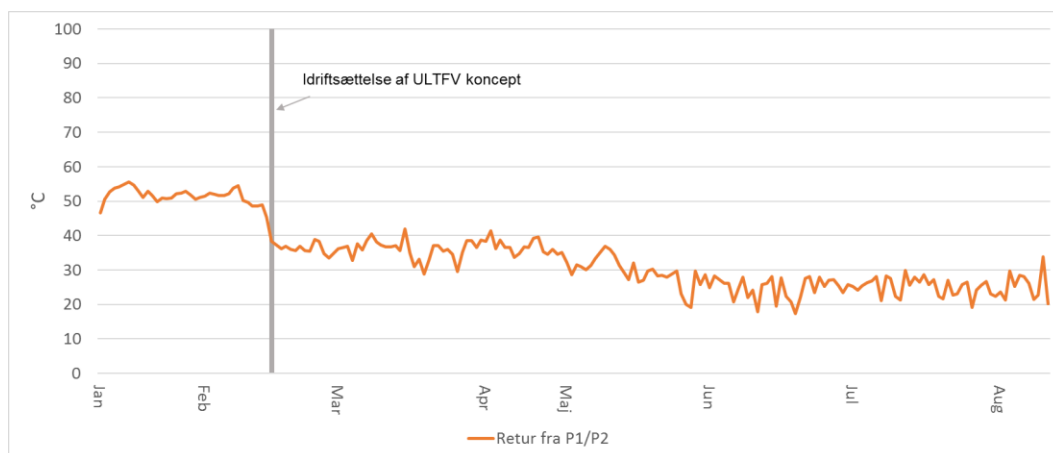
Som det fremgår af den ovenstående figur, har det været muligt at reducere fremløbstemperaturen til P1/P2 ned til ca. 45 °C i sommerperioden, hvilket er 40-45 °C lavere end den normale sommerfremløbstemperatur på 85-90 °C med FV.

11.3.2 Måling af returtemperatur fra blandesløjfe

Returtemperaturen fra blandesløjfen er målt gennem hele testperioden for at måle og dokumentere, hvor meget returtemperaturen reelt kan sænkes ved ULTFV konceptet.

Returtemperaturen ud af centralen P1/P2 er en blanding mellem det afkølede fjernvarmevand, der er udnyttet i varmepumpen til brugsvandsopvarmning og det afkølede fjernvarmevand fra rumvarmeveksleren. Den samlede returtemperatur vil variere afhængigt af fremløbstemperaturen, samt mængden af energi, der forbruges til henholdsvis rumvarme og opvarmning af brugsvand via varmepumpen.

Returtemperaturen på døgnmiddel basis over måleperioden fra centralen P1/P2, kan ses herunder.



Figur 11: Målt returtemperatur (døgnmiddel) fra centralen P1/P2 i perioden medio januar 2017 til medio august 2017.

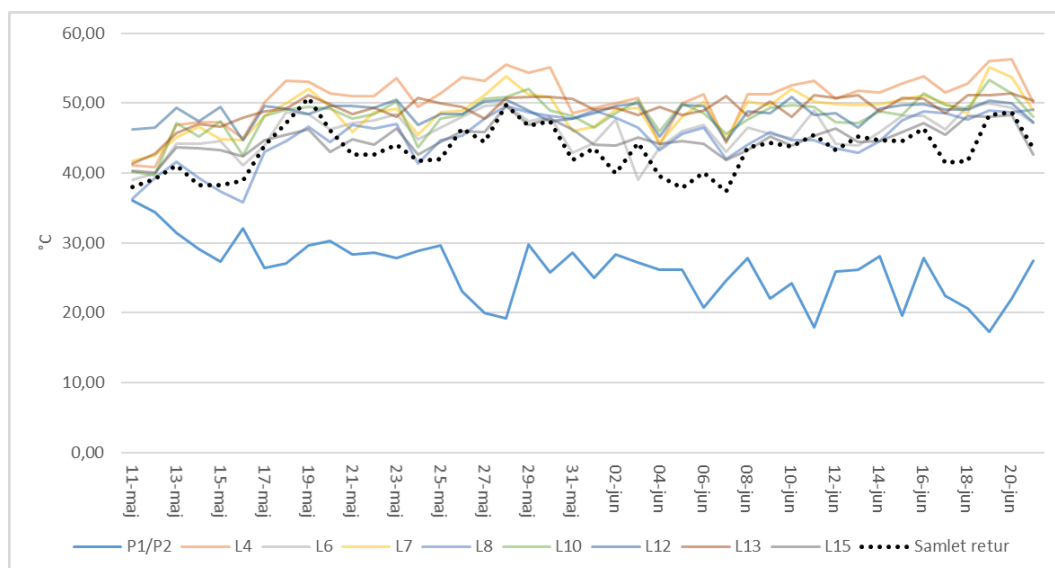
Som det fremgår af den ovenstående figur, resulterer implementeringen af ULTFV-konceptet også i en lavere returtemperatur. Ved sænkning af fremløbstemperaturen har det været muligt at reducere returtemperaturen fra 50-55 °C ved normal FV-drift til 20-30 °C med ULTFV-drift.

11.3.3 Vurdering af hvor meget temperaturen i den forsynende returledning reduceres og effekt på øget kapacitet i nettet

Der er indhentet driftsdata for resten af Louiselund, i form af bl.a. fremløbs- og returtemperaturer samt flowværdier, for at vurdere, hvilken effekt implementering af ULTFV-konceptet har på fjernvarmesystemet.

Det har ikke været muligt at indhente et komplet sammenhængende timebaseret datasæt for hele måleprogrammets periode, og det er derfor valgt at analysere data for perioden 11.05.2017 til 21.06.2017 nærmere, da der for denne periode forelå et komplet datasæt.

Som det fremgår af den følgende figur resulterer ULTFV-konceptet i en væsentligt lavere returtemperatur end resten af Louiselund. For ULTFV-konceptet er den målte returtemperatur til tider op til 35 °C lavere end i resten af Louiselund. Den lavere returtemperatur skyldes bl.a. at ULTFV-konceptet hovedsageligt tager varmen fra en delstrøm fra den eksisterende returledning i Louiselund og derved køler yderligere på denne inden returvandet sendes ud i Norfors´ hovednet.

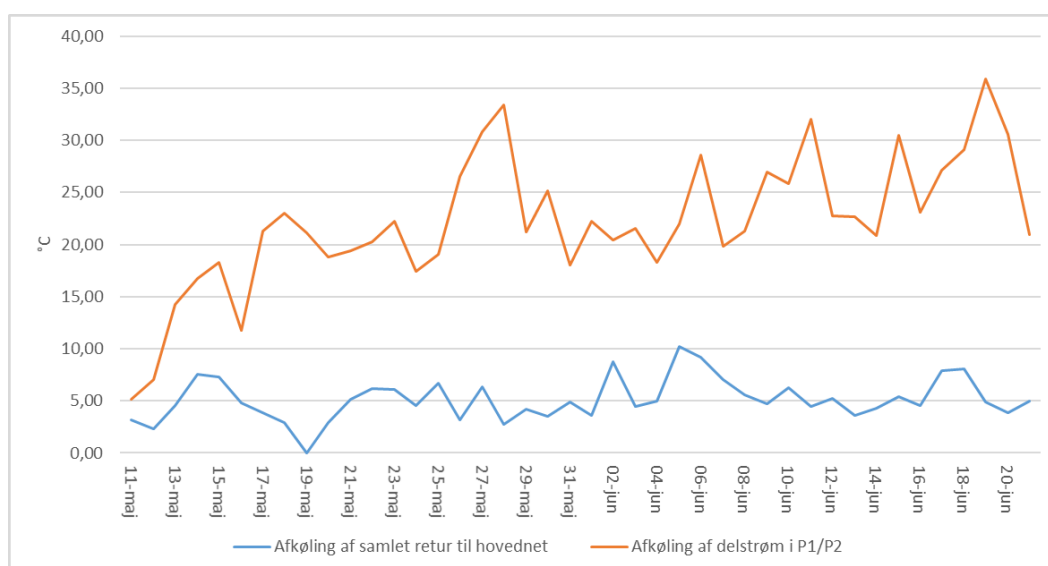


Figur 12: Målt returtemperatur fra henholdsvis P1/P2 og resten af Louiselund

Da det kun er en enkelt boligblok i Louiselund, der er konverteret til ULTFV-konceptet, er den lavere returtemperaturs indvirkning på den samlede returtemperatur fra hele Louiselund begrænset, men dog stadig betydelig.

Gennem perioden 11.05.2017 til 21.06.2017 har ULTFV-systemet kølet delstrømmen fra den eksisterende returledning med mellem ca. 5-35 °C i perioden, som det fremgår af nedenstående figur. En gennemsnitlig afkøling over hele perioden er beregnet til 22,23 °C.

ULTFV-systemet afkøling af delstrømmen har resulteret i at den samlede returtemperatur fra Louiselund, og ud til Norfors´ hovedledning, i gennemsnit er blevet reduceret med ca. 5 °C over perioden.



Figur 13: ULTFV konceptets afkøling af hhv. den tilgående delstrøm og den samlede retur til hovednettet

I det følgende er ULTFV-systemets indvirkning på den samlede returtemperatur i Louiselund anvendt til teoretisk at estimere effekten på den samlede returtemperatur i hovednettet tilbage til Norfors' kraftvarmeværk for perioden.

I dette projekt er én varmecentral i Louiselund med en samlet maksimal varmeeffekt på 172 kW (146 kW for rumvarmeveksler og 26 kW for brugsvandsopvarmning) konverteret til ULTFV-systemet. Dette svarer forholdsmæssigt til ca. 2,7 % af den maksimale varmeeffekt der kan sendes ud fra kraftvarmeværket som er 64 MW. Antages dette forhold at gøre sig gældende på den samlede returtemperatur i hovednettet tilbage til kraftvarmeværket kan følgende temperaturreduktion estimeres:

$$\text{Afkøling fra boligblok} * \frac{\text{Konverteret varmeeffekt}}{\text{Samlet varmeeffekt på værk}} = \text{Afkøling af retur på værket}$$

$$22,23 \text{ °C} * 2,7 \text{ ‰} \approx 0,06 \text{ °C}$$

Med udgangspunkt i ovenstående estimat svarer det til at returtemperaturen tilbage til Norfors' kraftvarmeværk kan reduceres med ca. 0,35 °C for hver MW der konverteres til ULTFV-systemet i forsyningsnettet. For at opnå en reduktion på 1 °C i Norfors' forsyningsnet kræver det teoretisk set en konvertering til ULTFV-systemet af ca. 2,9 MW.

Ovenstående formel kan også benyttes af andre fjernvarmeselskaber til at estimere en indikation for, hvor store systemfordele der kan opnås ved at konvertere en udvalgt boligblok i forsyningsnettet til konvertering til ULTFV-systemet.

Det skal understreges, at dette er et teoretisk estimat baseret på data for en kort udvalgt periode. Estimatet vil derfor ikke nødvendigvis være fuldt repræsentativt for driften på årsbasis, men indikerer et potentiale for systemforbedringer. Med en komplet datasæt for

en længere periode vil det være muligt at opnå et mere retvisende estimat for ULTFV-systemets indvirkning på årsbasis.

11.3.4 Performance af varmepumpe

Siden idriftsætningen af varmepumpen i slutningen af februar har der været foretaget målinger på:

- Fremløbs- og returtemperatur, flow og energi til/fra varmepumpe
- Elforbrug til varmepumpe

Det primære formål med målingerne var, at undersøge varmepumpens COP i ULTFV-konceptet. Fremløbs- og returtemperatur, flow samt energi til og fra varmepumpen blev målt med en Kamstrup Multical 602, mens elforbruget blev målt med en separat bimåler fra Schneider Electric. Tilkoblet bimåleren var også den nye booster- og shuntpumpe, så elforbruget kun til varmepumpen er beregnet ved at fratække pumpernes elforbrug, hvilket er estimeret ud fra gennemsnits flowmængder og pumpernes pumpekurver for afsat effekt. Beregningen baserer sig på en række simplificeringer, da pumpernes drift og elforbrug er meget dynamisk dels grundet tilspændingen fra den varme ledning med højere trykniveau og dels den installerede trykreduktionsventil i systemet. Beregningen af COP er sensitiv overfor andelen af el der anvendes af pumperne og derfor er der en vis usikkerhed om COP-værdien.

Som tidligere nævnt i nærværende rapport har varmepumpen dels været i drift med den oprindelige varmtvandsbeholder, som var designet til et andet temperatursæt, og dels den nye beholder, der er designet til varmepumpens driftsforhold. COP for begge driftssituationer vil herunder blive præsenteret.

COP for varmepumpen med eksisterende varmtvandsbeholder blev beregnet til ca. 3,0

COP for varmepumpen med optimeret varmtvandsbeholder blev beregnet til ca. 3,5

Indledningsvis havde varmepumpen vanskeligt med at afsætte varmen i varmtvandsbeholderen og stoppede ofte for at afkøle, fordi den blev overophedet. Denne ufrivillige start/stop drift har helt sikkert medvirket til, at varmepumpen har kørt langt mere ineffektivt end forventet.

Driften med en optimeret varmtvandsbeholder viser en forbedring af varmepumpens performance. Varmeafsætning i varmtvandsbeholderen har umiddelbart vist en mere stabil drift med mindsket risiko for at varmepumpen melder fejl grundet overophedning. COP-værdien er dog stadig relativ lav ift. de COP-værdier der er opgivet i databladet og testrapport ved tilsvarende temperaturniveauer for varmekilde og varmeoutput. Årsagen til den lavere COP værdi end forventet bør undersøges nærmere for at identificere, om systemet eventuelt kan optimeres og blive mere energieffektivt.

11.4 Brugerøkonomi

Som beskrevet i afsnit 8, blev det i projektgruppen aftalt, at Hørsholm Almene Boligselskab kun skulle afregnes for flowet fra den varme ledning og selv stod for betalingen af el til varmepumpen. I dette afsnit præsenteres brugerøkonomiske resultater som er fremkommet pba. måleprogrammet.

Der er antaget følgende ifm. beregningen af brugerøkonomien:

- Da datagrundlaget ikke har været komplet, har det været nødvendigt at interpolere de manglende data.
- Data for perioden fra 01.03.2017-27.09.2017 er anvendt.
- Beregningerne baserer sig på Norfors' variable tariffer for flow og energimængde for 2017. Flow: 5,63 kr./m³ inkl. moms, Energi: 626,25 kr./MWh inkl. moms
- Elforbrug er både til varmepumpen samt booster- og shuntpumpe.
- En elpris på 2.200 kr./MWh inkl. moms antages.
- Både for ULTFV og traditionel fjernvarme afregnes efter flow fra den varme ledning.
- Energimængden som traditionel fjernvarme i givet fald skulle levere i samme periode er beregnet ved at tillægge varmemængden som varmepumpen leverer i ULTFV-systemet til brugsvandsopvarmning.
- Før projektets start havde P1/P2 centralen en afkøling på ca. 47K. Denne afkøling er anvendt til beregning af nødvendig flowmængde.

Herunder er den brugerøkonomiske beregning opstillet.

	Enhed	ULTFV	Traditionel Fjernvarme
Flowvolumen	[m ³]	614	1.312
Energimængde	[MWh]	55,6	71,6
Elforbrug	[MWh]	7,75	0
Samlet omkostning	[kr.]	55.318	52.226
Besparelse	[kr.]	-	3.092

Tabel 2: Brugerøkonomisk oversigt

Som det fremgår af tabellen er der en marginal merudgift ved ULTFV-systemet i forhold til traditionel fjernvarme. Havde afregningen for ULTFV været for hele flowet og ikke kun fra den varme ledning, var flowvolumen afregnet efter 2.276 m³. Den brugerøkonomiske omkostning havde i dette tilfælde været 64.675 kr. og dermed en væsentlig dyrere løsning.

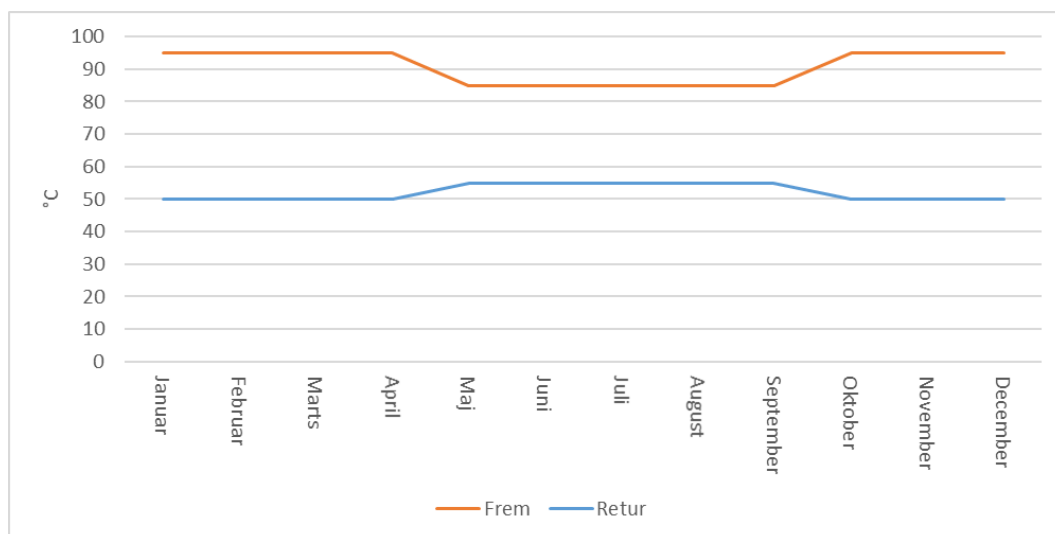
Den brugerøkonomiske beregning illustrerer ganske godt, at der er behov for at fastlægge tariffer for ULTFV-forsyning, således at både kunden og forsyningsselskabet opnår en gevinst ved en konvertering. Dette aspekt er diskuteret nærmere i afsnit 12.4.

11.5 Analyse af koncept i relation til alternativer

I de følgende afsnit analyseres ULTFV-konceptet ift. alternativerne opstillet i afsnit 11.1. Dette gøres for hhv. fremløbs- og returtemperatur.

11.5.1 Fremløbs- og returtemperatur

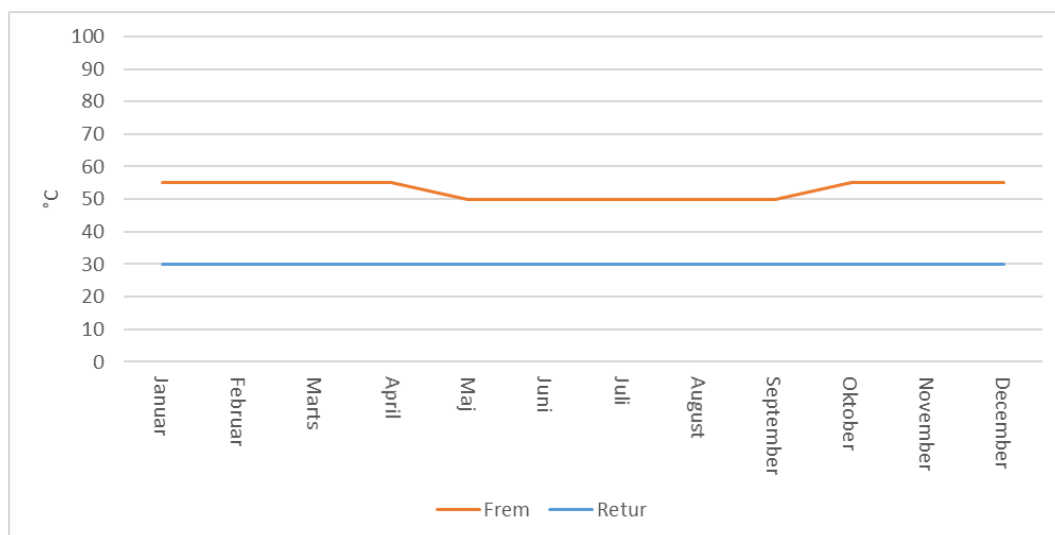
Nedenstående figur illustrerer en typisk kurve for fremløbs- og returtemperatur i Louiselund hen over året ved FV. Her ligger fremløbstemperaturen typisk omkring 95-100 °C i vinterperioden, mens den sænkes til omkring 85-90 °C i sommerperioden. Returtemperaturen ligger typisk på hhv. 50 °C i sommerperioden og 55 °C i vinterperioden.



Figur 14: Typisk fremløbs- og returtemperatur i Louiselund hen over året ved traditionel FV

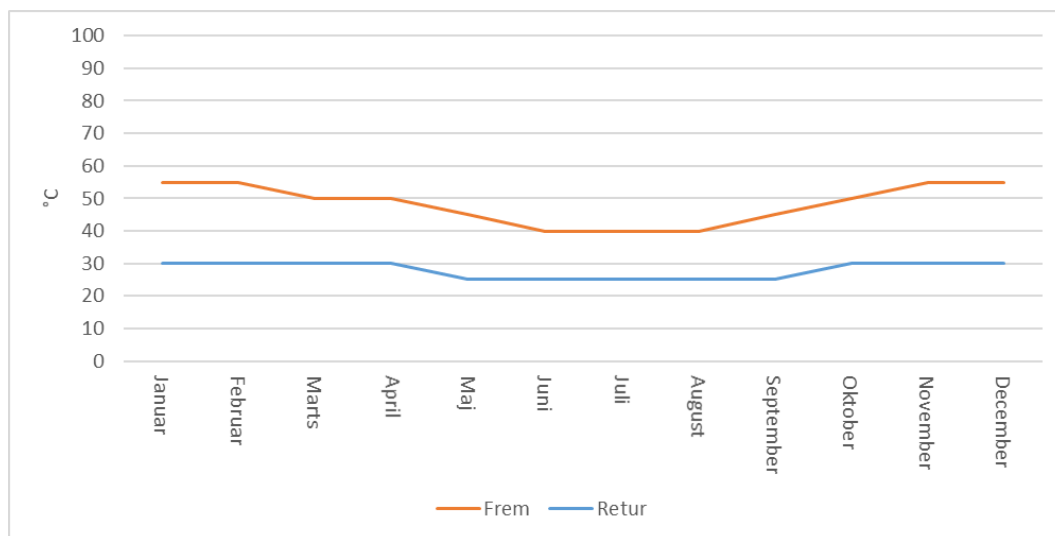
Ved LTFV anvendes typisk fremløbstemperaturer ved forbrugeren på 50-55 °C hen over året, og returtemperaturen typisk vil ligge omkring 30 °C, alt afhængigt af forbrugeren anlæg, som også illustreret på den følgende figur. Det svarer til en temperaturreduktion på 40-50 % for fremløbstemperatur og 40-45 % for returtemperatur ift. traditionel drift i Louiselund.

Returtemperaturen ved LTFV vil reelt ikke være konstant hen over året, men typisk være lidt højere i sommerperioden sammenlignet med vinterperioden.



Figur 15: Typisk fremløbs- og returtemperatur hen over året ved LTFV

Nedenstående figur illustrerer fremløbs- og returtemperatur hen over året med et ULTFV-koncept til boligblokke som demonstreret i dette projekt. Kurverne er baseret på målinger foretaget i P1/P2 i Louiselund, men da der kun er kørt reel ULTFV-drift (<45 °C i fremløb) i perioden maj-august 2017 er temperaturer for resten af året estimeret ud fra en typisk normalfordeling over året samt test af temperaturramper for rumvarmekredsen beskrevet i afsnit 6.4.



Figur 16: Fremløbs- og returtemperatur hen over året ved ULTFV konceptet implementeret i Louiselund

Som det fremgår, er det muligt at sænke temperaturniveauet yderligere ift. LTFV, men samtidigt varierer såvel fremløbs- som returtemperatur i højere grad hen over året.

I sommerperioden kan fremløbstemperaturen sænkes til ca. 40 °C. En reduktion på 10-15 °C ift. LTFV og 45-50 °C ift. traditionel FV i Louiselund.

I vintermånederne antages det at være nødvendigt at hæve fremløbstemperaturen til ca. 50-55 °C for at sikre tilstrækkelig rumvarme, da der er tale om en retrofit-løsning i et eksisterende byggeri, der ikke er designet til det lave temperatursæt. I meget kolde situationer kan det være nødvendigt at hæve temperaturen yderligere. Var byggeriet designet til ULTFV-drift ville det også muligt at arbejde med en fremløbstemperatur på ned til ca. 40 °C i vinterperioden.

Returtemperaturen er ligeledes reduceret en smule ved sommerdrift sammenlignet med LTFV.

11.5.2 Konceptets egnethed for fordele i samspil med andre VE-teknologier

Varmepumper

Store varmpumper har væsentlige fordele som produktionsanlæg i ULTFV-systemer ift. FV. Ved den lave fremløbstemperatur ved ULTFV, vil en varmepumpe typisk være mere effektiv (højere COP), idet der kan flyttes mere energi. Samtidigt kræver ULTFV ikke så store temperaturløft som ved FV, hvilket minimerer det nødvendige kompressorarbejde og øger varmepumpesystemets COP.

Hvor meget varmepumpeanlægges COP øges ved ULTFV afhænger i høj grad af de givne fjernvarmetemperaturniveauer (aktuel og reference), kølemiddel samt tilgængelig varmekilde.

Geotermi

Da temperaturniveauet på varmen fra geotermi i Danmark som udgangspunkt vil være for lav til en direkte forsyning af et fjernvarmenet vil samspillet med ULTFV være tæt knyttet til varmepumpe. I andre lande med mere gunstige geotermiske forhold end Danmark vil det muligvis være muligt helt at undvære en varmepumpe til at hæve temperaturniveauet.

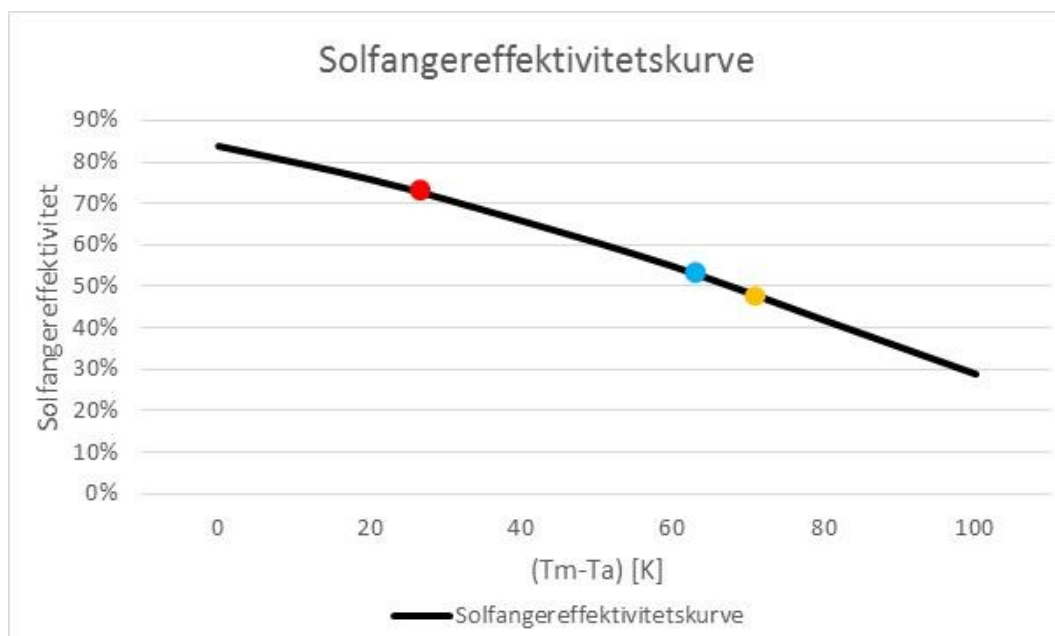
En varmepumpe vil kunne udnytte den geotermiske varme som varmekilde og jo lavere temperaturforskelle der er mellem denne varmekilde og fremløbstemperaturen i fjernvarmenettet des højere COP er det muligt at opnå.

Solvarme

Drift ved lave temperaturer som ved LTFV og ULTFV vil give solfangeranlæg en højere effektivitet end ved FV. Dermed reduceres det solfangerareal der er nødvendigt for at levere den ønskede varmemængde.

Af nedenstående figur fremgår effektiviteten af en pladesolfanger som funktion af temperaturdifferens. På figuren er markeret tre prikker, en rød, en gul og en blå. Den røde indikerer solfangerens effektivitet ved ULTFV-drift, mens den gule og blå prik

henholdsvis indikerer effektiviteten ved FV drift med temperatursættene 95-100 °C/55 °C og 85-90 °C/50 °C.



Figur 17: Solfangereffektivitetskurve ved forskellige fjernvarme-temperatursæt

Ved ULTFV-drift er det muligt at opnå en solfangereffektivitet på mere end 70 %, mens det for FV kun er muligt at opnå omkring 60 %. Det svarer til en gevinst på over 10 %-point eller en forbedring på mere end 20 %.

Det lavere temperaturniveau ved ULTFV muliggør endvidere at solvarme har mulighed for at dække varmebehovet helt eller delvist længere ind i forårs- og efterårsperioden. Det sandsynliggør at solvarme i kombination med ULTFV vil kunne opnå en varmedækningsgrad større end 20 % på årsbasis uden store sæsonlagre tilknyttet, som det ellers traditionelt kræves ved FV.

12 Rammevilkår for ULTFV

ULTFV kan ikke uden videre blot implementeres i alle boligblokke, da der er nogle tekniske og økonomiske barrierer, som sætter en begrænsning for, hvilke boligblokke som er egnet til konceptet. I de følgende afsnit ridses de vigtigste aspekter op som er identificeret i projektet.

12.1 Krav om gulvvarme

En fjernvarmeforsyning med ULTFV kræver, at fremløbstemperaturen til rumvarmekredsen samtidig er lav, da denne er dimensionsgivende for fjernvarmens temperaturniveau. Kravet til fremløbstemperaturen til rumvarmekredsen er direkte

afhængig af størrelsen af varmeplader der findes i boligblokken, hvilket gør, at boligbyggeri, hvor rumopvarmning sker via radiatorer ikke umiddelbart kan accepteres. Gulvvarme overalt i byggeriet vurderes at være essentielt for at kunne anvende ULTFV optimalt. Ældre boligblokke vurderes ikke at kunne anvende ULTFV, grundet de mindre varmeplader og lavere isoleringsgrad som resulterer i forudsætter højere forsyningstemperatur til rumvarmekredsen for at opretholde en normal komforttemperatur.

12.2 ULTFV er mest oplagt ved nybyggeri

Baseret på erfaringer fra nærværende projekt vil det være klart mest ideelt for en varmecentral, der forsynes med ULTFV, at den etableres i forbindelse med nybyggeri. Dermed kan varmesystemet, både varmecentralen og boligblokkens brugsvands- og rumvarmekreds, designes fra bunden til at være tilpasset de lave forsyningstemperaturer. Et retrofit, som det blev gjort i projektet, er bevist at kunne lade sig gøre. Et retrofit med et velfungerende ULTFV-anlæg er dog mere krævende, da det kræver en analyse af eksisterende forhold, et redesign af komponenter og rørføring samt en test af systemresponsen ved de lavere fjernvarmetemperaturer for at implementere eventuelle ekstra tiltag.

12.3 Boligblokkens placering i fjernvarmenettet.

I ULTFV-konceptet er det mest oplagt at anvende varmen i de traditionelle fjernvarmesystems returledning, og med mulighed for at spæde varmere vand til fra det traditionelle fjernvarmesystems fremløbsledning i en blandesløjfe. For at dette er muligt skal boligblokken være beliggende et sted i fjernvarmenettet, hvor der er returvand fra andre kunder, der kan udnyttes. En placering yderst i nettet vil i stedet kræve et andet setup for at forsyne med ULTFV f.eks. via en shunt inde i varmecentralen, men en sådan løsning vurderes ikke at være systemmæssigt optimal.

12.4 Tilpassede ULTFV-tariffer

Da en ULTFV-forsyning ikke er et udbredt koncept, og heller ikke eksisterer i det format som er udviklet og demonstreret i nærværende EUDP projekt, findes der ikke nogen almindeligt anvendte tekniske bestemmelser eller ULTFV-tariffer. ULTFV medfører, som nævnt tidligere i rapporten, en række systemfordele som giver forsyningsselskabet en besparelse, primært på driften. For at have incitament til at få ULTFV skal boligselskabet kunne se en økonomisk gevinst, der kan give beboerne en lavere varmeregning ved enten at få denne type forsyning ved nybyggeri eller konvertere eksisterende byggeri.

Der er tre måder, hvorpå både forsyningsselskabet og boligselskabet kan finansiere en løsning med ULTFV, hvor begge parter får noget ud af det.

- 1) Enten betaler forsyningsselskabet for ombygningen ved retrofit eller den eventuelle merpris ift. en installation med traditionel fjernvarme, der måtte være ved nybyggeri. Investeringen tilbagebetales via systemfordelene (mindre varmetab, afkøling af returledning som giver højere virkningsgrad på

produktionsanlæg, øget kapacitet i ledningsnettet og bedre udnyttelse af lavtemperaturkilder såsom solvarme, geotermi, overskudsvarme mv.

- 2) Boligselskabet betaler for ombygningen ved retrofit eller afholder hele investeringen ved en ULTFV-installation i nybyggeri. Boligselskabet skal så betale tilpassede ULTFV-tariffer, så investeringen kan tilbagebetales via driftsbesparelser indenfor en rimelig årrække.
- 3) Forsyningsselskabet og boligselskabet fordeler investeringen mellem sig i forhold til en retfærdig opdeling.

Alle 3 løsninger er udfordret af, at det kræver at systemgevinsterne kan kapitaliseres, således at der ikke er en "vinder" og en "taber" økonomisk set. Kapitaliseringen kan hurtigt blive en teoretisk øvelse, da der ikke er foretaget nogen dybdegående analyse der kan sætte et passende niveau.

13 Tiltag i eksisterende boligblokke

Som nævnt i forrige afsnit er det demonstrerede ULTFV-system ikke så velegnet til ældre eksisterende boligblokke med radiatorer der har et højere temperaturkrav til rumvarmekredsen end det, ULTFV kan levere. Ved ULTFV er fremløbstemperaturen så lav, at det er nærmest kun er boligblokke udelukkende med gulvvarme, der kan komme i betragtning. I ældre eksisterende boligbyggeri er det derfor umiddelbart mere nærliggende helt at se bort fra ULTFV (ca. 45-50°C) og i stedet overveje (L)TFV (ca. 60-65°C). Her er det stadig muligt at producere varmt brugsvand, så varmepumpen er således ikke nødvendig.

Udfordringen for mange forsyningsvirksomheder er netop de højere temperaturkrav til ældre eksisterende boligblokke samt at forbedre afkølingen fra disse. Med udgangspunkt i erfaringer fra det demonstrerede ULTFV-koncept som blev anvendt i EUDP-projektet, er der i de følgende afsnit redegjort for områder som med fordel kan overvejes ift. konvertering af en eksisterende boligblok med (L)TFV (60-65°C).

13.1 Anvendelse af varme fra hovednettets returledning

I projektet blev et nyt fjernvarmestik fra returledningen ført ind i centralen, således at returvarmen i distributionsledningen blev udnyttet. Sammen med en blandesløjfe var det muligt at styre fremløbstemperaturen svarende til netop de krav, der var i den pågældende boligblok. Denne kombination er ikke en revolutionerende ny teknologi, men den er relativt simpel alt afhængig af længden på stikket og plads til rørføring i varmecentralen. Stikket ind i centralen samt blandesløjfen inkl. shunt-arrangement krævede ca. 1,5 m² vægareal.

Anvendelse af varme fra hovednettets returledning har, som tidligere nævnt i rapporten, en række systemfordele for forsyningen.

13.2 Udskiftning af varmtvandsbeholder

Såfremt returvarmen fra hovednettet anvendes, opnås de største systemfordele beskrevet i denne rapport ved så lave fremløbstemperaturer som muligt. Dvs. jo mindre der spædes til med varmt vand fra hovednettets fremløbsledning jo bedre. Baseret på dette, er det ønskeligt med en så lille temperaturforskel som muligt mellem fjernvarmevandet og brugsvandet. Den lave temperaturredifferens kan være svær at opnå i ældre varmtvandsbeholdere, når spiralerne i tanken er dimensioneret til en langt højere fremløbstemperatur såsom 80-90°C, og samtidig måske har reduceret varmeledningsevne da varmespiralerne kan være tilkalkede. Resultatet vil være et alt for højt flow gennem spiralerne og en dårlig afkøling.

I nærværende udvikling og demonstrationsprojekt kørte varmepumpen som nævnt dårligt med oprindelige varmtvandsbeholder, da varmen ikke kunne afsættes i tilstrækkeligt grad. Dette blev forbedret ved en udskiftning af beholderen, der havde tilpassede spiraler til fremløbstemperaturen (ca. 60-65°C) samt en leveret varmeeffekt (26 kW).

I et system, hvor returvarmen for hovednettet anvendes og fremløbstemperaturen sænkes, er det derfor hensigtsmæssigt at udskifte varmtvandsbeholdere til en anden type, der er dimensioneret til forholdene. Ved en udskiftning vil det desuden være fordelagtigt for afkølingen af fjernvarmevandet at supplere installationen med en returtermostatventil på udløbet fra varmespiralerne.

13.3 Udskiftning af varmeveksler

Forsyning med (L)TFV kan potentielt gøre det sværere at overføre varme nok på de koldeste vinterdage, hvis veksleren i forvejen er dimensioneret "lige til grænsen" baseret på en væsentlig højere temperaturredifferens. En god indikator for vurdering af varmevekslerens egnethed til (L)TFV er ved at sænke fremløbstemperaturen til (L)TFV-temperaturer (60-65°C) og observere temperaturredifferensen mellem primær- og sekundærsidens returtemperaturer. Har varmeveksleren en lille forskel (1-2°C) på en normal dag i varmesæsonen er det en god indikation på, at veksleren er stor nok til at kunne overføre den nødvendige varme ved de lavere fremløbstemperaturer. Er temperaturredifferensen >5°C er det en god indikation på, at veksleren formegentlig ikke er stor nok og bør udskiftes med en større.

I mange tilfælde er det muligt at udskifte den eksisterende veksler til en anden af samme type, men med flere plader, så det ikke kræver rørtilpasninger og kan derfor udføres på meget kort tid.

13.4 Identifikation af potentielle boligblokke til (L)TFV

For forsyningsselskaber der ønsker at implementere (L)TFV, vil en identificering af de boligblokke der vil give de største systemfordele, være logisk at begynde med. Herunder er 4 forslag til parametre der bør undersøges:

13.4.1 Placering i nettet

Boligblokkens placering i forsyningsnettet er som beskrevet i afsnit 12.3 en meget vigtig parameter, såfremt der ønskes at anvende varmen i returledningen. En optimal placering er dels en placering tæt på værket ved en større hovedledning med stort flow i returledningen og dels en placering, hvor der kun skal etableres et kort stik ind fra returnrøret til varmecentralen, således at investeringen til et ekstra stik minimeres.

13.4.2 Varmeeffekt i boligblokken

Jo større varmeeffekt der kan trækkes, primært fra returledningen, jo større er systemfordelene. Boligblokkens installerede maksimale varmeeffekt der kan konverteres er derfor af væsentlig betydning.

13.4.3 Internt varmesystem

En analyse/vurdering af det interne varmesystem er vigtig at foretage indledningsvis. Eksempelvis gør et-strengsanlæg det sværere at sænke temperaturen end et to-strengsanlæg gør og dermed minimeres potentialet for systemfordele ved at udføre de foreslåede tiltag.

Mange radiatorsystemer i boligblokke er i dag overdimensioneret og kan godt klare sig med en lavere fremløbstemperatur. Det er derfor relevant at undersøge, hvilket varmfordelingssystem der er installeret i lejlighederne, og hvor langt det kan gå ned i fremløbstemperatur og stadig levere tilstrækkelig ydelse. Der er naturligvis en grænse for, hvor meget der kan optimeres på, og hvor meget fremløbstemperaturen kan sænkes fra centralt hold, da forbrugernes adfærd og styring af radiatorernes termostatventiler stadig efterlader en god margin for yderligere forbedring af såvel frem- og returtemperatur.

13.4.4 Forestående vedligehold og nuværende afkøling

Hvis én eller flere varmecentraler alligevel står over for en renovering eller generelt har et varmeanlæg med dårlig afkøling, er det nærliggende at indtænke en løsning med udnyttelse af returvarmen fra forsyningsnettet.

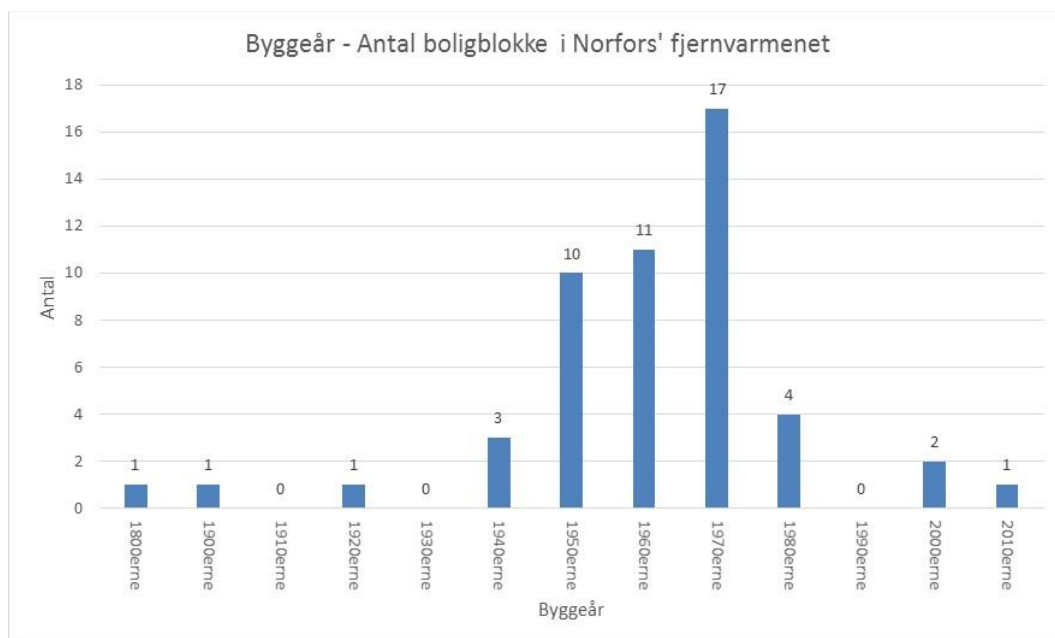
14 Potentiale i Norfors' forsyningsområde

Som led i at vurdere ULTFV-konceptets potentiale i Norfors' forsyningsområde har Sweco indhentet oplysninger fra Norfors, på hvor mange boligblokke, der i dag forsynes med fjernvarme i deres forsyningsområde, samt hvor stor en andel af det samlede varmesalg disse udgør.

Norfors forsyner i alt 51 boligblokke med fjernvarme. "Boligblokke" defineres i dette tilfælde som et afsætningssted med et aftag over 500 MWh/år. Der er derfor store boligblokke med flere afsætningssteder blandt de 51 identificerede boligblokke.

Det har i projektet ikke været muligt at undersøge disse boligblokke nærmere, men i stedet er byggeåret for alle boligblokke fundet, hvilket giver en god indikation af, om

boligblokke burde egne sig til konvertering til ULTFV forsyning. På figuren herunder ses antallet af byggerier fordelt på årtier.



Figur 18: Byggeår for boligblokke der forsynes med fjernvarme i Norfors' forsyningsnet.

Kun 3 boligblokke der forsynes med fjernvarme af Norfors, er bygget efter år 2000, mens langt størstedelen (ca. 75%) af boligblokkene er bygget mellem 1950-1979. Set i relation til de opstillede rammevilkår for ULTFV-forsyning, som er beskrevet i afsnit 12, er det derfor overvejende sandsynligt at kun de 3 nyeste byggerier er realistiske at kunne konvertere til ULTFV-forsyning, da det må forventes, at de er bygget efter nyere standard med højere isoleringsgrad og større varmefflader. Disse 3 boligblokke tegner sig dog kun for samlet ca. 1.580 MWh svarende til 2,2% af det samlede varmeaftag i boligblokkene i Norfors' forsyningsområde. Konverteres disse 3 til ULTFV-forsyning som projektet i Louiselund vil et groft estimat være, at det i gennemsnit vil kunne sænke returtemperaturen tilbage på værket 0,25 °C.

I Norfors' forsyningsområde, og nok også på nationalt plan, er det umiddelbart mest oplagt at undersøge muligheden for at konvertere eksisterende boligblokkene til (L)TFV i stedet. Dette kunne f.eks. gøres med udgangspunkt i de foreslåede tiltag, som beskrevet i afsnit 13.

I nærværende projekt blev returvandet afkølet med 22,2 °C i den konverterede boligblok. Ældre eksisterende boligblokke vil i større eller mindre grad kunne afkøle returvandet fra hovednettes returledningen, men dog ikke i samme grad som med ULTFV-konceptet, idet der som følge af den højere fremløbstemperatur ikke udnyttes så meget returvarme, men stadig en høj andel del fra den varme ledning.

15 Formidling

Nærværende EUDP-projekt har været præsenteret/formidlet ved:

- 4DH konference, september 2015 i København
- 4DH konference, september 2016 i Aalborg
- 4DH konference, september 2017 i København
- 7th International Symposium on Energy i Manchester, august 2017
- Artiklen ”Ultra-lavtemperaturfjernvarme kan udbrede fjernvarmen yderligere”, oktober 2017 i relevante fagblade.

Indledningsvis var det forventet, at et ULTFV-systemet var designet, implementeret og idriftsat i juli 2016, men grundet en række udfordringer, særligt med valg af varmepumpe og en gentænkning af konceptet, blev tidsplanen markant udskudt. Systemet var først i drift i februar 2017, og efterfølgende har der, jf. afsnittet om implementering af systemet som retrofit, været en række systemudfordringer der skulle adresseres løbende. Det har derfor været vanskeligt at indsamle og formidle brugbare resultater og et systemmæssigt optimalt koncept før denne slutrapportering.

16 anbefalinger

Nærværende EUDP-projekt omhandlende udvikling og demonstrering af et ULTFV koncept til boligblokke blev udført mellem juli 2015 til og med juni 2017. Projektet har givet projektgruppen en lang række erfaringer, som med fordel kan anvendes og udnyttes fremadrettet. En række aspekter bør dog undersøges nærmere, for at opnå mere viden og erfaring med ULTFV til boligblokke med henblik på at optimere rammevilkårene og effektivitet for systemet. Herunder er anbefalinger til det videre forløb angivet.

Det anbefales at;

- Der bør udføres flere projekter med udvikling og demonstration af ULTFV i boligblokke for at komplementere og videreudvikle systemet i dette projekt, herunder også i nye boligblokke.
- Foretage en nærmere analyse og kapitalisering af systemfordelene, for at sikre at forsyningen opnår en systemmæssig gevinst og at kunden opnår besparelser på driften. Det er vigtigt, at der gives et økonomisk incitament for at få gang i konverteringerne, så det er nødvendigt at ændre tarifstrukturen.
- Forsyninger foretager en målrettet indsats for at identificere eksisterende boligblokke der med fordel kan konverteres til ULTFV- eller (L)TFV-forsyning.
- Foretage en nærmere undersøgelse af den installerede varmepumpes drift, da COP værdier var lavere end forventet.
- Identificere eller udvikle varmepumpeløsninger, som kan klare højere indgangstemperaturer til fordampere, og dermed give en mere energieffektiv ULTFV løsning.