



EUDP 2008 - II, main report: CO₂-reductions in low-energy buildings and communities by implementation of low-temperature district heating systems

Worm, Jakob; Jørgensen, Holger; Thorsen, Jan Eric; Bennetsen, Jan; Larsen, Christian Ting; Juhl, Ole; Lang, Søren; Rosenberg, Filip; Olsen, Peter Kaarup; Lambertsen, Henning

Total number of authors:
17

Publication date:
2011

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Worm, J., Jørgensen, H., Thorsen, J. E., Bennetsen, J., Larsen, C. T., Juhl, O., Lang, S., Rosenberg, F., Olsen, P. K., Lambertsen, H., Svendsen, S., Brand, M., Bjerregård, R., Rude, M., Christiansen, C. H., Hansen, L., & Nielsen, S. B. (2011). *EUDP 2008 - II, main report: CO₂-reductions in low-energy buildings and communities by implementation of low-temperature district heating systems*. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Hovedrapport

Energistyrelsen - EUDP 2008-II

Journalnr. 63011-0152.

CO2-reductions in low energy buildings and communities by implementation of low temperature district heating systems. Demonstration cases in Boligforeningen Ringgården and EnergyFlexHouse.

Juni 2011



TEKNOLOGISK
INSTITUT

LOGSTOR

DTU Civil Engineering
Department of Civil Engineering

COWI

Danfoss

ENERGITJENESTEN



Kamstrup
- metering solutions

Boligforeningen
Ringgården



AFFALDVARME ÅRHUS



Høje Taastrup Fjernvarme A.m.b.A

Forord

Projektet "*CO₂-reductions in low energy buildings and communities by implementation of low temperature district heating systems. Demonstration cases in EnergyFlexHouse and Boligforeningen Ringgården*" er støttet af Energistyrelsen gennem energiforskningsprogrammet EUDP 2008-II og gennemført af følgende projektkonsortium med Energitjenesten som projektleder og Teknologisk Institut som taskleder på delopgave 1 og 2, samt COWI som taskleder på delopgave 3:

Energitjenesten:	Jakob Worm
Boligforeningen Ringgården:	Holger Jørgensen
Danfoss A/S:	Jan Eric Thorsen & Jan Bennetsen
LOGSTOR A/S:	Christian Ting Larsen
Kamstrup A/S:	Ole Juhl & Søren Lang
Ribe Jernindustri A/S:	Filip Rosenberg
COWI A/S:	Peter Kaarup Olsen & Henning Lambertsen
DTU-BYG:	Svend Svendsen & Marek Brand
Høje Taastrup Fjernvarme A.m.b.a.:	Rudi Bjerregård
Affaldvarme Århus:	Mette Rude
Teknologisk Institut:	Christian H. Christiansen, Lars Hansen & Sandie B. Nielsen

Denne rapport er en sammenfatning af resultaterne for projektets 3 delopgaver hvor der ligger særskilte rapporter som bilag.

Delopgave 1: *Demonstration af lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri i EnergyFlexHouse*

Delopgave 2: *Demonstration af lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri i Boligforeningen Ringgårdens afd. 34 i Lystrup ved Århus.*

Delopgave 3: *Miscellaneous investigations.*

Projektkonsortiet vil benytte lejligheden til at takke Boligforeningen Ringgården for at give mulighed for at demonstrere konceptet for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri og for det gode samarbejde ved implementeringen. I den forbindelse også en stor tak til Henrik Pedersen og Helle Villumsen, som har hjulpet med det praktiske i afd. 34 i demonstrationsperioden. På byggepladsen har de udførende parter vist velvilje og interesse for projektet; Konceptbolig, PB Electric, Bravida og Ingeniørfirma Viggo Madsen. Specielt vigtig har støtten fra COWIfonden, Miljø- og energifonden af 2005 samt Grundfos været for at kunne starte forsøget op i Lystrup.

Desuden skal AffaldVarme Aarhus og Lystrup Fjernvarme have en særlig tak for økonomiske bidrag der har muliggjort at måleprogrammet og dette projekt har kunnet gennemføres.

Juni 2011, Jakob Worm, projektleder

Indholdsfortegnelse

Side

1	Indledning	4
1.1	Baggrund	4
1.2	Formål.....	5
1.3	Resultaterne	5
2	Resumé på dansk	7
2.1	Resumé, task 1	7
2.2	Resumé task 2	7
2.3	Resumé, task 3	8
3	Summary in English	12
3.1	Summary, Task 1.....	12
3.2	Summary, Task 2.....	12
3.3	Summary task 3.....	13

1 Indledning

1.1 Baggrund

Der er de senere år fremlagt flere forskellige forslag til, hvordan Danmark kan gøre sig fri af fossile brændsler. Ens for dem er, at de inddrager en væsentlig reduktion af energiforbruget i bygninger og en fortsat udnyttelse af fjernvarme til opvarmning i stor udstrækning.

Ønsket om reduceret energiforbrug i bygninger afspejles også i Bygningsreglementet, der har indført specielle krav til lavenergibyggeri og i 2010 skærpet det generelle krav til bygningers energiforbrug.

De meget lave energiforbrug i bygninger stiller fjernvarmen overfor en række udfordringer, hvor en af de væsentligste er varmetab i ledningsnettet, der i forhold til forbruget vil blive forholdsvist stort, hvis der ikke ændres radikalt på den måde ledningsnettet designes på. Denne udfordring vil være mest udtalt i områder med lav varmetæthed – typisk områder med enfamiliehuse eller tæt-lav bebyggelse

I EFP 2007-projektet ”Lavenergifjernvarme til Lavenergibyggeri” er der udviklet et nyt koncept til forsyning af lavenergibygninger med fjernvarme. Konceptet tager udgangspunkt i optimering af hele kæden startende med varmfordelingssystem, fjernvarmeunits, ledningsdesign, fjernvarmerør og drift. De væsentligste elementer i konceptet er:

- Forsyning af lavenergibyggeri, klasse 1/klasse 2015 jf. Bygningsreglementet.
- Forsyning af en mindre enklave/område af bygninger, hvor der kan opnås ensartede driftsforhold
- Nye typer fjernvarmeunits bl.a. fjernvarmebeholderunit, der kan udjævne belastningen i nettet og levere varmt brugsvand tæt på fremløbstemperaturen hos forbrugeren.
- Varmeanlæg udlagt for lav temperatur - gulvvarme og/eller radiatoranlæg udlagt til temperatursæt 55°C /25°C
- Lave fjernvarmetemperaturer med fremløbstemperaturer hos forbrugeren ned til 50°C og returtemperaturer ned til 25°C.
- Boosterpumpe og blandekreds for enklave/område af bygninger for at opnå mindre ledningsdimensioner og fremløbstemperatur.
- Brug af twinrør i alle ledningsstørrelser - serie 2 eller bedre

I EFP-2007-projektet blev konceptet analyseret i forhold til et planlagt område med 92 enfamiliehuse i Ullerødbyen ved Hillerød. Analyserne viste at ledningstab teoretisk kan reduceres til blot 12% i området og at det også samfundsøkonomisk er fornuftigt at forsyne lavenergibyggeri med fjernvarme. Til sammenligning fremgik det af analyserne at et traditionelt fjernvarmedesign ville have givet anledning til et teoretisk varmetab på 36% for det givne referenceområde. I projektet blev der udviklet og produceret prototyper for fjernvarmeunits og stikledninger. Fjernvarmeuniten har en beholder på primærsiden (fjernvarmesiden), der medvirker til at udjævne belastningen og stikledningen er et twinrør

med medierør på 14 mm udvendig diameter og 10 mm indvendig diameter samt kapperør på 110 mm svarende til serie 2.

Der blev desuden udpeget 2 nye demonstrationsområder for konceptet, da udviklingen i Ullerødbyen kom til at gå langsommere end forventet. Det ene område er Teknologisk Instituts EnergyFlexHouse (se delrapport 1) og det andet er Boligforeningen Ringgårdens afd. 34 i Lystrup ved Århus (delrapport 2). I delrapport 3 er der yderligere analyseret på mulighederne for optimering og implementering af lavtemperatur fjernvarme og en vurdering af CO₂-reduktionspotentialer.

1.2 Formål

I task 1 er formålet med demonstrationen i EnergyFlexHouse i Taastrup, at analysere fjernvarmebeholderen i samspil med et større lavenergihus og forskellige tappemønstre for varmt brugsvand med henblik på eftervisning og videreudvikling af konceptet.

I task 2 er formålet med demonstrationen i Boligforeningen Ringgårdens afd. 34 i Lystrup ved Århus at vise, at de lave varmetab fundet i EFP 2007-projektet ”Lavenergifjernvarme til Lavenergibyggeri” kan opnås i praksis samt at videreudvikle og finpudse teknologien bag konceptet. Demonstrationsområdet er en rækkehusbebyggelse bestående af 40 boliger samt et fælleshus i et plan, lavenergibyggeri klasse 1, fordelt på 7 blokke. Der er installeret 2 forskellige unittyper i bebyggelsen designet for fremløbstemperatur ned til 50°C. De installerede units udgør 11 stk. fjernvarmebeholderunit og 30 stk. units med gennemstrømningsvandvarmer.

Udover målinger af fjernvarmeunits og ledningsnettets effektivitet er det også formålet at undersøge forhold omkring samtidighedsfaktorer, da det nuværende grundlag, som stammer fra 1980'erne ikke længere er tilstrækkeligt som følge af:

- 1) Fjernvarmeunits og driftsforhold har ændret sig
- 2) Der er behov for mere præcise vurderinger af behov for kapacitet i forhold til fjernvarmeforbrug i lavenergibyggeri
- 3) Bedre måle- og analysemetoder er tilgængelige i dag

I task 3 er formålet at vurdere potentialet for CO₂-reduktioner og energibesparelser i såvel nye som i de eksisterende fjernvarmenet for konceptet med lavtemperaturfjernvarme (LTDH). Yderligere mål er at undersøge implementeringen af LTDH i eksisterende bygninger og at undersøge optimering af LTDH design i almindelighed.

1.3 Resultaterne

Generelt viser projektet at der er store potentialer i de undersøgte principper med lavtemperaturdrift af fjernvarme. Principper som i mindre, men stigende grad er taget i anvendelse i fjernvarmebranchen, og som det vises her, vil have stor indflydelse på effektiv anvendelse af fjernvarme - hvis anvendelsen bliver endnu mere udbredt og principperne bliver anvendt konsekvent. Konceptet med lavtemperaturfjernvarme kan meget vel vise sig, at få stor betydning for den fortsatte udbredelse af fjernvarme, og rentabilitet for værkerne og forbrugerne.

I task 1 viser laboratorieundersøgelser fra Teknologisk og DTU store muligheder for reduktion af spidslast behov. Både ved optimering af brugerinstallationer med bufferbeholdere og ved anvendelse af gulvvarme. Blandt andet viser forsøgene, at indregulering af primærflow i forhold til faktisk forbrug og beholdervolumen er en parameter, der har stor betydning for den faktiske afkøling i beholderen. På brugsvandssiden dokumenteres at det er muligt at holde en varm brugsvandstemperatur meget tæt på fjernvarmefremløbstemperaturen.

De omfattende målinger i task 2 på en ny lavenergi-bebyggelse i Lystrup viser blandt andet at varmetabet udgør på årsbasis ca. 1,2 MWh pr. bolig svarende til ca. 17% af den leverede energi til området. Det er meget lavt, men på niveau med forventet varmetab beregnet i designfasen. Havde samme ledningsnet været udlagt med et traditionelt design med enkeltrør og et temperatur-sæt på 80/40°C ville det tilsvarende beregnede varmetab være ca. 4 gange større. Systemet kræver boosterpumpning, hvor det ekstra elforbrug for de 40 boliger andrager ca. 2.600 kWh om året.

Analyserne af resultaterne på målingerne i Lystrup peger frem mod, at der til dimensionering af fjernvarmesystemer er brug for et meget bedre grundlag for samtidighed og at der i fremtiden i langt højere grad bør tages hensyn til boligtyper og installationer for at få etableret optimale systemer.

I task 3 viser analyser af nybyggeri på en udstykning af villagrunde syd for Aarhus, at der for fjernvarmeforsyningen er en økonomisk fordel ved at anvende de beskrevne principper for lavtemperaturfjernvarme frem for den traditionel dimensionering. Resultaterne viser også, at der kun er en lille forskel i omkostningerne (byggeomkostningerne og 20 års drift) imellem de forskellige typer af fjernvarmeunits i husene.

I samme task viser analyser på en 70'er bebyggelse med 8 huse i Aarhus, at hvis fremløbstemperaturen på fjernvarmen sænkes gradvist fra 80°C til 60°C, kan varmetabet i det eksisterende fjernvarmenet reduceres med 20%. Et endnu større potentiale kan opnås ved udskiftning af det eksisterende fjernvarmenet med nye optimale rør. Et tredje sted, som er analyseret, er boligkvarteret Sønderby i Høje Taastrup med 75 parcelhuse fra 90'erne. Her er det eksisterende fjernvarmenet i dårlig stand og har et varmetab på over 40%. Med lavtemperaturfjernvarme vil det være muligt at reducere varmetabet til 15% eller lavere.

I de følgende afsnit er gengivet resumé fra de tre delrapporter. Da dette projekt indeholder en del forskellige emner indenfor fjernvarme og boliginstallationer kan det anbefales at studere de enkelte delrapporter, da mange detaljer og overvejelser nødvendigvis ikke kan gives ordentligt i et resume.

Rigtig god læselyst.

2 Resumé på dansk

2.1 Resumé, task 1

I projektet er gennemført den første demonstration af et nyt koncept til lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri, hvor den leverede fjernvarmetemperatur til forbrugerne er helt ned til 50°C. Konceptet er udviklet i et tidligere energiforskningsprojekt under EFP-2007-programmet og indebærer bl.a. nye typer fjernvarmeunits og twinrør i meget små dimensioner. En række forsøg er foretaget i Teknologisk Instituts EnergyFlexHouse i Taastrup, der består af 2 huse (216 m²) designet til at være energineutrale med solceller, men i øvrigt opfyldte betingelserne for Bygningsreglementets Energiklasse 2015 uden brug af solceller. De 2 huse kaldet "Lab" og "Family" er forbundet ned et fjernvarmenet udlagt efter principperne i konceptet. Forsøgene har været foretaget i "Lab"-huset, der forsynes med en stikledning, twinrør, med medierør på 14 mm udvendig diameter og 10 mm indvendig diameter samt kapperør på 110 mm svarende til serie 2. En fjernvarmebeholderunit med et beholdervolumen på 175 liter har været genstand for forsøgene. Der er gennemført test med en tapperobot for 3 forskellige tappemønstre for det varme brugsvand på forskellige tidspunkter af året. Det ene tappemønster er baseret på DS 439 og er identisk med det tappemønster, der i det forudgående projekt blev anvendt til simulering og dimensionering af fjernvarmebeholderstørrelserne. De 2 andre tappemønstre er baseret på den europæiske standard PrEN50440. Generelt viser forsøgene, at indregulering af primærflow i forhold til faktisk forbrug og beholdervolumen er en parameter, der har stor betydning for den faktiske afkøling i beholderen. På brugsvandssiden dokumenteres at det er muligt at holde en varm brugsvandstemperatur meget tæt på fjernvarmefremløbstemperaturen. På baggrund af forsøgene foreslås forskellige tiltag, der kan medvirke til bedre afstemning af varmtvandsforbrug med primærflow. I et nyt projekt bevilget under EUDP 2010-II programmet vil nogle af de foreslåede tiltag blive afprøvet og optimeret.

2.2 Resumé task 2

I projektet er gennemført den første demonstration af et nyt koncept til lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri, hvor den leverede fjernvarmetemperatur til forbrugerne er helt ned til 50°C. Konceptet er udviklet i et tidligere energiforskningsprojekt under EFP-2007-programmet og indebærer bl.a. nye typer fjernvarmeunits og twinrør i meget små dimensioner. Demonstrationsområdet er Boligforeningen Ringgårdens afd. 34 i Lystrup ved Århus, som består af en rækkehusbebyggelse med 40 boliger og et fælleshus, lavenergi-byggeri klasse 1, fordelt på 7 blokke og opført i perioden 2009-2010. Boligerne har et areal på ca. 87-110 m² og er beboet af fortrinsvis ældre uden børn eller familier med små børn. Formålet med demonstrationen har været at vise at konceptet virker i praksis og at videreudvikle og finpudse teknologien bag konceptet. Til det formål er der installeret måleudstyr og gennemført et stort måleprogram i perioden uge 26-47, 2010 med fokus på 1) forbrug og anlægstemperaturer, 2) samtidighed og samtidighedsfaktorer og 3) varmetab fra fjernvarme-

nettet samt elforbrug fra fælles boosterpumpe. Fjernvarmeforbruget hos den enkelte forbruger er målt og kombineret med målinger af rumtemperaturen i enkelte boliger er det bekræftet, at det er rimeligt at antage en rumtemperatur på mindst 22 °C ved beregning af varmebehov. På baggrund af en energisignatur er årligt fjernvarmeforbrug pr. bolig for et referenceår bestemt til ca. 5,8 MWh svarende til en målt varmetæthed baseret på ledningsstrækning og grundareal på hhv. 0,3 MWh/m og 14 kWh/m² for området. Resultaterne viser desuden, at det er muligt at levere en fremløbstemperatur på mindst de forudsatte 50°C hos forbrugeren med en fremløbstemperatur til området på ca. 56°C. Detaljerede målinger viser at der kan leveres varmt brugsvand ved en temperatur på 3°C under fjernvarmefremløbstemperaturen, dvs. 47 °C ved en fjernvarmefremløbstemperatur på 50°C. I måleperioden er der opnået gennemsnitlige varmtvandstemperatur på mellem 40-45°C. Samtidigheden for 2 typer fjernvarmeunits, fjernvarmebeholderunit (FVB) med beholder på fjernvarmsiden (primær side) og unit med gennemstrømningsvandvarmer (GVV) er analyseret. Der er udarbejdet kurver for samtidighedsfaktoren op til 10 forbrugere. Faktorerne, $e(1)$, svarende til den beregningsmæssige effekt, hvis der kun skal forsynes en forbruger, er bestemt til 4,7 kW for FVB-units og 24,3 kW for GVV-units. Punktet for $e(1)$ for GVV ligger lavere end tidligere arbejde og de 32,3 kW, der normalt dimensioneres for, men dette skal også ses i forhold til boligtypen. Analyserne peger frem mod, at der til dimensionering af fjernvarmesystemer er brug for et meget bedre grundlag for samtidighed og at der i fremtiden i langt højere grad bør tages hensyn til boligtyper og installationer for at få etableret optimale systemer. Det målte varmetab for hele ledningsnettet er meget lavt, men på niveau med forventet varmetab beregnet i designfasen. Forventet ledningstab i dette lavtemperaturnet udgør ca. 50.000 kWh/år. Havde samme ledningsnet været udlagt med et traditionelt design med enkeltrør og et temperatur-sæt på 80/40°C ville det tilsvarende beregnede varmetab være ca. 200.000 kWh. Det vil sige at varmetabet i forhold til et traditionelt fjernvarmesystem reduceres til ca. ¼ med det udviklede koncept. På den anden side fås et mindre øget elforbrug til boosterpumpning estimeret til ca. 2.600 kWh om året. Varmetabet udgør på årsbasis ca. 1,2 MWh pr. bolig svarende til ca. 17% af den leverede energi til området. Generelt har demonstrationen vist at konceptet virker, bl.a. bekræftet ved, at der ingen klager har været fra beboerne over manglende varme eller varmt brugsvand. Et nyt projekt bevilget under EUDP 2010-II programmet skal bringe konceptet et trin videre og udvide udbredelsespotentialen markant. I den forbindelse fortsættes målingerne i afd. 34 i Lystrup.

2.3 Resumé, task 3

Rapporten fokuserer på mulighederne for, at reducere CO₂-udledningen med etablering af lavtemperatur fjernvarme (LTDH) i områder med nye lavenergi-bygninger samt i områder med eksisterende bygninger.

I det første kapitel er der undersøgt tre forskellige steder, hvor der er mulighed for at etablere LTDH. Det første sted er i Solbjerg ved Aarhus, hvor 104 lavenergi-parcelhuse er planlagt opført. Beregninger for et LTDH-net (60/30°C) er blevet foretaget i programmet TERMIS. Resultaterne viser, at økonomisk er besparelspotentialen på 6-13% afhængigt af, om husene er bygget som lavenergiklasse 1 eller 2. I sammenligning med traditionel fjernvarme (DH) er CO₂-reduktionspotentialen beregnet til 4,4-7,5 tons pr. år. Resultaterne viser også, at der kun er en lille forskel i omkostningerne (byggeomkostningerne og 20 års

drift) imellem de forskellige typer af fjernvarmeunits i husene. Det er værd at lægge mærke til, at de fleste typehusfirmaer i dag kun tilbyder lavenergihuse med varmepumper, selvom LTDH kan anses for at være en fuldt konkurrencedygtig varmeforsyning. AffaldVarme Aarhus forsøger med dialog og information at få byggebranchen til at ændre dette syn på muligheden for fjernvarme.

Det andet sted, der er set på, er Skjoldhøjparken i Tilst ved Aarhus, som består af parcelhuse bygget i 70'erne. Otte enfamiliehuse er blevet undersøgt. I forhold til at få varme nok ved lavere fjernvarmetemperaturer viser undersøgelsen flere barrierer. Nogle huse har et underdimensioneret radiatorsystem og bruger typisk brændeovn som supplerende varmekilde på de koldeste dage. En bygningsrenovering kan reducere varmebehovet og gøre husene mere egnede til LTDH, men selv med tilskud er det svært at motivere bygherrer til at gå i gang med energibesparelser, der typisk kunne være forbedringer af klimaskærmen og varmeanlæg. Analyser viser, at hvis fremløbstemperaturen på fjernvarmen sænkes gradvist fra 80°C til 60°C afhængig af udetemperaturen, kan varmetabet i det eksisterende fjernvarmenet for de otte huse reduceres med 20%. Et endnu større potentiale kan opnås ved udskiftning af det eksisterende fjernvarmenet med nye optimale rør. Den tredje sted er boligkvarteret Sønderby i Høje Taastrup med 75 parcelhuse fra 90'erne. Det eksisterende fjernvarmenet er i dårlig stand og har et varmetab på over 40%. Med LTDH vil det være muligt at reducere varmetabet til 15% eller lavere. CO₂-udledningen kan reduceres med omkring 66 tons pr år. I et nyt EUDP-projekt vil det eksisterende fjernvarmenet blive udskiftet og drevet efter LTDH-principperne. I det andet kapitel beskrives de eksisterende fjernvarmesystemer i Aarhus og Høje Taastrup. De gennemsnitlige fjernvarmetemperaturer er i øjeblikket 80-77/47-42°C, så der er et potentiale for LTDH. Varmetab i fjernvarmenettene er 15-16%. Boligbebyggelser tegner sig for den største del af varmeforbruget, men også et stort antal af industri- og erhvervsbygninger forsynes. Bade AffaldVarme Aarhus og Høje Taastrup Fjernvarme renoverer løbende de eksisterende fjernvarmenet og udbygger i nybyggede boligområder, og der er områder med individuel opvarmning med naturgas, som nu bliver konverteret til fjernvarme. Begge selskaber arbejder på gradvist at sænke fjernvarmetemperaturerne, og der er desuden planer om at gennemføre CO₂-neutral varmeforsyning inden for 15-20 år. At sænke fjernvarmetemperaturerne fra 80/40°C til 55/30°C kan reducere varmetabet med ca. 35% i fjernvarmenettene. Derudover kan optimalt dimensionerede rørsystemer øge den potentielle besparelse til 50-75%. CO₂-reduktionspotentialet for Høje Taastrup Fjernvarme er mellem 7-10%, og for AffaldVarme Aarhus er det beregnet til 11-16%. I alt for Danmark vurderes reduktionspotentialet at være op til ca. 1.000.000 tons CO₂ om året, svarende til ca. 1/5 af den samlede årlige emission fra fjernvarmen.

Det tredje kapitel undersøger mulighederne for at forsyne eksisterende bygninger opført i 70'erne med fjernvarme ved fremløbstemperaturer omkring 50°C. Det vises, at grundlæggende forbedringer som for eksempel ved renovering af vinduerne, gør det muligt at nedsætte den maksimale fremløbstemperatur til 50°C. Denne temperatur er nødvendig for rumopvarmning i det meste af fyringssæsonen, men ved udendørstemperaturer under 0°C bør temperaturen øges. Det ses imidlertid ikke som et problem, da øget forsyningstemperatur i kolde perioder er udbredt i traditionel fjernvarme. Temperaturniveauerne til rumvarme kan yderligere reduceres ved udskiftning af eksisterende radiatorer med lavtemperatur-radiatorer (større overflade) eller ved yderligere energirenovering af klimaskærmen. Skift fra traditionel fjernvarme til LTDH er i eksisterende bygninger forbundet med ændring af brugerinstallationer.

Fjernvarmeinstallationer med brugsvandsbeholdere bør ændres, hvis fremløbstemperaturen kommer under 60°C i løbet af året (på grund af Legionella-risiko). Og units med gennemstrømningsvandvarmere (GVV) skal ændres, hvis fremløbstemperaturen falder til under 55°C, fordi det traditionelle design ikke er effektivt nok til produktion af varmt vand ved den lavere fjernvarmetemperatur. Derfor vil det være nødvendigt at skifte hoveddelen af de traditionelle fjernvarmeunits med nye typer, der er specielt designet til LTDH. Desuden bør fordelingsystemet til varmt brugsvand ikke indeholde over 3 liter vand, hvis brugsvandstemperatur er under 55°C.

I det næste kapitel vises eksempler på typiske krav til spidseffekt for brugsvand og rumvarme i lavenergiefamiliehuse samt i eksisterende typiske parcelhuse fra 70'erne. Den målte spidsbelastning for de enkelte huse er brugt som basis for evaluering af nedsættelse af spidseffekt i fjernvarmenettet. Hypotesen er, at hvis spidseffekt for de enkelte bygninger kan reduceres, kan man også reducere diametrene i fjernvarmerørene. Dermed kan varmetab og CO₂-emissioner minimeres.

Mulighederne for reduktion af spidseffekt er undersøgt for rumvarme og brugsvandsopvarmning. I bygninger med gulvvarme kan spidseffekten reduceres op til 40%, hvis varmesystemet drives med vedvarende cirkulation i stedet for on/off styring, som kan forårsage højt spidseffektbehov. Desuden kan vedvarende cirkulation i gulvvarmesystemet give bedre termisk komfort for brugerne, og det kan sikre en bedre afkøling i forhold til fjernvarmen. Reduktion af spidsbelastning i rumvarmesystemet er vigtig, idet samtidighedsfaktoren for rumvarme ikke kommer under 62% af summen af det samlede varmebehov for alle bygninger, og den dermed definerer flowet i fjernvarmeledninger, der forsyner mange forbrugere. For stikledninger afhænger vigtigheden af spidseffektreduktionen af fjernvarmeunittypen. I tilfælde med gennemstrømningsvandvarmere på brugsvandet har rumvarmen ingen indflydelse på dimensionering af stikledningen, da den dimensioneres til den maksimale effekt på 32,3 kW ved brugsvandsopvarmning. Situationen er anderledes i tilfælde af en fjernvarmeunit med buffertank - FVB (DHSU - District Heating Storage Unit), hvor mulighederne for at minimere fordelingsledningerne afhænger af størrelsen af buffertanke og maksimalt flow i fjernvarmenettet. Reduktion af spidseffekt til varmt brugsvand har primært betydning for de yderste dele af fjernvarmenettet, hvor et mindre antal forbrugere forsynes. I det tidligere EFP 2007 projekt blev der udviklet koncept og prototype for en FBV-unit med henblik på nedbringelse af den maksimale spidseffekt. I denne rapport er der set nærmere på optimering af FBV-unitten, hvor den nødvendige brugsvandsopvarmning og et rimeligt komfortniveau for forbrugerne forsat skal sikres. Optimeringen af FBV-unitten er baseret på at finde den optimale balance mellem størrelse af buffertank og maksimal opladning flow fra fjernvarmenettet ved den mindste rørdimension, der findes (AluFlex 14/14/110). Den største fordel ved optimeringen fås ved at reducere størrelsen af buffertanken fra 120 liter til 20-60 liter afhængig "stand-by"-temperatur og beregnet trykfald i fjernvarmenettet. En optimal udnyttelse af den disponible flowkapacitet og trykgradient i fjernvarmenettet tillader nedsættelse af rørdiameter og dermed varmetabet fra fjernvarmenettet. For et parcelhus med en optimeret FVB med 20-liter buffertank betyder det, at den maksimale effekt ved dimensionering af en stikledning kan reduceres fra 32,3 kW til 12,5 kW. Det er under forudsætning af, at bufferbeholderen maksimalt lades med 5,5 liter/min. (stikledning AluFlex 14/14/110 med design trykfald 2000 Pa/m). For fjernvarmenet med en lavere trykgradient til rådighed kan det maksimale flow begrænses yderligere. Det vil resultere i en større bufferbeholder (FVB), og det øger prisen på unitten og varmetab fra installationen.

Desuden vil et for ringe flow i fjernvarmenettet betyde, at stikledningen skal dimensioneres efter effektbehov til rumopvarmning plus effekt til opladning af bufferbeholderen. Det udviklede FVB-koncept med reduceret størrelse buffertank viser et stort potentiale for reduktion af rørdimensioner og varmetab i fjernvarmenettet, men optimal balance mellem størrelsen af buffertank og trykfald i fjernvarmenettet bør undersøges nærmere. Desuden er der foreslået to løsninger til optimal drift af de skitserede units. "Komfort badeværelse" er en gulvvarmestyring, der er et alternativ til det traditionelle by-pass, hvor der cirkuleres vand hele året til opvarmning af badeværelset. Den er også et alternativ til "on demand by-pass"-løsningen, der afkøler stikledningen uden nogen indflydelse på komfort ved forbrug af brugsvand. Den enkle beregning viser, at helårscirkulation af gulvvarme ingen afgørende indflydelse har på overophedning i lavenergihuse, og brugerne får en behagelig følelse af varmt gulv til en lav pris. Konceptet "Komfort badeværelse" er også til gavn for fjernvarmesystemet, fordi fjernvarmevand holdes i cirkulation og kan benyttes i stedet for de traditionelle by-pass, som normalt er installeret i fjernvarmenettets mange yderpunkter. Desuden kan konceptet bruges til traditionelle installationer med gennemstrømningsvandvarmere i stedet for by-pass i nettet.

3 Summary in English

3.1 Summary, Task 1

This report concerns demonstration of a new concept for low temperature district heating to low energy buildings with district heating flow temperatures on just above 50 ° C. The concept was developed in a previous energy research project under the EFP-2007-programme supported by the Danish Energy Agency. New types of prototypes for district heating consumer substations and district heating pipes in very small dimensions were developed and manufactured. Demonstration has been carried out in the Danish Technological Institute test houses 'EnergyFlexHouse' with the objective of analyzing and evaluating the performance of the concept in a real low energy house. The EnergyFlexHouse is actually two houses either each designed to be energy neutral with PV's but also fulfilling the Danish building codes low energy class 2015 requirements without the PV's. The two houses are called 'Lab' and 'Family' and are supplied with district heating from a small local distribution network. The tests are carried out in the 'Lab' house connected with a district heating branch twin pipe with two service pipes of just 10 mm inner diameter/14 mm outer diameter and with outer casing diameter of 110 mm corresponding to series 2 insulation. An accumulator consumer substation with a 175 liter storage tank on the primary side (district heating side) has been subject to tests. Three different tapping patterns of domestic hot water were performed including tapping patterns based on the European standard PrEN50440. Generally the results show that balancing the primary loading flow in relation to actual tapping patterns and domestic hot water consumption is important in order to keep the district heating return temperature as low as possible. Based on the results different options are proposed in order to optimize the operation of the consumer substation. Recently a new project under the EUDP 2010-II has received grant to continue improving and implementing the concept at more sites.

3.2 Summary, Task 2

The project has completed the first demonstration of a new concept for energy efficient district heating (DH) for low energy buildings where the supplied district heating temperature delivered at the consumer is down to 50 ° C. The concept is developed in a previous energy research project, supported by the Danish Energy Agency and involves new types of DH building substations and DH twin pipes in very small dimensions. Demonstration area is Dept. 34 of the housing association Boligforeningen Ringgården near Aarhus in Denmark, which consists of 7 row houses with in total 40 dwellings, low-energy building, class 1 according to the Danish building code and built 2009-2010. The dwellings have a built area 87-110 m², and are inhabited by mostly older people without children or families with small children. The purpose of the demonstration was to show that the concept works in practice and to further develop and refine the technology behind the concept. To fulfill that, measuring equipment was installed and a large measurement program was conducted during weeks 26-47, 2010 focusing on 1) consumption and operation temperatures, 2) simultaneity and simultaneity factors and 3) heat loss from district heating network and electricity consumption of network booster pump. DH consumption of the individual consumer is measured and combined with measurements of temperature in individual homes, it is

confirmed that it is reasonable to assume a room temperature of at least 22 °C in the calculation of heating demand. Based on an energy signature the annual consumption per dwelling was estimated to approx. 5.8 MWh for a reference year, corresponding to a measured heat density of 0.3 MWh/m network line and 14 kWh/m² field. The results also show that it is possible to supply customers with temperature just above 50°C, with a DH supply temperature to the area of approx. 56 °C. Detailed measurements show that the domestic hot water can be produced at temperature of just 3 °C below the primary supply temperature, e.g. 47 °C at a DH supply temperature of 50 °C. In the measuring period is achieved average domestic hot water temperature of 40-45 °C. The simultaneity factors of 2 types of DH building substations, district heating tank unit (FVB) with reservoirs at primary side and unit with instantaneous water heater (GVV) is analyzed. Curves were drafted for the simultaneity factor up to 10 users. Factor, e (1), corresponding to the heat power of one consumer is determined to 4.7 kW of FVB-units and 24.3 kW for GVV-units. Factor e (1) for GVV is lower than previous work and the 32.3 kW, normally sized for. This result must also be seen in relation to housing type and inhabitants. The analysis points towards that dimensioning district heating systems need a much better basis for simultaneity factors and that in future a far greater consideration must be given to housing types and installations for the establishment of optimal systems. The measured heat loss for the entire network is very low, but in line with expected heat loss calculated in the design phase. Estimated heat losses in this low temperature network are approx. 50,000 kWh / year. Had the same network been laid out with a traditional design with single pipes and a temperature set of 80/40 °C, the corresponding calculated heat loss would be approx. 200,000 kWh. This means that heat loss compared to a conventional network is reduced to approx. ¼. On the other hand, this gives a smaller increase in electricity consumption for booster pumping estimated at approx. 2,600 kWh per year. Heat loss is annually around. 1.2 MWh per dwelling corresponding to approx. 17% of the energy supplied to the area. Overall, the demonstration showed that concept works, also confirmed by the fact that there were no complaints from residents about the lack of heat or hot water. A new project granted under the Danish research program, EUDP 2010-II, will bring the concept one step further and expand the dissemination potential significantly. In this context continuing measurements will take place in Dept. 34 of Boligforeningen Ringgården.

3.3 Summary task 3

The report focuses on possibilities of how to further decrease CO₂ emissions by implementation of low-temperature district heating (LTDH) in areas with new low-energy buildings as well as in areas with existing buildings. In the first chapter, three different sites where LTDH is considered are reported. The first site is in Solbjerg near Aarhus, where 104 low-energy single-family houses are planned to be built. Calculations for a LTDH network (60/30°C) have been made in the program TERMIS. The results show that depending on the houses being built as low-energy class 1 or 2, a cost saving potential of 6-13% can be achieved compared to traditional district heating (DH). The CO₂-reduction potential is 4.4-7.5 tonnes per year. The results also show that there is only a small difference in costs (construction costs and 20 years of operation) between the different types of in-house substation units. Please note that today most standard house companies offer only low-energy houses with heat pumps, although LTDH is considered to be a fully competitive heat supply solution. Through dialogue and information, AffaldVarme Aarhus is trying to change

that. The second reported site is an area with single-family houses built in the 1970s in Skjoldhojparken in Tilst near Aarhus. Eight single-family houses have been investigated. Some houses have an undersized radiator system and use a wood stove as a supplementary heating source. Refurbishment can reduce the heat demand and make the houses more suitable for LTDH, but even with subsidy it is difficult to motivate the building owners to make energy saving initiatives like improvements of the building envelope and heating installations. Analyses show that if the DH supply temperature is lowered gradually from 80°C to 60°C, depending on the outdoor temperature, the heat loss in the existing pipe network for the eight houses can be reduced by 20%. An even larger potential can be achieved with replacement of the existing pipe system.

The third site is neighbourhood in Sonderby in Hoje Taastrup with 75 single-family houses from the 1990s. The existing DH network is poor and has a heat loss of more than 40%. With LTDH it will be possible to reduce the network heat loss to 15% or lower. The CO₂-emission could be reduced by about 66 tonnes per year. A new EUDP project will ensure that the existing DH network will be replaced, and LTDH will be implemented. In the second chapter we describe existing district heating systems in Aarhus and Hoje Taastrup. The average DH temperature is currently 80-77/47-42°C, so there is a potential for LTDH. The network heat loss in the DH systems is 15-16%. Residence buildings account for the largest part of the heat consumption, but also a large number of industry and commercial buildings are supplied with DH. Both AffaldVarme Aarhus and Hoje Taastrup Fjernvarme are continually renewing the existing DH system, and newly built housing areas and areas converted from natural gas are being connected. Both DH companies are working on gradually lowering the DH temperature, and there are plans of having a CO₂-neutral heat supply within 15-20 years.

Lowering the DH temperature from 80/40°C to 55/30°C can reduce existing network heat loss by about 35%. With an optimal pipe system, the saving potential can be increased to 50-75%. The CO₂-reduction potential for Hoje Taastrup Fjernvarme is between 7-10%, and for AffaldVarme Aarhus, the reduction potential it is calculated to be 11-16%. In total for Denmark, the reduction potential is assessed to be up to about 1,000,000 tonnes CO₂ per year, corresponding to about 1/5 of the total yearly emission for DH. The third chapter reports investigations on the possibility of supplying existing typical buildings built in the 1970s with LTDH with a supply temperature around 50°C. It is shown that basic renovation measures such as a change of the windows allow decreasing the maximum supply temperature needed for space heating (SH) system to 50°C for most of the heating season, but in case of outdoor temperatures below 0°C, the supply temperature should be increased. It is, however, not seen as a problem, because increasing the supply temperatures for cold periods is widely used in the traditional DH concept. The level of supply temperature needed for operation of SH systems in existing buildings can be further reduced by exchange of existing radiators by low-temperature radiators (larger surface) or by further renovation measures on the building envelope. A transition of all existing buildings to LTDH is also connected with change of DH in-house substations. DH in-house substations equipped with DHW storage tank should be changed if the DH supply temperature is reduced below 60°C at any time during a year (because of Legionella risk), and GVV units should be changed if the supply temperature drops below 55°C (not enough efficiency to supply design temperature of domestic hot water). It is suggested to replace all traditional substations by new types specially designed for LTDH. Moreover, if the domestic hot water (DHW) system

is operated with DHW temperature below 55°C, maximal volume of water in all DHW feeding pipes and circulation pipes is limited to 3 litres.

In the next chapter we show examples of typical heat demands and peak power for DHW heating and SH in low-energy single-family houses as well as in existing typical singlefamily houses from the 1970's. The reported peak power for individual houses is later used as a base for evaluation of reduction of peak power in the district heating network (DHN). The hypothesis is that if peak power for individual buildings can be reduced, pipes with smaller diameter are required in the DHN. Thereby the network heat loss can be reduced, and CO₂-emissions will be minimized. The possibilities in reduction of peak power are studied for SH systems and for DHW heating. The reduction of peak power for SH systems equipped with properly designed radiators has low potential because possible reduction is very limited and can easily result in reduction of thermal comfort for users. In case of floor heating system, reduction of peak power can be up to 40% if the heating system is operated with continuous supply of heating water instead of on/off control, which can cause high peak power demand. Moreover, by continuous supply of heating water to the floor heating system, better thermal comfort for users and better cooling of heating water returning back to DH are reached. Reduction of peak power for SH system is very important because the simultaneity factor of SH will never be lower than 62% of the total heat demand in all buildings and thus for pipes supplying higher number of customers, it defines the needed flow capacity of DHN. For dimensioning of branch pipes (supplying only one customer), the importance of reduction of peak power for SH depends on the type of DH substation used. In case of GVV (IHEU - Instantaneous Heat Exchanger Unit) unit - a unit without buffer tank - there is no influence on sizing of the branch pipe, because the branch pipe should be designed for the peak power of 32.3 kW for DHW heating. The situation is different in case of a substation with buffer tank – FVB (DHSU - District Heating Storage Unit), where the level of possible downsizing of the branch pipe depends on the size of the buffer tank and the maximal charging flow rate from DHN.

Reduction of peak power/load for DHW is mainly of importance for the parts of DHN supplying a lower number of consumers. In the previous EFP 2007 project, a concept and prototype of a FVB unit were developed in order to be able to reduce the peak power for DHW heating. In this report is looked into optimization of the FVB unit, where the needed DHW priority and the level of comfort for customers should be kept. The optimization of FVB is based on finding the optimal balance between a size of the buffer tank and maximal charging flow rate from DHN, while using a branch pipe with the smallest diameter available (Aluflex 14/14/110). The main advantage of the optimized concept is the reduced size of substation (size of buffer tank is reduced from 120 litres to 20-60 litres depending on “stand-by” temperature and designed pressure drop in DHN) and better utilization of available flow capacity and pressure gradient in the DHN, allowing reduction of pipe diameter and thus heat loss from the DHN. For single-family houses using an optimized FVB with 20-litre buffer tank, the peak power for dimensioning a branch pipe can be reduced from 32.3 kW to 12.5 kW, if maximum charging flow rate is 5.5 litre/min. (corresponding to branch pipe Aluflex 14/14/110 with design pressure drop 2000 Pa/m). For networks with lower available pressure gradient, maximal charging flow/power can be further reduced. This will result in increased size of the buffer tank and the whole substation, in increased price of substation and higher heat loss from the substation. Moreover, for FVB with reduced charging flow rates, a priority of DHW heating cannot be used. And for branch

pipe dimensioning should be used peak power for space heating added to the charging power for DHW.

The developed concept of FVB with reduced size of buffer tank shows high potential for reduction of dimensions and heat losses from DHN, but optimal balance between size of buffer tank and pressure drop in the DHN should be further investigated. Furthermore, two solutions are suggested for optimal operation of the proposed in-house DH substation; “comfort bathroom” which is an alternative to traditional by-pass using circulated water for all-year-around heating of bathroom floor and “on demand by-pass”, allowing cooling down of branch pipe without any influence on comfort for DHW tapping. The simple calculations show that all-year-around supply of floor heating has no critical influence on overheating in low-energy houses, and users get an pleasant sensation of warm floor at a very low cost. The concept of “comfort bathroom” is beneficial also for the whole DHN because DH water is kept in circulation, meaning full-way instead of traditional bypass, which should be used in some parts of the DHN anyway. Moreover, the concept can be used for traditional GVV units instead of traditional by-pass as well.

The last chapter encompasses some other issues for LTDH. Heat loss in pre-insulated pipes, LTDH network with recirculation and a direct heat exchanger unit for single-family houses have been investigated.