

Lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri

Døgnudjævning og reduceret fremløbstemperatur er ifølge et netop afsluttet EFP-projekt nøglebegreber i et nyt fjernvarmekoncept til lavenergibyggeri.



LAVENERGIFJERNVARME

Af projektleder Christian Holm
Christiansen, Teknologisk Institut

Et netop afsluttet EFP-projekt foreslår nyt designkoncept for fjernvarme til lavenergibyggeri, der er både anlægs- og samfundsøkonomisk attraktivt. Konceptet tager udgangspunkt i at udjævne forbruget over døgnet og reducere fremløbstemperaturen mest muligt.

Det kan lade sig gøre med en ny type fjernvarmeunit, der har en beholder med fjernvarmevand på primærsiden og et ledningsnet med twinrør og reducerede ledningsdimensioner bl.a. stikledninger helt ned i 14/14/110 mm. I et område med 92 enfamiliehuse udlagt som lavenergibyggeri klasse 1 fås et varmetab fra ledningsnettet på under 15 %.

Baggrund

Flere undersøgelser har de senere år peget på, at fjernvarmesystemer udlagt med traditionel teknologi kun vanskeligt kan konkurrere med individuelle løsninger, som f.eks. varmepumper i lavenergibyggeri. Regler, om at huse klassificeret som lavenergibyggeri klasse 1 og 2 kan fritages for kollektiv forsyningspligt, har været med til at underbygge denne opfattelse. Men kunne det ikke tænkes, at fjernvarme alligevel kunne være en fornuftig løsning i lavenergibyggeri, hvis der blev gjort op med vanetænkningen, og brugerinstallationer og fjernvarmesystem blev nytænkt?

Det satte et konsortium bestående af Teknologisk Institut (projektleder),

Danfoss District Heating, LOGSTOR, COWI, DTU-BYG og Energitjenesten for Midt- og Østjylland sig for at undersøge i et netop afsluttet projekt under EFP-programmet støttet af Energistyrelsen. Det tværfaglige projektteam bestående af producenter, videninstitutioner, rådgivere og formidlere er initieret i Innovationsnetværket for Integreerede Lavenergiløsninger på Bygningsområdet, www.lavebyg.dk.

I projektet er et nyt designkoncept for fjernvarme i lavenergibyggeri analyseret og fastlagt, der er udviklet prototyper for rør og fjernvarmeunits, og der er fundet mulige bebyggelser for en senere demonstration af det samlede designkoncept.

Rapporten findes på hjemmesiden www.teknologisk.dk/25949.

Designkoncept

Grundidéen i det nye designkoncept er at udjævne forbruget over døgnet og reducere fremløbstemperaturen mest muligt for at mindske varmeta-

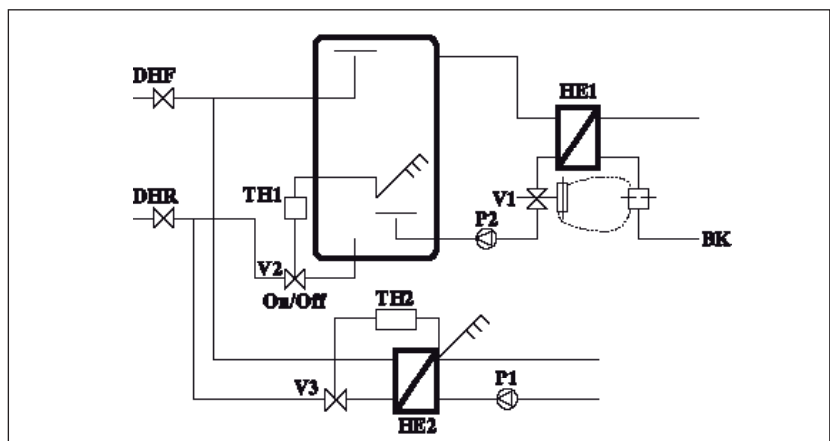
bet og reducere omkostningerne.

Konceptet er baseret på følgende elementer:

- Lavenergibyggeri, klasse 1 (lavt forbrug)
- En mindre enklave/område af bygninger (ensartede driftsforhold)
- Fjernvarmebeholderunit (udjævnet flow)
- Varmeanlæg udlagt for lav temperatur (gulvvarme og/eller radiator)
- Lave fjernvarmetemperaturer (lavere varmetab)
- Mindre ledninger (lavere varmetab og mindre investeringer)
- Brug af twinrør i alle ledningsstørrelser (lavere varmetab og mindre investeringer)

Varmebehov i lavenergibyggeri

I projektet er det valgt at tage udgangspunkt i et referencehus for alle forbrugere, et etplans enfamiliehus på 145 m², der opfylder energirammekravet til klasse 1 (42,6 kWh/m²). Et sådant hus er ikke specielt



Figur 1. Princip for fjernvarmeunit med beholder til fjernvarmevand.

stort i forhold til dagens standard, men tanken er, at hvis det er muligt at lave et rentabelt fjernvarmesystem til denne størrelse huse, er konceptet også anvendeligt for større huse, hvor et større varmebehov sikrer et større varmesalg.

Der opføres også mindre huse, men disse er typisk rækkehuse. Tættere liggende boliger giver større varmetæthed i nettet, dvs. kortere rørlængder og mindre varmetab pr. leveret fjernvarmeenhed. Dermed vurderes konceptet brugbart for de fleste nye huse.

Årligt rumvarme- og brugsvandsbehov er udlagt efter forventelig praktisk brug af huset. Det vil sige rumtemperaturer på 24°C i badeværelser og 22°C i husets øvrige rum og et brugsvandsbehov på 2.300 kWh. Rumvarmebehovet er beregnet til 4.450 kWh i simuleringprogrammet BSIM – altså et samlet varmebehov på 6.750 kWh.

Normalt i teoretiske beregninger af varmebehovet til rumopvarmning anvendes en rumtemperatur på 20°C, hvilket for referencehuset giver 3.028 kWh/år. Det kan synes mindre relevant, hvilken rumtemperatur, der anvendes i beregningerne, men for lavenergibyggeri har det meget stor betydning. Rumvarmebehovet udlagt



Figur 2. Tværsnit af det fremstillede prototypørør 14/14/110 mm.

efter forventelig praktisk brug er næsten 50 % større end hvis der regnes med en rumtemperatur på 20°C.

Fjernvarmebeholderunit

Omdrejningspunktet i konceptet er en ny type unit med en beholder til fjernvarmevand på primærsiden. Det

varme brugsvand produceres vha. af en gennemstrømningsveksler, der forsynes fra beholderen med en flow-aktiveret pumpe.

Den grundlæggende idé er, at en beholder med fjernvarmevand kan

(Fortsættes næste side)

(Fortsat fra forrige side)

lades med et meget lille flow og en rigtig god afkøling. På den måde jævnes belastningen ud over en stor del af døgnet, så kravene til ledningsdimensioner i nettet minimeres. Varme til varmeanlægget leveres som et direkte system med blandesøjfe eller som et indirekte system med en varmeveksler. Princippet er skitseret i figur 1.

I en variant af princippet kan vand fra fjernvarmebeholderen ledes over i et gulvvarmeanlæg, når temperaturen i bunden af beholderen stiger til et anvendeligt niveau. En styring sørger for at åbne og lukke de nødvendige ventiler.

Konstruktionen med en fjernvarmebeholder på primærsiden betyder, at der kan køres med fjernvarmetemperaturer hos forbrugeren ned til 50°C, og ved denne fjernvarmetemperatur produceres varmt vand på brugsvandsveksleren på ca. 45°C.

Simuleringsværktøjet TRNSYS har været anvendt til at analysere driftsparametre og specifikationer for fjernvarmeenheden. Til analyserne er der anvendt et tappemønster for det varme brugsvand baseret på DS 439 med en række tapninger af forskellig størrelse fordelt hen over dagen.

Den måde, fjernvarmebeholderenheden udjævner belastningen på, kan illustreres med et eksempel. Hvis man forestiller sig, der ikke var nogen fjernvarmebeholder, skulle ladeflowet være op til 760 kg/h for at kunne levere det anvendte tappemønster. For en 60 liters beholder kan dette flow reduceres til 120 kg/h og for en 200 liters beholder helt ned til 14 kg/h. Det betyder, at den gennemsnitlige returtemperatur for en 200 liters beholder kan komme ned på 18,2°C, hvor den for 60 liters beholderen bliver 22,4°C.

Danfoss Redan har i projektet fremstillet en prototype af fjernvarmebeholderenheden. Unitten baseres enten på en 120 eller en 175 liters primærbeholder, men fylder ikke mere end et almindeligt klædeskab. Beholderanlæggene er isoleret med 60 mm polystyren. Fremløbstemperaturen til gulvvarme eller radiatoranlægget er styret af en udetemperaturføler.

Fjernvarmerør

I konceptet er det valgt at anvende twinrør, klasse 2, alle med diffusionsbarrierer, der forhindrer cellegassen i PUR-skummet i at diffundere ud gennem kappen med forringelse af rørens isoleringsegenskaber over tid til følge. Der anvendes fleksible rør med medierør i alupex for dimensionerne

14-32 mm og lige rør med medierør i stål over denne størrelse.

LOGSTOR har i forbindelse med projektet fremstillet et prototype-rør i twinudførelse i dimensionerne 14/14/110 mm. (fremløb-/retur-/kappdiameter). Medierørene er i alupex med en indvendig diameter på 10 mm og en centerafstand mellem rørene på 25 mm. LOGSTOR har i projektet produceret i alt ca. 800 meter rør i en kontinuert proces, hvoraf ca. 25 meter er udtaget til test for dokumentation af varmeledningsevne og varmetab. Et tværsnit af det fremstillede rør fremgår af figur 2.

Varmeledningsevnen for PUR-skummet i røret er bestemt ud fra test til 0,022-0,024 W/(mK), hvilket er i overensstemmelse med forudsætningerne i analysen.

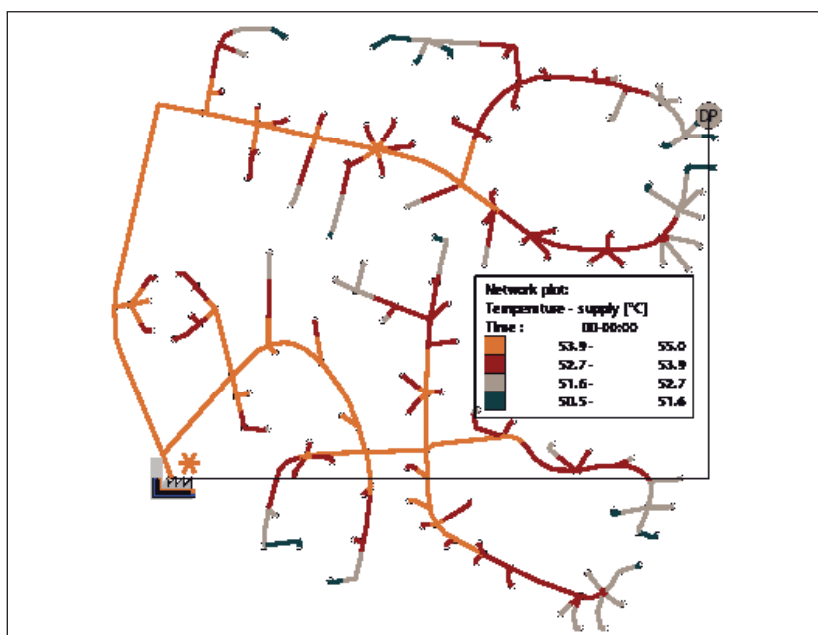
Fjernvarmesystem

Fjernvarmesystemet udlægges som et selvstændigt ledningsnet med boosterpumpe for at have et højt differensstryk, som kan sikre små ledninger. Desuden varieres fremløbstemperaturen på værket, så der holdes en minimumstemperatur hos forbrugeren på 50°C. Begge tiltag er medvirkende til at minimere varmetabet fra ledningsnettet.

Konceptet tager udgangspunkt i følgende designforudsætninger:

- Maksimum hastighed 2,0 m/s.
- Maksimum trykniveau 10 bar(g) (system med 6 bar(g) også muligt)
- Minimum trykniveau 2,0 bar(g).
- Differensstryk hos forbruger: 0,5 bar.
- Minimum temperatur hos forbruger: 50°C.
- Maksimum temperatur af forsyning: 70°C
- Bypass for enden af alle gadeledninger

Et byområde er valgt som reference i forbindelse med udlægning af lavtemperaturfjernvarmenettet. Det valgte område er en del af Ullerødbyen i Hillerød Kommune. Området er i dag på planlægningsstadiet, men er udlagt til bebyggelse og energiforsyning med høj energieffektivitet. Figur 3 viser ledningsnettet for et referenceområde med



Figur 3. Oversigt over ledningsnet med 92 forbrugere i Ullerødbyen.

92 enfamiliehuse, der tænkes opført som lavenergiklasse 1.

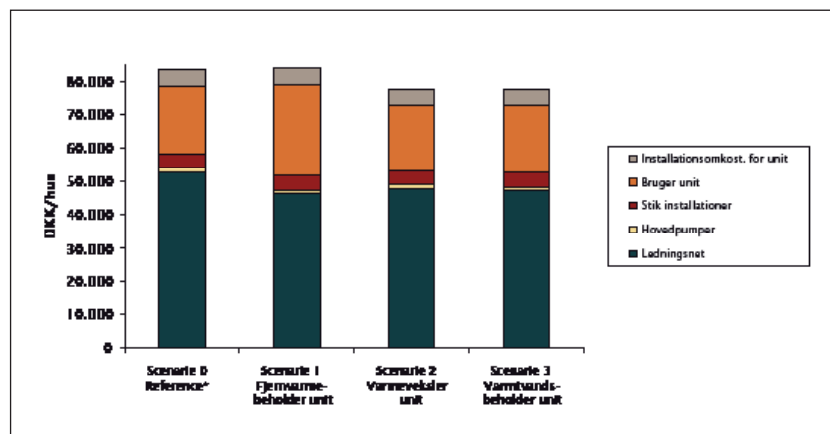
I konceptet placeres ledningstracé på traditionel vis i vejen. I referencområdet sker varmforsyning fra vekslerstation placeret i den sydlige del af nettet af hensyn til senere sammenkobling med øvrige områder mod syd. Der er ikke foretaget optimering af nettet med fokus på reduktion af den samlede ledningslængde.

Systemanalyse

Designkonceptet er analyseret i forhold til forskellige typer fjernvarmesystemer karakteriseret ved forskellige typer brugerinstallationer. Udgangspunktet er en referencesituation med "traditionelt" fjernvarmedesign. Følgende scenarier er analyseret:

- Scenarie 0, Reference (Traditionel fjernvarme med bl.a. varmtvandsbeholder, enkelt rør, temperatursæt 80/40°C).
- Scenarie 1, Fjernvarmebeholderunit - FVB (Nyt koncept, oplagring af fjernvarmevand).
- Scenarie 2, Gennemstrømningsvandvarmerunit - GVV.
- Scenarie 3, Varmtvandsbeholderunit - VVB.

Overordnet set kan der konkluderes, at de forskellige typer installationer i husene har mindre konsekvenser for



Figur 4. Anlægsøkonomi per bolig for fire forskellige typer fjernvarmesystemer (fire forskellige brugerinstallationer).

det samlede ledningsnet end umiddelbart forventet.

Investeringer

I referencescenariet er investeringerne i ledningsnettet 4,86 mio. DKK. For det nye koncept er investeringerne i ledninger mindre end i referencen. Minimum er 4,25 mio. DKK til scenarie med fjernvarmebeholder (FVB), og maksimum er 4,39 mio. DKK i scenarie med varmtvandsbeholder (VVB).

Varmetab

I referencescenariet er varmetabet 36 % af leveret energi til ledningsnettet. I det nye koncept reduceres tabet

væsentligt. Varmetabet er størst i scenariet med varmtvandsbeholderen. Dette skyldes primært højere temperaturkrav end til gennemstrømningsvandvarmer og fjernvarmebeholder. Varmetabet i varmtvandsbeholder-scenariet er 16 % af leveret energi til ledningsnettet, og i fjernvarmebeholder-scenariet er varmetabet 12 % af leveret energi til nettet. Det skal understreges, at der er tale om teoretiske værdier, og at erfaringen siger, at varmetabet typisk er 20 % højere i virkeligheden.

(Fortsættes næste side)

(Fortsat fra forrige side)

Konklusionen er, at der med det optimerede designkoncept kan opnås meget lave varmetab i ledningsnettet på trods af det meget lave varmeforbrug i lavenergihusene.

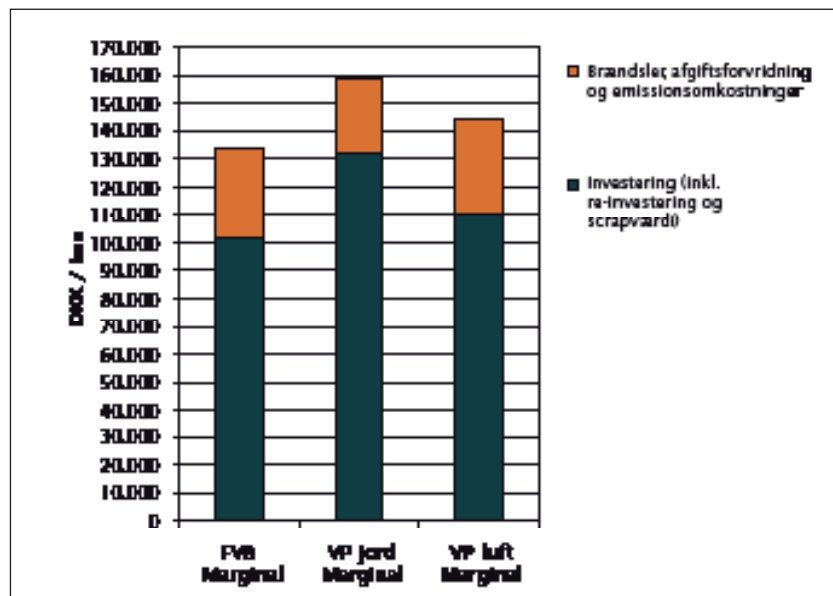
Pumpeudgifter

Pumpeudgifterne er forskellige, men vil have minimal betydning for den samlede økonomi, da mindste pumpeenergi er ca. 3.700 kWh/år (gennemstrømsvarmevekslerscenarie) og højeste pumpeenergi er 6.000 kWh/år (fjernvarmebeholderscenarie).

Dette skal ses i forhold til det samlede energibehov hos forbrugerne på 621.000 kWh varme/år. Figur 4 viser resultaterne for samlet investering pr. bolig.

Det fremgår tydeligt, at den største del af anlægsudgifterne går til ledningerne. Bemærk antagelsen om, at systemet kobles på et eksisterende fjernvarmenet. Dermed antages udgifter til produktionsenheder ens for de 4 scenarier og medtages ikke i sammenligningen. Samlet set er der ikke stor forskel pr. bolig for alle de analyserede scenarier.

Forskellen i udgifter mellem scenarie 0 og 3 ligger kun i ledningsnetomkostningerne, da begge scenarier er baseret på samme unittype, varmtvandsbeholder. I det "traditionelle" fjernvarmekoncept (reference) er ledningsudgifter på 4,86 mio. DKK, hvilket er lidt dyrere end det nye koncept med twinrør, hvor udgifterne til



Figur 5. Samfundsøkonomi over 30 år pr. hus for henholdsvis lavtemperaturfjernvarme og varmepumper.

ledningerne er 4,33 mio. DKK. Af udgifterne til ledningsnettet udgør selve ledningerne ca. 1/3, resten er til jord samt smedearbejde. Dette betyder, at reducerede ledningsdimensioner ikke har den helt store indflydelse på anlægsøkonomien, når man er nede i så små dimensioner, som der er tale om (maks. dimension er DN50).

Fjernvarmebeholderenheten og uniten med gennemstrømningsveksler er umiddelbart de typer, der falder bedst ud til lavtemperaturfjernvarme i analysen. De to unit typer adskiller sig dog væsentligt i kravet til ledningsnettet.

- FVB - Fordelagtig ved tilkobling af nye fjernvarmeledninger i yder-

kantområder af eksisterende fjernvarmenet, hvor der er lavt differensstryk, da beholder kræver lavt konstant flow.

- GVV - Fordelagtig i områder tættere på værk eller pumpestationer med fornuftigt differensstrykdækning.
- FVB og GVV - Fordelagtig i forbindelse lavtemperaturvarmekilder.

Samfundsøkonomi

Der er opstillet samfundsøkonomisk analyse for dels at kunne belyse økonomien for de forskellige fjernvarmescenarier igennem en årrække (30 år) og dels for at sammenligne lavtemperaturfjernvarme med en konkurrerende varmeteknologi til lavenergihuse, nemlig individuelle varmepumper.

I ovenstående afsnit blev det nævnt, at der ikke er stor forskel i anlægsudgifterne fjernvarmescenarierne imellem, men vigtigt at bemærke er referencescenariets højere varmetab, hvilket kommer til udtryk i den samfundsøkonomiske beregning, hvor udgiften til brændsler inklusive emissionsomkostninger er væsentligt højere.

Fra den samfundsøkonomiske sammenligning med varmepumper henholdsvis jordvarme og luft-til-vand kan det konkluderes, at lavtemperaturfjernvarme er fuldt konkurrencedygtig med varmepumper. Med de givne "standard"-antagelser frem-

FAKTA: PROJEKTTEAMET

- Teknologisk Institut: Christian H. Christiansen, Otto Paulsen & Benny Bøhm.
- Danfoss A/S: Jan Eric Thorsen
- LOGSTOR A/S: Christian Ting Larsen & Bjarne K. Jepsen
- COWI A/S: Peter Kaarup Olsen, Henning Lambertsen & Reto Hummelshøj
- DTU-BYG: Svend Svendsen, Jianhua Fan & Simon Furbo
- Energiteknik: Jakob Worm & Johs. Didriksen

Det tværfaglige projektteam bestående af producenter, videninstitutioner, rådgivere og formidlere er initieret i Innovationsnetværket for Integreerede Lavenergiløsninger på Bygningsområdet, www.lavebyg.dk.

står fjernvarmen endda billigere end begge typer varmepumper. Se figur 5. Af figuren fremgår det, at investering og reinvestering står for de primære omkostninger i løbet af de 30 år, både for fjernvarmen og varmepumperne.

Endvidere er der foretaget en vurdering af de miljømæssige emissioner, for henholdsvis lavtemperaturfjernvarme og varmepumper. Forskellige brændsler er blevet holdt op mod hinanden, og konklusionen er, at ved marginal betragtning ser fjernvarme bedst ud med hensyn til CO₂, mens varmepumperne vinder i forhold til SO₂ og NO₂.

Analysen viser dog, at det med bio-brændsler er muligt at opnå CO₂-fri fjernvarme, og udledningen af SO₂ og NO_x kan reduceres til samme niveau som varmepumperne. Endvidere kan solvarme og overskudsvarme betyde næsten emissionsfri varmeforsyning, ligesom udbygning af vindkraft medfører lavere emissioner for varmepumper.

Demonstration

I projektet er der taget udgangspunkt i Ullerødbyen ved Hillerød som muligt demonstrationsområde. Ullerødbyen er imidlertid stadig på planlægningsstadiet, så derfor er der udpeget 2 andre potentielle demonstrationsområder: 1) EnergyFlexHouse, der er Teknologisk Instituts nye testfacilitet under opførelse med 3 lavenergi-huse og et lille fjernvarmenet udlagt i overensstemmelse med projektets designkoncept og 2) Boligforeningen Ringgårdens byggeri af 40 rækkehuse, lavenergiklasse 1 i Lystrup ved Århus.

Der er under Energistyrelsens EUDP-program bevilget støtte til at gennemføre et demonstrationsprogram, der skal sætte fokus på designkonceptets praktiske drift herunder bl.a. virkelige varmebehov og varmetab fra ledningsnet og installationer samt selskabsøkonomi. Demonstrationsprogrammet vil løbe i perioden 2009-2010 og bidrage til dokumentationen af fjernvarmens fremtid som forsyning til lavenergi-byggeri.