



Renovering af ledningsnet

Dimensionering, ledningstab og
konkurrenceevne



Grøn Energi er fjernvarmens tænketank. Vi omsætter innovation og analyser til konkret handling til gavn for den grønne omstilling, vækst og beskæftigelse i fjernvarmebranchen. Grøn Energi bygger på et dynamisk fællesskab mellem Dansk Fjernvarme, de toneangivende danske eksportvirksomheder, rådgivere, interesseorganisationer samt universiteter.

Dato: 25. juni 2019

Udarbejdet af: Alexander Boye Boes og Christian Holmstedt Hansen

Kontrolleret af: Hanne Kortegaard Støchkel og Nina Detlefsen

Beskrivelse: Analysen undersøger udskiftning af ledningsnettet i et mindre fjernvarmesystem i forhold til dimensionering af nye ledninger, ledningstab, varmepris og konkurrenceevne. Herunder vurderes tiltag som kan sikre et omkostningseffektivt fjernvarmesystemet.

Grøn Energi udgiver løbende rapporter og analyser. Konklusioner, anbefalinger og evt. synspunkter i det udgivne materiale er ikke afstemt med Grøn Energis medlemmer og er derfor ikke nødvendigvis udtryk for holdningerne hos Grøn Energi's medlemmers.

Grøn Energis medlemmer:



Opsummering

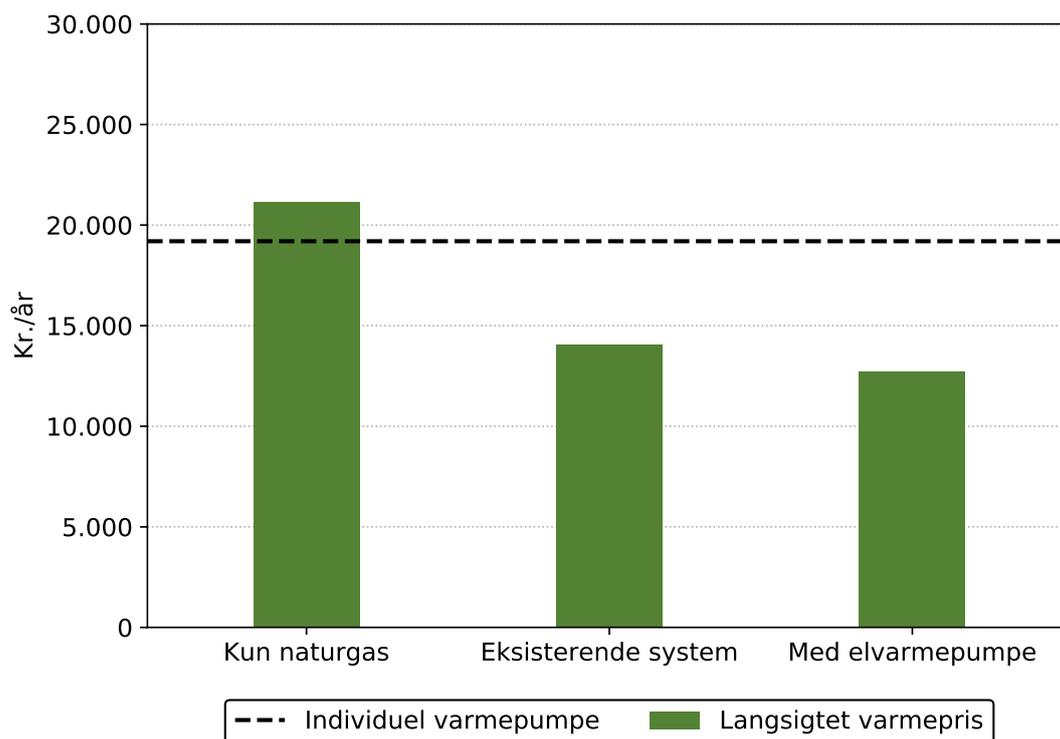
Grøn Energi har i denne analyse undersøgt hvordan planlægning af fjernvarmesystemet og dimensionering af ledningsnettet for det enkelte fjernvarmeselskab kan være med til sikre konkurrencedygtig fjernvarme. Beregningerne er foretaget med udgangspunkt i et eksisterende fjernvarmesystem og belyser blandt andet reduktion af ledningstab i samspil med investering i nye og billige produktionsenheder. Analysens hovedbudskaber kan opsummeres til følgende:

Lav en “Masterplan”: Fjernvarmeselskaberne kan gennem planlægning af deres fjernvarmesystem sikre konkurrencedygtig fjernvarme. Planlægning kan kort opsummeres til fire tiltag, som kan fremtidssikre fjernvarmen:

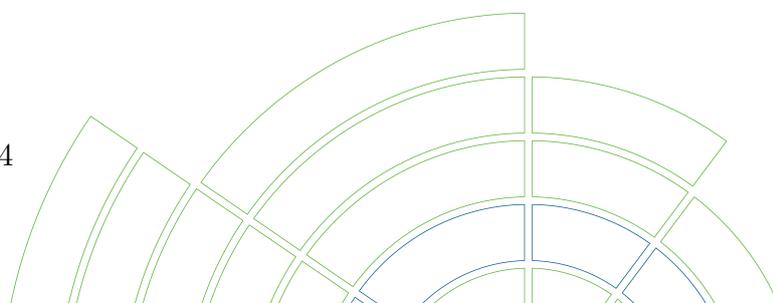


Etablering af nyt ledningsnet: Etablering af nye fjernvarmerør er forbundet med store investeringsomkostninger. Varmeprisen efter ledningsrenovering vil ofte stige hvis alle eller størstedelen af fjernvarmerørene udskiftes på en gang, også selvom varmetætheden i system øges. Med udgangspunktet i en varmepris på 17.800 kr./år kan en gennemgribende udskiftning af ledningsnettet reducere varmeprisen med ca. 500-1500 kr./år. Fjernvarmeselskabet bør ikke rovere funktionsdygtige fjernvarmerør men vente til rørene alligevel skal udskiftes, enten på grund af lækager eller udtjent levetid. Her spiller korrekt dimensionering en stor rolle, da flere eksisterende fjernvarmerør er overdimensioneret.

Langsigtet potentiale og konkurrenceevne: Selvom ledningsrenovering på kort sigt ofte vil forhøje varmeprisen, kan det betale sig på den lange bane. Ledningsrenovering og investering i en eldrevet varmepumpe kan øge fjernvarmesystemets robusthed. Dette gælder specielt i forhold til muligt frafald af kunder ved et eventuelt ophør af forblivelsespligten i fjernvarmen. Den langsigtede fjernvarmepris kan for både det eksisterende system og ved investering i elvarmepumpen blive meget konkurrencedygtig. Når ledningsnettet er afskrevet kan varmeprisen reduceres til ca. 12.500-14.000 kr./år.



Figur 1: Langsigtede varmepriser, for et standardhus, ved de forskellige fjernvarmesystemer: et udelukkende naturgasbaseret system, det eksisterende system med naturgasenheder og en træpillekedel og ved investering i en eldrevet varmepumpe.



Indhold

Opsummering	3
Indhold	5
1 Introduktion	6
1.1 Scenarier	6
2 Data og metode	8
2.1 Varmebehov	8
2.2 Ledningstab	8
2.3 Fastlæggelse af rørdimensioner	9
2.4 Varmeproduktionspris i energyPRO	10
2.5 Fjernvarmepris og ledningsomkostninger	11
3 Resultater	12
3.1 Det eksisterende fjernvarmesystem	12
3.2 Variationer af ledningsnettet	15
3.2.1 Udskiftning af ledningsnettet	15
3.2.2 Afkobling og tilkobling af forbrugere	19
3.3 Alternative systemer	23
3.3.1 Naturgasbaseret system	23
3.3.2 Investering i eldrevet varmepumpe	24
3.4 Konkurrenceedvne og langsigtet potentiale for systemet	26
3.4.1 Færre forbrugere	27
4 Konklusion	30
4.1 Masterplan for konkurrencedygtig fjernvarme	31
Litteratur	33
Bilag A Samtidighedsforhold og tilslutningseffekt	34
A.1 Samtidighedsforhold	34
A.2 Dimensionerende tilslutningseffekt	34
Bilag B Varighedskurve	35
Bilag C Beregning af tryktab og vandhastighed	37
Bilag D Temperaturfald og omløb	38
Bilag E Generelle beregningsforudsætninger	39
Bilag F Rør i fjernvarmesystemet	41
F.1 Stikledninger	42



1 Introduktion

Denne analyse tager udgangspunkt i et eksisterende fjernvarmesystem, hvor der ses på renovering af fjernvarmenettet. Analysen undersøger blandt andet reduktion af ledningstab, fastlæggelse af rørdimensioner og konsekvenser for fjernvarmeprisen. Renovering/udskiftning af fjernvarmenettet vurderes yderligere i alternative fjernvarmesystemer, blandt andet ved investering i en elvarmepumpe.

De varmeprisstigninger der for tiden observeres i nogle fjernvarmeområder gør, at nogen sætter spørgsmålstegn ved om fjernvarme giver mening i mindre områder eller om det er muligt for fjernvarmeværkerne at optimere deres systemer således at varmeprisstigningerne kan minimeres og på sigt sænkes. Det gælder blandt andet naturgasfyrede decentrale fjernvarmeværker, som fra 2019 oplever store varmeprisstigninger på grund af grundbeløbets bortfald. Her belyses effekten af reduktion af ledningstab i samspil med investering i nye og billige produktionsteknologier.

Det er derfor vigtigt at fjernvarmeværkerne tænker i robuste og fremtidssikrede løsninger når de planlægger deres fremtidige investering i både ledningsnet og varmeproducerende anlæg for dermed at gøre at fjernvarmeløsningen fortsat er attraktiv for forbrugeren. Denne analyse sætter fokus på tekniske analyser af ledningstab og sammenholder det med andre vigtige elementer som:

- Investering i ny produktionskapacitet.
- Antal forbrugere og varmetæthed.
- Potentielle konsekvenser af ophævelse af forbrugerbindinger.

I analysen opstilles der flere forskellige scenarier for optimering af et eksisterende fjernvarmesystem, samt hvilken betydning dette har for varmeprisen. De forskellige scenariers varmepris sammenlignes med individuel opvarmning for at vurdere fjernvarmens konkurrenceevne.

1.1 Scenarier

Dette afsnit beskriver analysens forskellige scenarier for udskiftning og ændring af ledningsnettet.

Med udgangspunkt i en reference (scenarie 0), hvor ledningsnettets nuværende dimensioner og tilstand fastholdes, undersøges seks alternative scenarier for ledningsrenovering. Scenarierne er opdelt i to grupper med tre scenarier i hver gruppe. I den første gruppe af scenarier foretages en fuldstændig udskiftning af hele ledningsnettet (scenarie 1, 3 og 5) og i den anden gruppe af scenarier foretages der en delvis udskiftning af ledningsnettet (scenarie 2, 4 og 6). I tillæg ændres gennem scenarierne antallet af varmekunder ved henholdsvis afkobling og

tilkobling af forbrugere. I alle scenarier foretages beregninger både med og uden udskiftning af stikledninger. Scenarierne er listet herunder:

- S. 0 Reference:** Referencen tager udgangspunkt i det eksisterende fjernvarmesystems udformning og ledningsdimensioner.
- S. 1 Fuldstændig renovering:** Hele ledningsnettet udskiftes med nye hoved-, gade-, og stikledninger.
- S. 2 Delvis renovering:** De største eksisterende ledninger tættest ved fjernvarmeværket beholdes. Resten af ledningerne udskiftes.
- S. 3 Fuldstændig renovering og afkobling:** Hele ledningsnettet udskiftes med nye hoved-, gade-, og stikledninger. Yderligere afkobles de yderste forbrugere i fjernvarmenettet, der hvor ledningstabet er størst, for at øge varmetætheden for systemet.
- S. 4 Delvis renovering og afkobling:** De største eksisterende ledninger tættest ved fjernvarmeværket beholdes. Resten af ledningerne udskiftes. Yderligere afkobles de yderste forbrugere i fjernvarmenettet, der hvor ledningstabet er størst, for at øge varmetætheden for systemet.
- S. 5 Fuldstændig renovering, afkobling og tilkobling:** Hele ledningsnettet udskiftes med nye hoved-, gade-, og stikledninger. De yderste forbrugere, der hvor ledningstabet er størst, afkobles fjernvarmenettet for at øge varmetætheden for systemet. Yderligere tilkobles huse som ligger indenfor det etablerede fjernvarmeområde.
- S. 6 Delvis renovering, afkobling og tilkobling:** De største eksisterende ledninger tættest ved fjernvarmeværket beholdes. Resten af ledningerne udskiftes. De yderste forbrugere, der hvor ledningstabet er størst, afkobles fjernvarmenettet for at øge varmetætheden for systemet. Yderligere tilkobles huse som ligger indenfor det etablerede fjernvarmeområde.



2 Data og metode

Dette afsnit indeholder en gennemgang af de metoder der er anvendt til at bestemme varmebehovet i fjernvarmesystemet, beregne ledningstab, dimensionere ledninger og beregne varmepriser.

2.1 Varmebehov

Ledningsdimensioneringen tager udgangspunkt i flere forskellige beregninger ud fra varmebehovet og dets variation. Varmebehovet afhænger i høj grad af antallet af forbrugere i fjernvarmesystemet. Den dimensionsgivende effekt for det samlede fjernvarmesystem afhænger af de enkelte forbrugeres tilslutningseffekt og samtidighedsforhold. Dette er beskrevet i [Appendix A, \(Samtidighedsforhold og tilslutningseffekt\)](#) og anvendes til at bestemme den dimensionerende tilslutningseffekt, Φ_{dim} , for hele fjernvarmesystemet. Ud fra dette kan de enkelte rørstørrelser i ledningsnettet dimensioneres og varighedskurven for varmebehovet kan konstrueres.

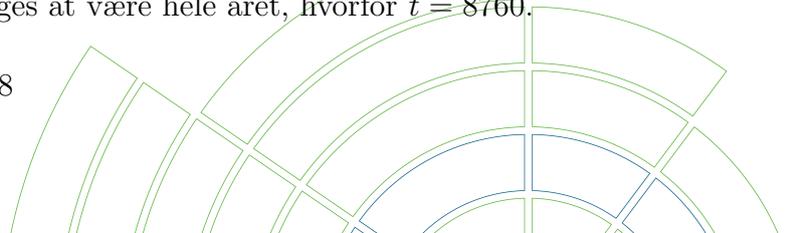
Varmebehovet består af tre elementer; rumvarme, brugsvand og ledningstab, der alle er fordelt på årets 8760 timer. Når varmebehovet er kortlagt sorteres det samlede varmebehov fra størst til mindst, hvorved varighedskurven dannes. Det totale, årlige varmebehov bestemmes ud fra et standardhus på 130 m² med et årligt varmeforbrug på 18,1 MWh, hvoraf 3,1 MWh er brugsvand. Varighedskurven konstrueres efterfølgende på baggrund af en temperaturprofil, som antages at have samme profil som behovet for rumvarme. Dette er beskrevet yderligere i [Appendix B, \(Varighedskurve\)](#).

2.2 Ledningstab

Ledningstabet afhænger af rørtypen, rørstørrelsen og rørets længde. Til beregning af det totale ledningstab i fjernvarmenettet anvendes en simplificeret metode, som antager at temperaturen i fremløbsledningen og returledningen er konstant. Ligeledes anvendes en U-værdi for hver DN-type af fjernvarmerør, se [Appendix F, \(Rør i fjernvarmesystemet\)](#). Ledningstabet $\Phi_{tab,i}$ for hver DN-type og strækning kan følgelig regnes som:

$$\Phi_{tab,i} = U_i \cdot (T_f + T_r - 2 \cdot T_j) \cdot l_i \cdot t \quad [\text{MWh}/\text{år}] \quad (2.1)$$

Hvor U_i er rør i 's U-værdi, T_f er fremløbstemperaturen, T_r er returtemperaturen, T_j er jordtemperaturen, l_i er rør i 's længde og t er antallet af timer hvor ledningstabet forekommer, hvilket antages at være hele året, hvorfor $t = 8760$.



Det totale ledningstab i fjervarmenettets n ledninger kan altså findes som summen af ledningstabene i de enkelte fjernvarmeledninger:

$$\Phi_{\text{tab, total}} = \sum_{i=1}^n \Phi_{\text{tab},i} \quad [\text{MWh}/\text{år}] \quad (2.2)$$

Ledningstabet i procent kan følgelig findes ud fra fjernvarmeværkets totale varmeproduktion, Φ_{prod} , som:

$$\eta_{\text{tab}} = \frac{\Phi_{\text{tab, total}}}{\Phi_{\text{prod}}} \quad [\%] \quad (2.3)$$

2.3 Fastlæggelse af rørdimensioner

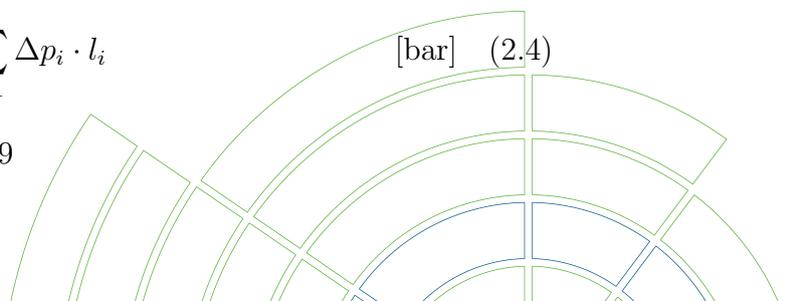
Rørdimensionerne fastlægges ud fra den dimensionerende tilslutningseffekt, det tilladte tryktab i ledningsstrækningerne samt grænser for maksimale vandhastigheder. Tryktab og vandhastigheder beregnes ud fra formlerne beskrevet i [Appendix C, \(Beregning af tryktab og vandhastighed\)](#).

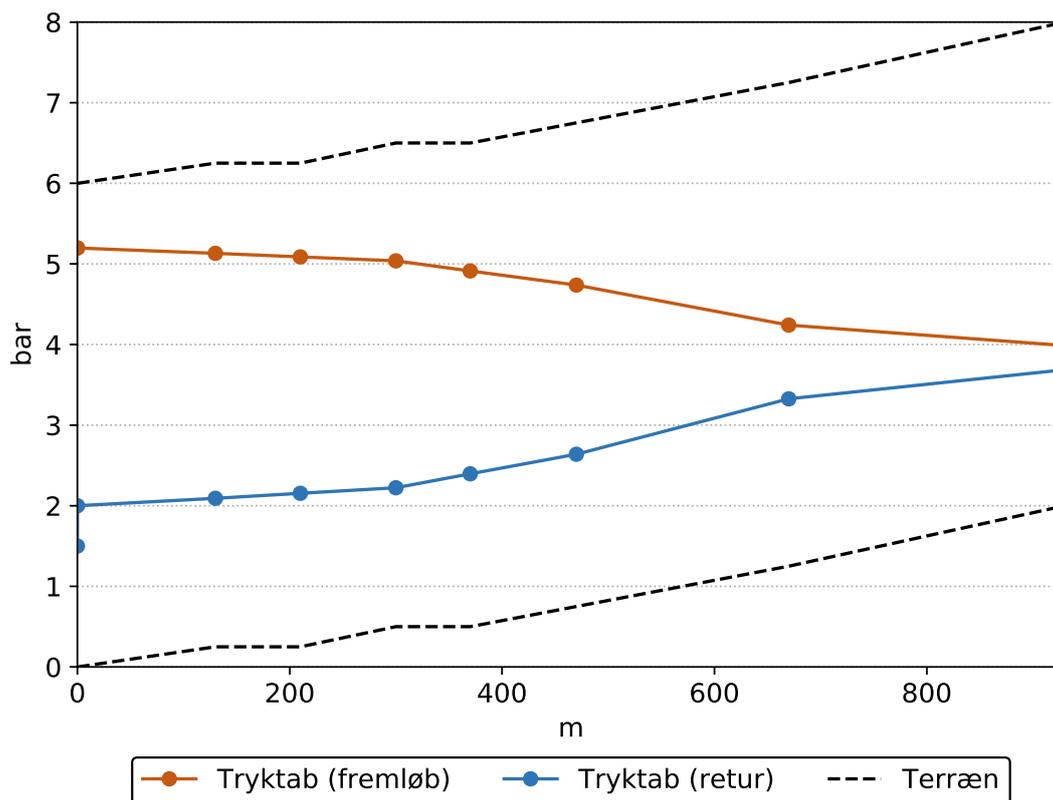
For hver strækning skønnes en rørstørrelse som derefter iterativt optimeres, så tryktabet udnyttes maksimalt, samtidig med at krav til vandhastigheder overholdes i hele fjernvarmesystemet. I hovedledninger vurderes en maksimal vandhastighed på 3 m/s. Den minimale vandhastighed undersøges også indirekte. Den afhænger af temperaturen hos den yderste forbruger i fjervarmenettet, fordi vandhastigheden ikke må blive så lav, at temperaturtabet i fremløbsrøret bliver større end at den yderste forbruger kan få fjernvarmevand leveret ved minimum 60 °C. Hvis det er nødvendigt må der etableres omløb for at øge temperaturen hos den yderste forbruger til minimum 60 °C. Dette indgår ikke direkte i analysen, men beskrives yderligere i [Appendix D, \(Temperaturfald og omløb\)](#).

Figur 2 viser et eksempel på en strækning, hvor tryktabet i ledningerne udnyttes maksimalt.

Det antages her, at fjernvarmeværket anvender et pumpetryk på maksimalt 6 bar og yderste forbruger er i en højde af 20 m over fjernvarmeværket, svarende til et tryk på 2 bar. For at sikre at fjervarmenettet ikke “går i stå” sættes det statiske tryk til 1,5 bar, da tryktabet i rør- og enkeltmodstande på værket antages at være 0,5 bar. Der er altså et tilladeligt tryktab i fjernvarmeledningerne på i alt 4 bar. Differenstrykket hos forbrugeren sættes til 0,3 bar. Det totale tryktab fra fjernvarmeværket til en forbruger, p , regnes ud fra delstrækningerne af rør følgelig som:

$$p = \sum_{i=1}^n \Delta p_i \cdot l_i \quad [\text{bar}] \quad (2.4)$$





Figur 2: Trykforhold fra fjernvarmeværk til yderste forbruger på en given strækning. Tryktabet er angivet i bar, mens strækningen er målt i meter.

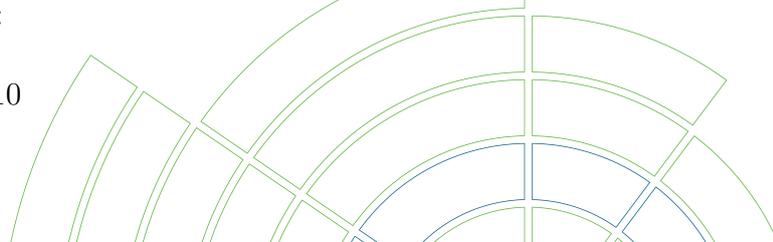
Hvor l_i er længden af rørstrækningen i med det relative tryktab Δp_i for strækningen.

I enkelte rørledninger tillades således store tryktab, så længe kravet til samlet tryktab i systemet overholdes. Det maksimalt tilladte tryk hos forbrugere på 6 bar skal ligeledes overholdes, hvilket automatisk vil ske når pumpetrykket aldrig overstiger 6 bar. Herved kan tryktab for kritiske strækninger vurderes og rørdimensionering fortages ud fra tilladt tryktab i systemet. Der er fastlagt optimerede rørdimensioner til hvert scenarie i analysen, se Afsnit 1.1.

Formindskelse af varmetabet i stikledninger er også væsentligt i forhold til ledningsreovering. Alle scenarieberegninger af ledningsreovering foretages både med og uden udskiftning af stikledninger. Beregning af stikledningerne er uddybet i [Appendix F, \(Rør i fjernvarmesystemet\)](#).

2.4 Varmeproduktionspris i energyPRO

Til at vurdere betydningen af antallet af forbrugere og ledningstabet i fjernvarmesystemet anvendes energyPRO til at beregne årlige driftsomkostninger. Beregningerne foretages over en 20-årig periode, fra 2019 til 2039. Beregningsforudsætninger er angivet i [Appendix E, \(Generelle beregningsforudsætninger\)](#) og fjernvarmeværket består i referencen af:



- en naturgaskedel på $2,5 \text{ MW}_{\text{varme}}$,
- en naturgasmotor på $0,92 \text{ MW}_{\text{el}}$ og $1,3 \text{ MW}_{\text{varme}}$ og
- en træpillekedel på $0,95 \text{ MW}_{\text{varme}}$.

EnergyPRO har fuld indsigt i varmebehovet og brændselspriserne henover årene, mens lagerudnyttelsen er begrænset til naturgasmotoren. Herved begrænses lagerudnyttelsen og modellens mulighed for at optimere lagerudnyttelsen over længere perioder. Der regnes med årlige brændselspriser for naturgas og træpiller, mens elprisen er bestemt på timebasis ud fra Energistyrelsens samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger (Energistyrelsen, 2018). Beregningerne foretages med timeopløsning og der optimeres månedligt. Der er ikke taget højde for eventuelle udetider for varmeproduktionsanlæggene og eventuelle opstartstider. Øvrige beregningsforudsætninger kan ses i Bilag E. De årlige omkostninger inkluderer endvidere faste drift- og vedligeholdelseskostninger for træpillekedlen, distributionsomkostninger på 60 kr./MWh og administrationsomkostninger på 35 kr./MWh .

Udover de årlige driftsomkostninger beregnet i energyPRO indgår også investeringsomkostninger til nyt ledningsnet og produktionskapacitet i beregningen af en samlet varmeproduktionspris.

2.5 Fjernvarmepris og ledningsomkostninger

Beregningen af den årlige varmepris for en forbruger tager udgangspunkt i fjernvarmeværkets omkostninger til at levere rumvarme og varmt brugsvand til forbrugerne. Ud fra betalingsrækken beregnes en gennemsnitlig årlig omkostning for produktion og distribution af fjernvarme. Længden af betalingsrækken sættes her lig den forventede tekniske levetid af anlæggene. For varmeproduktionsanlæg er det i dette tilfælde 20 år, mens det for ledningsanlæg er 50 år. Den gennemsnitlige årlige omkostning til varme findes ved at bruge annuitetsmetoden til at beregne den gennemsnitlige nettobetaling per periode (år) som en nutidsværdi. Denne findes ved Formel (2.5) (Christensen, 2005)

$$\text{Årlig gns. varmepris} = NV_j(k) \cdot \alpha_{T,k}^{-1} = \left[\sum_{t=0}^T NB_{j,t} (1+k)^{-t} \right] \cdot \alpha_{T,k}^{-1} \quad (2.5)$$

hvor $\alpha_{T,k}$, kaldes kapitalindvindingsfaktoren eller annuitetsfaktoren, defineret i Formel (2.6). Alle varmepriserne er angivet inklusiv moms.

$$\alpha_{T,k} = \frac{1 - (1+k)^{-T}}{k} \quad (2.6)$$

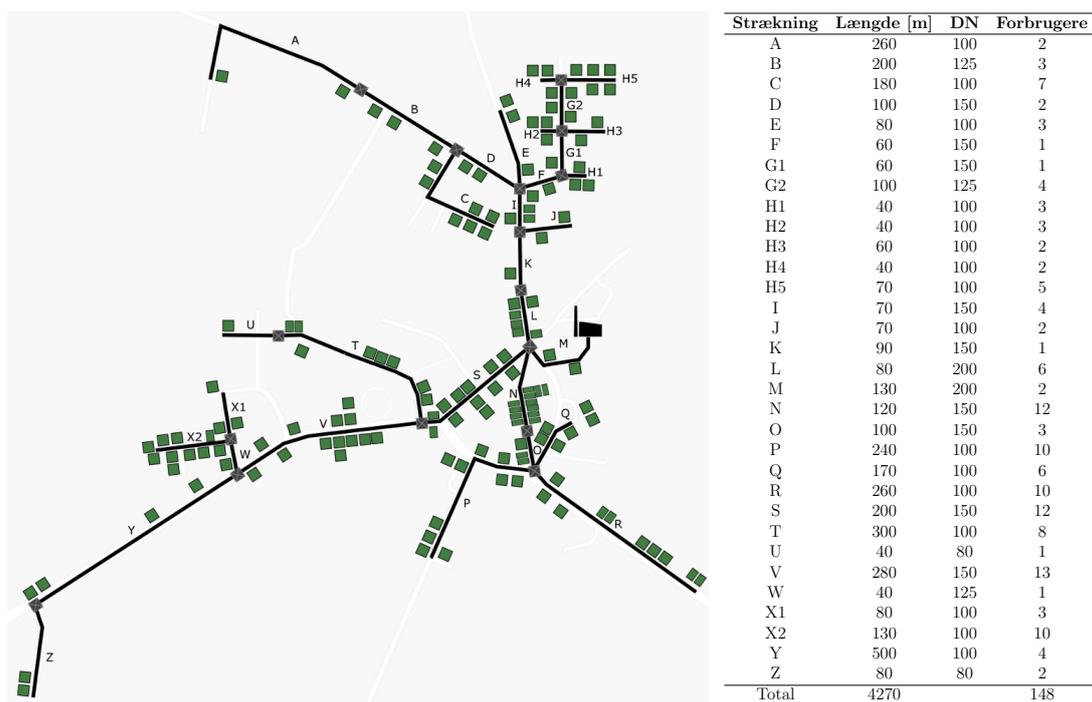
$NB_{j,t}$ er nettobetalingen på tidspunkt t for alternativ j . T er levetiden af investeringen og k er diskonteringsrenten. NV_j er nutidsværdien for alternativ j som funktion af diskonteringsrenten.

3 Resultater

De følgende afsnit indeholder en gennemgang af analysens resultater. Først beskrives det eksisterende fjernvarmesystem i form af ledningsanlæg- og produktionsanlæg, temperaturforhold og fjernvarmeproduktion. Derefter vises der resultater for variationer af ledningsnettet. Der ses på effekterne ved at dimensionere og etablere et helt nyt ledningsnet, samt en delvis udskiftning af ledningsnettet. Derefter ses der på effekterne ved at fortætte fjernvarmesystemet, både ved at afkoble nogle af de yderste forbrugere, og tilkoble forbrugere centralt i ledningsnettet, som ikke allerede er tilkoblet. Til sidst ses der på den langsigtede konkurrenceevne, i forhold til individuel opvarmning, ved at foretage forskellige ændringer og investeringer i fjernvarmesystemet.

3.1 Det eksisterende fjernvarmesystem

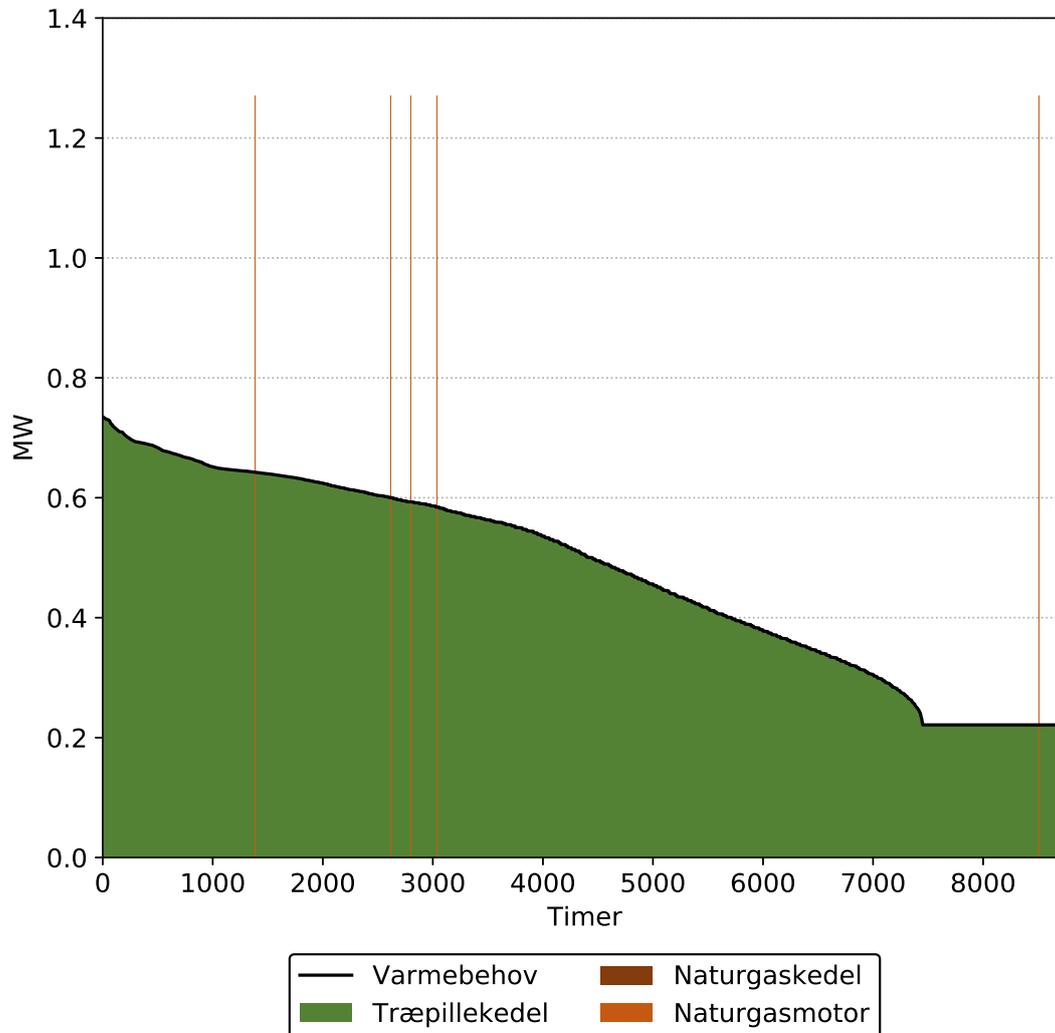
Fjernvarmesystemet i denne analyse er baseret på et eksisterende system, som ændres i forskellige scenarier. I byen hvor fjernvarmesystemet ligger er der totalt 164 husstande, hvoraf 148 husstande er forbundet til fjernvarmenettet. Ledningsnettet og antallet af forbrugere er vist i Figur 3.



Figur 3: Ledningskort over det eksisterende fjernvarmesystem. De grønne firkanter viser eksisterende forbrugeres placering i systemet. Til højre ses de forskellige ledningsstrækningers længde, rørstørrelse samt antallet af forbrugere.

I analysen antages det, at alle husstandene har det samme årlige forbrug af fjernvarme på 18,1 MWh fordelt på rumvarme og brugsvand. Dette giver ved 148 forbrugere et varmebehov på 2679 MWh. Fjernvarmeværket har en naturgasmotor,

en naturgaskedel og en træpillekedel til rådighed. Træpillekedlen er dimensioneret til i udgangspunktet at kunne dække hele varmebehovet. Naturgasmotoren supplerer varmeproduktionen ved høje elpriser, mens naturgaskedlen fungerer som reservelast. Figur 4 viser en varighedskurve for det eksisterende fjernvarmesystem. 99,7 % af varmen produceres på træpillekedlen og de resterende 0,3 % produceres af naturgasmotoren, som har ca. 10-20 driftstimer pr. år.

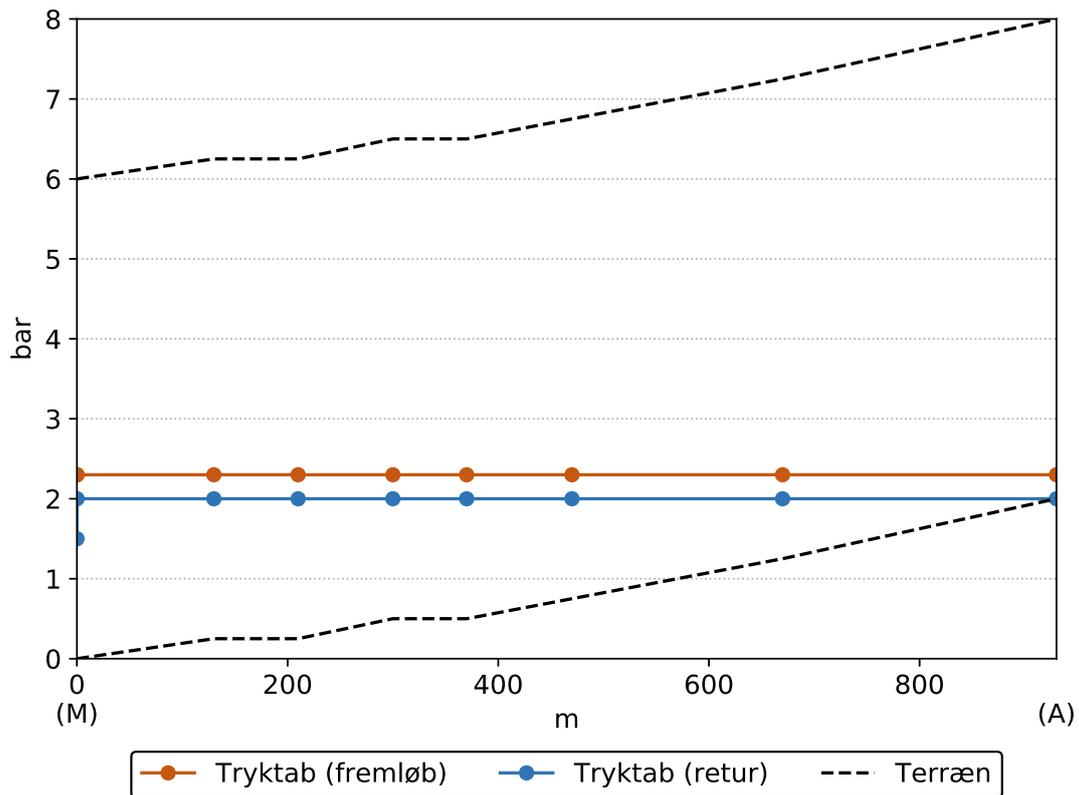


Figur 4: Varighedskurve for referencen med naturgaskedel, naturgasmotor og træpillekedel for år 2019.

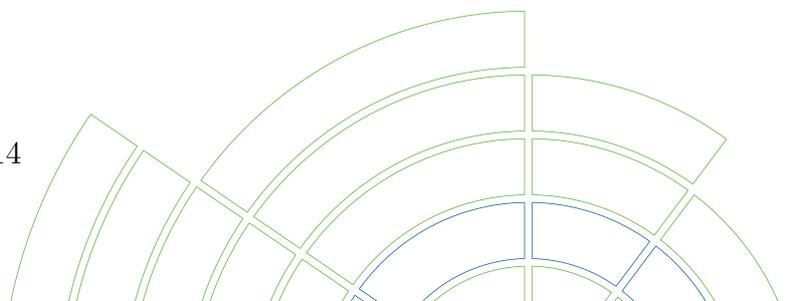
Den totale fjernvarmeproduktion er på 4158 MWh, som fremkommer ud fra varmesalget på 2679 MWh samt et årligt ledningstab på 1479 MWh (inkl. varmetab i stikledninger). Dette giver et ledningstab på 35,6 %. Varmeprisen for referencen er følgelig beregnet til at være ca. 17.900 kr./år for en husstand med et årligt varmebehov på 18,1 MWh. Det skal understreges at ledningstabet er beregnet som om de eksisterende fjernvarmerør er nylagte. Ledningsnettet er dog fra starten af 1990'erne og det har derfor en alder på ca. 25-30 år. Det betyder, at tilstande på de eksisterende fjernvarmerør er dårligere end hvad der regnes med i denne analyse. Der kan ligeledes være lækager eller utætheder i rørsystemet som ikke er medregnet.

Ledningsnettet drives uden hensyn til temperaturoptimering, hvor fremløbstemperaturen eventuelt kan sænkes. Derfor anvendes konstante fremløbs- og returtemperaturer på hhv. 80 °C og 40 °C. Baseret på et eksisterende kort over fjernvarmeledningerne er det antaget, at ledningsstørrelserne går fra DN200 (hovedledningen som går ud fra fjernvarmeværket) til DN80 (gadeledningen ved den yderste forbruger).

Figur 5 viser beregninger af tryktabet i det eksisterende system for strækningen fra fjernvarmeværket (M) til forbrugeren (A), se Figur 3. Differenstrykket ved den yderste forbruger sættes til 0,3 bar, svarende til det typisk påkrævede minimalt tilgængelige tryktab hos en forbruger. Det antages, at pumpetrykket maksimalt må være 6 bar over terræn. Returtrykket ved fjernvarmeværket sættes i forhold til den højeste placerede forbruger i terrænet, som her er 20 m over fjernvarmeværket, svarende til 2 bar. Strækningen er i alt 930 m. Det ses, at der ikke er noget signifikant tryktab i fjernvarmerørene. Det betyder, at med de givne trykforhold, vil pumpetrykket ideelt set være 2,3 bar. Dette understreger, at fjernvarmerørene er overdimensionerede, da det tilgængelige tryktab på 4 bar i ledningerne ikke udnyttes.



Figur 5: Trykforhold fra fjernvarmeværket (M) til den yderste forbruger (A) for det eksisterende ledningsnet. Tryktabet er angivet i bar, mens strækningen er målt i meter.

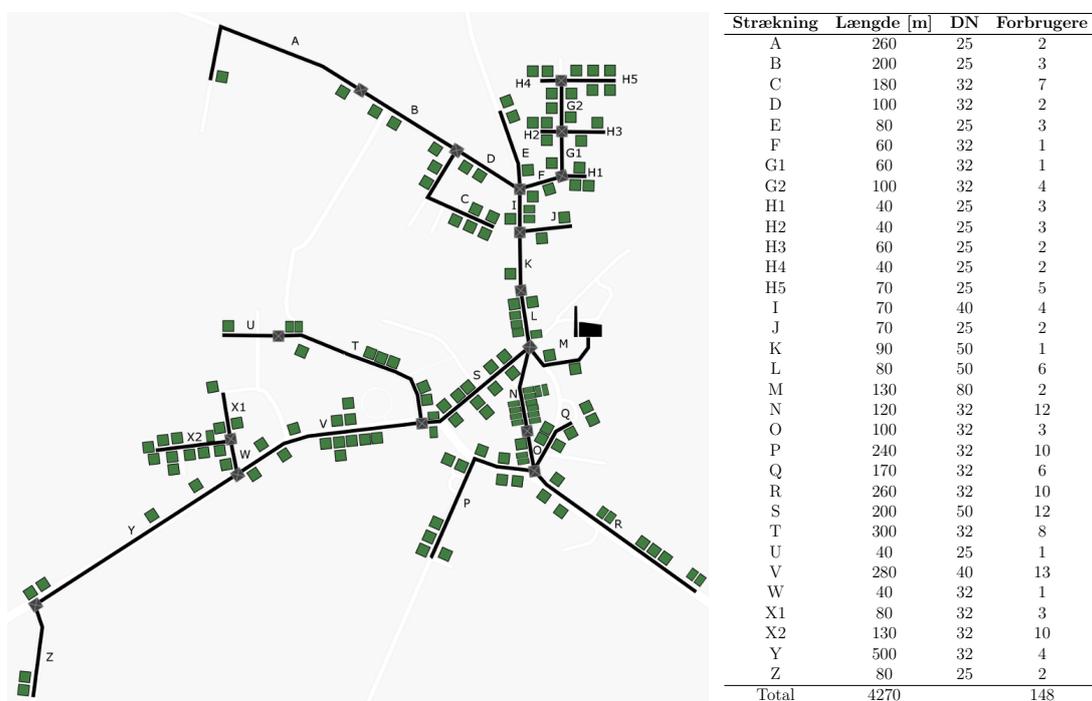


3.2 Variationer af ledningsnettet

Følgende afsnit undersøger etablering af et nyt ledningsnet samt afkobling og tilkobling af forbrugere.

3.2.1 Udskiftning af ledningsnettet

Figur 6 viser et fuldstændigt nyt ledningsnet (inkl. stikledninger) med samme strækninger og antal af forbrugere som referencen. Rørstørrelserne er dog betydeligt reduceret, så det tilgængelige tryktab i systemet udnyttes bedre. Det største rør, som går fra fjernvarmeværket (M) er nu DN80 og de mindste rør ved de yderste forbrugere er DN25. De nye stikledninger er AluPex DN20 og er antaget at have en længde på ca. 8,8 m. Fjernvarmenettet etableres som lav-temperatur fjernvarme med en fremløbs- og returtemperatur på henholdsvis 65 °C og 30 °C.

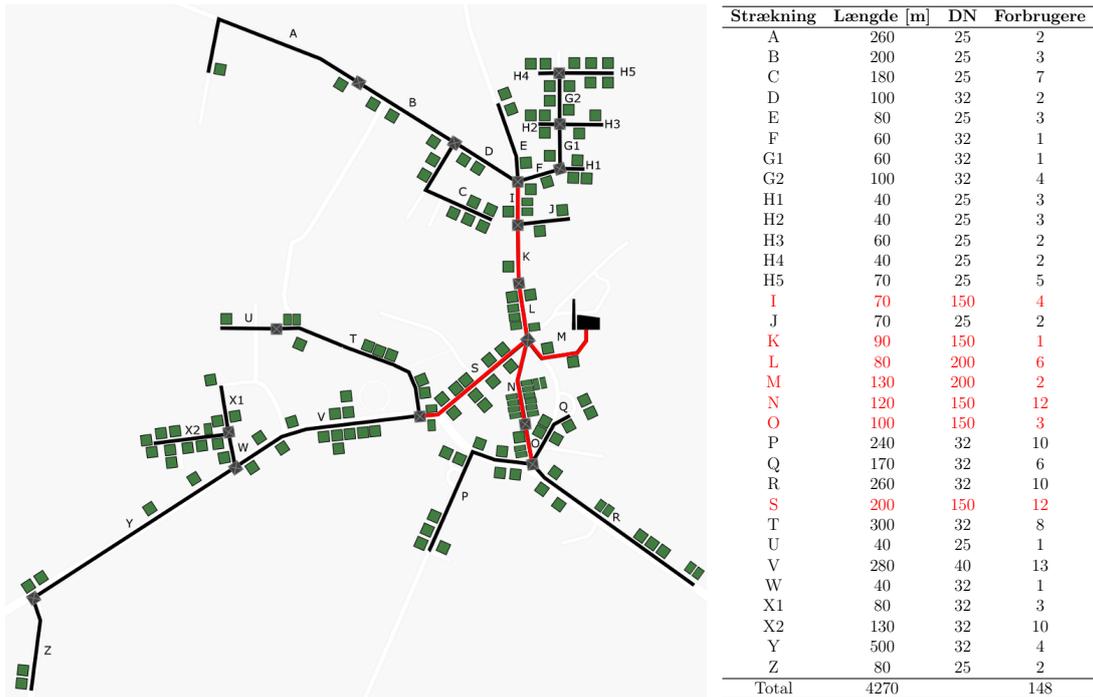


Figur 6: Ledningskort over fjernvarmesystemet med nye ledninger. De grønne firkanter viser eksisterende forbrugeres placering i systemet. Til højre ses resultatet af den nye ledningsoptimering, dvs. de forskellige ledningsstrækningers længde, rørstørrelse samt antallet af forbrugere.

Det årlige varmesalg er stadig 2679 MWh, men det årlige ledningstab er reduceret fra 1479 MWh til 514 MWh. Det relative ledningstab er altså reduceret fra 35,6 % til 16,1 %. De totale investeringsomkostninger i det nye ledningsnet er 10,9 mio. kr., hvoraf de 2,2 mio. kr. er omkostninger til stikledninger. De annualiserede investeringsomkostninger er større end besparelsen ved det reducerede ledningstab. Derfor øger en komplet nyetablering af ledningsnettet varmeprisen med ca. 1200 kr. til 19.100 kr./år.

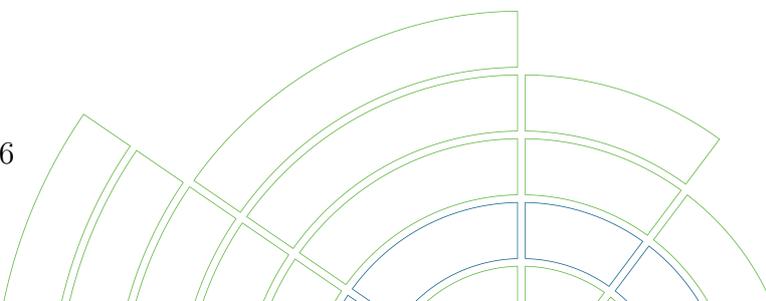
Et alternativ til den komplette nyetablering af ledningsnettet er en delvis renovering af ledningsnettet. Dette er vist i Figur 7. I den delvise renovering

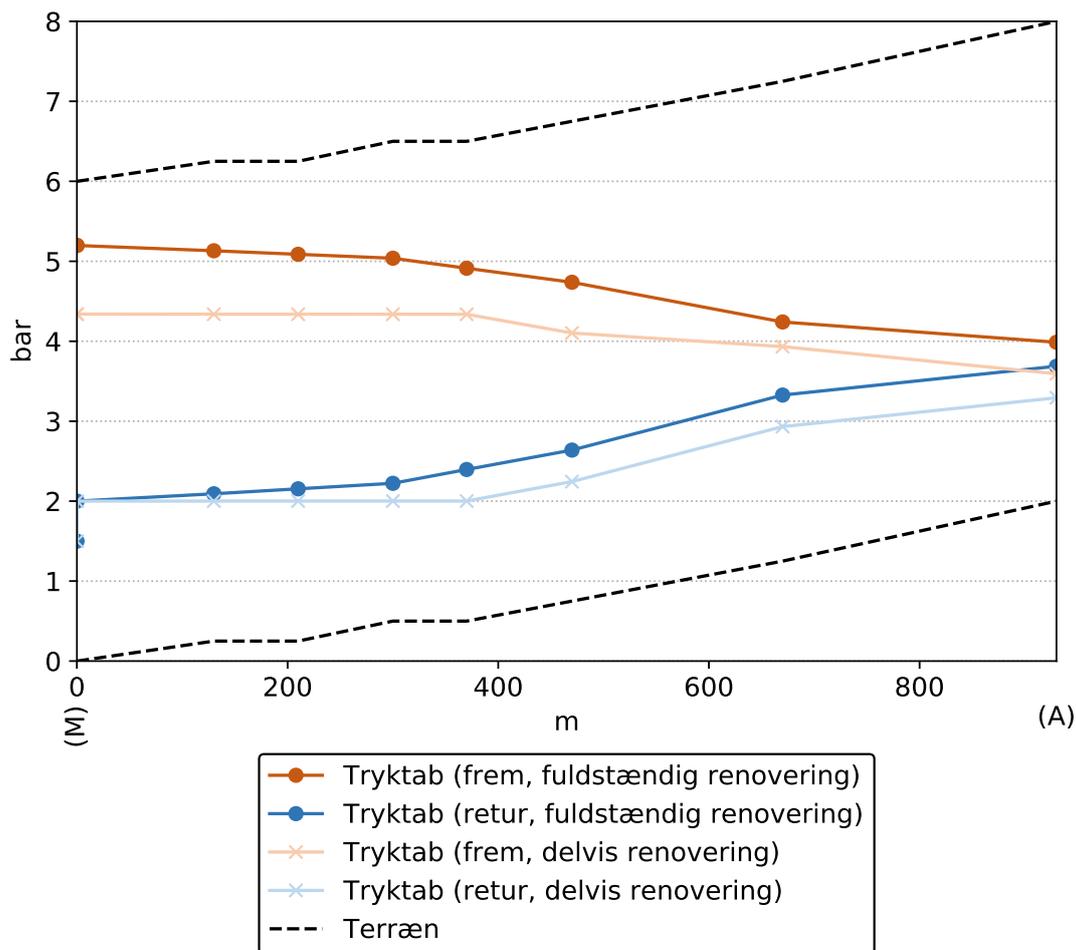
beholdes de store eksisterende ledninger i systemet (markeret med rød). Herved spares der investeringsomkostninger og de mindre gadeledninger kan potentielt reduceres yderligere, ved at udnytte at der praktisk talt intet tryktab er i de store ledninger. Det samlede ledningstab er ved en delvis renovering på 569 MWh, hvilket giver et relativt ledningstab på 17,5%. Den samlede investering i nye ledninger reduceres med 1,7 mio. kr. til 9,2 mio. kr., mens ledningstabet kun øges med 55 MWh i forhold til den komplette renovering (ca. 1,4 %-point). Varmepriisen er i dette scenarie lavere end ved den fuldstændige renovering af ledningsnettet og er på 18.600 kr./år, altså ca. 700 kr./år dyrere end referencen.



Figur 7: Ledningskort over fjernvarmesystemet ved den delvise renovering af ledningsnettet, hvor de største ledninger beholdes (markeret med rød). De grønne firkanter viser eksisterende forbrugeres placering i systemet. Til højre ses resultatet af ledningsoptimeringen hvor de største ledninger beholdes, dvs. de forskellige ledningsstrækningers længde, rørstørrelse samt antallet af forbrugere.

Figur 8 viser tryktabet for fuldstændig og delvis renovering af ledningsnettet for strækningen fra fjernvarmeværket (M) til forbrugerne ved strækningen A. Det ses, at pumpetrykket kan øges til ca. 4-5 bar for derved at udnytte tryktabet i de mindre ledninger. Det er ikke muligt at reducere rørstørrelserne yderligere, da det vil bryde grænsen for det tilladte maksimale pumpetryk på 6 bar. Den fuldstændige ledningsrenovering giver bedre mulighed for at udnytte dette, da alle rør på strækningen fra M til A udskiftes.





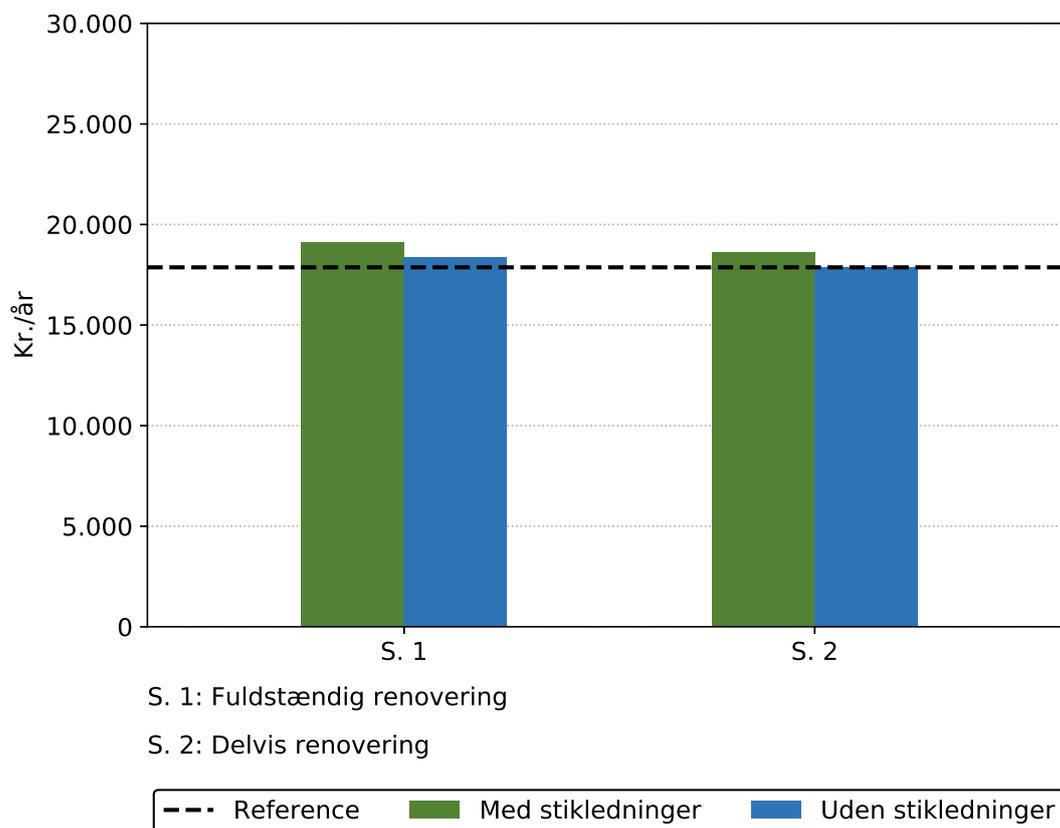
Figur 8: Trykforhold fra fjernvarmeværket (M) til den yderste forbruger (A) for både den fuldstændige og delvise renovering af ledningsnettet. Tryktabet er angivet i bar, mens strækningen er målt i meter.

Figur 9 viser varmepriserne for den fuldstændige og delvise renovering af ledningsnettet samt effekten af renovering med og uden stikledninger. Det ses, at varmeprisen er lavere, hvis man undlader at udskifte stikledningerne for både den fuldstændige og delvise renovering af ledningsnettet. Reduktionen i varmetabet ved at udskifte stikledningerne er altså ikke store nok til at bære de ekstra investeringsomkostninger ved at udskifte dem. I begge tilfælde reduceres varmeprisen med ca. 770 kr./år, hvis stikledningerne ikke udskiftes.

Udskiftningen af stikledninger reducerer ledningstabet med 70 MWh, hvilket svarer til ca. 2 %-point, mens omkostningen til stikledningerne er ca. 2,2 mio. kr. Dermed udgør stikledningerne 20-24 % af de samlede investeringsomkostninger til nye fjernvarmerør for henholdsvis den fuldstændige og delvise ledningsrenovering.

Den delvise renovering resulterer i en lavere varmepris end den fuldstændige renovering. Den delvise renovering uden udskiftning af stikledninger resulterer i en varmepris der er ca. det samme som varmeprisen i referencen. Der er på kort sigt ikke nogen umiddelbar økonomisk gevinst for varmekunderne, hvis fjernvarmeværket udskifter ledningsnettet helt eller delvist, da varmeprisen ved

den delvise renovering (uden stikledninger) balancerer med referenceprisen. Dog kan der på lang sigt være økonomiske fordele ved det, hvis den tekniske levetid af rørene overstiger afskrivningsperioden. Udskiftning af ledningsnettet til nye rør bidrager endvidere til lavere ledningstab som betyder mindre varmeproduktion fra fjernvarmeværket. Herved kan fjernvarmeværket bruge mindre brændsel og derved spare penge.



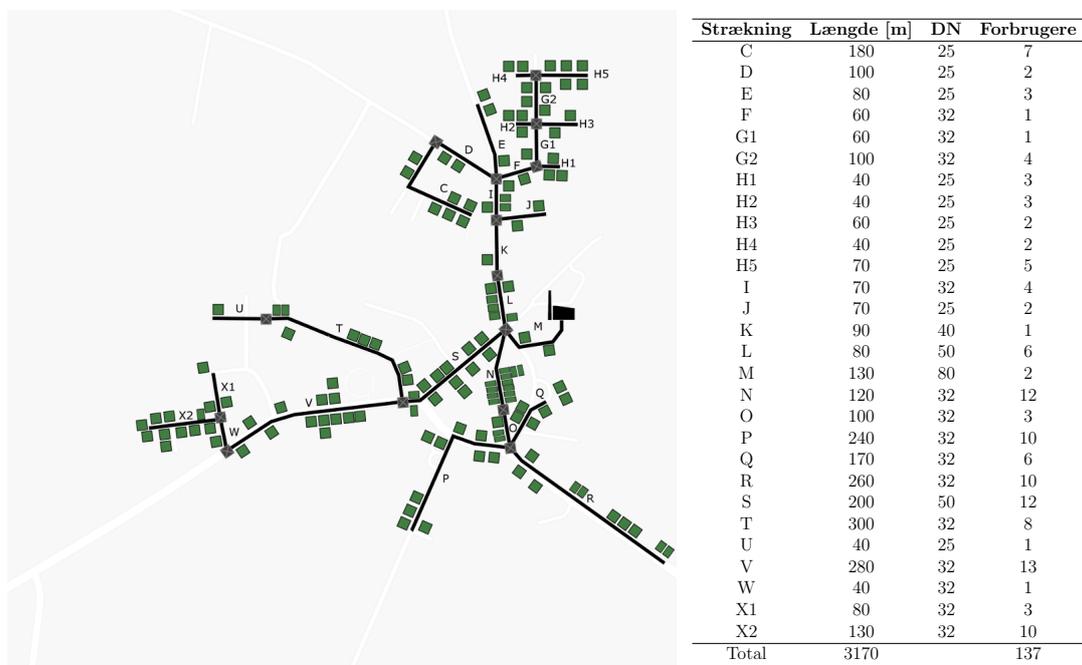
Figur 9: Varmepriser for et standardhus ved fuldstændig og delvis ledningsrenovering.



3.2.2 Afkobling og tilkobling af forbrugere

Varmetætheden har stor betydning for fjernvarmens konkurrenceevne. Derfor er det interessant at undersøge effekten af at afkoble og tilkoble forbrugere i fjernvarmesystemet. I dette afsnit undersøges effekten af at afkoble forbrugere yderst i systemet og tilkoble forbrugere centralt i systemet.

Figur 10 viser ledningsnettet, hvor strækningerne A, B, Y og Z er afkoblet, hvilket betyder at i alt 11 fjernvarmekunder er afkoblet systemet. Det totale antal forbrugere er derved reduceret til 137. Samtidig er de to lange strækninger til kunderne ved A, B, Y og Z fjernet fra systemet, hvilket svarer til i alt 1,1 km fjernvarmerør. Derved reduceres den totale længde af fjernvarmenettets rør med ca. 25 %. De fjernvarmekunder som fjernes fra systemet må i stedet anvende individuel opvarmning. Omkostningerne til etablering af dette er ikke inkluderet i de følgende beregninger.



Figur 10: Ledningskort over fjernvarmesystemet ved afkobling af forbrugere. De grønne firkanter repræsenterer forbrugernes placering i systemet. Det eksisterende net kan til sammenligning ses i Figur 3.

Det årlige varmetab i ledningsnettet reduceres yderligere ved en kombination af fuldstændig ledningsrenovering og afkobling af forbrugere, hvilket betyder at ledningstabet bliver 13,9 %. De totale investeringsomkostninger er på 8,6 mio. kr., hvoraf ca. 2,0 mio. kr. er omkostninger til stikledninger. Derved bliver varmeprisen 18.600 kr./år for en husstand. Tal for beregningerne, heriblandt årligt varmetab og varmebehov for renovering med og uden stikledninger kan ses i Tabel 1.

Den delvise renovering af ledningsnettet sammen med afkobling af forbrugere betyder giver et ledningstab er på ca. 18 %. Varmeprisen er ca. 18.300 kr./år for en husstand.

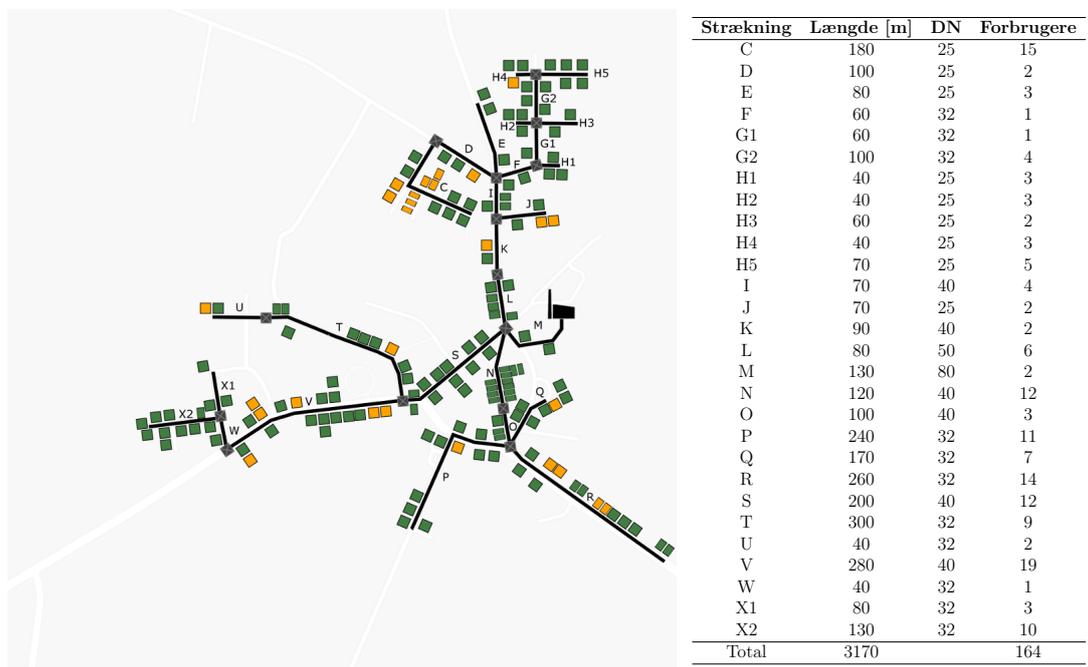
Afkobling og tilkobling af forbrugere er vist i Figur 11. Tilkobling af forbrugere betyder, at eksisterende bygninger som ligger tæt ved fjernvarmenettet, men som ikke er tilkoblet, bliver tilkoblet. Herved øges varmetætheden af systemet. Dette kræver kun nye stikledninger, hvilket betyder, at ekstraomkostningerne er relativt lave. Tilkoblingen af ekstra forbrugere for både den fuldstændige og delvise renovering reducerer det relative ledningstab og sænker samtidig varmeprisen til ca. 17.000-17.200 kr./år for en husstand. Varmepris, omkostningerne ved ledningsrenovering, varmebehovet, varmetabet og ledningstab for renoveringsscenarierne er vist i Tabel 1.

Ledningsrenovering med udskiftning af stikledninger						
Scenarie	Varmepris [kr./år]	Antal forbrugere	Omkostninger [mio. kr.]	Varmebehov [MWh]	Varmetab [MWh]	Ledningstab [%]
S. 0	17.800	148	0	4158	1479	35,6
S. 1	19.118	148	10,9	3192	514	16,1
S. 2	18.264	148	9,2	3248	569	17,5
S. 3	18.557	137	8,6	2881	401	13,9
S. 4	18.336	137	6,9	3026	546	18,0
S. 5	17.253	164	9,0	3395	426	12,6
S. 6	17.064	164	7,3	3537	568	16,1

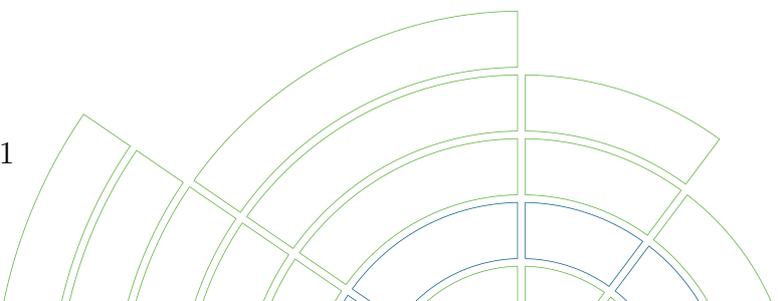
Ledningsrenovering uden udskiftning af stikledninger						
Scenarie	Varmepris [kr./år]	Antal forbrugere	Omkostninger [mio. kr.]	Varmebehov [MWh]	Varmetab [MWh]	Ledningstab [%]
S. 0	17.800	148	0	4158	1479	35,6
S. 1	18.351	148	8,7	3225	546	16,9
S. 2	17.857	148	7,0	3280	602	18,3
S. 3	17.790	137	6,5	2911	431	14,8
S. 4	17.569	137	4,9	3056	576	18,8
S. 5	16.484	164	6,8	3427	459	13,4
S. 6	16.285	164	5,1	3569	601	16,8

Tabel 1: Ledningsrenovering med og uden udskiftning af stikledninger for alle scenarierne: S. 0: Referecen, S. 1: Fuldstændig renovering, S. 2: Delvis renovering, S. 3: Fuldstændig renovering og afkobling, S. 4: Delvis renovering og afkobling, S. 5: Fuldstændig renovering, afkobling og tilkobling, S. 6: Delvis renovering, afkobling og tilkobling.

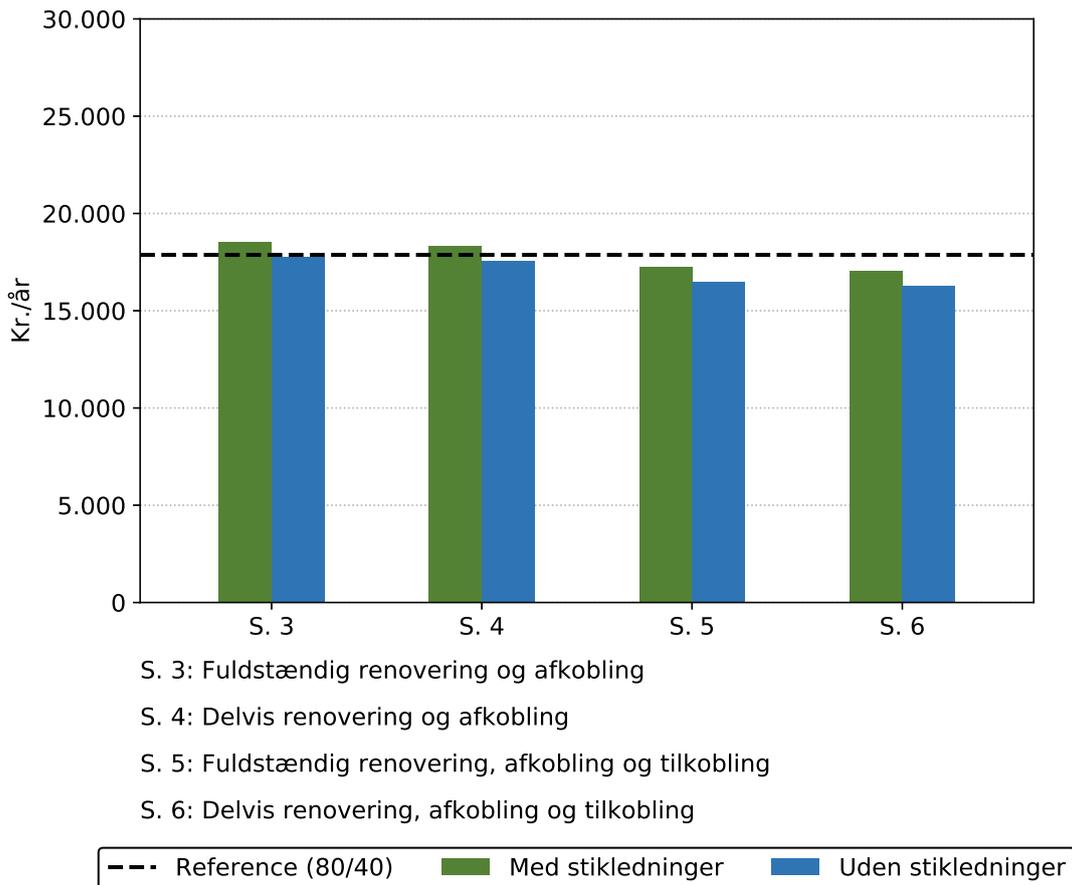




Figur 11: Ledningskort over fjernvarmesystemet ved afkobling og tilkobling af forbrugere. De grønne firkanter viser eksisterende forbrugeres placering i systemet. Tilkoblede huse er markeret med gul.



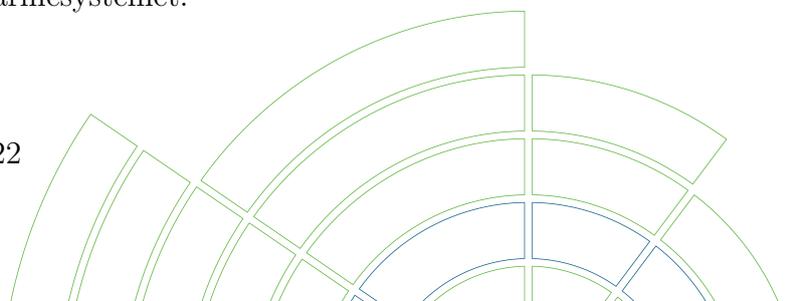
Varmepriserne for den fuldstændige og delvise renovering ved afkobling og tilkobling af forbrugere, med og uden udskiftning af stikledninger, er vist på Figur 12. Det er svært at få en lav varmepris gennem afkobling af forbrugere for både den fuldstændige og delvise renovering. Det skyldes, at omkostningerne til ledningsrenoveringen stadigvæk er større end besparelsen ved reducere af ledningstab. Kun for den delvise renovering og afkobling af forbrugere uden udskiftning af stikledninger (S. 4), bliver varmeprisen marginalt lavere end referencens varmepris.



Figur 12: Varmepriser for et standardhus for forskellige renoveringsscenarier med afkobling og tilkobling af forbrugere i fjernvarmesystemet.

Tilkobles der samtidigt forbrugere centralt i fjernvarmesystemet vil det give en lavere varmepris ved både en fuldstændig og delvis renovering af ledningsnettet, både med og uden stikledninger (S. 5 og S. 6). Den laveste varmepris opnås dog ved en delvis renovering uden udskiftning af stikledninger. Her ender varmeprisen for en husstand på ca. 16.300 kr./år. Dette er ca. 9% billigere end referencen.

Resultatet indikerer at det i princippet ikke kan betale sig at udskifte hele ledningsnettet eller store dele af det på en gang. Udskiftningen kan dog betale sig, hvis man samtidigt fortætter systemet som beskrevet ovenfor. På lang sigt vil det øge konkurrenceevnen for fjernvarmesystemet.



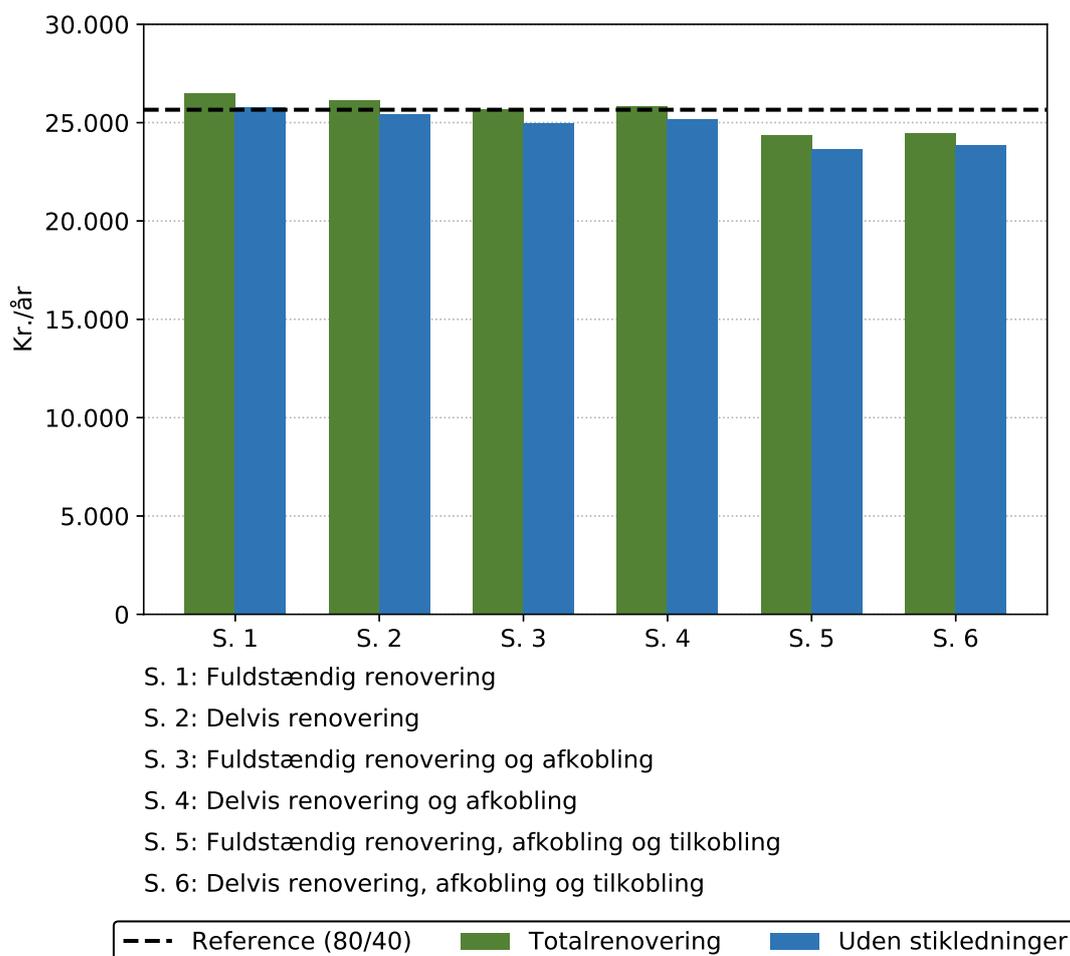
3.3 Alternative systemer

Dette afsnit indeholder resultater for scenarier hvor varmeproduktionsanlæggene ændres. Det første alternative fjernvarmesystem er et, hvor fjernvarmeværket ikke har haft mulighed for at investere i en træpillekedel. Der er dermed et udelukkende naturgasbaseret fjernvarmesystem med en naturgasmotor og en naturgaskedel. Det andet alternative system tager udgangspunkt i det eksisterende system, men hvor der desuden investeres i en eldrevet varmepumpe med udeluft som varmekilde.

3.3.1 Naturgasbaseret system

I det udelukkende naturgasbaserede fjernvarmesystem er der kun en naturgasmotor og en naturgaskedel til rådighed til at producere varmebehovet for systemet. Dette scenarie er vist for at illustrere de decentrale naturgasfyrede kraftvarmeværker som enten ikke har investeret i andre varmeproduktionsteknologier, eller ikke har haft mulighed for det.

Figur 13 viser de varmepriser der kan opnås i dette system ved de forskellige variationer af ledningsnettet. Reference-prisen (hvor det eksisterende overdimen-



Figur 13: Varmepriser for et standardhus for renoveringsscenarier hvor fjernvarmeværket udelukkende er naturgasbaseret.

sionerede ledningsnet beholdes) for et standardhus er på ca. 25.500 kr./år. En renovering af ledningsnettet inkl. stikledninger giver ikke økonomisk mening for dette system, medmindre man fortætter systemet. Varmeprisen kan her komme ned på et niveau omkring 24.500 kr./år (S. 5 og S. 6). Denne reduktion i varmeprisen er dog mere drevet af fortætningen af systemet end renoveringen af ledningsnettet. Inkluderer man ikke stikledningerne i renoveringen vil det også være rentabelt at renovere ledningsnettet i kombination med at afkoble de yderste forbrugere. Hvis der afkobles forbrugere, samtidigt med renoveringen af ledningsnettet, kan varmeprisen reduceres til ca. 25.000 kr./år. Tilkobles der samtidigt forbrugere centralt i systemet kan varmeprisen sænkes til et niveau på 23.500-24.000 kr./år.

Generelt gælder for dette system, at det er meget høje varmepriser, der ikke kan konkurrere med individuelle alternativer. Dette uddybes i Afsnit 3.4.

3.3.2 Investering i eldrevet varmepumpe

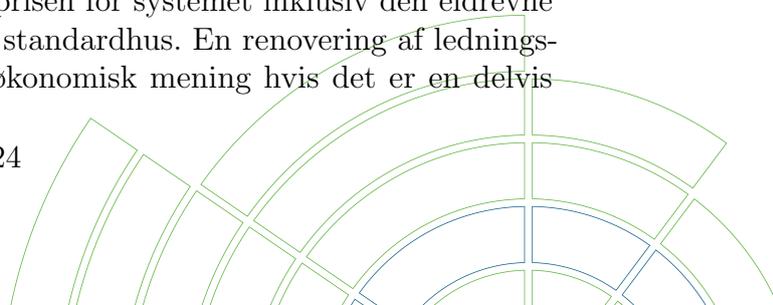
Investering i en eldrevet varmepumpe baseret på udeluft til at supplere driften kan reducere fjernvarmeværkets varmeproduktionspris. Der er behov for at optimere varmepumpens størrelse, dvs. varme- og elkapacitet, i forhold til de øvrige produktionsenheder på værket, således at den laveste varmeproduktionspris nås. Dette gøres ved en iterativ proces i energyPRO, hvor fjernvarmeværkets samlede varmeproduktionspris beregnes ud fra forskellige størrelser af varmepumpen, se Tabel 2.

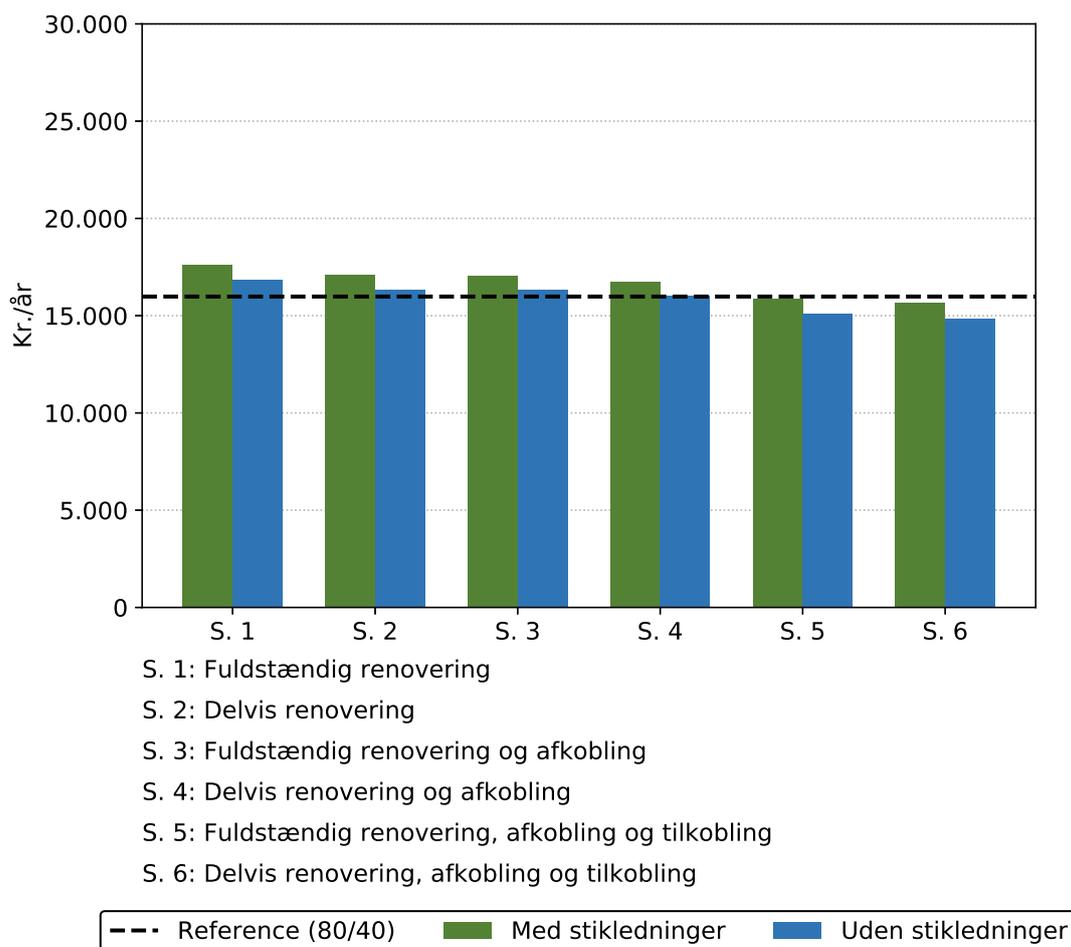
Varmekapacitet [kW]	Varmeproduktionspris [kr./MWh]
300	433,5
350	432,9
400	434,0
450	436,6
500	440,3
550	444,7
600	449,9

Tabel 2: Varmeproduktionspriser for hele fjernvarmeværket ved forskellige investeringsstørrelser i en eldrevet varmepumpe baseret på udeluft.

For dette fjernvarmeværk giver en varmekapacitet for varmepumpen på 350 kW den laveste varmeproduktionspris, hvorfor der investeres i netop denne størrelse. Samtidig skrottes naturgasmotoren for at spare de faste omkostninger. Dette vurderes til at være hensigtsmæssigt, idet driftstimerne på naturgasmotoren er meget begrænset og der stadig er tilstrækkelig reservekapacitet.

Figur 14 viser de varmepriser, der kan opnås i dette system ved de forskellige variationer af ledningsnettet. Referenceprisen for systemet inklusiv den eldrevne varmepumpe er ca. 16.000 kr./år for et standardhus. En renovering af ledningsnettet (inkl. stikledninger) giver kun økonomisk mening hvis det er en delvis





Figur 14: Varmepriser for et standardhus for scenarier hvor fjernvarmeværket investerer i en eldrevet varmepumpe.

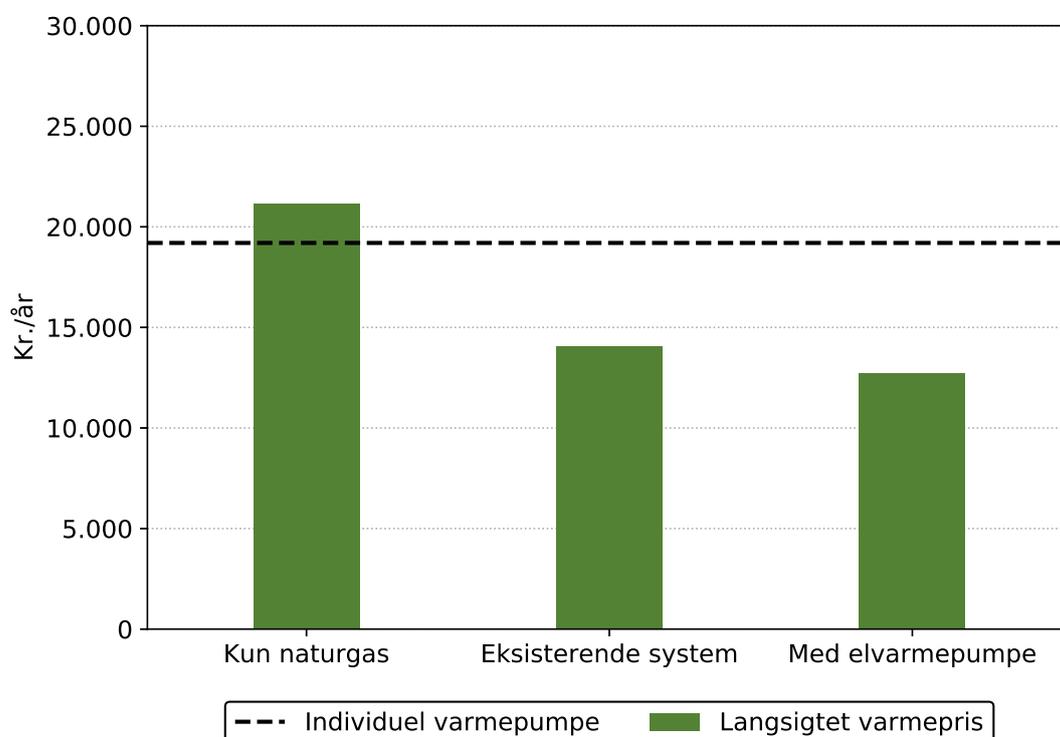
renovering, samtidigt med at fjernvarmesystemet fortættes. Varmeprisen for et standardhus vil i dette tilfælde blive reduceret med ca. 300 kr./år. Inkluderer man ikke stikledningerne i renoveringen vil det også være rentabelt at lave en fuldstændig renovering af ledningsnettet, når fjernvarmesystemet fortættes. Her vil varmeprisen komme ned på et niveau omkring 15.000 kr./år, som igen er drevet af fortætningen og ikke af ledningsrenoveringen.

Generelt kan det siges, at scenariet med en kombination af en træpillekedel og en eldrevet varmepumpe er det scenarie, som giver de laveste varmepriser for et standardhus i denne analyse. Investering i både ny varmeproduktionsteknologi og ledningsnet skaber et konkurrencedygtigt potentiale for fjernvarmesystemet på langt sigt. Dette uddybes i det efterfølgende afsnit.

3.4 Konkurrenceevne og langsigtet potentiale for systemet

I dette afsnit vises resultater for den teoretisk opnåelige langsigtede varmepris for fjernvarmesystemet. Med andre ord undersøges det, hvor langt ned i pris fjernvarmen vil kunne komme i det analyserede fjernvarmeområde. Denne varmepris sammenlignes med et individuelt alternativ, som her er en luft/vand husstands varmepumpe.

Den langsigtede laveste opnåelige fjernvarmepris er fundet ved at tage udgangspunkt i det eksisterende fjernvarmesystem med naturgasmotor, naturgaskedel og træpillekedel. Her skrottes naturgasmotoren, samtidigt med, at der investeres i en eldrevet varmepumpe, med udeluft som varmekilde, som er dimensioneret til at producere grundlasten. Herunder er det antaget, at man kan sænke fremløbstemperaturen til 65 °C og at forbrugeren kan afkøle fjernvarmevandet til 30 °C. Desuden er systemet fortættet mest muligt, i form af afkobling af de yderste forbrugere og tilkobling af de forbrugere som ikke allerede er tilkoblet centralt i nettet. Dette resulterer i et ledningstab på 12,6 %. Investeringsomkostninger til varmeproduktionsanlæg er inkluderet i varmeprisen, men investeringsomkostningerne til ledningsnettet er ikke medregnet. Dette er gjort, fordi den tekniske levetid af ledningsnettet er væsentligt længere end hvad man må afskrive det over



Figur 15: Langsigtede varmepriser, for et standardhus, ved de forskellige fjernvarmesystemer: et udelukkende naturgasbaseret system, det eksisterende system med naturgasenheder og en træpillekedel og ved investering i en eldrevet varmepumpe baseret på udeluft. Varmepriserne er vist for den fuldstændige ledningsrenovering (inklusive stikledninger) samt afkobling og tilkobling af forbrugere (scenarie 5).

i henhold til varmforsyningsloven. Denne varmepris vil derfor kunne opnås, når det renoverede ledningsnet er afskrevet. Denne metode er valgt for at vise den lavest opnåelige langsigtede varmepris for systemet.

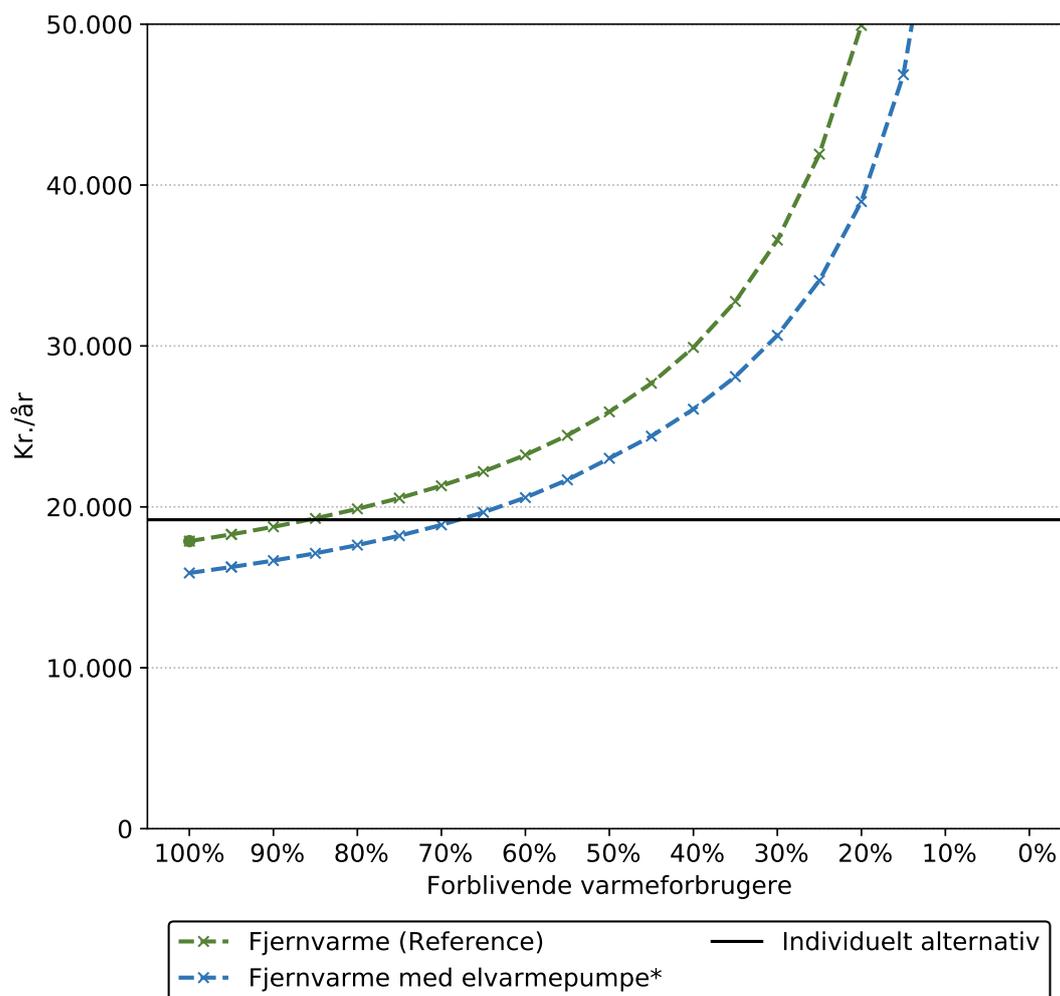
I Figur 15 ses de langsigtede opnåelige fjernvarmepriser for det naturgasbaserede system, det eksisterende system (varmeproduktionsmæssigt) og systemet hvor der investeres i en eldrevet varmepumpe. Disse varmepriser er sammenlignet med en individuel luft/vand varmepumpe. Den individuelle varmepumpe har en årlig varmepris på ca. 19.200 kr./år. Det naturgasbaserede system kan komme ned på en årlig varmepris på ca. 21.000 kr./år. Det eksisterende system kan komme ned på en årlig varmepris på ca. 14.000 kr./år, mens systemet hvor der investeres i en eldrevet varmepumpe kan komme ned på ca. 12.500 kr./år. Ud fra dette kan det ses, at det rene naturgasbaserede system ikke er konkurrencedygtigt, selv når det er optimeret i forhold til varmetætheden i fjernvarmesystemet og fremløbs- og returtemperaturerne er sænket. Det er derfor nødvendigt at investere i alternative produktionsanlæg for at sikre en rimelig varmepris. Både det eksisterende system og systemer hvor der investeres i en eldrevet varmepumpe er meget konkurrencedygtige systemer på lang sigt. Scenariet hvor der investeres i en eldrevet varmepumpe er ca. 9% billigere end det eksisterende system.

Da resultaterne tidligere i analysen har vist, at det ikke vil være rentabelt at totalrenovere det samlede ledningsnet med det samme, skal resultaterne her repræsentere den varmepris, man kan komme ned på, hvis man over længere tid renoverer sit ledningsnet, når det er rentabelt for en ledningsstrækning. I denne process er det essentielt, at man ser på dimensioneringen af ledningsstrækningen. Hvis dimensionen af ledningen kan mindskes kan ledningstabet reduceres betragteligt. I denne forbindelse vil det sandsynligvis give mening at starte længst ude i ledningsnettet.

3.4.1 Færre forbrugere

I dette afsnit er der vist resultater for et scenarie, hvor man ikke foretager ændringer i fjernvarmesystemet (referencen) i en situation, hvor fjernvarmeforbrugerne ikke har forblivelsespligt. I denne situation vil en fjernvarmeforbruger frit kunne frakoble sig fjernvarmesystemet og vælge en anden (individuel) varmforsyning. I udgangspunktet har forbrugerne i denne analyse, umiddelbart ikke noget økonomisk ræsonnement for at vælge anden varmforsyning end fjernvarmen. Nogle forbrugere kan dog af den ene eller anden grund foretrække individuel forsyning frem for det kollektive. Hvis en forbruger vælger at forlade det kollektive system vil nogle omkostninger blive mindre for systemet, mens andre vil forblive de samme. Det er antaget, at omkostningerne til distribution og administration er direkte afhængige af varmesalget. Det samme er de variable omkostninger til varmeproduktion. De faste omkostninger til varmeproduktion (fast drift og vedligehold og kapitalomkostninger) forbliver de samme uanset antallet af forbrugere. Ledningstabet i hoved- og gadeledninger ændrer sig ikke (i absolutte termer), mens ledningstabet i stikledninger fjernes for de afkoblede forbrugere.

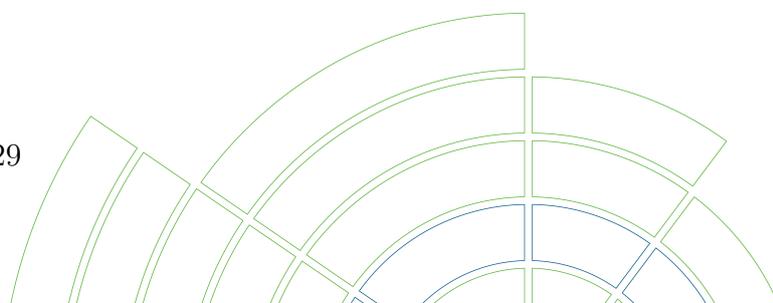
Figur 16 viser den årlige varmepris for en husstand som en funktion af antallet af forbrugere i fjernvarmesystemet. Den grønne prik svarer til udgangspunktet for systemet (referencen). Figuren viser, at jo færre forbrugere der er til at bære de faste omkostninger fra allerede foretagne investeringer, jo mindre konkurrence-dygtigt er fjernvarmesystemet. I starten er denne effekt lav, men den accelerer i takt med at der bliver færre og færre forbrugere. Til at starte med er fjervarmen ca. 1300 kr./år billigere end det individuelle alternativ, som i dette tilfælde er en luft/vand varmepumpe.



Figur 16: Varmeprisen for et standardhus som funktion af forblivende varmekunder ved referencen og ved investering i en elvarmepumpe. Dette sammenlignes med varmeprisen for en individuel luft/vand varmepumpe. *Beregningerne tager udgangspunkt i en fuldstændig renovering af ledningsnettet samt afkobling og tilkobling af forbrugere i systemet (S. 5).

Ved en andel af tilsluttede forbrugere på ca. 85 % (svarende til ca. 126 forbrugere) er varmeprisen for fjernvarme og en luft/vand varmepumpe ca. den samme for referencen. Ved færre tilsluttede forbrugere er fjernvarmeprisen selvsagt højere end for det individuelle alternativ. I takt med at flere og flere forbrugere forlader det kollektive system sker en selvforstærkende effekt, hvor det at nogle forbrugere forlader systemet, gør det dyrere for de tilbageværende forbrugere, som dermed har et øget incitament for også at forlade systemet.

Hvis man i stedet betragter fjernvarmesystemet som har investeret i en eldrevet varmepumpe, ses et betydeligt mere robust fjernvarmeområde. Her er varmeprisen ved fuld tilslutning af forbrugere ca. 3300 kr./år billigere end det individuelle alternativ. Her er skæringen mellem fjernvarmen og det individuelle alternativ ved en tilslutningsgrad på ca. 65% (svarende til ca. 107 forbrugere). Fjernvarmesystemet er herved robust nok til at håndtere et betydeligt frafald af kunder, før den selvforværende effekt for alvor begynder.



4 Konklusion

Planlægning af ledningsrenovering er vigtigt i forhold til at sikre konkurrencedygtige varmepriser og fremtidssikre fjernvarmeproduktionen. For at kunne forstå hvordan man skal renovere sine fjernvarmerør, må man først skabe et overblik over det eksisterende system. Dette indeholder blandt andet vurderinger af ledningstab og hvor i nettet dette er størst. Analysen har vist at et lille decentralt fjernvarmeværk med et højt ledningstab på over 35 % kan reducere dette til 12-13 % ved at udskifte eksisterende ledninger med nye. Et problem i forhold til stort ledningstab er, at mange eksisterende fjernvarmesystemer har overdimensionerede fjernvarmerør, hvor et muligt tryktab i ledningsnettet ikke udnyttes og følgelig giver en lav vandhastighed og et stort varmetab.

Investering i nye fjernvarmerør er ikke billigt. Analysen viser, at varmepriserne efter ledningsrenovering, også selvom varmetætheden i system øges, ofte vil stige hvis alle eller størstedelen af fjernvarmerørene udskiftes på en gang. Med udgangspunktet i en varmepris på 17.800 kr./år kan en gennemgribende udskiftning af ledningsnettet reducere varmeprisen med ca. 500-1500 kr./år (se Figur 9 og 12). Dette medregner dog ikke de ekstraomkostninger der nødvendigvis vil være i forbindelse med at afkoble forbrugere og tilslutte disse til individuel opvarmning. Fjernvarmeselskabet bør ikke renovere funktionsdygtige fjernvarmerør men vente til rørene alligevel skal udskiftes, enten på grund af lækager eller udtjent levetid. Her bør man lave en overordnet plan, så nye fjernvarmerør har de rigtige størrelser.

Ledningsrenoveringen bør ligeledes samtænkes med fremtidens fjernvarmesystemer som vil operere ved lavere temperaturer. I denne analyse sænkes fremløbs- og returtemperaturerne fra 80/40 °C til 65/30 °C. Dette er med til at reducere varmetabet i fjernvarmerørene, og kan samtidig klargøre fjernvarmeværket til investering i fx eldrevne varmepumper. Forholdene for elvarmepumper forbedres betydeligt ved lav-temperatur fjernvarme, da de herved kan opnå en højere COP. Dette er blandt andet med til at reducere elforbruget og dermed de variable omkostninger til varmepumpen. Afhængigt af hvilket brændsel der anvendes i varmeproduktionen, kan det lavere ledningstab også betyde reduktion i CO₂-udledningen, da der skal bruges mindre brændsel.

Selvom ledningsrenovering på kort sigt ofte vil forhøje varmeprisen, kan det betale sig på den lange bane. Ved samtidig at investere i en eldrevet varmepumpe kan fjernvarmesystemets robusthed øges betragteligt. Dette gælder specielt i forhold til muligt frafald af kunder ved et eventuelt ophør af forblivelsespligten i fjernvarmen. Den langsigtede fjernvarmepris kan for både det eksisterende system og ved investering i elvarmepumpen blive meget konkurrencedygtig. Når ledningsnettet er afskrevet kan varmeprisen reduceres til ca. 12.500-14.000 kr./år. Planlægning og optimal ledningsrenovering i samspil med investering i ny produktionsteknologi kan følgelig være afgørende for fjernvarmens overlevelse i mindre områder. I scenariet hvor fjernvarmeværket kun har varmeproduktion på naturgasenheder, vil individuel opvarmning på både kort og langt sigt kunne tilbyde lavere varmepriser end fjernvarmen.

4.1 Masterplan for konkurrencedygtig fjernvarme

Fjernvarmeselskaberne kan gennem planlægning af deres fjernvarmesystem sikre konkurrencedygtig fjernvarme. I det følgende beskrives fire tiltag i prioriteret rækkefølge som kan fremtidssikre fjernvarmen:

- 1. Fortæt fjernvarmesystemet:** En lavthængende frugt i forhold til at reducere varmeprisen er at tilkoble forbrugere, som er placeret centralt i systemet. For dette fjernvarmesystem er 16 huse placeret tæt ved det eksisterende fjernvarmesystem uden at være tilsluttet. Disse kan let tilsluttes fjernvarmenettet gennem nye stikledninger og da fjervarmerørene i udgangspunktet er overdimensionerede vil varmeleverance ikke være noget problem.
- 2. Reducer temperaturen og find kritiske steder i systemet:** Lavere fremløbstemperatur er vigtig for fremtidssikring af fjernvarmeværket. Ved intelligente målere i nettet kan man foretage temperaturoptimering af systemet og sænke temperaturen indtil man finder de kritiske forbrugere i systemet. Omløb kan mindske temperaturfaldet på kritiske strækninger, for derved at sikre et vist temperaturniveau hos forbrugerne. Samtidig er lavere fremløbstemperatur med til at omstille systemet til investering i fx effektive elvarmepumper.
- 3. Invester i billigere varmeproduktion:** Skiftet fra naturgas til biomasse og elvarmepumpe kan reducere varmeprisen betydeligt. Hvis der ikke foretages ledningsrenovering, kan et stort ledningstab betyde at reduktionen i varmeprisen bliver mindre.
- 4. Re-tænkning af rørdimensioner og udskiftning af ledningsnet:** Fuldstændig ledningsrenovering kan reducere varmetabet men er ikke økonomisk rentabelt. Den delvise renovering af ledningsnettet kan give mening, når fjervarmerørene er nedslidte eller i kritiske områder, hvor renovering af en enkelt strækning kan optimere driften af hele systemet. Dette kan fx være udskiftning af en ledning i et område, som muliggør sænkning af fremløbstemperaturen i hele systemet. Er der tale om fjervarmerør til nogle af de yderste forbrugere, hvor varmetætheden kan være lav, bør man i samme omgang overveje om man kan/skal afkoble forbrugerne i takt med at rørene alligevel skal udskiftes. Mange eksisterende systemer er overdimensionerede, hvilket betyder højt ledningstab. I forbindelse med udskiftning af fjervarmerør bør fjernvarmeværket derfor re-tænke hvordan de dimensioneres. Eksemplet i denne analyse understreger netop denne pointe. Her er det eksisterende ledningsnet overdimensioneret, og ved nye hydrauliske beregninger af fjernvarmenettets tryktab og rørkarakteristik ses, at der kan lægges betydeligt mindre fjervarmerør. I denne sammenhæng bør man indtænke værktøjer til at optimere driften af anlægget og måling af forholdende i fjernvarmesystemet.

Hvis fjernvarmeselskaberne med højt ledningstab og varmeproduktion baseret overvejende på naturgas ikke gør noget i forhold til dette, vil de uundgåeligt have højere varmepriser end hvad sælgere af individuelle opvarmningsformer kan tilbyde. Dette kan eventuelt betyde færre forbrugere i fjernvarmenettet, hvilket kan skabe en selvforstærkende effekt i forhold til bortfald af varmekunder og dermed formindskelse af varmegrundlaget og varmetætheden.



Litteratur

Peter Ove Christensen. *Investeringsteori*. Syddansk Universitetsforlag, 2 edition, 2005.

Dansk Fjernvarme. Beregningsforudsætninger, 2018.

Energi, Forsynings- og Klimaministeriet. Energifaftale af 29. juni 2018, 2018. URL <https://efkm.dk/media/12222/energifaftale2018.pdf>.

Energinet.dk. Tariffer, 2018. URL <https://energinet.dk/El/Tariffer>.

Energistyrelsen. Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner, 2018. URL https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/samfundsoekonomiske_beregningsforudsatninger_for_energipriser_og_emissioner_endelig2_justeret_gastabel_og_tekst.pdf.

Grøn Energi. Beregningsforudsætninger, erfaringstal fra branchen, 2018.

Nick Bjørn Andersen m. fl. *Varme ståbi*, volume 1. oplag. Praxis - Nyt Teknisk Forlag, 7. udgave edition, 2015.

Skatteministeriet. Afgiftssatser i CO₂-afgiftsloven, 2019a. URL <https://skat.dk/skat.aspx?oid=2060519&chk=215961>.

Skatteministeriet. Afgiftssatser i elafgiftsloven, 2019b. URL <https://www.skat.dk/skat.aspx?oid=2061620&chk=215961>.

Skatteministeriet. Afgiftssatser i gasafgiftsloven, 2019c. URL <https://skat.dk/skat.aspx?oid=2061637&chk=215961>.

Skatteministeriet. Afgiftssatser i kvælstofoxidafgiftsloven (NO_x), 2019d. URL <https://skat.dk/skat.aspx?oid=1946602&chk=215961>.

A Samtidighedsforhold og tilslutningseffekt

A.1 Samtidighedsforhold

Forbrugerne i et fjernvarmenet har ikke maksimalt varmebehov samtidig. Samtidighedsfaktoren afhænger af hvilke bygningstyper som er tilsluttet fjernvarmeområdet og kan derfor variere. Som udgangspunkt anvendes følgende samtidighedsfaktorer for henholdsvis rumvarme (S_{rv}) og brugsvand (S_{bv}) ved n forbrugere (Nick Bjørn Andersen m. fl., 2015).

$$S_{rv} = 0,62 + \frac{0,38}{n} \quad (\text{A.1})$$

$$S_{bv} = \frac{51 - n}{50 \cdot \sqrt{n}} \quad (\text{A.2})$$

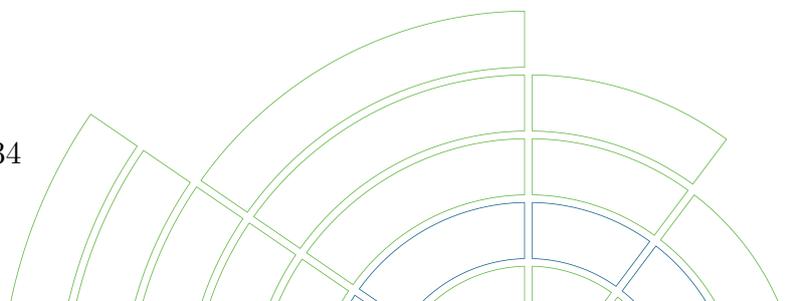
A.2 Dimensionerende tilslutningseffekt

Den dimensionerende tilslutningseffekt, Φ , bestemmes som:

$$\Phi_{dim} = ((\Phi_{rv,peak} \cdot S_{rv}) + ((\Phi_{bv,peak} - \Phi_{rv,peak}) \cdot S_{bv})) \cdot n \quad [\text{W}] \quad (\text{A.3})$$

Her er $\Phi_{rv,peak}$ spidslasteffekten for rumvarme for en enkelt forbruger og $\Phi_{bv,peak}$ er spidslasteffekten for brugsvand på 32,5 kW.

På baggrund af Φ_{dim} kan rørstørrelserne i ledningsnettet dimensioneres og varighedskurven kan konstrueres.



B Varighedskurve

Behovet for rumvarme dimensioneres efter, at varmeforbruget stopper ved 16°C . Dette giver en spidstlasteffekt for rumvarme på 6088 W for et hus på 130 m^2 ved en udetemperatur på $-13,7^\circ\text{C}$.

Ved 148 forbrugere er spidslasten for rumvarme 901 kW i dette system, hvis man ser bort fra samtidighed. Der skal dog tages højde for samtidighedsforhold ved vurdering af varmebehovet i spidslastsituationen samt ved dimensionering af tilslutningseffekten.

Anvendes formel A.3 ved 148 forbrugere og en spidstlasteffekt for rumvarme på $6,088\text{ kW}$ samt en spidstlasteffekt for brugsvand på $32,5\text{ kW}$ fås en maksimal tilslutningseffekt på $560,95\text{ kW}$. Ved 148 forbrugere er det totale varmebehov følgelig $2678,8\text{ MWh}$. Dette skal fordeles på årets timer ud fra temperaturprofilen. Derudover skal ledningstabet inkluderes i den producerede varmemængde, se Afsnit 2.2.

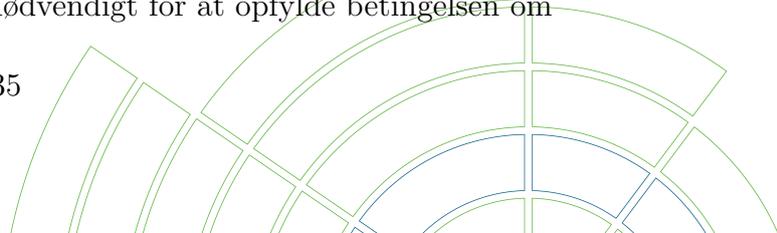
Ledningstabet og brugsvandet fordeles ligeligt over alle årets 8760 timer. Behovet for rumvarme følger udetemperaturen, således at der ved temperaturer over 16°C ikke behøves rumvarme. Den laveste temperatur i året, her $-13,7^\circ\text{C}$, giver følgelig spidstlastbehovet på $560,95\text{ kW}$ for rumvarme og brugsvand. Ved et ledningstab på $1123,33\text{ MWh}/\text{år}$ i referencen fås et ledningstab i hver time på $128,20\text{ kWh}/\text{h}$. Dette giver en total spidseffekt på $689,14\text{ kW}$.

Varighedskurven konstrueres efterfølgende på baggrund af temperaturprofilen, som antages at have samme profil som behovet for rumvarme. Dog kan der ved denne metode maksimalt opnås et totalt varmebehov på $2835,18\text{ MWh}$. Dette opfylder altså ikke det totale varmebehov for fjernvarmeværket på $3802,13\text{ MWh}$, som inkluderer både rumvarme, brugsvand og ledningstab. Det er altså ikke en fuldstændig sammenhæng mellem temperaturprofilen, de $18,1\text{ MWh}$ som vurderes til at være det årlige varmeforbrug for en husstand og spidstlasteffekten estimeret på baggrund af samtidighedsforholdene.

Derfor anvendes følgende funktion til at estimere behovet for ekstra rumvarme:

$$\Phi_{rv,eksta}(t) = \ln(t)^\alpha * 0,01 \quad [\text{MWh}] \quad (\text{B.1})$$

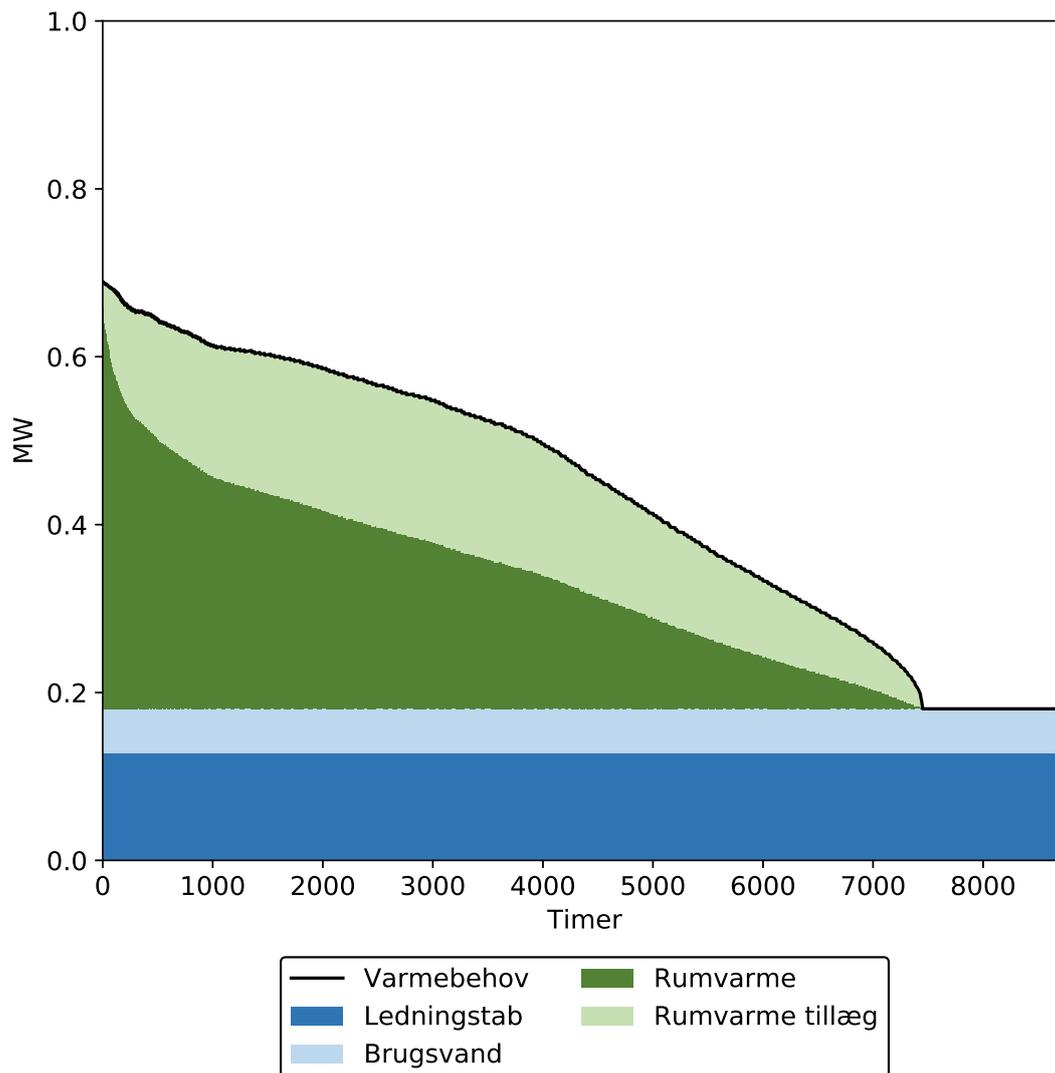
Hvor t er den pågældende time med behov for rumvarme og α er en faktor som varierer i forhold til det totale behov for ekstra rumvarme. Ud fra temperaturprofilen fås, at der er et behov for rumvarme i 7449 timer af året. Derfor summeres det enkelte bidrag til ekstra rumvarme for 7449 timer af året, hvilket resulterer i det totalte ekstra varmebehov som er nødvendigt for at opfylde betingelsen om



et totalt varmebehov på 3802,13 MWh.

$$\Phi_{eksta} = \sum_{t=1}^{7449} \Phi_{rv,eksta}(t) \quad [\text{MWh}] \quad (\text{B.2})$$

I dette tilfælde er $\Phi_{eksta} = 966,94 \text{ MWh}$, hvilket giver et totalt varmebehov på 3802,13 MWh. Ledningstabet, behovet for brugsvand og behovet for rumvarme samt ekstra rumvarme kan ses på figur 17.



Figur 17: Eksempel på de forskellige elementer i varighedskurven: rumvarme, brugsvand og ledningstab.



C Beregning af tryktab og vandhastighed

Det relative tryktab i lige rørledninger kan bestemmes som:

$$\Delta p_i = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \frac{\lambda}{d_i} \quad [\text{bar}] \quad (\text{C.1})$$

Hvor ρ er vandets densitet, v er vandets middelhastighed over tværsnittet af røret, λ er friktionskoefficienten og d_i er rørets indvendige diameter.

Vandets middelhastighed v bestemmes ud fra det volumetriske flow q_v og det indvendige rørareal A , som:

$$v = \frac{q_v}{A} = \frac{4 \cdot q_v}{\pi \cdot d_i^2} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{C.2})$$

Her bestemmes det volumetriske flow ud fra vandets masseflow q_m som:

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} = \frac{\Phi_{dim}}{c_{p,f} \cdot t_f - c_{p,r} \cdot t_r} \cdot \frac{1}{\rho} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (\text{C.3})$$

Hvor Φ_{dim} er den overførte effekt, $c_{p,f}$ og $c_{p,r}$ er vandets specifikke varmekapacitet i henholdsvis fremløbs- og returledningen og t_f og t_r er vandets temperatur i henholdsvis fremløbs- og returledningen.

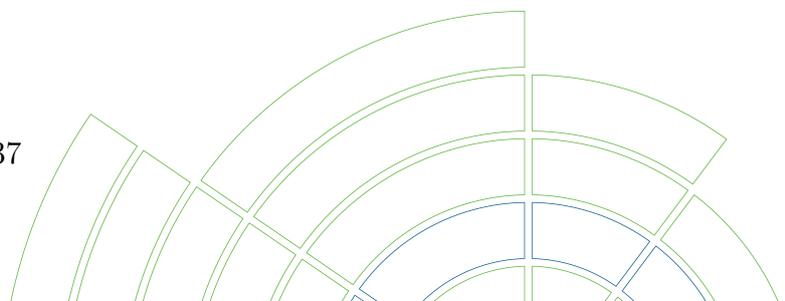
Friktionskoefficienten λ bestemmes ud fra en iterativ process som:

$$\lambda = -2 \cdot \log \left(\frac{k}{3,7 \cdot d_i} + \frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} \right)^{-2} \quad (\text{C.4})$$

Hvor k er rørvæggens indvendige ruhed, her fastsat til 0,0001 m, og Re er Reynolds tal givet ved:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d_i}{v_k} \quad (\text{C.5})$$

Hvor v_k er den kinematiske viskositet, som kan findes i tabelopslag over vands egenskaber.



D Temperaturfald og omløb

Temperaturen hos den yderste forbruger afhænger af varmetabet i ledningerne og dermed også vandhastigheden og varmemstrømmen. Ved lave vandhastigheder vil temperaturfaldet i fjernvarmeledningerne være stort. Dette sker typisk i perioder med lavt varmeforbrug, altså i sommerperioden. For at undgå dette, etableres omløb i fjernvarmenettet, således at varmemstrømmen øges og temperaturfaldet mindskes.

Temperaturfaldet ΔT for strækningen s regnes som:

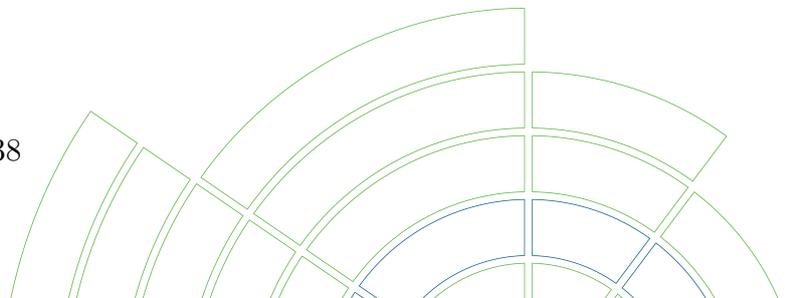
$$\Delta T_s = \frac{\Delta \Phi_{\text{tab},s}}{q_v \cdot \rho \cdot c_p} \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{D.1})$$

Hvor $\Delta \Phi_{\text{tab},s}$ er ledningstabet i fjernvarmerøret på strækningen s og q_v er det volumetriske flow. Af hensyn til beregningernes simplicitet beregnes ledningstabet som enkeltrør, selvom der i analysen anvendes twinrør. Ledningstabet regnes ud fra de forskellige elementer som indgår i fjernvarmeledningen: stålrøret, PUR-isoleringsmaterialet, polyethylenkappen og jorddækningen.

$$\Delta \Phi_{\text{tab},s} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \Delta T_j}{\frac{\ln \frac{d_o}{d_i}}{\lambda_{\text{stål}}} + \frac{\ln \frac{d_{\text{iso}}}{d_o}}{\lambda_{\text{iso}}} + \frac{\ln \frac{d_k}{d_{\text{iso}}}}{\lambda_k} + \frac{\ln \frac{d_{\text{jord}}}{d_k}}{\lambda_{\text{jord}}}} \quad [\text{W/m}] \quad (\text{D.2})$$

Hvor ΔT_j er temperaturforskellen mellem fjernvarmevandet og jorden, d_i er stålrørets indre diameter, d_o er stålrørets ydre diameter, d_{iso} er isoleringsmaterialets diameter, d_k er rørkappens diameter, d_{jord} er diameteren af jorddækningen, $\lambda_{\text{stål}}$ er varmekonduktiviteten af stålrøret, λ_{iso} er varmekonduktiviteten af isoleringsmaterialet, λ_k er varmekonduktiviteten af kappen og λ_{jord} er varmekonduktiviteten af jorden.

Det volumetriske flow q_v regnes ud fra laveste sommerlast (hvor der ikke er et rumvarmebehov). Det antages at det årlige ledningstab og brugsvand fordeles ligeligt på årets 8760 timer. Varmemstrømmen vil altså være effekten ved årets laveste varmelast. Såfremt temperaturfaldet bliver for stort i forhold til grænsen på 60°C ved forbrugeren tilføjes et omløb, så varmemstrømmen øges indtil temperaturfaldet begrænses, således at yderste forbruger stadig får en tilstrækkelig fremløbstemperatur.

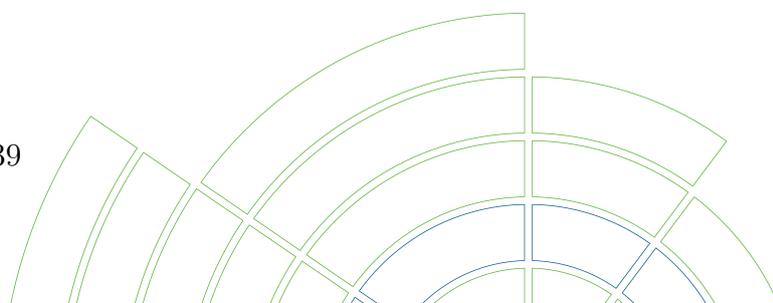


E Generelle beregningsforudsætninger

Tabel 3 viser generelle beregningsforudsætninger for beregninger i energyPRO og beregninger af varmeproduktionspriser for fjernvarmeværket anvendt i analysen.

		Enhed	Kilde
Gasmotor			
Varmekapacitet	1,27	MW	
Elkapacitet	0,92	MW	
Varmevirkningsgrad	52,9	%	
Elvirkningsgrad	38,3	%	
Variabel D&V	70,0	kr./MWh _e	(Grøn Energi, 2018)
Gaskedel			
Varmekapacitet	2,5	MW	
Virkningsgrad	92,6	%	
Variabel D&V	5,0	kr./MWh _v	(Grøn Energi, 2018)
Træpillekedel			
Varmekapacitet	0,95	MW	
Virkningsgrad	95	%	(Dansk Fjernvarme, 2018)
Variable D&V	13,1	kr./MWh _v	(Grøn Energi, 2018)
Fast D&V	15.000	kr./MW/år	(Grøn Energi, 2018)
Elvarmepumpe (udeluft)			
COP	3,84		
Investeringsomkostninger	7,0	mio. kr./MW	
Variable D&V	10	kr./MWh _e	(Dansk Fjernvarme, 2018)
Fast D&V	24.000	kr./MW/år	
Afskrivningsperiode	20	år	(Grøn Energi, 2018)

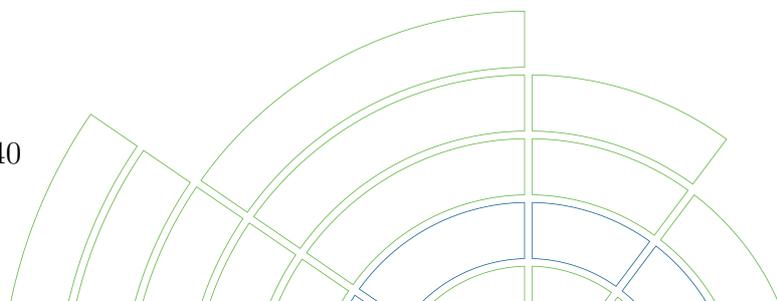
Tabel 3: Forudsætninger for fjernvarmeværkets eksisterende varmeproduktionsenheder og forudsætninger for investering i en elvarmepumpe baseret på udeluft.



Tabel 4 viser øvrige forudsætninger for fjernvarmeproduktionen. Omkostninger, afgifter og tariffer fastholdes i hele beregningsperioden (med undtagelse af elvarmeafgiften).

		Enhed	Kilde
Afgifter og tariffer, 2019-sats			
Energiafgift (gasmotor)	2,225	kr./m ³	(Skatteministeriet, 2019c)
Energiafgift (gaskedel)	46,8	kr./GJ	(Skatteministeriet, 2019c)
CO ₂ -afgift (gasmotor)	0,396	kr./m ³	(Skatteministeriet, 2019a)
CO ₂ -afgift (gaskedel)	13,9	kr./GJ	(Skatteministeriet, 2019a)
NO _x -afgift (gasmotor)	0,029	kr./m ³	(Skatteministeriet, 2019d)
NO _x -afgift (gaskedel)	0,008	kr./m ³	(Skatteministeriet, 2019d)
Methan-afgift (motor)	0,068	kr./m ³	(Skatteministeriet, 2019a)
Elvarmeafgift ¹	257 / 207 / 157	kr./MWh	(Skatteministeriet, 2019b)
Systemtarif	44,0	kr./MWh	(Energinet.dk, 2018)
Transmissionsnettarif	36,0	kr./MWh	(Energinet.dk, 2018)
Distributionstarif	80,0	kr./MWh	(Dansk Fjernvarme, 2018)
Indfødningsstarif	3,0	kr./MWh	(Energinet.dk, 2018)
Det eksisterende fjernvarmesystem			
Varmebehov ab værk	3802	MWh/år	
Fremløbstemperatur	80	°C	
Returtemperatur	40	°C	
Varmelager	250	m ³	(Grøn Energi, 2018)
Det nye fjernvarmesystem			
Fremløbstemperatur	65	°C	
Returtemperatur	30	°C	
Varmelager	250	m ³	(Grøn Energi, 2018)

Tabel 4: Forudsætninger for afgifter, tariffer og fjernvarmesystemet. ¹Elvarmeafgiften følger fastlagte forløb af lempelsen af elvarmeafgiften hvor denne lempes yderligere i 2020 og igen i 2021 og frem (Energi, Forsynings- og Klimaministeriet, 2018).



F Rør i fjernvarmesystemet

Tabel 5 viser forudsætninger for eksisterende rørledninger i fjernvarmesystemet.

	DN (Nominal diameter)										
	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
Ydre diameter [mm]	26,9	33,7	42,4	48,3	60,3	76,1	88,9	114,3	139,7	168,3	219,1
Godstykkelse [mm]	2,6	2,6	2,6	2,6	2,9	2,9	3,2	3,6	3,6	4,0	4,5
Indre diameter [mm]	21,7	28,5	37,2	43,1	54,5	70,3	82,5	107,1	132,5	160,3	210,1
Varmetab [MWh/m] ¹	0,094	0,114	0,119	0,136	0,154	0,185	0,192	0,204	0,240	0,291	0,323
U-værdi (serie 1) [W/(mK)]	0,136	0,165	0,172	0,197	0,222	0,267	0,278	0,295	0,347	0,420	0,467
Kapperør diameter (serie 1) [mm]	90,0	90,0	110,0	110,0	125,0	140,0	160,0	200,0	225,0	250,0	315,0
HD polyethylen lag [mm]	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,2	3,4	3,6	4,1
Jorddækning diameter [mm]	2090,0	2090,0	2110,0	2110,0	2125,0	2140,0	2160,0	2200,0	2225,0	2250,0	2315,0

Tabel 5: Rørledninger, etableret system. ¹ Varmetabet regnes som enkeltrør.

Tabel 6 viser forudsætninger for nyetablerede rørledninger.

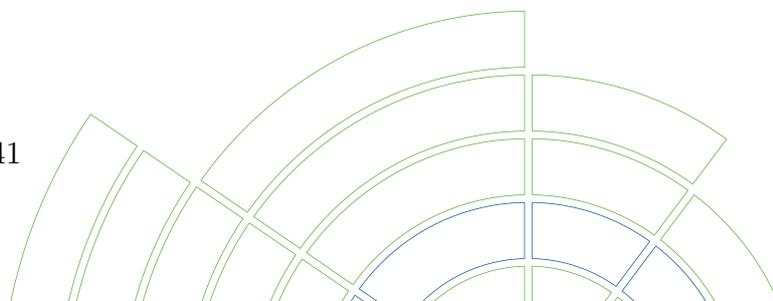
	DN (Nominal diameter)										
	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
Ydre diameter [mm]	26,9	33,7	42,4	48,3	60,3	76,1	88,9	114,3	139,7	168,3	219,1
Godstykkelse [mm]	2,6	2,6	2,6	2,6	2,9	2,9	3,2	3,6	3,6	4,0	4,5
Indre diameter [mm]	21,7	28,5	37,2	43,1	54,5	70,3	82,5	107,1	132,5	160,3	210,1
Pris [kr./m]	1966,5	1966,5	2018,3	2018,3	2121,8	2225,3	2380,5	2691,0	3001,5	3415,5	4243,5
Varmetab [MWh/m] ¹	0,075	0,088	0,098	0,109	0,118	0,134	0,143	0,150	0,170	0,188	0,199
U-værdi (serie 3) [W/(mK)]	0,109	0,127	0,141	0,157	0,171	0,194	0,207	0,217	0,245	0,272	0,287
Kapperør diameter (serie 3) [mm]	125,0	125,0	140,0	140,0	160,0	180,0	200,0	250,0	280,0	315,0	400,0
HD polyethylen lag [mm]	3,0	3,0	3,0	3,0	3,2	3,6	3,9	4,5	5,2	5,6	6,6
Jorddækning diameter [mm]	2125,0	2125,0	2140,0	2140,0	2160,0	2180,0	2200,0	2250,0	2280,0	2315,0	2400,0

Tabel 6: Rørledninger, twinrør, nyt system. ¹ Varmetabet regnes som enkeltrør.

Tabel 7 viser varmekonduktivitet for de forskellige materialer i forbindelse med rørledninger.

	λ [W/(m · K)]
Stål, 1% kulstof	43,0
AluPex-medierør	0,38
PUR-isolering	0,027
HD polyethylene	0,42
Jorddækning	1,6

Tabel 7: Varmekonduktivitet for forskellige materialer i forbindelse med rørledninger.



F.1 Stikledninger

Formindskelse af varmetabet i stikledningerne kan være væsentligt i forhold til en total ledningsrenovering. Det antages her, at den totale længde af stikledningerne er 1300 m, hvilket betyder at der ved 148 forbrugere i gennemsnit er 8,78 m stikledning per forbruger. Stikledningerne dimensioneres efter spidslasteffekten for varmt brugsvand på 32,5 kW. Det antages endvidere, at de eksisterende stikledninger er af typen DN20 (serie 1) mens de stikledninger som der investeres i er konstrueret af AluPex med samme nominelle diameter.

Tabel 8 viser forudsætninger for nye stikledninger i fjernvarmesystemet.

	AluPex, DN 20
Ydre diameter [mm]	20,0
Godstykkelse [mm]	2,5
Indre diameter [mm]	15
Pris [kr./m]	1700,0
Varmetab [MWh/m] ¹	0,069
U-værdi (serie 3) [W/(mK)]	0,100
Kapperør diameter (serie 3) [mm]	125,0
HD polyethylen lag [mm]	1,5
Jorddækning diameter [mm]	2125,0

Tabel 8: Varmekonduktivitet for forskellige materialer i forbindelse med rørledninger.

Til beregning af ledningstab, tryktab og vandhastighed anvendes formlerne 2.1, C.1 og C.2.

