

# Barrierer for implementeringen af ultra- lavtemperaturfjernvarme i nye boligområder

---

- En case fra Irmabyen



*Aalborg Universitet*

*4. Semester*

*Sustainable Energy Planning and Management*

*Forfatter: Lisa Blenstrup Nielsen*

*Indholdet i denne rapport er frit tilgængeligt, men må kun refereres med kildeangivelse*



# Synopsis

**Titel:**

Implementeringen af ultra-lavtemperatur fjernvarme i nye boligområder

**Semester:**

4. semester

**Studieretning:**

Sustainable Energy Planning and Management

**Semester tema:**

Speciale

**ECTS:**

30

**Projektperiode:**

2. marts 2015 til 8. september 2015

**Forfatter:**

Lisa Blenstrup Nielsen

**Vejleder:**

Steffen Nielsen

**Antal kopier:** 3

**Antal sider:** 68

**Antal normalsider af 2400 tegn/side:** 57

**Bilag:** 5 + USB



**AALBORG UNIVERSITY**  
STUDENT REPORT

**Resume:**

Baseret på det grundlag, som det beskrives i Varmeplan Danmark, at LTFV og dermed også ULTFV spiller en vigtig rolle i fremtidens energisystem, er det i dette speciale undersøgt hvilke tekniske og økonomiske barrierer der identificeres for implementeringen af ultra-lavtemperatur fjernvarme i Danmark i nye boligområder. Derudover undersøges det også hvordan selve udbygningen af ULTFV kan laves.

Ovenstående blev undersøgt igennem et casestudie af et område kaldet Irmabyen i Rødovre.

Igennem specialet blev der identificeret én primær teknisk barriere for implementeringen af ULTFV i nye boligområder, nemlig legionelladannelse i brugsvandet. Denne problematik blev i specialet løst ved at installere en microboosterunit, til at booste varmtvandsproduktionen, frem for en traditionel FV unit. Dette viste sig dog at skabe en række økonomiske barrierer, da unitten er 3 gange så dyr som den traditionelle. Dette medførte bl.a. at der ikke kunne findes noget samfunds- og forbrugerøkonomisk incitament for at vælge ULTFV frem for traditionel FV. Så trods det at der blev fundet et stort selskabsøkonomisk incitamentsgrundlag for at implementere ULTFV i Irmabyen, vil det generelt ikke være økonomisk rentabelt at anlægge ULTFV i Irmabyen, medmindre der kan laves nogle offentlige reguleringer af skatter og tilskud, som kan fremme teknologien.

Denne konklusion er dog casespecifik og bør derfor beregnes for hver enkelt case, da problemstillingens kompleksitet medfører, at der ikke kan drages generelle konklusioner fra specialet.



# English Summary

Based on the basis as described in "Varmeplan Danmark" (Heat Plan Denmark), that lowtemperature district heating and therefore also ultra-lowtemperature district heating plays an important role in the future energysystem, this thesis examines the technical og economic barriers identified for the implementation of ultra-lowtemperatur district heating ind Denmark.

The above mentioned has been examined through a case study of an area called Irmabyen in Rødovre.

Throughout the thesis there was identified one primary technical barrier for the implementation of ultra-lowtemperature district heating in new residential areas, namely legionella growth in the domestic hot water production. This issue was in the thesis solved by installing a micro-booster unit, which boost the temperature in the hot water produktion, rather than a traditional district hesting unit. This turned out to create a number and economic barrierers, as the unit is three times as expensive as the traditional unit. Among other things this resulted in a negative social and sonsumer economic incentive to select ultra-lowtemperature district over traditional district heating. So despite the proven positive buisness economic for the implementation of ultra-lowtemperature district heating in Irmabyen, it is not economically viable overall to implement ultra-lowtemperature district heating in Irmabyen unless there can be made some public regulations of taxes and subsidies that promote the technology.

This conclusion is case specific and should therefore be calculated for each case, as the problemstatements complexity causes that there can not be drawn any general conclusions form this thesis.



## Forord

Dette speciale er udarbejdet som afsluttende led af masteruddannelsen Sustainable Energy Planning and Management ved Institut for Planlægning på Aalborg Universitet. Specialet er udarbejdet i perioden 2. marts 2015 til 8. september 2015, og behandler problematikkerne ved implementeringen af ultra-lavtemperatur fjernvarme i nye boligområder.

Kilder vil blive anvist løbende vha. Harvardmetoden og refererer til kildelisten bagerst i rapporten. Kildehenvisninger består således af efternavnet på forfatter (e) samt udgivelsesår, foreksempel (Lund 2010). Kilder med samme forfatter og udgivelsesår adskilles alfabetisk, eksempelvis (Energistyrelsen (a)), (Energistyrelsen (b)) etc.

Figurer, tabeller og bokse er nummereret efter rækkefølge i rapporten.

Vedlagt bagrest i rapporten er fem bilag som blandt andet indeholder et sammenfoldede kort i A1 størrelse og en USB indeholdende den i specialet udarbejdede beregningsmodel.

Jeg vil gerne rette en tak til følgende for bidrag til denne rapport: Hele ingeniørteamet i Energifdelingen ved Grontmij i både Aarhus og Glostrup, og specielt Kasper Qvist, Henry Juul Nielsen, Christian Nørr Jacobsen, Jens Lunding og Johnny Iversen for gode råd, vejledning og godt samarbejde igennem hele specialet.

Steffen Nielsen, Assistent Professor ved Institut for Planlægning AAU, for kyndig vejledning og faglig sparring.

---

Lisa Blenstrup Nilsen

# Indholdsfortegnelse

<b>Synopsis</b> .....	<b>1</b>
<b>English Summary</b> .....	<b>5</b>
<b>Forord</b> .....	<b>7</b>
<b>Indholdsfortegnelse</b> .....	<b>8</b>
<b>1. Indledning</b> .....	<b>2</b>
Lavtemperatur fjernvarme er vejen frem .....	3
1.1. Problemformulering .....	5
1.1.1. Afgrænsning .....	6
1.1.2. Underspørgsmål .....	6
1.1.3. Projektets opbygning .....	7
<b>2. Teoretisk tilgang og metoder</b> .....	<b>9</b>
2.1. <i>Radical Technological Change</i> og <i>Choice Awareness</i> .....	9
2.2. Opsummering .....	11
2.3. Dataindsamling og Research paradigmer .....	11
2.3.1. Litteraturstudie .....	12
2.3.2. Casestudie .....	12
2.3.3. Excel-model .....	13
<b>3. Case - Irmabyen</b> .....	<b>14</b>
3.1. Området .....	14
3.2. Baggrund for valg af caseområde .....	14
3.3. Bebyggelse og plan for området .....	15
3.4. Rødovre Kommunale Fjernvarmeforsyning - Nøgletal .....	16
<b>4. Forudsætninger og Baggrund</b> .....	<b>19</b>
4.1. Tekniske alternativer .....	19
4.1.1. Hvad er lavtemperatur- og ultra lavtemperatur fjernvarme? .....	19
4.1.2. Forudsætninger for de tekniske bestemmelser .....	22
4.2. Rentabilitetsstudier .....	26
4.2.1. Samfundsøkonomiske forudsætninger .....	27



4.2.2. Selskabsøkonomiske forudsætninger.....	30
4.2.3. Forbrugerøkonomiske forudsætninger .....	30
<b>5. Analyse og resultater.....</b>	<b>35</b>
5.1. Tekniske alternativer .....	35
5.1.1. Varmebehov og tilslutningseffekt.....	35
5.1.2. Rørdimensioner.....	37
5.1.3. Anlægsomkostninger .....	38
5.1.4. Varmetab og dets værdi .....	38
5.1.5. Opsamling.....	40
5.2. Rentabilitets studier .....	41
5.2.1. Samfundsøkonomi.....	41
5.2.2. Selvskabsøkonomi .....	45
5.2.3. Forbrugerøkonomi .....	47
5.2.4. Opsamling.....	49
<b>6. Diskussion .....</b>	<b>51</b>
6.1. Tekniske alternativer .....	51
6.1.1. Det korrigerede varmetab .....	51
6.1.2. Valg af caseområde og forbrugertæthed.....	52
6.2. Rentabilitets studier .....	52
<b>7. Konklusion .....</b>	<b>54</b>
<b>Litteraturliste .....</b>	<b>56</b>
<b>Bilag A: Varmetabsberegninger .....</b>	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
<b>Bilag B: RKF's forsyningsområde .....</b>	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
<b>Bilag C: De 24 delområder .....</b>	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
<b>Bilag D: Cowi's ledningsplan .....</b>	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
<b>Bilag E: Excel-model .....</b>	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.





# 1. Indledning

De nationale energisystemer indenfor hele energisektoren er i øjeblikket ved at undergå en transformation fra fossile brændstoffer til vedvarende energi (VE). EU har bl.a. derfor et stigende politisk fokus på at reducere udledningen af drivhusgasser, mængden af importerede fossile brændsler samt omkostningerne for energi frem mod 2050. Dette, til fordel for i højere grad at udnytte lokale ressourcer og skabe lokale arbejdspladser (Connolly 2009). En af de store udfordringer ved denne udvikling er integration af store mængder fluktuerende energi i hele energisystemet (Lund 2010).

Den danske regerings energistrategi indleder i tråd hermed, at der i det 21. århundrede skal findes andre måder at opfylde behovet for energi på end ved brug af fossile brændsler. Det forudses at fremtidens energisystem kommer til at indeholde store mængder fluktuerende VE. I regeringens Energistrategi for 2050 forudses det at en udbygning af fjernvarme baseret på VE samt en VE-baseret individuel opvarmning, er nødvendig for at kunne implementere den store mængde fluktuerende VE i fremtidens energisystem. Fjernvarme kan i tætbebyggede områder udbygges og i mange tilfælde erstatte naturgas, mens der i ydreområderne vil skulle benyttes varmepumper i kombination med solvarme. (Regeringen 2011)

Dette understøttes endvidere af rapporten "Varmeplan Danmark", hvor der igennem en række analyser af forskellige scenarier for integrationen af store mængder VE i energisystemet konkluderes, at fjernvarme bør være en central del i fremtidens energisystem (Dyrelund et al. 2010). Det fremhæves heri, at fjernvarme spiller en nøglerolle i forbindelse med realiseringen af et energisystem baseret på VE. En udbygning af fjernvarmen i Danmark understøttes ligeledes af Ingeniørforening IDAs publikation "IDAs klimaplan 2050" (IDA 2009). Specifikt foreslås det, at fjernvarmen udbygges til at kunne dække op mod 70 % af det nationale varmebehov. Begge rapporter konkluderer en samfundsøkonomisk gevinst ved gradvist at udbygge fjernvarmens forsyningsområder.

Ifølge alle ovennævnte parter, bør en udvidelse af forsyningsområdet samt en omlægning til VE suppleres af et reduceret varmeforbrug i bygningsmassen. Som led heri stilles der i de nye bygningsreglementer løbende krav både til efterisolering ved renoveringer af bygninger og til energiforbruget i nybyggeri (Tabel 1) (Energistyrelsen (b) 2010).

Energiramme	Klasse	Krav	Enhed
-------------	--------	------	-------

Energiramme for boliger	A 2010	52,5 + 1650/Areal	kWh/m <sup>2</sup> /år
Lavenergiklasse 2015	A 2015	30 + 1000/Areal	kWh/m <sup>2</sup> /år
Bygningsklasse 2020	A 2020	20	kWh/m <sup>2</sup> /år

Tabel 1 - Energirammen for lavenergi-byggerier (Energistyrelsen (b) 2010)

Fordelen ved løbende at mindske varmeforbruget og dermed den krævede energimængde til opvarmning for såvel nye som eksisterende bygninger, er at behovet for etablering af yderligere termisk produktionskapacitet til fjernvarme herved reduceres. Den eksisterende produktionskapacitet vil således kunne forsyne et øget antal bygninger, idet bygninger løbende får et stadig lavere varmeforbrug. En sådan reduktion medfører dog også en række problematikker for udbygningen af fjernvarme ved traditionelle fremløbs- og returtemperature, som vi kender i dag – henholdsvis 80 °C og 40 °C.

Det danske fjernvarmesystem er ved at undergå en transformation fra 3. generations- til 4. generationsfjernvarme (Lund et al. 2014). Som en del af generationsskiftet omtales mulighederne for at bruge fjernvarmesystemer med lavere temperatursæt (yderligere uddybning af generationerne ses i kapitel 4.1). I denne publikation konkluderes det, udover at fjernvarme spiller en signifikant rolle i overgangen til et VE-baseret energisystem, at de teknologiske løsninger indenfor fjernvarme skal udvikles yderligere for bl.a. at mindske transmissionstabene.

Fra både et økonomisk og teknisk perspektiv stræbes der i et kollektivt varmesystem som fjernvarme efter at mindske varmetabene i rørnettet. For at gøre dette, bør tilsluttede bygninger ideelt set aftage mest muligt af den producerede varme, for derved at minimere varmetabet, hvilket går imod udviklingen for energikravene.

Med afsæt i denne argumentation er fjernvarme den ideelle varmforsyningsløsning i tætbyggede områder som f.eks. boligblokke eller parcelhuskvarterer, idet varmedensiteten i disse områder er høj. Dvs., at der er et højt varmeforbrug pr. m<sup>2</sup> område og dermed et stort aftag af varme, hvilket gør at distributionstab udgør en mindre andel af den samlede varmelevering. Et reduceret varmebehov for hver enkel bygning, gør midlertidigt at der bliver et lavere varmeforbrug pr. m<sup>2</sup>, hvormed varmetabene bliver højere, da der skal et større område til for at aftage den samme mængde varme. Dvs., at varmedensiteten bliver lav i områder med energioptimerede boliger i forhold til traditionelt byggeri. Dermed udgør varmetabet en større andel af det samlede varmeforbrug.

## Lavtemperatur fjernvarme er vejen frem

Problematikken med et forøget varmetab grundet lavere varmeforbrug kan modvirkes ved at sænke temperaturerne i fjernvarmens ledningsnet. Det anbefales bl.a. derfor af (IDA 2009) og (Dyrelund et al. 2010), at en udbygning af fjernvarmenettet suppleres med en omlægning til lavtemperaturfjernvarme

(LTFV). Varmetabet fra fjernvarmeledningen til omgivelserne afhænger bl.a. af forskellen mellem temperaturerne i henholdsvis fjernvarmevandet og i den omgivende jord samt af isoleringens tykkelse og varmeledningsevne (Andersen N.B. et al. 2012). Ved LTFV anvendes typisk fremløbs- og returtemperaturer på henholdsvis 50 °C og 30 °C. I (Lund et al. 2014) omtales muligheden for ultra-lavtemperatur fjernvarme (ULTFV), hvor fremløbstemperaturen kan sænkes helt ned til 30-40 °C. Dette uddybes nærmere i kapitel 4.1.

Der opstår dog en række problematikker for brugen af fjernvarme i forhold til at sænke fremløbstemperaturerne. En lavere fremløbstemperatur til bygninger kræver, at bygningerne er energioptimerede og har et internt varmesystem, der kan udnytte de lave temperaturer som f.eks. gulvvarme, der i princippet ikke har behov for mere end 30-40 °C varmt vand for at kunne opvarme en bygning. Dette skaber nogle barrierer i forhold til at kunne benytte LTFV eller ULTFV i eksisterende bygninger, som ofte ikke har de nødvendige energioptimeringer.

Ved at sænke fremløbstemperaturerne opstår der også en barriere i forhold til varmt brugsvand. Varmt brugsvand skal ifølge lovgivningen være minimum 55 °C for at undgå legionelladannelse i vandet (Leon Buhl). Ved at sænke fremløbstemperaturerne til f.eks. 40 °C er det derfor nødvendigt at booste varmtvandsproduktionen op til de krævede 55 °C. I flere demonstrationsprojekter med ULTFV er der til dette formål enten blevet brugt en elpatron eller en varmepumpe som boosterunit (COWI 2014). Projektet Geding-Energi-Spot 2014 er et ULTFV projekt, hvor der er brugt en microboosterunit indeholdende en varmepumpe til at booste varmtvandsproduktionen. Projektet består af 23 huse i varierende bygningsklasser, fra en gammel bygning fra 1800-tallet til et nyt hus af lavenergiklasse 2015. Projektet er et demonstrationsprojekt, som er udviklet af flere parter bl.a. Grontmij, Danfoss, AffaldVarme Aarhus og Teknologisk Institut. Microboosteruniten er blevet betalt af projektparterne, hvorfor forbrugerne ikke har haft nogen omkostning forbundet med projektet. Projektet er endnu ikke afsluttet, men indtil videre har der ingen klager været i forhold til komforten indenfor opvarmning (Grontmij A/S 5/13/2015). Et andet ULTFV projekt er EUDP-projektet i Odder. Projektet består af 5-10 lavenergiklasse huse, hvor der benyttes en elpatron til at booste varmtvandsproduktionen. Dette projekt forventes afsluttet i februar 2016, hvorfor der endnu ikke er erfaringer offentligt tilgængelige (COWI 2014). Rapporten (COWI 2014) omtaler udover førnævnte ULTFV projekter også en række LTFV projekter for såvel ældre som nye byggerier, heriblandt et projekt i Lystrup ved Aarhus. Både denne demonstration samt de andre demonstrationsprojekter i rapporten viste, at LTFV er velegnet som varmforsyning til især lavenergibyggeri, men også til energioptimerede eksisterende bebyggelse.

Der må forventes at opstå en række forskellige faser indenfor overgangen fra 3.- til 4. generationsfjernvarme. Første fase af implementeringen af LTFV og ULTFV må i forbindelse med udbygning af fjernvarmenettet forventes at ske i nybyggede områder, da disse kan fungere godt som testområder i og med, at det er isolerede systemer. Anden fase kommer til at omhandle implementeringen af den eksisterende bygningsmasse samt hvilke forhold, der internt i bygningerne skal

ændres før, det bliver muligt at sænke fremløbstemperaturerne. Ovenstående faser afhænger udelukkende af den politiske beslutning om, hvorvidt LTFV skal fremmes. (Kaarup Olsen P. et al. 2014)

Som nævnt tidligere anbefales det, at det fremtidige varmesystem bliver fjernvarme suppleret med VE-baseret individuel opvarmning. Regeringen strammer løbende reglerne for installation af både nye olie- og naturgasfyr i såvel nye som eksisterende huse. Fra og med 2016 vil det ikke længere være muligt at installere oliefyr i eksisterende huse, og fra 2013 blev der stoppet for installationen af både naturgas- og oliefyr i nybyggeri (Energitjenesten). Sammenlignes disse skærpelser med det nuværende marked indenfor individuel opvarmning, forventes det, at fjernvarme i fremtiden skal kunne konkurrere med især individuelle varmepumper. Grunden herfor er, at individuelle varmepumper anses for at have nogenlunde de samme komfortmæssige fordele i forhold til vedligeholdelse, som fjernvarme har.

Tidligere rapporter som bl.a. (COWI 2014) har vist, at LTFV kan være fuldt konkurrencedygtig med individuelle opvarmningsløsninger, som eksempelvis varmepumper, til lavenergibyggeri dog med den forudsætning, at der er en vis varmedensitet i det planlagte udbygningsområde. Også specialet "Fremtidens fjernvarme – Lavtemperaturfjernvarme i nye boligområder" konkluderer at der både er et solidt samfundsøkonomisk- og selskabsøkonomisk rationale for at etablere fjernvarme frem for varmepumper i deres valgte caseområde i Aalborg (K.V. Qvist, L. Grundahl 2014).

Ifølge de ovennævnte parter er der påvist en positiv samfundsøkonomisk effekt ved eventuel udbygning af fjernvarme. En positiv samfundsøkonomisk effekt er dog ikke ensbetydende med, at der også er både et selskabs- og forbrugerøkonomisk incitament for en pågældende udvikling. Det må forventes, at der kan opstå større investeringsomkostninger fra både forbrugeren og værkernes side forbundet med konverteringen fra 3. til 4. generationsfjernvarme, fordi der skal nye teknologier til. Forbrugeren får som tidligere nævnt behov for en optimeret fjernvarmeunit, som må forventes at være dyrere end en traditionel fjernvarmeunit, idet nye optimerede teknologier oftest er dyrere end de gamle, mens der fra værkernes side må forventes større anlægsomkostninger i forbindelse med distributionsnettet, fordi det er dyrere at anlægge LTFV end traditionel fjernvarme (se kapitel 5). Der er derfor behov for at undersøge, hvordan både forbruger- og selskabsøkonomien ser ud for LTFV og ULTFV for at påvise, at totaløkonomien for disse er god.

## 1.1. Problemformulering

Med baggrund i den allerede påviste positive samfundsøkonomiske effekt for udbygningen af fjernvarme i Danmark vil dette speciale fokusere på, hvordan der kan skabes et selskabs- og forbrugerøkonomisk incitament for den nævnte udbygning. Specialet vil fokusere på ULTFV frem for LTFV, da denne pga. den lavere temperatur i fjernvarmenette må forventes at skabe en større økonomisk gevinst for udbygningen af fjernvarme grundet de lavere varmetab. Der fokuseres på at udbygge fjernvarmenettet i nybyggede områder, da dette anses for at være første fase af implementeringen af såvel LTFV som ULTFV.

Hovedfokus i specialet er at identificere de forskellige barrierer, der findes indenfor hovedsageligt de tekniske og økonomiske aspekter for udbyggelsen af ULTFV i nye boligområder.

På denne baggrund er der for specialet opstillet flg. problemformulering:

***Hvordan kan fjernvarmenettet i nye boligområder udbygges ved hjælp af ultra-lavtemperatur fjernvarme, og hvilke barrierer indenfor det tekniske- og økonomiske område identificeres ved såkaldt udbygning?***

### **1.1.1. Afgrænsning**

Dette speciale omhandler fjernvarmeforsyningen i forbindelse med etablering af nye boligområder. Områder med eksisterende bebyggelse behandles altså ikke. I nyopførte boliger må det på baggrund af gældende bygningsreglement forventes, at boligerne har et lavere gennemsnitligt varmeforbrug end eksisterende bygninger. Derfor må der i nye boligområder forventes en lavere varmedensitet end i eksisterende boligområder, hvilket giver svære konkurrencevilkår for ULTFV. Til gengæld har nye boligområder den fordel, at de allerede under opførslen kan tilpasses en pågælden opvarmningsform, mens eksisterende boligers interne varmesystem kan have behov for ombygning før, det passer til ULTFV. Specialet benytter et casestudie som analysegrundlag. For den valgte case *Irmabyen* gælder, at området allerede fra lokalplanens side er udlagt til fjernvarme. Derudover gælder der desuden, at området er beliggende i umiddelbar forlængelse af bymæssig bebyggelse, samt at det i lokalplanen kræves, at alt byggeri opføres som lavenergibyggeri.

Specialet afgrænser sig ved at se på caseområdet isoleret, og behandler dermed ikke produktion af varme til levering i fjernvarmesystemet eller andre opvarmningsteknologier, der bliver gjort muligt for værkerne at implementere i kraft af brugen af ULTFV i området.

### **1.1.2. Underspørgsmål**

Til at besvare problemformuleringen er der opstillet en række underspørgsmål, der behandles gennem rapporten:

1. Hvilke tekniske barrierer identificeres ved implementeringen af ULTFV?
2. Er der, som beskrevet i indledningen, en samfundsøkonomisk gevinst i at etablere ULTFV frem for traditionel fjernvarme og LTFV i fremtidens energisystem?
3. Hvorledes kan der skabes et selskabsøkonomisk incitament for at etablere ULTFV frem for traditionel fjernvarme i nye boligområder?
4. Hvad kræver ULTFV fra forbrugerens side i forhold til merinvesteringer i varmesystemet og fjernvarmeunits, hvilke konsekvenser har dette på forbrugerøkonomien, og hvordan kan denne gøres mere attraktiv?



### **1.1.3. Projektets opbygning**

I dette afsnit gennemgås strukturen opsat for rapporten, samt hvorledes og hvor besvarelsen af problemformuleringen og dertilhørende underspørgsmål indgår i rapporten. Strukturen illustreres grafisk i oversigten på Figur 1 side 7.

**Kapitel 1** indleder projektet og beskriver baggrunden for den problemstilling, der arbejdes med. Kapitlet indeholder desuden problemformulering, afgrænsning og de underspørgsmål der besvares igennem rapporten.

**Kapitel 2** giver en gennemgang af de teoretiske og metodiske tilgange, der er benyttet i projektet. Formålet med dette kapitel er at klargøre hvordan efterfølgende kapitler er udarbejdet. Hele rapporten er opbygget ud fra en række trin, hvorigennem der kan opnås bevidsthed omkring valget af varmeteknologi i et nyt boligområde.

**Kapitel 3** gennemgår den nødvendige baggrundsviden indenfor både det tekniske-, økonomiske-, lovgivningsmæssige område, som ligger til grunde for projektet. Kapitlet definerer nogle af de vigtigste termer som benyttes igennem projektet, og besvarer herigennem underspørgsmål 1.

Kapitlet opstiller desuden en række forudsætninger for de beregningerne, der foretages i forbindelse med analysen som både inkluderer baggrundsviden og metodevalg for beregningerne. Dette kapitel lægger derfor grundlaget for at kunne svare på alle underspørgsmål 2-4.

**Kapitel 4** giver en beskrivelse af det område, der er udvalgt som case for analysen.

**Kapitel 5** beskriver alle resultater og analyser, der er foretaget igennem dette speciale. Kapitlet er opdelt i 3 underemner; Tekniske alternativer og Rentabilitetsstudier, og besvarer dermed underspørgsmål 2-4

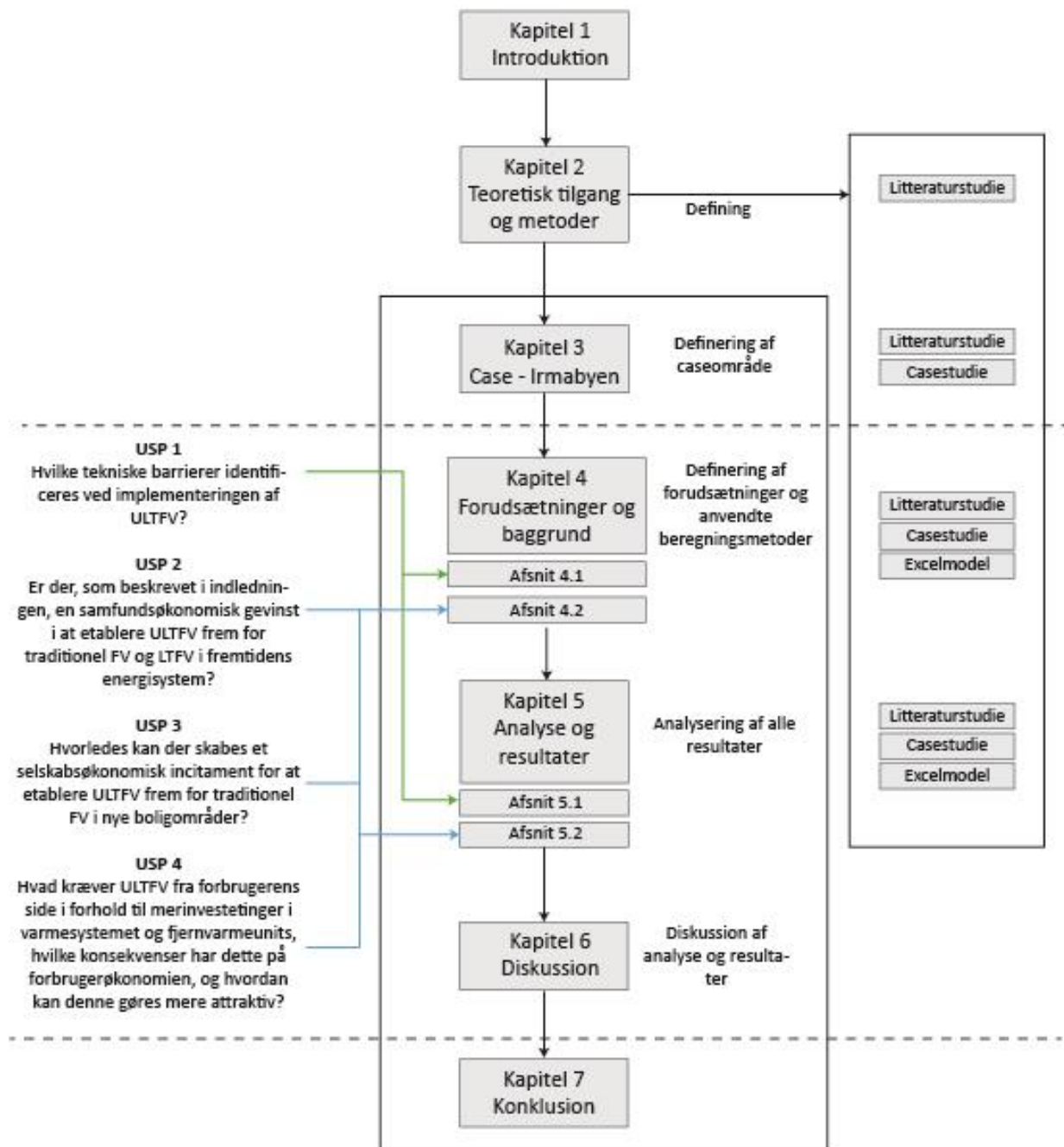
**Kapitel 6** er en diskussion af de fremkomne resultater og analyser fra de foregående kapitler. Derudover debatteres det også her hvordan offentlige reguleringer kan være med til at gøre ULTFV mere rentabelt.

**Kapitel 7** konkluderer på rapportens indhold og besvarer problemformuleringen.

## Underspørgsmål (USP)

## Kapitler

## Anvendte metoder



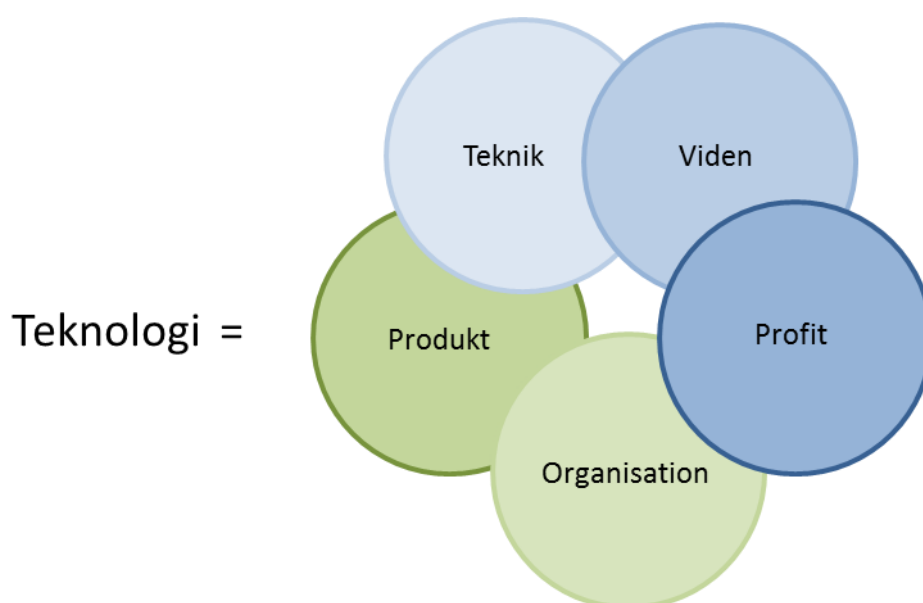
Figur 1 - Rapportens struktur

## 2. Teoretisk tilgang og metoder

I dette kapitel redegøres for den teoretiske og metodiske tilgang til specialet. Dette gøres for at give et overblik over processen, hvorigennem problemformuleringen er blevet formuleret, analyseret og konkluderet, lige så vel som for at diskutere mulighederne og afgrænsningerne af de forskellige metoder.

### 2.1. Radical Technological Change og Choice Awareness

Ved ændringer i teknologiske løsninger tales der om *Radical Technological Change*. *Radical Technological Change* defineres som en ændring af mere end en af elementerne i kombinationen af de fem elementer indenfor, hvad der defineres som teknologi; Teknik, Organisation, Viden, Produkt, Profit (Figur 2). (Frede Hvelplund 05.02.14)



Figur 2 - De fem elementer for Radikal teknologi ændring (Frede Hvelplund 05.02.14)

Som beskrevet i indledningen, er de nationale energisystemer indenfor hele energisektoren i øjeblikket ved at undergå en transformation fra fossile brændstoffer til VE. Dette ses som en radikal teknologisk ændring, da der indenfor alle elementer skal ske ændringer, før denne agenda kan blive gennemført. Som beskrevet anses implementeringen af LTFV, og dermed også muligheden for ULTFV som værende essentiel for denne udvikling. Dette speciale belyser især barriererne for implementeringen af ULTFV indenfor Teknik, Viden og Profit (økonomien for ændringen). For fuldt ud at kunne ændre fjernvarmesystemet fra almindelig fjernvarme til LTFV eller ULTFV, er det dog nødvendigt at lave en mere dybdegående analyse

indenfor de rasterende områder. Som vist igennem dette speciale, er det især vigtigt, at de nødvendige politiske ændringer indenfor organisationer og institutioner belyses, før der kan ske en ændring.

Teorien omkring *Choice Awareness* fokuserer på implementeringen af radikale teknologiske ændringer. Teorien hævder, at opfattelsen af realitet og eksisterende organisationers interesser vil påvirke den samfundsmæssige opfattelse af valg. Disse organisationer forsøger ofte at hindre radikale teknologiske ændringer, da de er af den overbevisning, at de vil miste magt og indflydelse ved en radikal ændring. En af de afgørende faktorer i udtrykket *Choice Awareness* er den samfundsmæssige opfattelse af at have et valg eller ikke have et valg. I *Choice Awareness*-teorien er især forandringen af organisationer vigtig, for at der kan ske en radikal teknologiforandring. Organisationer forsøger ofte at skabe en illusion af, at en radikal teknologiændring ikke er en mulighed, og at samfundet ikke har andet valg end at implementere teknologier, der tilgodeser eksisterende løsninger. (Henrik Lund 2010)

*Choice Awareness* bruges til at rejse opmærksomhed på denne problemstilling ved at lave detaljerede strategier for at præsentere teknologiske alternativer, foretage rentabilitets studier eller foreslå foranstaltninger indenfor offentlig regulering. For at gøre myndigheder og samfundet opmærksomme på alle de muligheder og alternativer der er i en beslutningsproces, bør der ifølge Choice Awareness gennemgås en række trin i en beslutningsproces (Henrik Lund 2010). Trinnene er følgende:

#### **Trin 1 – Tekniske alternativer:**

Her gøres der opmærksom på forskellige fordele og ulemper ved alle de tekniske alternativer, der er indenfor det givne område. Nogle alternativer kan betragtes som værende de bedste rent teknisk, men vise sig ikke at være rentable pga. diverse institutionelle årsager så som organisatoriske eller økonomiske barrierer. Især i sådanne tilfælde er det vigtigt at identificere de forskellige barrierer for en eventuel implementering af den pågældende teknologi. I dette speciale skal der overvejes eventuelle alternativer indenfor forskellige områder; først og fremmest alternativerne til ULTFV - som er LTFV og almindelig FV -, dernæst hvilke alternativer der findes indenfor ULTFV. De tekniske alternativer indenfor ULTFV beskrives nærmere i kapitel 4. Dette speciale lægger dog vægt på at undersøge et alternativ for boostning af varmtvandsproduktionen ved brug af en varmepumpe som beskrevet i indledningen.

#### **Trin 2 – Rentabilitetsstudier:**

Som overskriften beskriver, laves der i dette trin rentabilitetsstudier, dvs., at det undersøges, hvorvidt en teknologisk løsning kan betale sig rent økonomisk. I dette speciale gøres dette i både et samfunds-, selskabs- og forbrugerøkonomisk perspektiv.

#### **Trin 3 – Offentlig regulering:**

Mange VE projekter viser sig ofte ikke at kunne betale sig ud fra et neoklassisk perspektiv. Derfor skal der ifølge *Choice Awareness* overvejes, hvilke ændringer der kan foreslås indenfor regulering af energimarkedet i form af skatter og tilskud. Denne politisk økonomiske tilgang til VE kaldes den konkrete

institutionelle tilgang. Området indenfor offentlig regulering analyseres ikke i dette speciale, men problematikker berøres igennem diskussionen af hele rapporten i kapitel 6.

#### **Trin 4 – Demokratisk Infrastruktur:**

Det sidste trin refererer til generelle institutionelle hindringer, der kan forsinke implementeringsprocessen af en teknologi. De første tre strategier beskæftiger sig med problemerne inden for de tekniske alternativer, rentabiliteten af disse, samt designet af passende offentlige reguleringsforanstaltninger. Men hvem skal gøre alt dette, og især designet af reguleringsforanstaltningerne. Det er klart, at forslag til sådanne ændringer ikke kan komme fra eksisterende organisationerne, da disse er afhængige af de eksisterende institutionelle opsætninger. Dette speciale berører ikke dette aspekt af *Choice Awareness*' fire strategier. Der kunne eventuelt være blevet udført en interessant analyse (stakeholder analyse), som kunne have belyst, hvilke interessenter der kan have indflydelse på et projekt som i dette speciale og dermed lagt grundlag for, hvilke institutionelle hindringer der identificeres for implementeringsprocessen af ULTFV.

## **2.2. Opsummering**

*Choice Awareness* teorien bygger på den grundlæggende antagelse, at de eksisterende institutionelle interesser i samfundsmæssige beslutningsprocesser, der involverer radikale teknologiske ændringer, vil forsøge at påvirke processen i retningen af "no choice". Sådan indflydelse involverer både elimineringen af tekniske alternativer og brugen af rentabilitetsstudier baseret på metoder, som understøtter eksisterende organisatoriske interesser. Som nævnt, involverer *Choice Awareness* fire strategier, hvorigennem Konkret Institutionel Økonomi, i modsætning til Neoklassisk Økonomi, spiller en vigtig rolle, da VE kilder i mange tilfælde har en dårlig konkurrence evne grundet ofte større prisinvesteringer (Henrik Lund 2010). Det er i disse tilfælde især vigtigt at se, hvordan offentlige reguleringer og skatter kan være med til at fremme en given teknologi.

Rapporten vil fremadrettet følge de første to trin af *Choice Awareness* teorien, og vil til sidst blive afsluttet igennem en diskussion af, hvorledes en ændret tarifstruktur indenfor fjernvarme kan medvirke til at skabe et større incitament for at etablere ULTFV i nye boligområder.

## **2.3. Dataindsamling og Research paradigmer**

Igennem hele rapporten og ved alle beregninger er der benyttet dataindsamling. Der skelnes grundlæggende mellem primært og sekundært data.

I dette projekt benyttes der hovedsageligt sekundært data i form af årsrapporter fra VEKS, lokalplaner, opgivende fjernvarmetakster og andre litterære studier. Sekundært data kaldes ofte for Desk Research og bygger eksempelvis på statistik, årsrapporter og eksisterende informationer på nettet. Primært data

kaldes også Field Research og bygger på data indsamlet i direkte kontakt med folk eksempelvis via interviews, hvilket benyttes dermed ikke i dette projekt (K. B. Jensen).

### 2.3.1. Litteraturstudie

Hele dette projekt er som sagt baseret på sekundært data, der indsamles igennem litteraturstudier. Dvs., at der ikke er udført studier/forsøg eller indsamlinger af store mængder data specifikt for dette projekt. Sekundært data er vigtigt for enhver forskningsproces i et projekt og giver en forståelse for det emne, der bliver undersøgt igennem hele processen. Hovedkilden i dette litteraturstudie har været oplysninger i tilgængelig litteratur på nettet, i tidsskrifter, artikler, bøger eller forelæsninger. Enkelte data stammer fra rådgivende samtaler med ingeniører. Der er, hvor det er muligt, benyttet oprindelige kilder for informationer fremfor fortolkninger af disse.

I kapitel 4 er der foretaget et mere dybdegående litteraturstudie. Formålet hermed er at klargøre, hvordan ULTFV defineres i dette projekt, og hvilke tekniske barrierer en implementering af dette har.

Litteraturstudier er hovedsageligt brugt i de første kapitler, men viden fra disse kapitler er benyttet som grundlag for indholdet i de resterende kapitler og ligger derfor til grund for alle beregninger udført i dette projekt.

### 2.3.2. Casestudie

Casestudier er en form for kvalitativ forskning (A.R.J. Briggs et al. 2012). Der findes forskellige metoder til at udføre casestudier, såsom at undersøge det skriftlige materiale, som eksisterer vedrørende sagen, at foretage interviewes og lave samtaler med de centrale aktører samt at besøge det pågældende caseområde (J. Wellington, M. Szczerbinski 2007).

Med udgangspunkt i de kontekstuelle forståelsesrammer, som defineres i kapitel 4, udføres der i dette speciale et casestudie for at afprøve løsningsforslag og værktøjer til den opstillede problemformulering på et virkeligt område (B. Flyvbjerg et al. 2010). Casestudie som videnskabelig metode er flere gange blevet kritiseret af eksempelvis (I Andersen 2008). Her fastslås det, at man ikke udelukkende ud fra et casestudie kan generalisere, hvorfor casestudier ikke kan bidrage til en videnskabelig udvikling. Det kan være vaskeligt at sammenfatte et konkret casestudie og udvikle generelle tendenser og teorier herfra. Casestudier egner sig bedst til at udvikle hypoteser, dvs. i den første del af en samlet forskningsproces. Med det sagt, mener Bent Flyvbjerg at ovennævnte er en udbredt misforståelse, han argumenterer med følgende: *"Man kan ofte generalisere på grundlag af en enkelt case, og casestudiet kan bidrage til den videnskabelige udvikling gennem generalisering som supplement eller alternativ til andre metoder. Formel generalisering er imidlertid overvurderet som kilde til videnskabelig udvikling, men "eksemplets magt" er undervurderet"* (B. Flyvbjerg et al. 2010).

Med baggrund i Bent Flyvbjergs argumentation, vælges der i dette speciale at tage udgangspunkt i et casestudie. Casestudiet er med til at generalisere og skabe teoretiske løsningsmodeller for hvilke barrierer der findes for implementeringen af ULTFV i nye boligområder.

Den valgte case i specialet er valgt ud fra tilgængelighed af informationer om området og under antagelse af, at lignende områder kan findes andre steder. Især sidstnævnte er vigtig i udvælgelsesprocessen af et casestudie, da værdien af studiet går tabt, hvis ikke der er mulighed for at generalisere til andre lignende områder. Beskrivelsen af det valgte område præsenteres i kapitel 3. Alle efterfølgende beregninger i kapitel 5 er baseret på denne case.

### **2.3.3. Excel-model**

Modellen for at undersøge de forskellige økonomiske barrierer for dette projekt er opbygget i programmet Excel. Data, der benyttes til beregningerne, stammer fra litteraturstudier samt indsamlede data fra den pågældende case og andre sammenligningscases. Excel er valgt, da dette program har en stor fleksibilitet i dets måde at opstille scenarier på. Ved stor fleksibilitet menes, at det er muligt at udføre alle tænkelige beregninger. Programmet er også fleksibelt i form af at det nemt kan sammenkoble store datamængder på kryds og tværs af alle ark. Derudover har Excel også indbyggede formelsammensætninger der gør det lettere at beregne eksempelvis tilbagebetalingsperioder og nutidsværdiberegninger.

Modellen har til formål at undersøge, hvordan de tekniske faktorer og barrierer identificeret i kapitel 4 påvirker både samfunds-, selskabs- og forbrugerøkonomien for udbygningen af ULTFV for det pågældende caseområde. I modellen bliver både varmebehovet og distributionsnettet dimensioneret, hvorefter økonomien herfor beregnes.

En forklaring af hvad Excel-modellen indeholder ses i bilag E.

## 3. Case - Irmabyen

*I dette kapitel defineres det byområde, der er valgt som case for projektet ved at gennemgå vigtige informationer fra lokalplanen og designmanualen for området. Derudover beskrives også vigtige informationer, som gælder generelt for fjernvarmeforsynede boliger i det pågældende område, og hvorfor netop dette område er valgt som case samt hvilke fordele og begrænsninger området har i forhold til at kunne bruges som en generel repræsentant.*

### 3.1. Området

Området, der er valgt som case, er et nyanlagt boligområde kaldet Irmabyen ved Rødovre. Irmabyen ligger i Rødovre Kommunale Forsynings (RKF) forsyningsområde 4 (Se **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** og **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** i bilag B). Beskrivelsen af området er baseret på lokalplanen for det pågældende område. Lokalplanen forventes at blive godkendt i løbet af sommeren 2015, og det første spadestik forventes i løbet af efteråret 2015. Det antages derfor, at den fremtidige lokalplan for området kommer til at følge det forslag, der foreligger på tidspunktet for dette speciale.

Irmabyen er et gammelt industriområde, som tidligere blev forsynet af naturgas. Ifølge lokalplanen er Irmabyen udlagt til fjernvarme. Rødovre Forsyning forventer, at området skal etableres med 55 °C fremløbstemperaturer, hvormed de sænker fremløbstemperaturerne betydeligt fra de ellers 80 °C i de resterende dele af RKF's forsyningsområde. Lokalplanen angiver også, at der må etableres varmepumper. Der er dermed ikke forsyningspligt til fjernvarme. (Rødovre Kommune (a) 2015)

### 3.2. Baggrund for valg af caseområde

Området er valgt som case, idet en grundig beskrivelse af området er tilgængelig i forslaget til en ny lokalplan, og samtidig er yderligere information om blandt andet fjernvarmeselskabets planer for fjernvarmenettet i området tilgængeligt.

Området repræsenterer en type område, der er typisk for udstykninger til nye boliger. Normalt sker udstykninger til nye boliger enten i byomdannelseområder eller byudviklingsområder. Byudviklingsområder ses oftest i forbindelse med barmarksprojekter, hvor eksempelvis allerede anvendt landbrugsjord udlægges til nye boligområder. Byomdannelseområder er typisk områder, der tidligere har



været brugt til industri, erhverv, havn el. lign., som nu er fraflyttet, således at områder kan omdannes til beboelse ligesom ved Irmabyen. Nye boligområder planlægges typisk i byranden, således at infrastrukturen kan etableres i samspil med den allerede eksisterende infrastruktur. (Christensen F.K. 2008)

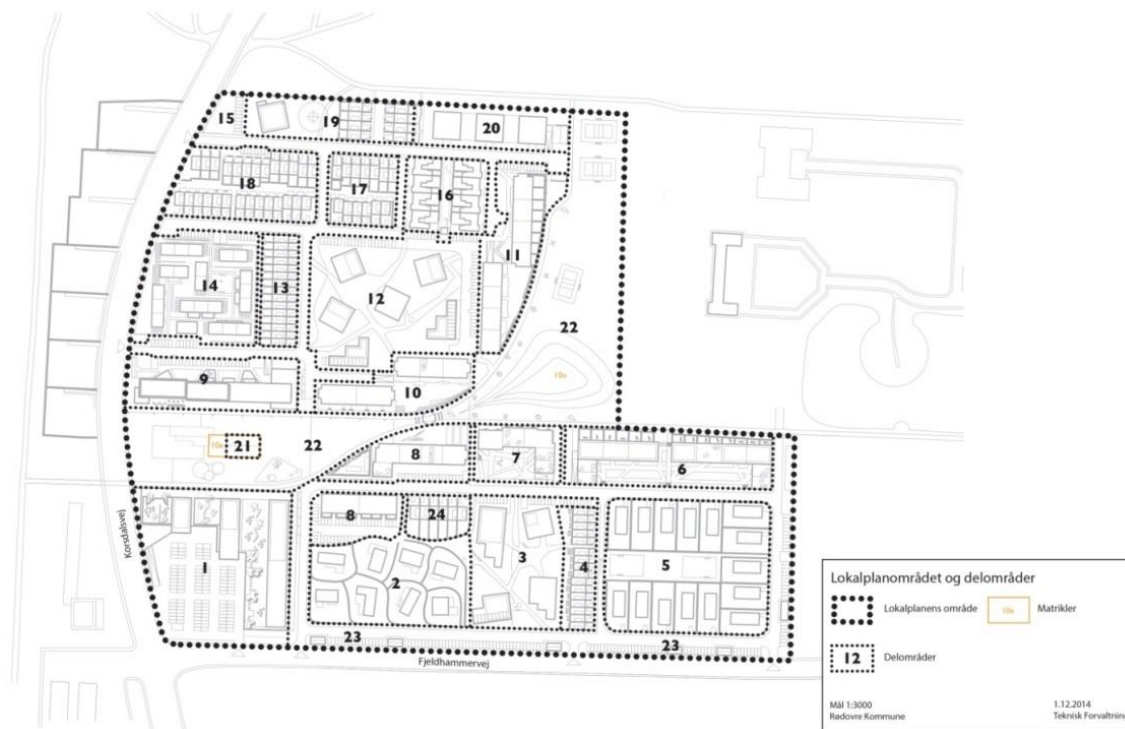
Området er også valgt på baggrund af dets diversitet i bebyggelsestyper og beboelsesformål. Dvs., at området både indeholder tæt bebyggelse i form af høje lejlighedskomplekser og mere spredt bebyggelse i form af små parcelhusområder. Området indeholder derudover også både erhverv og private husstande. Denne diversitet i bebyggelsesformål er med til at gøre analyserne, som laves ud fra denne specifikke case, mere generelle, således at konklusionerne i dette speciale har større anvendelsesmuligheder fremadrettet.

En væsentlig parameter er betydningen af hvilket fjernvarmeselskab, der leverer forsyningen i området. I den valgte case er det Rødovre Kommunale Forsyning (RKF), der står for at forsyne området med fjernvarme. RKF har ifølge (Energitilsynet (a) 2015) en middel varmepris i forhold til resten af Danmarks fjernvarmeselskaber. Den tilnærmelsesvise gennemsnitlige varmepris (se afsnit 3.4) er også med til at gøre konklusionerne fra dette speciale nemmere sammenlignelige med andre projekter.

### 3.3. Bebyggelse og plan for området

Irmabyen er ikke kun udlagt til boligområde. Lokalplanområdet må anvendes til boligformål (helårsbeboelse), lokalcenter med butikker, administration, serviceerhverv, liberale erhverv, virksomheder uden miljøgener som fx mindre håndværksvirksomheder, kulturelle formål, idræt, kunst, cafe/restaurant og rekreative anvendelser. Alle boliger skal etableres som én bolig for en familie.

Området udpeges som lavenergiområde efter laveste energiklasse i gældende bygningsreglement (p.t. lavenergiklasse 2015 jf. BR 10). Lokalplanen er inddelt i 24 delområder (Figur 3) med forskellige anvendelser og bestemmelser (**Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.**, bilag C).



Figur 3 - Bebyggelsesopdeling for Irmabyen (Rødovre Kommune (b) 2015)

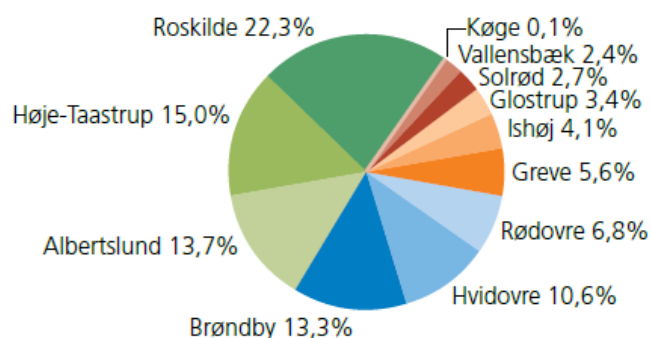
COWI har fungeret som rådgivende ingeniørfirma for RKF og deres projekt i Irmabyen. COWI har udført beregninger for designet af nettet i området. Deres ledningsplan for området er vedlagt som bilag D. Selve layoutet, som er udført af COWI, benyttes i dette projekt, men beregninger af rørdimensionerne er udført separat, da forudsætningerne for COWI's beregning af rørdimensionerne er anderledes end de forudsætninger, der er opstillet for dette projekt (se kapitel 4). Det skal bemærkes at der på den vedlagte tegning er anført nogle rørdimensioner som derfor ikke er gældende for dette projekt.

### 3.4. Rødovre Kommunale Fjernvarmeforsyning - Nøgletal

*Formålet med dette afsnit er at oplyse om vigtige nøgletal for RKF, som vil blive brugt senere i projektet.*

RKF forsynes med fjernvarme fra Vestegnens Kraftvarme, VEKS I/S, og er dermed en del af det sammenhængende fjernvarmesystem i Hovedstadsregionen. VEKS forsyner i alt 21 lokale fjernvarmeselskaber, hvor RKF er en af disse, og dækker ca. 170.000 familiers varmekøbsforbrug. Rødovre Kommune udgjorde i 2013 6,8 % af det samlede varmekøb for alle kommunerne som køber varme fra VEKS.

## Varmekøb i kommunerne



Figur 4 - Varmekøb i kommunerne (VEKS 2013)

Som tidligere nævnt har RKF en varmepris, der tilnærmer sig median varmeprisen for alle fjernvarmeselskaber i Danmark. RKF's varmepris for et hus med et årligt forbrug på 18,1 MWh koster 15.780 kr/år, mens median varmeprisen for hele Danmark er 15.433 kr/år for tilsvarende hus. Dvs. at prisforskellen kun er +337 kr/år. (Se Tabel 2 og Tabel 3)

Fjernvarme-forsyning	Post-nummer	December			Marts		
		Pris pr. MWh	Bolig på 75 m <sup>2</sup> , varmeforbrug 15 MWh	Bolig på 130 m <sup>2</sup> , varmeforbrug 18,1 MWh	Pris pr. MWh	Bolig på 75 m <sup>2</sup> , varmeforbrug 15 MWh	Bolig på 130 m <sup>2</sup> , varmeforbrug 18,1 MWh
<b>RKF</b>	2610	483 kr.	12.331 kr./år	15.546 kr./år	478 kr.	12.444 kr./år	15.780 kr./år

Tabel 2 - Energitilsynets prisstatistik for RKF (Energitilsynet (a) 2015)

Statistik på fjernvarmepriser	Bolig på 75 m <sup>2</sup>	Bolig på 130 m <sup>2</sup>
Gennemsnitlig varmepris (uvægtet)	12.863 kr.	15.997 kr.
Vægtet gennemsnitlig varmepris	n/a	13.985 kr.
Median varmepris	12.313 kr.	15.443 kr.

Tabel 3 - Gennemsnitlige fjernvarmepris pr. december 2014 (Energitilsynet (a) 2015)

Nedenfor er Rødovre Varmeforsynings takster for kundetype 1 opgivet (Tabel 4). Kundetype 1 omfatter kundeforhold med en leveringsaftale på indtil 50 MWh/år på afsætningsstedet, og beskriver altså den kundetype, dette speciale har fokus på.

Bidrag	Excl. moms	Inkl. moms
Variabelt bidrag [kr./MWh]	382,00	477,50
Fast bidrag [kr./m <sup>2</sup> ]	27,00	33,75
Incitamentstarif / Returtemp.(ved forskel fra 47 °C) [kr./MWh/°C]	2,00	2,50
Tilslutningsbidrag [kr.]	49.000	61.250

Tabel 4 - Takster for Rødovre Kommunale Fjernvarmeforsyning (RKF) (Rødovre Kommunale Fjernvarmeforsyning 2015)

Den gennemsnitlige produktionspris for fjernvarme leveret fra RKF er **92,23 kr./GJ** (VEKS A/S 6/7/2015), og produktionssammensætningen er sammensat som vist i Tabel 5.

Emissioner til luft	Fjernvarme Opgjort pr. GJ		Fjernvarme Opgjort pr. kWh	
	CO2	kg/GJ	25	g/kWh
CH4	g/GJ	1	mg/kWh	5
N2O	g/GJ	1	mg/kWh	2
Drivhusgasser i alt (CO2-ækvivalenter)	kg/GJ	25	g/kWh	90
So2	g/GJ	4	mg/kWh	13
Nox	g/GJ	26	mg/kWh	94
CO (kulilte)	g/GJ	27	mg/kWh	96
NMVOG (Uforbrændte kulbrinter)	g/GJ	2	mg/kWh	6
Partikler PM 2,5	g/GJ	2	mg/kWh	8
<b>Brændsler</b>				
Kul	kg/GJ	5	g/kWh	113
Fuelolie	kg/GJ	0	g/kWh	1
Gasolie	kg/GJ	0	g/kWh	0
Naturgas	kg/GJ	2	g/kWh	13
Træpiller	kg/GJ	12	g/kWh	32
Halm	kg/GJ	1	g/kWh	32
Biolie	kg/GJ	0	g/kWh	0
Affald	kg/GJ	12	g/kWh	65

Tabel 5 - Miljødeklarationer for RKF's produktion af varme (HOFOR et al. 2015)

I analysen adskilles der mellem den produktionspris der benyttes til beregning af selskabsøkonomiske analyser og samfundsøkonomiske analyser. Den samfundsøkonomiske brændselspris vil blive beregnet ud fra ovennævnte miljødeklarationer. Dette uddybes også nærmere i kapitel 4

## 4. Forudsætninger og Baggrund

*I dette kapitel præsenteres den baggrundsviden, der er nødvendig for at kunne udføre analysen. I tillæg hertil vil nogle af de termer, der bruges igennem rapporten også blive defineret. Derudover er formålet med dette kapitel at beskrive diverse forudsætninger, der ligger til grunde for alle beregninger i analysen. Opbygning af kapitlet følger trinnene defineret i kapitel 2.*

### 4.1. Tekniske alternativer

Der findes mange tekniske alternativer til opvarmning af boliger, som bl.a. naturgas, pillefyr, varmepumper, solvarme m.m. Mange af disse alternativer kan udelukkes enten pga. lovgivning eller teknologiens leveringsevne. Eksempelvis er det fra 2016 ikke længere tilladt at installere naturgasfyr i nye boligområder (Energitjenesten), og individuel solvarme er ikke muligt, da teknologien ikke kan levere varme til én isoleret husstand hele året rundt uden anden form for opvarmningsteknologi. Det eneste mulige alternativ til fjernvarme i nye boligområder er varmepumper, enten i form af jordvarme eller luftvand varmepumper. Som beskrevet i indledningen har tidligere kilder påvist, at der er et solidt samfunds- og selskabsøkonomisk rationale for etableringen af fjernvarme frem for varmepumper, hvorfor der i dette speciale lægges fokus på at sammenligne traditionel fjernvarme (traditionel FV) med LTFV og ULTFV for et givent caseområde.

#### 4.1.1. Hvad er lavtemperatur- og ultra lavtemperatur fjernvarme?

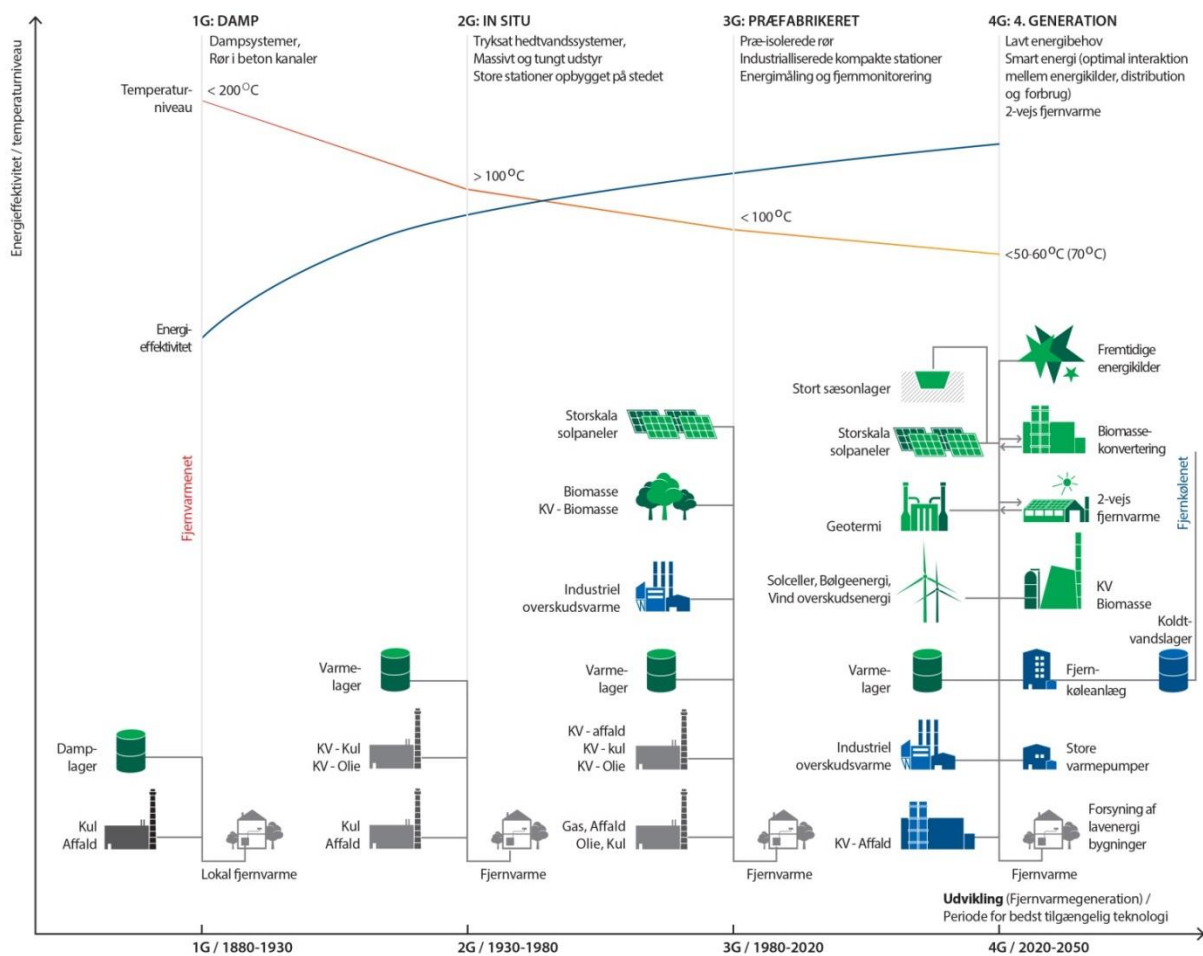
For at kunne sammenligne LTFV og ULTFV med traditionel fjernvarme, er det vigtigt først at kunne adskille de tre fra hinanden. Dette gøres her igennem en definition af de tre.

Fjernvarme blev første gang implementeret i 1890'erne i USA. Den første generation af fjernvarme bestod af et system baseret på damp. Disse systemer var meget ineffektive især pga. de høje transmissionstab, der er forbundet med så høje fremløbstemperaturer. Igennem de sidste 100 år har fjernvarme undergået store forandringer ikke både i forhold til de temperaturer, som systemet benytter, men også i forhold til hvilke varmeteknologier, der kan benyttes til produktionen. Det, der i dag kaldes traditionel fjernvarme, hører under 3. generation. Her er det blevet muligt at implementere en mindre række VE-baserede varmeteknologier til varmeproduktionen, da varmesystemet kører på temperaturer under 100 °C. Trenden gennem disse tre generationer har især været at sænke distributionstemperaturerne for dermed

at opnå mindre transmissionstab og lede vejen for implementeringen af andre VE-baserede varmeteknologier, som ikke kan levere så høje temperaturer, som kræves ved eksempelvis. 1. generations fjernvarme (Lund et al. 2014).

I publikationen "4th Generation District Heating" defineres 4. generations fjernvarme, som et system der benytter fremløbstemperaturer under 70 °C (Lund et al. 2014) (Figur 5).

I dette speciale omtales både LTFV og ULTFV. LTFV defineres her som et system der anvender fremløbs- og returtemperaturer på 50 °C og 30 °C, mens systemtemperaturerne ved ULTFV defineres som 40 °C i fremløb og 20 °C i retur.



Figur 5 - Definition af Lavtemperaturfjernvarme (Lund et al. 2014).

LTFV systemer opfylder to af de vigtigste krav for det fremtidige fjernvarmesystem og for hele energi sektoren – høj energieffektivitet og en stor mængde VE.

Der er adskillige fordele forbundet med lave systemtemperaturer. Først og fremmest sikrer det en bedre effektivitet af energiforsyningen: Energifkravene for nye og renoverede bygninger skærpes løbende som forklaret i kapitel 1, hvilket medfører, at energieffektiviteten på forbrugerens side løbende stiger. Det relative varmetab i det traditionelle fjernvarmeforsyningsnet stiger dog, når varmemeforbruget i bygningerne falder, dvs., varmedensiteten bliver lav. Dette synes umiddelbart at skabe en udfordring for fjernvarme,

men ved at implementere LTFV og dermed sænke systemtemperaturerne, skabes der et lavere varmetab i fjernvarmenettet. Der kan opnås en reduktion af nettabet op til ca. 75 % ved LTFV i forhold til traditionel fjernvarme (Henry Juul Nielsen 6/4/2015). Dette øger forsyningssidens effektivitet og konkurrenceevne for fjernvarmesystemer til også at levere varme til lavenergibyggerier i områder med en lav varmedensitet. (Kaarup Olsen P. et al. 2014)

Derudover skabes der en bedre udnyttelse af varmekilder, som primært på grund af lave temperaturer kan være problematiske at integrere i fjernvarmesystemer, som eksempelvis overskudsvarme fra industrielle processer, udnyttelse af varmekilder som geotermi, solvarme, varmelagring, varmepumper m.m.

Sidst men ikke mindst reducerer LTFV rørledningernes termiske stress. Når fremløbstemperaturerne bliver lavere, minimeres temperaturforskellene i ledningsnettet, hvilket sænker risikoen for rørlækager som følge af termisk stress og dertil relaterede vedligeholdelsesomkostninger.

Udover ovennævnte fordele identificeres der også en række udfordringer ved implementeringen af fjernvarme med lave systemtemperaturer. De to væsentligste udfordringer, der identificeres på nuværende tidspunkt, er legionella dannelse i brugsvandet samt hvad der skal til for at forsyne den eksisterende bygningsmasse med LTFV;

Den eksisterende bygningsmasse er en væsentlig udfordring for etablering af LTFV. En given bygning skal energimæssigt gennem dens installationer være i stand til at yde tilfredsstillende rumopvarmning og brugsvandsopvarmning ved lavere temperaturer fra fjernvarmenettet, end varmeinstallationerne er designet til. At opgradere varmesystemet til det krævede kan være omkostningsfuldt for forbrugeren, da det både inkluderer energireovering af bygningens klimaskærm, udskiftning eller supplerung af varmeinstallationerne og evt. en udskiftning af fjernvarmetilslutningsanlægget. (Henry Juul Nielsen 6/4/2015). Som beskrevet i indledningen afgrænser dette speciale sig fra udfordring vedrørende den eksisterende bygningsmasse ved kun at kigge på nyopførte boligområder.

En væsentlig udfordring for implementering af LTFV og ULTFV er, at den lave fremløbstemperatur skaber problemer i forhold til opvarmning af brugsvandet til boligerne. Legionella er en bakterie der dannes i vand under 50 °C.

Der er megen debat og fortolkninger af lovgivningen indenfor legionella området i brugsvand. I vandnormen, DS 439, fremgår, at et varmtvandsforsyningsanlæg skal være indrettet således, at temperaturen i tilfælde af konstateret bakterievækst skal kunne hæves til 60 °C. Der er IKKE krav om, at anlægget skal køre konstant med denne temperatur, tværtimod, da dette giver problemer med tilkalkning. I dag er det således almindeligt ved beholderinstallationer at have en fremløbstemperatur på 50-55 °C. (Olsen B. et al. 2012)

Der findes en række løsningsmuligheder, hvorpå man kan undgå legionella i brugsvandet. I indledningen er der beskrevet to mulige koncepter, en elpatron og en microbooster unit der begge booster brugsvandet fra temperaturen givet af fjernvarmevandet op til 55 °C. Da det ikke har været muligt at finde relevant

information om både teknikken og prisen for elpatronen, vil der i dette projekt blive brugt en microboosterunit. Prisen for denne unit er 40.000 kr (Henry Juul Nielsen 6/4/2015).

Som beskrevet ovenfor defineres temperatursættet for LTFV til 50-30 °C, hvorfor det her ikke er nødvendigt at bruge en boosterunit. Det er det til gengæld ved ULTFV, da fremløbstemperaturerne her ikke overskrider 40 °C.

#### 4.1.2. Forudsætninger for de tekniske bestemmelser

Indenfor det afgrænsede område, om kun at se nærmere på traditionel fjernvarme, LTFV og ULTFV findes der også en række tekniske alternativer, der i sidste ende kan gøre nogle alternativer billigere at etablere end andre. For at kunne bestemme, hvilke omkostninger det har at anlægge ULTFV frem for LTFV og traditionel FV, er der nogle tekniske bestemmelser, der først skal tages stilling til. Metodevalget for beregning af disse samt de tekniske alternativer herfor beskrives nedenfor.

#### Varmebehov og tilslutningseffekt

Størstedelen af alle beregning for de tekniske bestemmelser følger teori og eksempler fra Varme Ståbi. Dette gælder også for antagelsen af det årlige varmebehov og dermed også tilslutningseffekten for fjernvarmen. Da det på forhånd ikke vides, hvor stort et varmeforbrug hver enkel forbruger har, fastsættes dette ud fra erfaringsmæssige data for de enkelte boligkategorier i Varme Ståbi (Tabel 6).

Boligkategori	Årsvarmebehov pr. 100 m <sup>2</sup> [MWh]	Tilslutningseffekt pr. 100 m <sup>2</sup> [kW]
Parcelhus, BR10 - LE2015	4	2,2
Tæt-lav, nyere	10,6	5,9
Etagebolig, nyere	9,4	5,2
Kontor/butik, nyere	13,9	7,7

Tabel 6 - Erfaringsmæssige data for årsvarmebehov og tilslutningseffekter for forskellige boligkategorier (inkl. varmebehov til brugsvand) (Andersen N.B. et al. 2012)

Der er mere end én forbruger i et fjernvarmesystem. Ikke alle forbrugere har et maksimalt varmebehov og dermed en maksimal tilslutningseffekt på samme tid. Det er derfor ikke nødvendigt at dimensionere et fjernvarmesystem ud fra den samlede tilslutningseffekt for alle husstande. Den opsummerede tilslutningseffekt ganges med en samtidighedsfaktor, som afhænger af bygningskategorien. I industriområder sættes samtidighedsfaktoren eksempelvis normalt til 1. I boligområder med et større antal boliger sættes samtidighedsfaktoren som "tommelfingerregel" til 0,62 (Andersen N.B. et al. 2012).

Jævnfør Varme Ståbi formel [8.8] beregnes samtidighedsfaktoren ud fra:

$$s = 0,62 + \frac{0,38}{n}$$

hvor

$n$  = antal boliger

$s$  = samtidighedsfaktoren



Det skal bemærkes at de data der er benyttet fra Varme Ståbi er data der er lavet på baggrund af varmekonsum op til dagsdato. Som nævnt i indledningen reduceres bygnings energibehov løbende, hvorfor det i fremtiden også må forventes at data, der benyttes til beregning af tilslutningseffekten vil ændre sig. I disse beregninger afgrænses der fra at undersøge dette nærmere.

### Rørdimensioner

Når det skal bestemmes hvilke rørdimensioner, der skal benyttes for de anvendte distributionsrør i et givent fjernvarmenet, bestemmes først hvilken effekt, de givne rør kan levere.

Effekten Q kan bestemmes ud fra (C.R. Nave 2004):

$$Q = q_m \cdot c_p \cdot (T_{Frem} - T_{Retur})$$

hvor

Q	= den overførte varmeenergi (Effekten)	[W]
$q_m$	= masseflow	[kg/s]
$c_p$	= Specifikke varmekapacitet	[kJ/kg*K]
$T_{Frem}$	= Fremløbstemperatur	[K]
$T_{Retur}$	= Returtemperatur	[K]

Ud fra dette kan det beregnes, hvilken effekt de forskellige rørtyper i et modelleret distributionssystem kan levere, hvorudfra det kan bestemmes, hvilke rørdimensioner der skal anvendes til et givent distributionsnet med et givet varmebehov.

Masseflowet afhænger af strømningshastigheden v og dermed også volumenflowet  $q_v$ , som det ses i formlerne nedenfor (Andersen N.B. et al. 2012):

$$q_m = q_v \cdot \rho$$

hvor

$q_m$	= masseflow	[kg/s]
$q_v$	= masseflow	[m <sup>3</sup> /hr]
$\rho$	= mediets densitet	[J/kg*K]

$$q_v = \frac{v \cdot \pi \cdot d_i^2}{4}$$

hvor

$q_v$	= volumenflow	[m <sup>3</sup> /hr]
v	= strømningshastigheden	[m/s]
d	= rørets diameter	[mm]

Dermed afhænger den mulige leverede effekt af vandhastigheden i rørene. En større vandhastighed og dermed et større tryktab giver en større mulig leveret effekt for det enkelte rør. Hvis tryktabet dermed hæves, er det muligt at benytte mindre rør og dermed få en lavere anlægspris. Det kan dog give

problemer at hæve tryktabet, da et højest tryktab giver tilsvarende mere støj og trykstød. Normalt dimensioneres der ud fra et tryktab på 100-150 Pa/m (Henry Juul Nielsen 6/4/2015).

De beregnede effektoverførsler for de enkelte rørdimensioner fremgår af Tabel 7. Effektoverførslen er beregnet ud fra opslagstal for det specifikke rørs volumenflow i Varmeståbi. Beregningerne for effektoverførslerne ses i excelmodellen under ark 2 "Rørdimensioner\_forudsætninger".

I dette projekt tages der udgangspunkt i Twinrør fra LOGSTOR (LOGSTOR 2015). På baggrund af et allerede udført projekt i Birkerød vælges det at benytte Twinrør op til en størrelse DN150, hvorefter der benyttes almindelige enkeltrør, da disse i så store dimensioner er nemmere at håndtere i forbindelse med nedgravning.

Type	Effekt					
	Tryktab på 100 Pa/m			Tryktab på 200 Pa/m		
	80/40 system	50/30 system	40/20 system	80/40 system	50/30 system	40/20 system
DN20	24,7	12,3	12,3	35,8	17,8	17,8
DN25	47,5	23,6	23,6	68,4	34,1	34,1
DN32	91,7	45,7	45,6	132	65,8	65,8
DN40	136	67,7	67,6	196	97,6	97,5
DN50	255	127	127	366	182	182
DN65	503	250	250	717	357	357
DN80	768	383	382	1.098	547	547
DN100	1.531	763	762	2.187	1.090	1.089
DN125	2.685	1.338	1.337	3.834	1.910	1.909
DN150	4.434	2.209	2.208	6.328	3.153	3.150
DN200	9.027	4.497	4.494	13.121	6.537	6.532

Tabel 7 - Beregnede effektoverførsler for de anvendte rørdimensioner, med frem- og returtemperaturer på henholdsvis 80/40 (traditionel FV), 50/30 (LTFV) og 40/20 (ULTFV)

Efter at have bestemt den mulige leverede effekt for hver rørtype, bestemmes det nu, hvor mange meter rør af hver type, der skal benyttes til hele det pågældende distributionssystem. For at kunne gøre dette bestemmes alle knudepunkter i systemet, dvs., de punkter hvor varmebehovet som følge af mængden af husstande ændre sig. I hvert af disse knudepunkter opsummeres den krævede effekt for de foregående, hvorudfra det kan bestemmes, med baggrund i de beregnede effektoverførsler, hvilken rørdimension dette rørstykke da skal have. Ud fra dette bestemmes det hvor mange meter rør af hver type, det kræver for at anlægge det pågældende distributionsnet.

### Anlægsomkostninger

Anlægsomkostningerne i dette projekt bygger på erfaringspriser fra et tilsvarende projekt lavet i Birkerød i 2010 (Grontmij A/S, 4 7/15/2015), da det vurderes, at priserne grundet lokation og anlægstidspunkt her vil være nogenlunde det samme som for det pågældende caseområde, som beskrives i kapitel 3. Priserne, som er listet i Tabel 8, er for et ubefæstet areal og indeholder både jord- og rørarbejde samt prisen for

selve røret. Derudover er der tillagt 20 % af den beregnede udgift i projekt tilsyn og 15 % i uforudsete udgifter. Priserne af afrundede grundet sensitivt data.

Type	Samlet anlægs- omkostninger [kr./m]	Heraf Jordarbejde [%]	Heraf Rørarbejde [%]	Heraf Rør [%]
DN15	1200	71	11	18
DN20	1400	60	19	21
DN25	1600	63	17	20
DN32	1900	60	20	20
Dn40	1900	60	19	21
DN50	2200	57	18	25
DN65	2600	55	18	26
DN80	2900	54	18	28
DN100	3600	50	17	33
DN125	4300	46	16	39
DN150	5400	45	15	40
DN200	6400	32	25	43

Tabel 8 - Anlægsomkostninger for serie 2 rør benyttet i dette projekt – bygger på priser fra Birkerød (Grontmij A/S, 4 7/15/2015)

Alle ovenstående priser er for serie 2 rør, som beskriver rørets isoleringstykkelse. Jo højere en isoleringsgrad et rør har, jo dyrere er det, men jo mindre bliver varmetabet for det enkelte rør også. Det kan derfor være interessant at undersøge, om det kan betale sig at gå ned i isoleringsgrad. For at finde priserne for en mindre isoleringsgrad er der beregnet en procentmæssig forskel fra serie 1 til serie 2 ud fra LOGSTOR's listepreiser. Den beregnede procentmæssige forskel på 13 % fratrækkes derefter priserne fra Birkerød, hvormed anlægspriserne for serie 1 rør er fundet. Det skal dog bemærkes, at der derved også bliver fratrukket 13 % i jord- og rørarbejde, som højst sandsynligt vil blive det samme uanset hvilken isoleringsgrad, der vælges, men grundet sensitivt data har det ikke været muligt at gøre andet.

Det forventes at LTFV vil have en større anlægsomkostning end traditionel FV, og at ULTFV vil have en dertil større anlægsomkostning end LTFV, idet det forventes at både LTFV og ULTFV vil have større rørdimensioner fordi effektoverførslerne for rørene er mindre end for traditionel FV.

### Varmetab og dets værdi

I et rørsystem som i et fjernvarmenet vil der være varmetab til omgivelserne både i fremløbsrøret og i returrøret:

$$Tab_{Fremløb} = Tab \text{ til omgivelser} + Tab \text{ til retur}$$

$$Tab_{Returløb} = Tab \text{ til omgivelser} + Tab \text{ til fremløb}$$

$$Tab_{Total} = Tab_{Fremløb} + Tab_{Returløb}$$

Beregningen af varmetabet i et rør med flere medierør er en kompleks funktion af rørets geometri, der ikke kan løses eksakt med et direkte formeludtryk, men i stedet oftest beregnes gennem en iterativ tilnærmelsesproces (K.V. Qvist, L. Grundahl 2014). At forsøge at opstille et sådan udtryk ligger uden for dette speciales rammer, hvorfor beregningsprogrammet LOGSTOR CALCULATOR benyttes.

Under varmetabsberegningerne for dette projekt er frem- og returløb sat til det samme sommer og vinter, og afgrænser sig derved på at se på varmetabsprofilen i løbet af et helt år. Alle varmetabsberegninger på den pågældende case ses i bilag A.

For at kunne værdisætte det beregnede varmetab sammenholdes dette med den gennemsnitlige varmepris for det pågældende område, hvorved det kan bestemmes, hvad et samlet varmetab for det givene caseområde vil koste. Dette uddybes nærmere i kapitel 5.

## 4.2. Rentabilitetsstudier

I et investeringsprojekt, som dette, opdeles rentabilitetsstudierne ofte i tre områder; det forbrugerøkonomiske, selskabsøkonomiske og samfundsøkonomiske perspektiv. Dette gøres også i denne analyse.

Et rentabilitetsstudie eller en cost-benefit analyse bruges oftest til at beslutte om et projekt skal gennemføres, eller om det ikke kan betale sig. Dette gøres ved at sammenholde, det der forventes at et projekt vil indtjene, med det projektet vil koste (Investopedia 2015).

Ifølge (Henrik Lund 2010), skal rentabilitetsstudier i forhold til teorien *Choice Awareness* indeholde:

- *”designet af rentable tekniske alternativer*
- *en evaluering af de samfundsøkonomiske omkostninger for projektet*
- *en oversigt af de innovative potentialer af disse alternativer*
- *en analyse af de institutionelle betingelser, der har indflydelse på implementeringen af alternativerne”*

Da rentabilitetsstudier både kan anvendes til private- og offentlige beslutningsprocesser, fastslår (Henrik Lund 2010), at der skal skelnes mellem samfunds-, selskabs- og privatøkonomiske studier.

Ovennævnte retningslinjer refererer til spørgsmål, der vedrører miljøet og har teknologiske innovative og institutionelle ændringer som deres hovedmål, og er derfor af et mere bredt perspektiv.

I de tre næstkommende afsnit vil forudsætninger og metodevalgene for beregningerne for hver af de tre analyser blive forklaret.

#### 4.2.1. Samfundsøkonomiske forudsætninger

Af både (IDA 2009) og (Dyrelund et al. 2010) fremgår, at der på et nationalt plan foreligger et samfundsøkonomisk rationale for at udbygge fjernvarme, som det også er beskrevet i indledningen. Anskuelser heri er dog af en generel karakter og er dermed ikke gældende for enkeltstående cases. I projektet (K.V. Qvist, L. Grundahl 2014) er der for en case i Aalborg påvist, at der for denne enkeltstående case er et samfundsøkonomisk rationale for at etablere fjernvarme i projektområdet. Med baggrund i denne viden, er der for denne case, Irmabyen, valgt at opstille en samfundsøkonomisk analyse, hvor traditionel fjernvarme sammenlignes med henholdsvis LTFV og ULTFV med både serie 1 og serie 2 rør.

En samfundsøkonomisk vurdering udføres i sammenspil med varmforsyningsloven § 1, hvor det beskrives at den mest samfundsøkonomiske anvendelse af energi til opvarmning skal fremmes. Den samfundsøkonomiske analyse i dette projekt følger vejledningen for samfundsøkonomiske analyser fra Energistyrelsen (Energistyrelsen (d) 2005) og vurderes ud fra nutidsværdiberegninger foretaget igennem nedenstående formel:

$$NV = \sum_{t=0}^n NV_t \cdot (1 + r)^{-t} + NV_0 \quad (\text{M. Pitt et al. 2009})$$

hvor,

NV	= Nutidsværdien for projektet	[DKK]
$NV_t$	= Nutidsværdien i tiden i	[DKK]
$NV_0$	= Økonomisk investering i tiden 0	[DKK]
r	= Diskonteringsrenten	[%]
t	= Løbetid	[År]

En nettonutidsværdiberegning, NV, tilbagefører alle fremtidige nettoomkostninger til et basisår.

Energistyrelsens vejledning skriver; *"Priser og øvrige forudsætninger (i vejledningen) er tænkt som centrale skøn. Det bør dog altid overvejes om, hvilke forudsætninger der er særligt usikre eller særligt kritiske for beregningens udfald. For disse bør der gennemføres følsomhedsberegninger, hvor alternative beregningsforudsætninger lægges til grund"* (Energistyrelsen (d) 2005). Grundet dette, vil analysen indeholde følsomhedsberegninger på, hvordan renten påvirker projektets rentabilitet. Den samfundsøkonomiske rentabilitet for et projekt afhænger i stor grad af bl.a. brændselsomkostningerne og anlægsinvesteringerne. Som det skal vise sig i afsnit 5.1.4 er de beregnede varmetab utroligt lave i forhold til andre sammenlignelige cases, hvorfor det også vises, hvad et evt. større varmetab vil have af virkning på det samfundsøkonomiske rationale for at anlægge Irmabyen som ULTFV. Det samfundsøkonomiske rationale for at etablere ULTFV frem for LTFV og traditionel FV, er derudover undersøgt ved at sammenholde de samfundsøkonomiske konsekvenser ved etableringen over en 20 års periode opgjort i en samlet nutidsværdi.

I denne vurdering benyttes finansministeriets nuværende diskonteringsrente per 31. maj 2013, som i starten af investeringsperioden er fastsat til 4 % (Tabel 9).

Årrække	Diskonteringsrente
År 0 – 35	4 %
År 36 – 70	3 %
År 70 – og efterfølgende år	2 %

Tabel 9 - Den samfundsmæssige diskonteringsrente (Finansministeriet 2013)

Det at følge Energistyrelsens vejledning for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet medfører dog en række begrænsninger for resultatets evne til korrekt at belyse virkeligheden, som det også diskuteres i (A. Dyrelund et al. 2010). Det kan argumenteres at den af finansministeriet fastsatte rente til samfundsøkonomiske analyser, som bliver anvendt i disse beregninger, er uhensigtsmæssig høj. Optages forsyningselskabets lån eksempelvis igennem et kommunalt garanteret lån (KommuneKredit), vil det pr. 1. april 2015 være muligt at optage et lån med en rente på 1,30 % p.a. (KommuneKredit 2014). Medregnes der en inflation på 2 %, vil realrenten således ende under 0 %. Derudover er den anvendte pris for brændselskøb på årgennemsnit og afspejler dermed ikke eventuelle udsving i brændsels- og produktionspris i beregningsperioden.

Da dette speciale ikke går i dybden med at behandle produktionssiden af udbygning i Irmabyen, fravælges det imod Energistyrelsens retningslinjer at medregne skatteforvridningstab, dvs., det tab staten har i form af afgiftsprovener, idet brændselsmikset for den forsynede energi ikke undersøges i dybden. Det at ekskludere skatteforvridningstab er dog i tråd med argumenterne i (A. Dyrelund et al. 2010), hvor det fastslås at forvridningstabets ensidige fokus på mistet afgiftsprovener tilgodeser fossile brændsler og ikke belyser værdien af vedvarende mindre afgiftsbelagte, energikilder. Selvom produktionssiden i dette speciale ikke behandles mere dybdegående, vælges det stadig at beregne og benytte den samfundsøkonomiske brændselspris frem for produktionsprisen for RKF angivet i kapitel 3.

Til trods for begrænsningerne anses den samfundsøkonomiske analyse stadig for at være valid, da formålet med analysen er at belyse rationalet i at anlægge et ULTFV frem for LTFV og traditionel fjernvarme.

Ved sammenligning af projekter bør der altid opereres med den samme levetid. Levetiden for fjernvarmerør er ifølge Miljøministeriet imellem 20-60 år (Miljøstyrelsen 2006). I denne analyse benyttes en afskrivningsperiode på 20 år, hvorfor der indføres en scrapværdi for restværdien af anlægget i år 20. Som antaget i Energistyrelsens vejledning, vurderes det også her, at fjernvarmenettet har en levetid på 30 år. For derved at korrigere for de 10 års restværdi rørnettet har, simplificeres en lineær afskrivning af scrapværdien.

En samfundsøkonomisk analyse vurderer omkostningerne indenfor; investeringsomkostninger, brændelsomkostninger, drift og vedligehold samt miljøomkostninger (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM 2,5) – dvs. omkostningerne der fås fra emissioner fra brændselssammensætningen.

*Investeringsomkostningerne* inkluderer for fjernvarme den samlede forbrugerinvestering og forsyningsselskabets anlægsomkostninger, hvormed samfundsøkonomien har en direkte korrelation med forbruger- og selskabsøkonomien. Disse omkostninger bygger på beregninger, der foretages under forbrugerøkonomien og selskabsøkonomien for dette projekt.

*Drift- og vedligeholdelsesomkostningerne* bygger på erfaringsmæssige data fra Energistyrelsen teknologikatalog, som viser at drift og vedligeholdelsesomkostninger for LTFV er dyrere end traditionel FV (COWI, TI, DGC 2013). Priserne herfor ses i Excel modellen under arket "Samf.ø\_forudsætninger".

De beregnede miljøomkostninger for casen er beregnet ud fra Energistyrelsens forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet (Energistyrelsen (c) 2014).

*Brændelsomkostningerne* afhænger af brændelspriserne for en given brændselssammensætning for det pågældende værk. Brændelspriserne for forskellige brændselstyper varierer meget fra år til år. Energistyrelsen har derfor fastsat gennemsnitlige brændelspriser der skal benyttes til samfundsøkonomiske analyser (Tabel 10).

2014-Kr./GJ	An kraftværk							
	Naturgas	Kul	Fuelolie	Gasolie	Halm	Træflis	Træpiller (industri)	Affald
2015	70,7	20,5	91,9	120,6	42,5	49,7	67,1	0,0

Tabel 10 - Samfundsøkonomiske brændelspriser angivet i vejledning for samfundsøkonomiske beregninger (Energistyrelsen (c) 2014)

Som det ses i Tabel 10 har affald en samfundsøkonomisk brændelspris på 0 kr./GJ. Dette skyldes at affald anses som værende "gratis" brændsel (Jensen 1999).

Alle *miljøomkostningerne* som beregnes i denne analyse bygger lige såvel som de resterende på Energistyrelsen teknologikatalog. CO<sub>2</sub>-emissionen ved en forbrænding af et brændsel afhænger alene af brændselstypen, mens emissionerne af SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og PM 2,5 også afhænger af den anvendte teknologi. Når emissionen af forurenede stoffer til luften beregnes, sker dette med udgangspunkt i de såkaldte emissionskoefficienter, som angiver udledningen af et givet stor pr. indfyret brændselmængde. Ved at multiplicere varmebehovet for Irmabyen (brændselsforbruget) med de relevante emissionskoefficienter fås den samlede emission for hele brændselsforbruget for Irmabyen.

### Følsomhedsberegninger

Der vil under analysen af det samfundsmæssige grundlag for at anlægge ULTFV frem for traditionel FV og LTFV, blive udført nogle følsomhedsberegninger for flg. kategoriers betydning for den samfundsøkonomiske rentabilitet for projektet;

- Rentesatsen
- Investeringsprisen
- Varmetab og dermed brændselsomkostningerne

#### 4.2.2. Selskabsøkonomiske forudsætninger

En selskabsøkonomisk analyse omhandler virksomhedsmkostninger forbundet med et givet projekt i modsætning til en samfundsøkonomisk analyse, der omhandler omkostningerne for samfundet – herunder de samlede investeringsomkostninger for både forbrugerne og virksomhederne. Dette afspejler sig specielt i den produktionspris, der benyttes i beregningerne, som for samfundsøkonomien er lavere (dette uddybes i kapitel 5.2).

Med baggrund i de tekniske bestemmelser for Irmabyen, er det nu muligt at beregne, hvad en udbygning af fjernvarmenettet for Irmabyen vil koste. Det er ligesom ved den samfundsøkonomiske analyse her formålet at undersøge, om der foreligger et selskabsøkonomisk rationale for at etablere ULTFV frem for traditionel FV og LTFV. På samme måde som ved samfundsøkonomien bygger de selskabsøkonomiske beregninger også på en nettonutidsværdiberegning, NV, som tilbagefører alle fremtidige nettoomkostninger til et basisår. I modsætning til den samfundsøkonomiske analyse benytter den selskabsøkonomiske analyse sig af en afskrivningsperiode på 30 år, idet dette er den antagne levetid for fjernvarmenettet. Dvs., at den investering der foretages, sammenholdes med de besparelser der opnås for en afskrivningsperiode på 30 år.

Som beskrevet under afsnittet *tekniske alternativer*, forventes LTFV og ULTFV at have en større anlægsomkostning end traditionel FV, hvorfor der i denne selskabsøkonomiske analyse undersøges, hvorvidt det beregnede varmetab for det givne caseområde kan opveje for den større anlægsinvestering. Dette gøres ved at tilbagediskontere alle de fremtidige besparelser og investeringer for hver af de fire muligheder; traditionel FV, LTFV, ULTFV med serie 2 rør og ULTFV med serie 1 rør.

Da det er varmetabet, der har betydning for, hvor stor en årlig besparelse, der kan opnås, sammenlignes de selskabsøkonomiske resultater lige som de samfundsøkonomiske resultater med det beregnede korrigerede varmetab.

#### 4.2.3. Forbrugerøkonomiske forudsætninger

Ved al planlægning i forhold til både renovering og udbygning af fjernvarmenettet er det vigtigt at tage hensyn til de forskellige lovgivninger og regler indenfor det givne område, som i dette projekt omhandler varmeforsyningen af Irmabyen. Et hvilket som helst varmeprojekt som dette skal til en hver tid opfylde reglerne indenfor varmeforsyningsloven. Varmeforsyningslovens fornemste formål er at



fremme den mest samfundsøkonomiske anvendelse af energi, som det fremgår af § 1 (Klima Energi- og Bygningsministeriet 2011)

*§ 1. Lovens formål er at fremme den mest samfundsøkonomiske, herunder miljøvenlige, anvendelse af energi til bygningers opvarmning og forsyning med varmt vand og inden for disse rammer at formindske energiforsyningsafhængigheden af fossile brændsler.*

Varmeforsyningsvirksomheder er non-profit virksomheder. Dvs., at de ikke må tjene penge, hvorfor indtægter og omkostninger skal balancere. Man kan sige, at varmforsyningsvirksomhederne benytter et "hvile-i-sig-selv-princip", hvor alle indtægter forbundet med forbrugerbetaling, skal benyttes til omkostninger af eksempelvis reovering af ledningsnettet osv. Når ledelsen i en fjernvarmevirksomhed hvert år fastsætter næste års varmepriser, vurderer denne, hvilke omkostninger virksomheden forventer i det kommende år. Budgettet for det kommende år bliver dermed virksomhedens forklaring på årets varmepris. (Aastrup B. et al. 2001)

Den samlede varmepris beregnes ud fra en række tariffer, der fastsættes individuelt for hvert fjernvarmeværk. Dog skal alle tariffer, omkostningsfordele og andre betingelser for ydelser ifølge § 21 i "Bekendtgørelsen af lov om varmforsyning" anmeldes og godkendes af Energitilsynet før disse træder i kraft (Klima Energi- og Bygningsministeriet 2011).

Varmeforsyningsloven regulerer også hvilke forbrugere, der har tilslutningspligt til kollektiv varmforsyning.

Som overordnede krav til tariffing for FV gælder, at tariffen skal være i overensstemmelse med varmforsyningsloven prisbestemmelser. Overordnet bør tariffen ifølge (Aastrup B. et al. 2001) opfylde flg. krav:

- Være kostægte
- Kunne administreres på en enkel måde og med mindst mulige omkostninger
- Være gennemskuelig og kunne forstås af forbrugerene
- Kunne sikre, at alle forbrugere deltager med et positivt bidrag til fællesskabets omkostninger

Ved en kostægte tarif menes en tarif, der dækker dels de omkostninger, den enkelte varmforsyning påfører værket ved at blive tilsluttet samt omkostningerne i forbindelse med levering af varmen.

Tarifordningen dækker fjernvarmeværkernes omkostninger for henholdsvis engangsomkostninger og løbende omkostninger, som illustreret på Tabel 11.

Omkostninger	Indeholder	Eksempler
Engangsomkostninger	Produktionsanlæg	Den varmeproducerende del af centrale kraftvarmeverker
	Distributionsanlæg	Transmissions- og distributionsanlæg etc.
	Stikledninger, målere m.v.	
Løbende omkostninger	Forbrugeruafhængige	Drifts-, administrations- og kapitalomkostninger
	Forbrugerafhængige	Brændsel, køb af varme, el, vand, kemikalier og offentlige afgifter

Tabel 11 - Fjernvarmeverkers opdeling af deres omkostninger (Aastrup B. et al. 2001)

Omkostningerne videreføres herfra til forbrugeren i form af en tarifordning indeholdende tre overordnede bidrag: Tilslutningsbidrag, faste bidrag og forbrugerbidrag. Dette er illustreret på Tabel 12.

Engangsbetalinger	<b>Tilslutningsbidrag</b>	Investeringsbidrag
		Stikledningsbidrag
		Evt. Byggemodningsbidrag
Løbende betalinger	<b>Faste bidrag</b>	Abonnementsbidrag
		Effektbidrag
	<b>Forbrugerbidrag</b>	Målt i: kWh, MWn, GJ, m <sup>3</sup>

Tabel 12 - Beskrivelse af tarifordningen (Aastrup B. et al. 2001)

### Tilslutningsbidrag

Tilslutningsbidraget er en engangsbetaling, som forbrugeren betaler ved første tilslutning til fjernvarmeanlægget. Formålet med dette bidrag er at skaffe en kapital til at dække en del af værkets engangsomkostninger.

Dette bidrag indeholder et *Investeringsbidrag*, som dækker over investeringer i bl.a. produktionsanlæg, varmeveksler-, pumpe-, trykreguleringsstationer m.v., samt hovedhaner, måler og værkets eventuelle andel af husindføring og tilslutningsarrangement. Tilslutningsbidraget varierer meget fra værk til værk alt afhængigt af værket størrelse og produktionsform.

Tilslutningsbidraget indeholder også et *Stikledningsbidrag*, som dækker over omkostningerne forbundet med etablering af stikledningen på privat grund. Det er forskelligt fra værk til værk, hvordan stikledningsbidraget afregnes. Nogle værker benytter en standard gennemsnitlig stikledningslængde på eksempelvis 10-15 m, dvs., at der betales stikledningsbidrag på basis af denne længde uanset den faktiske længde, mens andre værker opkræver et standardiseret beløb for tilslutning, som dækker over både investerings- og stikledningsbidrag.

Sidst men ikke mindst kan værker i nogle tilfælde opkræve et *Byggemodningsbidrag*, som helt eller delvist dækker værkets omkostninger til etablering af gadeledninger i nye udstykningsområder. Ved udtrykket "gadeledning" menes hovedledningerne i det pågældende område. Formålet med byggemodningsbidraget er, at varmemodtagerne i udstykningsområderne ikke økonomisk belaster det

Øvrige forsyningsområdes forbrugere, hvilket tilgodeser princippet om at ingen forbrugere opnår økonomiske fordele på andre forbrugeres bekostning. (Aastrup B. et al. 2001)

### **Faste bidrag**

Det faste bidrag opdeles oftest i et *Abonnementsbidrag* og et *Effektbidrag*. *Abonnementsbidraget* dækker den del af værkets faste omkostninger, der er uafhængige af de tilsluttede anlægs størrelser. Det kunne eksempelvis være

- andel af løn, pension og kørsel for medarbejderne
- vedligeholdelse af målere
- andel af drift, værktøj og biler (forbrugerservice)
- andel af forsikring
- administration

*Effektbidraget* dækker i princippet værkets resterende faste omkostninger, der er uafhængige af de tilsluttede anlægs størrelser. Dvs. at effektbidraget varierer i forhold til størrelsen af den enkelte ejendom/varmeinstallation. (Aastrup B. et al. 2001) Omkostningerne dækker eksempelvis over

- andel af brændsel m.v.
- andel af løn, pension og kørsel
- vedligeholdelse af produktionsanlægget
- vedligeholdelse af ledningsnettet
- andel af drift, værktøj og biler
- andel af forsikring og skat
- kapitalomkostninger
- afskrivninger og henlæggelser

### **Forbrugerbidrag**

Forbrugerbidraget dækker de forbrugsafhængige omkostninger, og er dermed en løbende betaling, der sker årligt på baggrund af det målte forbrug for den enkelte forbruger. Det kunne eksempelvis være omkostninger til brændsel, køb af varme, el, vand og kemikalier, offentlige afgifter samt PSO-omkostninger. (Aastrup B. et al. 2001)

### **Motivationstariffer**

Værkerne kan indføre såkaldte *Motivationstariffer* for at motivere forbrugerne, i form af prisbesparelsen, i et ønske om eksempelvis, at:

- forbedre afkølingen af fjernvarmevandet
- reducere fremløbstemperaturen
- reducere den maksimale belastning
- reducere morgenspidslasten

Dette speciale har fokus på at reducere især fremløbstemperaturen, da dette, som beskrevet tidligere, har en række økonomiske fordele. I dag eksisterer der i mange værkers tarifordning det, man kalder for en *Afkølingstarif*. Afkølingstariffen har til formål at tilskynde forbrugere med energifregning til at afkøle fjernvarmevandet mest muligt af hensyn til energiøkonomien i værket (Aastrup B. et al. 2001).

Det er på baggrund af denne tarifordning, at alle fjervarmeselskaber fastsætter deres fjernvarmetakster. Fjernvarmetaksterne for RKF, som ligger til grunde for de forbrugerøkonomiske beregninger for Irmabyen, er listet i kapitel 3.

Formålet med de forbrugerøkonomiske beregninger er, at beregne de omkostninger forbrugerne i Irmabyen kan forvente at have ved henholdsvis traditionel FV, LTFV og ULTFV. Som nævnt i kapitel 4.1 skal forbrugerne ved implementeringen af ULTFV i området have en microboosterunit, der kan booste varmtvandsproduktionen op til 50 °C. Den valgte unit fra Danfoss har en enhedspris på 40.000 kr., hvilket er ca. en firedobling af prisen i forhold til en traditionel FV unit. Den mest almindelige unit, som benyttes til både traditionelle FV- og LTFV områder, er ifølge (Henry Juul Nielsen 6/4/2015) Akva Les II TD, som er en fuldisoleret komplet unit for varme og varmt vand til direkte anlæg i forsyningsområder med en fremløbstemperatur på 50-70 °C (Danfoss Radan A/S 2015). Det er af (Henry Juul Nielsen 6/4/2015) vurderet, at denne unit også vil kunne benyttes ved traditionel FV med en fremløbstemperatur på 80 °C. Prisen for denne unit er 9.100 kr. (BilligVVS.dk 2015).

Enhedspriserne for de enkelte units vil for etageboliger højst sandsynligt være billigere end nævnt ovenfor, men idet microboosterunitten fra Danfoss endnu ikke er blevet udviklet til etageboliger, og det derfor ikke er muligt at finde en pris herfor, antages det, for at kunne sammenligne ULTFV med LTFV og traditionel FV, at hver boligenhed skal have en unit.

Drift- og vedligeholdelsesomkostningerne for den enkelte husstand bygger på Energistyrelsens teknologikatalog og er fastsat til 1119 kr./unit/år (COWI, TI, DGC 2013).

Alle priser for forbrugerne er afregnet efter "private" priser, hvilket inkluderer 25 % i moms, idet det på forhånd ikke vides, hvor mange enheder der er erhverv. Så trods det at der igennem lokalplanen er oplyst hvor mange m<sup>2</sup> erhverv, der forventes i de forskellige områder, vælges det grundet de manglende oplysninger om antal erhvervsenheder at beregne alle enheder, som var det private. Dette gøres for at give et bedre sammenligningsgrundlag for hele projektet.

Den krævede forbrugerinvestering for hvert af de undersøgte alternativer spredes ud som en ydelse over en årrække, således at der betales det samme beløb hvert år. Renten for sådan en finansiering afhænger af hvilket slags lån der optages og over en hvor lang periode lånet optages. Finansieringen af forbrugerinvesteringen antages i dette projekt, at blive optaget som et almindeligt boliglån. Boliglånsrenten svinger meget afhængigt af hvad for nogle lånebetingelser der fastsættes. Ved Sydbank svinger boliglånsrenten eksempelvis fra 1,40 – 10 % (Sydbank 2015). Den anvendte rentesats for analysen for de forbrugerøkonomiske investeringer for Irmabyen fastsættes til 4 %, og lånet antages optaget over en 30 års periode.

## 5. Analyse og resultater

I dette kapitel præsenteres alle resultater, som ligger til grund for analysen, som er udført i dette speciale. I forlængelse af dette analyseres resultaterne, og der vil blive vist alternative løsninger og blive udført følsomhedsberegninger. Kapitlet følger ligesom kapitel 3 trinene for Choice Awareness fra kapitel 2.

Alle udregninger for projektet er som nævnt i kapitel 2 udført i Excel. Excelarket for beregninger til dette projekt ligger som bilag E.

### 5.1. Tekniske alternativer

Som beskrevet i kapitel 3 vurderes det på baggrund af en række kilder, at fjernvarme er fuldt konkurrencedygtigt med varmepumper, naturgas osv., hvorfor der i projektet ikke sammenlignes med andre varmeteknologier. Formålet er derved at sammenligne traditionel fjernvarme, LTFV og ULTFV, og dermed i sidste ende at finde ud af, hvilken af disse der er mest rentable og har flest fordele samt hvilke barrierer der er for implementeringen af disse.

Dette afsnit præsenterer primært de resultater for det tekniske grundlag, der er nødvendige for efterfølgende analyser.

#### 5.1.1. Varmebehov og tilslutningseffekt

Med udgangspunkt i Irmabyen er der, som beskrevet i afsnit 3.1, estimeret et varmebehov for hvert delområde i Irmabyen ud fra erfaringsmæssige data i Varme Ståbi. De estimerede varmebehov hvor hvert delområde ses i Tabel 13 sammen med den dimensionerende tilslutningseffekt for hvert område.

Delområde	Opvarmet areal [m <sup>2</sup> ] fra lokalplan	Ca. antal boliger	Estimeret årligt varmebehov [MWh]	Dimensionerende tilslutningseffekt [kW]
1	16.930	125	1.829	656
2	2.000	8	80	31
3	9.000	100	846	304
4	2.400	16	226	84
5	2.400	15	96	35
6	13.600	140	1.278	458
7	5.100	55	479	173
8	8.400	90	790	284
9	8.000	85	752	270

10	7.200	76	677	243
11	11.170	115	1.050	377
12	8.900	95	837	300
13	2.250	15	212	79
14	1.700	21	180	67
16	2.400	16	226	84
17	1.510	13	160	60
18	3.130	27	332	122
19	2.600	15	276	103
20	5.130	53	482	174
21	1.991	1	277	159
24	700	6	74	29
<b>Samlet</b>	<b>116.511</b>	<b>1.087</b>	<b>11.157</b>	<b>4.090</b>

Tabel 13 - Estimeret varmebehov og dimensionerende tilslutningseffekt for Irmabyen

Boligerne i Irmabyen er udlagt som lavenergiklasse 2015 og bør i princippet derfor ikke overskride energirammen på 3.496 MWh årligt. Som det ses i Tabel 14, er der dog en beregnet overskridelse af energirammen på 319 %. Dette kan skyldes, at det beregnede varmebehov for Irmabyen bygger på Varme Ståbi's antagelser om et forventet varmemeforbrug for forskellige bygningskategorier. Disse data bygger på erfaringsmæssige data for bygningers målte varmemeforbrug op til dags dato. Da det i Varme Ståbi kun er oplyst, hvad årsvarmebehovet er for parcelhuse indenfor lavenergiklasse 2015 (LE2015), har det været nødvendigt at benytte data for etageboliger og kontorer, der kun er kategoriseret som *nyere* boliger, hvilket i princippet også kan indeholde boliger, der ikke er af klasse LE2015 og dermed har et højere forbrug. Det kan derfor argumenteres for at anvendte data for beregning af varmebehovet og dermed den dimensionerende tilslutningseffekt er sat for højt.

Nøgletal	
Energiramme for klasse LE2015 [kWh/m <sup>2</sup> ]	(30+1000/A)
<b>Varmebehov pr. meter rør [MWh/m] (Forbrugertæthed)</b>	<b>7,3</b>
Varmebehov pr. m <sup>2</sup> opvarmet boligareal [kWh/m <sup>2</sup> ]	95,8
Beregnete varmebehov ifht. energirammen [MWh]	3.496
Beregnete reelle varmebehov [MWh]	11.157
<b>Procentmæssig afvigelse i energiramme og beregnede varmebehov</b>	<b>319 %</b>

Tabel 14 - Nøgletal for Irmabyen

Som det ses i tabel XX er der også beregnet hvor stort et varmebehov der er pr. meter rør. Dette giver også et udtryk for forbrugertætheden, og er beregnet ud fra den samlede længde rør som fastsættes i næste afsnit.

### 5.1.2. Rørdimensioner

Når der skal bestemmes, hvilke rørdimensioner et udlagt fjernvarmenet skal have, er det som beskrevet i afsnit 4.1 især hvilke frem- og returtemperaturer samt forskellen mellem disse ( $\Delta T$ ) og vandhastigheden inde i rørene, der har betydning for, hvor store rørene skal være. Jo hurtigere vandhastigheden er i rørene, des mere varme kan der komme igennem rørene, som betyder, at der i sidste ende kan vælges mindre rørdimensioner. Derfor er der som udgangspunkt både undersøgt rørsammensætningen for et system med et tryktab på 100 Pa/m og 200 Pa/m. Med udgangspunkt i COWI's layout for rørnettet i Irmabyen og de beregnede effektoverførsler, er det i Tabel 15, vist hvor mange meter rør der er nødvendige af hver rørtype for henholdsvis et fjernvarmesystem, der benytter traditionelle systemtemperaturer (Trad. FV) samt et LTFV- og ULTFV-system. Som tidligere nævnt har især  $\Delta T$  (forskellen mellem frem- og returtemperaturen i rørnettet) en stor betydning for, hvor store rørdimensioner der er nødvendige til et pågældende system. Jo mindre  $\Delta T$  er, dvs., jo dårligere afkøling der er, jo større rørdimensioner er nødvendige. Dette er bl.a. en af grundene til, at nogle fjernvarmeselskaber vælger at belønne kunder, der har en god afkøling i deres fjernvarmevand. Som det se i Tabel 15, har LTFV og ULTFV brug for samme rørdimensioner, hvilket skyldes, at de trods de forskellige frem- og returtemperaturer har samme afkøling ( $\Delta T$ ). Som det beskrives i næste afsnit, er store rørtypen dyrere end mindre rørtypen, hvorfor man umiddelbart skulle tro, at LTFV og ULTFV dermed bliver dyrere end traditionel FV, da disse har brug for større rør, men som det beskrives i afsnit 5.1.4 er dette ikke altid tilfældet.

Rørtype	Tryktab på 100 Pa/m		Tryktab på 200 Pa/m	
	Samlet længde Trad. FV	Samlet længde LTFV og ULTFV	Samlet længde Trad. FV	Samlet længde LTFV og ULTFV
DN20	0	0	99	0
DN25	99	0	175	77
DN32	271	99	117	109
DN40	21	175	104	184
DN50	178	117	196	96
DN65	252	178	251	226
DN80	121	226	109	130
DN100	200	147	150	230
DN125	59	155	235	150
DN150	324	104	89	171
DN200	0	324	0	153
<b>Samlet</b>	<b>1523</b>	<b>1523</b>	<b>1523</b>	<b>1523</b>

Tabel 15 - Samlet længde af rørtypen

### 5.1.3. Anlægsomkostninger

Som nævnt i afsnit 3.1 bygger anlægspriser, der er fastsat i dette projekt, på erfaringspriser for et projekt i Birkerød. Priserne, som er beregnet for et layout for rørr nettet i Irmabyen, ses i Tabel 16. Som det tidligere er beskrevet, har et rørs isoleringstykkelse/isoleringsgrad stor indflydelse på rørets pris, hvorfor der også er beregnet, hvad et LTFV- og ULTFV-system vil koste, hvis der i stedet for serie 2 rør, som normalt benyttes, bruges serie 1 rør. Som det ses i Tabel 16 er et LTFV-og ULTFV-system, der benytter serie 1 rør, næsten lige så billig som traditionel fjernvarme. Ulempen ved at benytte serie 1 rør er dog, at varmetabet her også vil blive større, end hvis man benytter serie 2 rør, og dette varmetab har en negativ omkostning. Derfor vil der i næste afsnit først blive beregnet, hvor stort varmetabet i rørsystemet for Irmabyen er, og dernæst hvad dette varmetab koster.

Rørtype	Tryktab på 100 Pa/m			Tryktab på 200 Pa/m		
	Trad. FV	LTFV og ULTFV m. serie 2 rør	LTFV og ULTFV m. serie 1 rør	Trad. FV	LTFV og ULTFV m. serie 2 rør	LTFV og ULTFV m. serie 1 rør
DN20	-	-	-	137.900	-	-
DN25	157.600	-	-	280.000	122.400	106.433
DN32	513.950	187.150	162.736	221.350	207.100	180.084
DN40	39.900	332.500	289.125	197.600	348.650	303.169
DN50	391.600	256.300	222.866	431.200	210.100	182.693
DN65	655.200	462.800	402.428	651.300	586.300	509.818
DN80	349.450	655.400	569.904	316.100	377.000	327.821
DN100	720.000	527.400	458.601	540.000	826.200	718.423
DN125	253.700	666.500	579.556	1.010.500	645.000	560.861
DN150	1.746.900	561.600	488.340	477.900	920.700	800.596
DN200	-	2.070.400	1.800.319	-	979.200	851.465
<b>Samlet [kr.]</b>	<b>4.828.300</b>	<b>5.720.050</b>	<b>4.973.878</b>	<b>4.263.850</b>	<b>5.222.650</b>	<b>4.541.363</b>

Tabel 16 - Samlet anlægsomkostninger for projektet (alle priser er i kr.)

### 5.1.4. Varmetab og dets værdi

Som nævnt i afsnit 3.1 er varmetabsberegningerne for rørsystemet i Irmabyen beregnet igennem LOGSTOR CALCULATOR. De enkelte varmetabsberegninger ses i bilag A. Tabel 17 og Tabel 18 viser henholdsvis det samlede varmetab og værdien af dette varmetab for et system med et tryktab på 100 Pa/m og 200 Pa/m.



Rørtype	Tryktab på 100 Pa/m			
	Trad. FV	LTFV	ULTFV m. serie 2 rør	ULTFV m. serie 1 rør
Samlet varmetab [MWh/år]	164,55	116,92	81,05	103,32
Samlet varmetab [GJ/år]	592,38	420,912	291,78	371,952
<b>Værdi af varmetabet [kr./år]</b>	<b>kr. 54.635</b>	<b>kr. 38.821</b>	<b>kr. 26.911</b>	<b>kr. 34.305</b>
Procentmæssigt varmetab i nettet i fht. det totale varmebehov	1,47 %	1,05 %	0,73 %	0,93 %
Varmetab pr. km [MWh/km]	108,04	76,77	53,22	67,84

Tabel 17 - Varmetabsberegninger for et system med et tryktab på 100 Pa/m

Rørtype	Tryktab på 200 Pa/m			
	Trad. FV	LTFV	ULTFV m. serie 2 rør	ULTFV m. serie 1 rør
Samlet varmetab [MWh/år]	154,31	105,53	71,54	90,60
Samlet varmetab [GJ/år]	555,516	379,908	257,544	326,16
<b>Værdi af varmetabet [kr./år]</b>	<b>kr. 48.871</b>	<b>kr. 35.039</b>	<b>kr. 23.753</b>	<b>kr. 30.082</b>
Procentmæssigt varmetab i nettet i fht. det totale varmebehov	1,38 %	0,95 %	0,64 %	0,81 %
Varmetab pr. km [MWh/km]	101,32	69,29	46,97	59,49

Tabel 18 - Varmetabsberegninger for et system med et tryktab på 200 Pa/m

Selve værdien af varmetabet er beregnet ud fra den gennemsnitlige varmeproduktionspris for RKF, som forsyner Irmabyen med varme. Denne produktionspris er som nævnt i kapitel 3.4 92,23 kr./GJ, altså ca. 332 kr./MWh.

For at en udstykning af et fjernvarmeområde kan blive rentabelt, skal anlægsomkostningerne, der er forbundet med en udstykningen, kunne dækkes af besparelser der findes i varmetabet. Dette uddybes videre i afsnit 5.2.

Ses der på det procentmæssige varmetab i nettet i forhold til det totale varmebehov, synes disse resultater umiddelbart at virke meget lave. Sammenlignes forbrugertætheden og det procentmæssige varmetab i nettet med Dansk Fjernvarmes Benchmarkingstatistik for 2013/2014 (Tabel 19), ses det, at varmetabet er ca. 6-7 gange så lavt sammenlignet med eksempelvis fjernvarmecentralen Avedøre Holme, som har en forbrugertæthed på ca. det samme som Irmabyen. Dette kan skyldes, at der altid vil være en forskel på beregnede værdier for varmetab og de reelle varmtab i nettet, når systemet kommer i brug. Der vil altid være utætheder, som ikke kan medregnes rent teoretisk. Derudover vil et nyere rør være mere effektivt end et gammelt.

Sammenlignes det procentmæssige varmetab for Irmabyen med gennemsnittet for alle fjernvarmeselskaber i Danmark, ses det i Tabel 19, at der for ULTFV i Irmabyen kun er 0,64 %, mens det for hele Danmark er 24 %. Grunden herfor er primært, at Irmabyen har en langt større forbrugertæthed end gennemsnittet for alle værkerne Danmark.

Varmeværk	Forbrugertæthed [MWh/meter]	Varmetab pr. km	Procentmæssigt varmetab
Irmabyen (Trad. FV 100 Pa/m)	7,33	46,97	0,64 %
Gennemsnit for alle FV-værker i DK	2,4	194	24 %
RKF	4,5	161	5 %
HOFOR Fjernvarme	8,4	479	13 %
Glostrup Forsyning	5,0	299	8 %
Fjernvarmecentralen Avedøre Holme	8,0	767	16 %

Tabel 19 - Forbrugertæthed og varmetab for udvalgte fjernvarmeselskaber i Danmark (Dansk Fjernvarme 2013/2014)

På baggrund af ovennævnte vurderes det, at varmetabet i distributionsnettet i Irmabyen vil have et større varmetab, når nettet bliver udlagt. Grundet et ca. 6 gange så højt varmetab i andre områder med ca. samme forbrugertæthed som Irmabyen, beregnes der et korrigeret varmetab, som benytter en faktor 6. Et større varmetab vil, som det ses i Tabel 20 også give en større omkostning for varmetabet.

	Tryktab på 100 Pa/m				Tryktab på 200 Pa/m			
	Trad. FV	LTFV	ULTFV m. serie 2	ULTFV m. serie 1	Trad. FV	LTFV	ULTFV m. serie 2	ULTFV m. serie 1
Korrigeret varmetab i procent	8,85 %	6,29 %	4,36 %	5,56 %	8,30 %	5,68 %	3,85 %	4,87 %
Korrigeret samlet varmetab [MWh/år]	987	702	486	620	926	633	429	544
Korrigeret værdi for varmetabet [kr.]	327.811	232.924	161.465	205.831	293.227	210.233	142.520	180.490

Tabel 20 - Korrigeret varmetab og varmetabsværdi efter en faktor 6

Det at have et større varmetab og dermed også en større varmetabsværdi, kan have stor indvirkning på et fjernvarmeprojekts rentabilitet, som det skal vise sig i afsnit 5.2.

### 5.1.5. Opsamling

Gennem dette afsnit er de tekniske alternativer for varmforsyningen i Irmabyen bestemt. Som nævnt er det på baggrund af en række kilder på forhånd konkluderet, at fjernvarme er fuldt konkurrencedygtigt med varmepumper, naturgas osv. De identificerede tekniske alternativer for Irmabyen er derved de mulige tekniske alternativer indenfor fjernvarme, som derved er traditionel FV, LTFV og ULTFV. Indenfor denne afgrænsning, er det også muligt at designe fjernvarmenettet ud fra forskellige tryktab, hvorfor rørdimensionerne for helholdsvis et tryktab på 100 Pa/m og 200 Pa/m er undersøgt. Her viste det sig, som forventet, at man ved et højere tryktab kan opnå mindre rørdimensioner. Disse rørdimensioner har særlig stor betydning for anlægsomkostninger for projektet, idet store rør er dyrere end små rør. Grundet dette viste det sig, i stik med forventningerne, også at anlægsomkostningerne for LTFV og ULTFV var større end

for traditionel FV. Et andet teknisk alternativ for fjernvarme er at benytte mindre isolering i rørene, hvilket gør dem billigere, men også giver dem et større varmetab til omgivelserne. Det tekniske alternativ; at vælge rør af isoleringsgrad serie 1 fremfor den normale serie 2, blev derfor påført beregningerne, og det viste sig som forventet at anlægsomkostningerne var mindre, men dog stadig større end traditionel FV. I sammenspil med dette, viste det sig også, som forventet, at varmetabet for serie 1 rør var større end ved serie 2 rør, og at varmetabet ved ULTFV var også mindre end ved LTFV og dette mindre end traditionel FV. Det beregnede varmetab for området forventes at være større, da der altid vil være utætheder, som der ikke kan tages højde for i beregninger, hvorfor der blev beregnet et korrigeret varmetab ud fra Dansk Fjernvarmes Benchmarkingstatistik. Det korrigerede varmetab gav, i modsætning til det beregnede, et procentmæssigt varmetab på 1,47 %, et procentmæssigt varmetab på 8,85 % for traditionel FV ved 100 Pa/m. Dette stemmer godt overens med varmetab for områder med ca. samme forbrugertæthed. Dette er dog stadig et meget lavt varmetab i sammenligning med gennemsnittet for alle Danmarks fjernvarmeselskaber, som har et procentmæssigt varmetab på 24 %, hvilket dog hovedsageligt skyldes den lavere forbrugertæthed.

## 5.2. Rentabilitets studier

Som nævnt i kapitel 3, er rentabilitetsstudierne for dette projekt opdelt i henholdsvis samfunds-, selskabs- og forbrugerøkonomi, hvorfor dette kapitel også er opdelt indenfor disse kategorier.

### 5.2.1. Samfundsøkonomi

Som beskrevet i afsnit 4.2.1 beregnes og benyttes den samfundsøkonomiske brændselspris fremfor den listede produktionspris for fjernvarme fra RKF. På baggrund af de listede samfundsøkonomiske brændselspriser i afsnit 4.2.1 og de oplyste brændselssammensætning i afsnit 3.4, er den samfundsøkonomiske brændselspris beregnet til 27,67 kr./GJ (Tabel 21) i sammenligning med produktionsprisen på 92,23 kr./GJ. Denne store forskel skyldes primært at brændselssammensætningen består af 38 % affald, som i samfundsøkonomiske analyser anses for at være "gratis" varme.

Brændsler	Forbrug af brændsler[kg/GJ]	Procentmæssig opgørelse	Samfundsøkonomisk varmepris for brændselssammensætningen [kr./GJ]
Kul	5	16 %	3,28
Fuelolie	0	0 %	0,00
Gasolie	0	0 %	0,00
Naturgas	2	6 %	4,24
Træpiller	12	38 %	18,87
Halm	1	3 %	1,28
Biolie	0	0 %	0,00
Affald	12	38 %	0,00
<b>Sum</b>		<b>100 %</b>	<b>27,67</b>

Tabel 21 - Den samfundsøkonomiske brændselspris for fjernvarme fra RKF

På dette grundlag, samt på baggrund af det beregnede varmebehov for Irmabyen, er det nu muligt at beregne den samfundsøkonomiske brændselsomkostning for Irmabyen. Det skal bemærkes, at det samlede varmebehov for området også inkluderer det beregnede varmetab, da varmetabet også anses for at være en "kunde", der aftager varme, og derfor skal medregnes i det endelige varmebehov for området. De beregnede brændselsomkostninger, investeringsomkostninger og drift- og vedligeholdelsesomkostninger for Irmabyen er listet i Tabel 22. Alle disse resultater bygger på nævnte forudsætninger i afsnit 4.2.1.

	Trad. FV	LTFV	ULTFV m. serie 2	ULTFV m. serie 1
Investeringsomkostninger [kr.]	81.298.750	82.190.500	115.778.800	115.032.628
Brændselsomkostninger [kr./år]	1.127.824	1.123.080	1.119.506	1.121.725
Drift og Vedligehold [kr./år]	1.216.627	1.519.132	1.518.169	1.518.767

Tabel 22 - Samfundsøkonomiske omkostninger for Irmabyen.

Ved en afskrivningsperiode på 20 år vil alle ovennævnte omkostninger inklusiv miljøomkostningerne for Irmabyen, på baggrund af nævnte forudsætninger i afsnit 4.2.1, være som vist i Tabel 23.

	Trad. FV	LTFV	ULTFV m. serie 2	ULTFV m. serie 1
Investeringsomkostninger [kr.]	68.930.854	69.686.943	98.165.489	97.532.831
Brændselsomkostninger [kr.]	15.847.241	15.632.317	15.214.456	15.570.949
Drift og Vedligehold [kr.]	16.534.353	20.645.506	20.632.414	20.640.542
CO2 [kr.]	1.683.327	1.676.035	1.670.912	1.674.223
SO2 [kr.]	59.824	59.572	59.382	59.500
Nox [kr.]	489.667	487.607	486.055	487.019
PM 2,5 [kr.]	40.990	40.818	40.688	40.769
<b>Samlede omkostninger efter år 20 [kr.]</b>	<b>103.586.256</b>	<b>108.228.797</b>	<b>122.305.400</b>	<b>121.785.833</b>

Tabel 23 - Samfundsøkonomiske omkostninger for Irmabyen ved en afskrivning på 20 år.

Ud fra dette ses det, at der på baggrund af de forudsætninger, der er opstillet for dette projekt, ikke ligger noget samfundsøkonomiske rationale i at vælge hverken LTFV eller ULTFV frem for traditionel FV (TDFV). I sammenspil med Energistyrelsens vejledning til samfundsøkonomiske analyser (Energistyrelsen (d) 2005), undersøges det om en ændret kalkulationsrente har nogen indvirkning på resultaterne. Resultaterne herfor ses i Tabel 24.

Rentesats		Trad. FV	LTFV	ULTFV m. serie 2	ULTFV m. serie 1
6 %	Omkostning	101.578.486	105.784.935	135.824.556	135.191.860
	Forskel fra TDFV		-4.206.450	-34.246.071	-33.613.374
4 %	<b>Omkostning</b>	<b>103.066.514</b>	<b>107.859.497</b>	<b>136.269.398</b>	<b>135.679.490</b>
	<b>Forskel fra TDFV</b>		<b>-4.792.984</b>	<b>-33.202.884</b>	<b>-32.612.976</b>
2 %	Omkostning	104.256.891	109.805.138	135.775.795	135.248.687
	Forskel fra TDFV		-5.548.247	-31.518.903	-30.991.795
0 %	Omkostning	104.750.134	111.284.151	133.574.319	133.140.404
	Forskel fra TDFV		-6.534.017	-28.824.185	-28.390.271

Tabel 24 - Ændret kalkulationsrente for de samlede samfundsøkonomiske omkostninger for Irmabyen ved en afskrivning på 20 år.

Som det ses, ændrer hverken en højere eller lavere rentesats på det faktum at traditionel FV er det bedste samfundsøkonomiske valg af varmeteknologi for Irmabyen. Det ses dog at forskellen mellem den dyreste løsning, ULTFV med serie 2 rør og traditionel FV, bliver lavere end ved den næstbedste løsning LTFV, hvis rentesatsen bliver lavere, og større hvis rentesatsen bliver større. Hvilket giver god mening idet rentes rente af et stort beløb forårsager en større difference. Trods dette vil en rentesats på 0 % ikke gøre hverken ULTFV eller LTFV mere fordelagtigt end traditionel FV. Dette skyldes primært som det også ses i Tabel 22, at både de lavere brændselsomkostninger og miljøomkostninger for LTFV og ULTFV end for traditionel FV, ikke kan opveje for de langt større investeringsomkostninger og drift- og vedligeholdelsesomkostninger som LTFV og ULTFV har. Den dyreste løsning af dem alle er, med en forskel fra traditionel FV på -33.202.884 kr., ULTFV (se Tabel 24). Den primære grund til dette er den meget store forbrugerinvestering som er inkluderet i investeringsomkostningerne. Dette skyldes den dyre microboosterunit til 40.000 kr./unit i sammenligning med den unit, der benyttes til både traditionel FV og LTFV til kun 9.100 kr./unit. Forbrugeromkostninger uddybes nærmere i afsnit 5.2.3.

Ændres forbrugeromkostningerne for ULTFV til det samme som for LTFV og traditionel FV, ses det i Tabel 25, at end ikke dette kan medvirke til, at det er samfundsøkonomisk rentabelt at vælge ULTFV frem for hverken traditionel FV eller LTFV. Dette skyldes de stadig større omkostninger for drift og vedligehold.

	Trad. FV	LTFV	ULTFV m. serie 2	ULTFV m. serie 1
Investeringsomkostninger for ens forbrugerinvestering [kr.]	72.848.972	73.648.038	73.648.038	72.979.419
Samlede samfundsøkonomiske omkostninger [kr.]	101.578.486	105.784.935	105.727.253	105.094.557
Forskel fra traditionel FV [kr.]		-4.206.450	-4.148.768	-3.516.071

Tabel 25 - Samfundsøkonomiske omkostninger ved ændret forbrugeromkostning for ULTFV over en afskrivningsperiode på 20 år.

Som det ses i Tabel 25, vil en ændring i forbrugeromkostninger for ULTFV også stadig gøre det mere samfundsøkonomisk rentabelt at vælge ULTFV med serie 1 rør end med serie 2 rør. Dette skyldes at anlægsomkostningerne for ULTFV med serie 1 rør er lavere, end hvis der benyttes serie 2 rør. Dette uddybes nærmere i den selskabsøkonomiske analyse i afsnit 5.2.2.

Ændres der derimod på de samlede investeringsomkostninger, altså både forbruger- og anlægsomkostningerne, ses det i Tabel 26, at det først er ved en ændring i de samlede investeringsomkostninger på 94 % af den oprindelige pris, at LTFV bliver mere samfundsøkonomisk rentabelt end traditionel FV. Ved en ændring af de samlede investeringsomkostninger på 66-67 % bliver også ULTFV samfundsøkonomisk rentabelt i forhold til traditionel FV.

	Procentsats af oprindelige investeringsomkostninger	Investeringsomkostning ved givet procentsats [kr.]	Samlet samfundsøkonomiske omkostninger ved givet procentsats [kr.]	Forskel fra traditionel FV [kr.]
Traditionel FV	100 %	68.930.854	103.586.256	0
LTFV	94 %	69.229.156	101.366.053	+212.433
ULTFV m. serie 2	66 %	68.030.637	100.551.141	+1.027.345
ULTFV m. serie 1	67 %	69.061.404	101.176.542	+401.944

Tabel 26 - Samfundsøkonomisk rentabilitet ved ændret procentsats af samlede investeringsomkostninger

Det er som nævnt tidligere ved brændselsomkostningerne både LTFV og ULTFV, at man kan opnå besparelser i forhold til traditionel FV. Besparelserne på brændselsomkostninger opnås igennem et lavere varmetab. Som beskrevet i afsnit 5.1.4 forventes det, at varmetabet kan være op til ca. 6 gange så højt som det beregnede. Derfor undersøges det også, hvordan det beregnede korrigerede varmetab påvirker den samfundsøkonomiske rentabilitet for projektet. Resultaterne for dette ses i Tabel 27.

	Trad. FV	LTFV	ULTFV m. serie 2	ULTFV m. serie 1
<b>Omkostning ved beregnet VT</b>	103.066.514	107.859.497	136.269.398	135.679.490
<b>Forskel ved 4 % rente</b>		-4.792.984	-33.202.884	-32.612.976
<b>Omkostning ved korrigeret VT</b>	102.518.542	106.452.886	136.287.586	135.782.116
<b>Forskel ved 4 % rente</b>		-3.934.345	-33.769.045	-33.263.574

Tabel 27 - Samfundsøkonomiske omkostninger ved ændret varmetab

Som det ses, har heller ikke dette en indvirkning på konklusionen, i forhold til at der ikke er et samfundsøkonomisk incitament for at etablere ULTFV i Irmabyen.

### 5.2.2. Selskabsøkonomi

Som forklaret i afsnit 4.2.2 omhandler en selskabsøkonomisk analyse virksomhedsomkostninger forbundet med et givet projekt. I denne case, omhandlende implementeringen af FV i Irmabyen, er virksomhedsomkostningerne forbundet med projektets anlægsomkostningerne for fjernvarmen. De selskabsøkonomiske resultater for Irmabyen lægger som forklaret i afsnit 5.2.1 dermed grundlag for en del af de samlede investeringsomkostninger for hele udbygningen.

På baggrund af resultaterne for anlægsomkostningerne og værdisætningen af varmetabene for Irmabyen, kan det undersøges, om der findes et selskabsøkonomisk rationale for at etablere ULTFV eller LTFV frem for traditionel FV. Det er som nævnt, det mindre varmetab for ULTFV og LTFV, der skaber en årlig besparelse i forhold til traditionel FV og dermed værdien af varmetabene, der skal kunne afdrage den meromkostning, der er for henholdsvis ULTFV og LTFV. Når LTFV og ULTFV med serie 2 rør ved et tryktab på 100 Pa/m sammenholdes med traditionel FV, vil meromkostningen for disse være 891.750 kr. i år. Dvs., at der i år nul er en negativ omkostning på -891.750. Denne meromkostning skal afbetales via en opnået årlig besparelse på 27.724 kr. for ULTFV med serie 2 rør og for LTFV på 15.814 kr. Forskellen i den opnåede besparelse skyldes at varmetabet for ULTFV er mindre end for LTFV. Tabel 28 viser alle resultater for de selskabsøkonomiske anlægsomkostninger for det beregnede varmetab for et tryktab på 100 Pa/m, mens Tabel 29 viser resultaterne for sammenligningen mellem henholdsvis ULTFV og LTFV for et tryktab på 200 Pa/m og traditionel FV ved et tryktab på 100 Pa/m.

	Trad. FV	LTFV	ULTFV m. serie 2	ULTFV m. serie 1
Anlægsomkostninger [kr.]	4.828.300	5.720.050	5.720.050	4.973.878
Afdrag [kr./år]	279.221	330.791	330.791	287.640
Varmetab [kr./år]	54.635	38.821	26.911	34.305
Samlet afdrag [kr./år]	333.856	369.612	357.702	321.945
<b>Sammenligning med TDFV efter afskrivning på 30 år</b>				
Besparelse [kr./år]		15.814	27.724	20.330
Krævede besparelse [kr./år]		51.570	51.570	8.419
Meromkostning for anlæg (år 0) [kr.]		-891.750	-891.750	-145.578
NPV [kr.]		-594.505	-393.481	198.049
Tilbagebetalingstid [år]		Fejl	Fejl	9

Tabel 28 - Selskabsøkonomi for anlægsomkostningerne for det beregnede varmetab for et tryktab på 100 Pa/m.

Som det ses i Tabel 28, er der en negativ nutidsværdi (NPV) for både ULTFV med serie 2 rør og LTFV efter en afskrivningsperiode på 30 år, hvilket vil sige, at de samlede årlige besparelser efter 30 år ikke har kunnet afdrage investeringen i år nul. Alle beregninger er lavet i Excel, og der er for tilbagebetalingstiden benyttet formlen "NPER". Resultaterne herfor giver en fejlmelding ved beregning af tilbagebetalingstiden for LTFV og ULTFV med serie 2 rør. Dette sker, da den årlige besparelse ikke engang kan dække de årlige renteomkostninger, der er forbundet med investeringen for det pågældende varmesystem.

Ud fra Tabel 28 kan det konkluderes, at der kun ligger et selskabsøkonomisk rationale for at anlægge ULTFV med serie 1 rør ud fra de starts-parametre, der oprindeligt var fastsat for udbygningen af fjernvarmenettet i Irmabyen. Foretages samme beregninger for ULTFV og LTFV med et tryktab på 200 Pa/m (Tabel 29), ses det, primært grundet en mindre anlægsomkostning, at ULTFV med serie 2 rør her også bliver selskabsøkonomisk rentabelt i forhold til traditionel FV med et tryktab på 100 Pa/m. Det ses derudover også, at ULTFV med serie 1 rør ved et tryktab på 200 Pa/m har en lavere investeringsomkostning end traditionel FV ved et tryktab på 100 Pa/m. Der opnås derved en samlet nutidsværdi-besparelse for ULTFV med serie 1 rør på 588.313 kr.

	Trad. FV	LTFV	ULTFV m. serie 2	ULTFV m. serie 1
Anlægsomkostninger [kr.]	4.263.850	5.222.650	5.222.650	4.541.363
Afdrag [kr./år]	246.579	302.026	302.026	262.627
Varmetab [kr./år]	48.871	35.039	23.753	30.082
Samlet afdrag [kr./år]	295.450	337.065	325.780	292.709
<b>Sammenligning med TDFV ved 100 Pa/m efter afskrivning på 30 år</b>				
Besparelse [kr./år]		13.832	25.118	18.789
Krævede besparelse [kr./år]		55.447	55.447	16.049
Meromkostning for anlæg (år 0) [kr.]		-394.350	-394.350	268.937
NPV [kr.]		-149.194	38.452	588.313
Tilbagebetalingstid [år]		Fejl	25	-12

Tabel 29 - Selskabsøkonomi for anlægsomkostningerne for det beregnede varmetab for et tryktab på 200 Pa/m i sammenhold med TDFV ved 100 Pa/m.

Som konkluderet i afsnit 5.1 forventes det, at der i det udlagte fjernvarmesystem vil være et højere varmetab end det beregnede. Derfor udføres de selskabsøkonomiske beregninger også for det korrigerede varmetab, der blev beregnet i afsnit 5.1.4. Resultaterne for disse beregninger ses i Tabel 30 og Tabel 31.

	Trad. FV	LTFV	ULTFV m. serie 2	ULTFV m. serie 1
Anlægsomkostninger [kr.]	4.828.300	5.720.050	5.720.050	4.973.878
Afdrag [kr./år]	279.221	330.791	330.791	287.640
Varmetab [kr./år]	327.811	232.924	161.465	205.831
Samlet afdrag [kr./år]	607.032	563.715	492.256	493.471
<b>Sammenligning med TDFV efter afskrivning på 30 år</b>				
Besparelse [kr./år]		94.887	166.346	121.980
Krævede besparelse [kr./år]		51.570	51.570	8.419
Meromkostning for anlæg (år 0) [kr.]		-871.750	-891.750	-145.578
NPV [kr.]		720.229	1.908.376	1.888.185
Tilbagebetalingstid [år]		12	6	1

Tabel 30 - Selskabsøkonomi for anlægsomkostningerne for det korrigerede varmetab for et tryktab på 100 Pa/m.



	Trad. FV	LTFV	ULTFV m. serie 2	ULTFV m. serie 1
Anlægsomkostninger [kr.]	4.263.850	5.222.650	5.222.650	4.541.363
Afdrag [kr./år]	246.579	302.026	302.026	262.627
Varmetab [kr./år]	293.227	210.233	142.520	180.490
Samlet afdrag [kr./år]	539.806	512.260	444.546	443.118
<b>Sammenligning med TDFV ved 100 Pa/m efter afskrivning på 30 år</b>				
Besparelse [kr./år]		82.994	150.708	112.737
Krævede besparelse [kr./år]		55.447	55.447	16.049
Meromkostning for anlæg (år 0) [kr.]		-394.350	-394.350	268.937
NPV [kr.]		1.000.750	2.126.624	5.150.371
Tilbagebetalingstid [år]		5	3	-2

Tabel 31 - Selskabsøkonomi for anlægsomkostningerne for det korrigerede varmetab for et tryktab på 200 Pa/m i sammenhold med TDFV ved 100 Pa/m

Det selskabsøkonomiske incitament for at etablere ULTFV og LTFV frem for traditionel FV bliver ved det forhøjede varmetab langt mere rentabelt, da der hvert år spares langt flere penge, da fjernvarmesystemet arbejder med langt større varmetabsforskelle. Jo større det procentmæssige varmetab er, jo større et selskabsøkonomisk incitament vil der være for at etablere ULTFV.

Trods den lavere isoleringsgrad i serie 1 rørene og dermed et større varmetab, kan det stadig betale sig at anlægge serie 1 rør frem for serie 2 rør, idet anlægsomkostningerne er langt lavere for serie 1 rørene.

### 5.2.3. Forbrugerøkonomi

Som forklaret i afsnit 4.2.3 omhandler den forbrugerøkonomiske analyse forbrugeromkostningerne forbundet med et givet projekt. I denne case, omhandlende implementeringen af FV i Irmabyen, er forbrugeromkostningerne forbundet med forbrugerinvesteringerne for units. De forbrugerøkonomiske resultater for Irmabyen danner, som forklaret i afsnit 5.2.1, dermed grundlag for en del af de samlede investeringsomkostninger for hele udbygningen.

Med udgangspunkt i de fastsatte forudsætninger er forbrugerinvesteringerne for hvert af de tekniske alternativer traditionel FV, LTFV og ULTFV fastsat. Den samlede forbrugerinvestering inkluderer også det tilslutningsbidrag, der er fastsat fra fjernvarmeselskabets side, som i Rødovre er 61.250 kr., hvormed de samlede forbrugerinvesteringer inklusiv både tilslutningsbidrag og investering i units for hele Irmabyen bliver som listet i Tabel 32.

Tekniske alternativ	Samlede forbrugerinvestering [kr.]	Årlig tilbagebetaling [kr./år]
Traditionel FV [kr.]	76.470.450	4.422.294
LTFV [kr.]	76.470.450	4.422.294
ULTFV [kr.]	110.058.750	6.364.708
Samlet meromkostning for ULTFV	33.588.300	1.942.415
Meromkostning efter 20 år		38.848.294

Tabel 32 - Samlede forbrugerinvesteringer inklusiv tilslutningsbidrag og investering i units for Irmabyen

Den større omkostning for ULTFV skyldes de større omkostninger forbundet med microboosterenheten. De forbrugeromkostninger, der forbindes med opkøb af varme, beregnes ud fra det fastsatte takstblad for Rødovre, som forsyner Irmabyen med varme. Dette takstblad indeholder som listet i kapitel 3.4 en incitamentstarif. Denne tarif indikerer hvor meget en kunde "straffes" ved at have en returtemperatur på mere end 47 °C. Denne tarif bliver derfor ikke relevant i beregningerne for de tekniske alternativer opsat for dette projekt, da returtemperaturen ved ingen af disse er over 47 °C. På baggrund af dette forudsættes det, at varmekøbet for de tre alternativer er det samme, idet boligerne i alle tre alternativer har det samme areal og varmebehov. De beregnede forbrugeromkostninger forbundet med det samlede varmekøb for Irmabyen ses i Tabel 33.

<b>Traditionel FV [kr./år]</b>	<b>12.126.571</b>
Fast andel	58 %
Variabel andel	29 %
<b>LTFV [kr./år]</b>	<b>12.126.571</b>
Fast andel	58 %
Variabel andel	29 %
<b>ULTFV [kr./år]</b>	<b>12.126.571</b>
Fast andel	58 %
Variabel andel	29 %

Tabel 33 - Omkostninger for det samlede varmekøb for Irmabyen

På baggrund af ovenstående, bliver de totale årlige omkostninger for de tre alternativer dermed som anvist i Tabel 34.

<b>Tekniske alternativ</b>	<b>Totale omkostninger</b>
Trad. FV [kr./år]	16.548.865
LTFV [kr./år]	16.548.865
ULTFV [kr./år]	18.491.280

Tabel 34 - Totale årlige omkostninger for de tre alternativer for Irmabyen

Grundet meromkostningen for fjernvarmeenheden for ULTFV kan det på baggrund af de fastsatte forudsætninger konkluderes, at der ikke er et forbrugerøkonomisk incitament for ULTFV i Irmabyen. For at det fra forbrugerens side kan betale sig at få ULTFV i det udvalgte caseområde, skal der tilføres et tilskud eller en tarif, der som minimum kan opveje for årlig meromkostning af fjernvarmeenheden på 1.942.415 kr./år. Dette kunne som sagt gøres i form af en incitamentstarif, som kunne fremme ULTFV frem for LTFV og traditionel FV. Besparelsen for forbrugerens større investeringspris vil altså komme til udtryk igennem en besparelse af den afregnede varmepris. Meromkostningen af forbrugerinvesteringerne vil på denne måde blive flyttet over på selskabsøkonomien frem for forbrugerøkonomien. For at kunne gøre dette kræver det dog, at der er en selskabsøkonomisk gevinst på mere end den samlede meromkostning efter 20 år på 38.848.294 kr. Som beskrevet i kapitel 5.2.2, ligger der det største selskabsøkonomiske rationale for implementeringen af ULTFV i Irmabyen, hvis rørrnettet udlægges ved et tryktab på 200 Pa/m, og det antages, at varmetabet er 6 gange højere end det beregnede. Her vil den maksimale besparelse/indtjening

ved ULTFV efter 20 år være 2.150.371 kr. Der vil derfor stadig mangle over 36 mio. kr. for at kunne udvikle en tarif, som udelukkende betales af besparelser fra et mindre varmetab, der vil kunne gøre ULTFV forbrugerøkonomisk rentabelt.

I Excel modellen er det gjort muligt at vælge 5 andre fjernvarmeselskaber, for derved at undersøge om rentabiliteten for forbrugerne vil have et andet udfald, hvis Irmabyen blev forsynet af et andet selskab med andre fjernvarmepris. De 5 fjernvarmeselskaber er valgt på baggrund af deres varmepris. Det ønskes at give et bredt billede af alle fjernvarmeselskaber i Danmark, hvorfor der både er valgt nogle af de dyreste og billigste FV selskaber. Resultaterne herfor præsenteres ikke i rapporten, da det på baggrund af de enkelte FV selskabers takster, grundet en manglende incitamentstarif, der fremmer ULTFV, kan konkluderes, at en skiftning af forsyningselskab stadig ikke vil kunne gøre ULTFV i Irmabyen forbrugerøkonomisk rentabelt.

Det er i dette tilfælde, hvor alt andet ikke kan lade sig gøre, at det ifølge *Choice Awareness* kan overvejes hvilke ændringer der kan laves, for at fremme udviklingen af ULTFV gennem tidskud ol., indenfor den offentlige regulering af fjernvarmemarkedet. Dette vil blive diskuteret i kapitel 6.

#### 5.2.4. Opsamling

Dette afsnit belyste det valgte caseområde Irmabyens rentabilitet indenfor henholdsvis samfunds-, selskabs- og forbrugerøkonomien.

Der blev igennem analysen ikke fundet noget samfundsøkonomisk rationale for at etablere hverken LTFV og ULTFV for caseområdet. Dette skyldes primært, at de besparelser, der opnås igennem brændsels- og miljøomkostninger for LTFV og ULTFV, ikke kan opveje for de langt større investeringsomkostninger samt drift- og vedligeholdelsesomkostninger, der er forbundet ved disse. Benyttes der i den samfundsøkonomiske analyse det forventede højere varmetab i stedet for det beregnede, vil dette medføre større besparelser indenfor brændselsomkostningerne. Heller ikke dette kan medvirke til at skabe et samfundsøkonomisk rationale i at anlægge hverken LTFV eller ULTFV i Irmabyen. Først ved en ændring af den samlede investeringspris (både forbruger- og anlægsomkostningerne) på 66-67 % af det oprindelige, vil der kunne opnås et samfundsøkonomisk rationale for at etablere ULTFV.

Den selskabsøkonomiske analyse fandt, at der for det beregnede varmetab, er et selskabsøkonomisk rationale for at etablere ULTFV og LTFV i Irmabyen, hvis disse anlægges for et rørsystem med 200 Pa/m. Som konkluderet igennem kapitel 5.1 er der en forventning til, at varmetabet for det anlagte rørsystem vil have et højere varmetab når dette kommer i brug. Dette "korrigerede" varmetab vil som vist igennem den selskabsøkonomiske analyse kun skabe et endnu større selskabsøkonomisk grundlag for at etablere ULTFV.

Der blev ikke fundet noget forbrugerøkonomisk ræsonnement for at vælge ULTFV. Dette skyldes to faktorer; for stor omkostning for fjernvarmeenheden for ULTFV og manglende motivationstariffer i FV selskabers takstsammensætning. Meromkostninger for forbrugerinstallationen (fjernvarmeenheden) for ULTFV er for høj til at kunne blive "betalt" af motivationstariffer, der kan fastsættes ud fra de besparelser der opnås pga. et mindre varmetab.

For at kunne gøre ULTFV rentabelt i forhold til både samfunds- og forbrugerøkonomien, kan det derfor konkluderes, at enhedsprisen for microboosterenheden er alt for dyr i forhold til de økonomiske fordele, der opnås ved det mindre varmetab. Det langt bedste tekniske alternativ til implementering af varmforsyningen i Irmabyen er LTFV. LTFV har de samme forbrugeromkostninger som traditionel FV, hvorfor forbrugeren ikke vil have nogen omkostninger forbundet med dette. Derudover foreligger der også et selskabsøkonomisk rationale for at implementere LTFV frem for traditionel FV. Til trods for dette viser det sig, at det ikke kan betale sig rent samfundsøkonomisk at etablere LTFV frem for traditionel FV, hvilket skyldes de større drift- og vedligeholdelseskostninger.

## 6. Diskussion

*Formålet med dette kapitel er at reflektere over resultaterne fra analysen og debattere de forudsætninger der danner grundlag herfor. Derudover vil kapitlet også debattere mulighederne for offentlige reguleringer i forhold til tarifstrukturen.*

### 6.1. Tekniske alternativer

Der blev i starten af identificeringen af de tekniske alternativer, lavet en afgrænsning for at bruge varmepumper som endnu et teknisk alternativ, idet der som beskrevet i eksempelvis (COWI 2014) og (K.V. Qvist, L. Grundahl 2014) er fundet et solidt grundlag for at etablere fjernvarme frem for varmepumper. Set i bakspejlet af resultaterne fra denne analyse, burde varmepumper igennem hele analysen også have været repræsenteret som et teknisk alternativ. For trods det, at der ikke findes noget grundlag for at etablere ULTFV frem for traditionel FV i det givne caseområde, er det stadig muligt, at der kan findes et grundlag herfor i forhold til varmepumper. Det kan derfor argumenteres at analyserne foretaget i dette speciale er snæversynet og dermed ikke lever op til *Choice Awareness* teorien om at have et "true choice". Det kan dog også argumenteres at varmepumper som individuel forsyning ikke ville kunne lade sig gøre for alle boligområder i Irmabyen, da det er et tætbebygget område med en blanding af store boligblokke og parcelhuse, og det derfor i nogle områder vil være svært at få plads til enten en luft-vand varmepumpe eller jordvarme, hvormed fjernvarme vil være den eneste varmeteknologiske løsning.

#### 6.1.1. Det korrigerede varmetab

Det blev på baggrund af målte varmetab fra (Dansk Fjernvarme 2013/2014) besluttet, at beregne et korrigeret varmetab der lignede det varmtab andre værker har. Dette korrigerede varmetab omtales i analysen som det forventede varmtab. Dette behøver dog ikke nødvendigvis at være korrekt. ULTFV og LTFV må forventes at have et langt mindre varmetab end traditionel FV. Dataene hvorpå korrektionsfaktoren er beregnet bygger på de forskellige fjernvarmeselskabers eksisterende net og dermed traditionel FV. Det korrigerede varmetab, som i analysen giver et udtryk for det estimerede varmetab, må derfor i realiteten forventes at være lidt lavere for LTFV og ULTFV, men stadig større end det beregnede.

### 6.1.2. Valg af caseområde og forbrugertæthed

På baggrund af rentabilitetsstudierne er det konkluderet at der ikke findes noget resonement for at etablere ULTFV i Irmabyen. Dette skyldes primært det større forbrugerinvestering som følge af en dyrere fjernvarmeunit. Som det blev vist i Tabel 19 er forbrugertætheden i Irmabyen 7,33, hvilket er forholdsvist høj i forhold til gennemsnittet for resten af Danmark på 2,4. På baggrund af denne analyse kan det derfor ikke konkluderes at ULTFV ikke har noget økonomisk resonement for at blive etableret i resten af Danmark, da det mindre tætbebyggede områder kan vise sig at blive rentabelt. I områder med en lavere forbrugertæthed, vil varmetabet være højere idet der er et mindre aftag af varme. Dette vil derfor kunne medføre at der er et langt større selskabsøkonomisk resonement for at etablere ULTFV, hvorfor der også derfor må blive et bedre samfunds- og forbrugerøkonomisk resonement for dette.

Det kan derfor diskuteres om den valgte case er en "god" case at bygge generelle konklusioner på, idet Irmabyens forbrugertæthed ligger så langt fra den gennemsnitlige, og dermed ikke giver et gennemsnitlig billede af fjernvarmeområder i Danmark. På baggrund af dette kan det derfor kun konkluderes, at det i områder med en høj forbrugertæthed ikke er rentabelt at etablere ULTFV.

## 6.2. Rentabilitets studier

Den samfundsøkonomiske analyse i dette projekt behandler ikke de samfundsøkonomiske fordele fjernvarmeværker (produktionssiden) kan have ved at etablere ULTFV. Specialet afgrænser sig fra at belyse dette område, hvilket kan være medvirkende til at der bliver en negativ samfundsøkonomisk gevinst ved at etablere ULTFV. Det er derfor muligt at der kan skabes et samfundsøkonomisk incitament for ULTFV, hvis den samfundsøkonomiske analyse udvides til at se på alle de samfundsøkonomiske omkostninger for hele systemet. Dette bør derfor gøres før man rent samfundsøkonomisk ekskludere ULTFV. Hvis der efter at have udført en sådan analyse stadig ikke findes noget samfundsøkonomisk rationale for at etablere ULTFV, bør det diskuteres om fjernvarme generelt ikke bør operere under lavere temperaturer end ved ULTFV.

Som teorien Choice Awareness beskriver bør der, i tilfælde hvor der ikke findes rentabilitet for et givet projekt, overvejes hvordan offentlige reguleringer i form af skatter og tilskud indenfor det pågældende marked kan medvirke til at fremme den pågældende teknologi. Dette forudsætter dog at der findes et samfundsøkonomisk rationale for at implementere teknologien. Som (Henrik Lund 2010) beskriver, kan der i visse tilfælde ikke forelægge et selskabsøkonomisk incitament for at implementere en teknologi men godt forelægge et samfundsøkonomisk incitament. I sådanne tilfælde bør regeringen udvikle tilskud der kan støtte virksomhederne til den implementere den ønskede teknologi. Alt dette forelægger dog at der er en samfundsøkonomisk gevinst, og hvis der som nævnt ikke kan udarbejdes en samfundsøkonomisk analyse for Irmabyen der giver en gevinst, bør ULTFV ikke støttes eller implementeres.

Som det blev påvist i analysen i afnit 5.2.2, findes der et større selskabsøkonomisk rationale for ULTFV i Irmabyen, dog kun hvis systemet køres med et tryktab på 200 Pa/m. Det kan derfor diskuteres om der er et stort nok selskabsøkonomisk incitament for at etablere ULTFV. Det sammenholdt med at der på ingen måde fremlægger et forbrugerøkonomisk incitament for ULTFV, gør det tvivlsomt at ULTFV med konceptet for microboosterunitten nogensinde kan blive rentabelt. Meromkostningen på over 30.000 kr. for unitten skal falde drastisk før ULTFV kan komme på tale, ellers skal der udvikles andre tekniske koncepter for at løse problemstillingen.

## 7. Konklusion

Gennem indeværende speciale, er sammenspillet mellem traditionel FV, LTFV og ULTFV blevet behandlet. Formålet med specialet var at påvise de konkrete fordele og ulemper/barrierer der forelægger for at implementere ULTFV i nye boligområder. Dermed undersøges det, om ULTFV kan indgå som valgmulighed til opvarmning af nye boligområder. Dette er gjort gennem et casestudie for en udbygning af fjernvarmenettet i Rødovre til et nyt boligområde med lavenergibygninger, kaldet Irmabyen, for derigennem at besvare følgende problemformulering:

***Hvordan kan fjernvarmenettet i nye boligområder udbygges ved hjælp af ultra-lavtemperatur fjernvarme, og hvilke barrierer indenfor det tekniske- og økonomiske område identificeres ved såkaldt udbygning?***

Igennem analyse blev denne problemformulering analyseret ud fra de fire underspørgsmål listet i indledningen. Problemformuleringen kan besvares ud fra konklusionerne fra de analyser der er blevet lavet i projektet. Besvarelsen af problemformuleringen forklares nedenfor.

I forhold til den første del af problemformuleringen, blev der igennem en case af Irmabyen påvist hvordan en udbygning af fjernvarmenettet for et område kunne udføres ved hjælp af ULTFV. Denne udbygning blev udført på samme måde som hvis det havde været traditionel FV der skulle udbygges, dog med den forskel at der ved både ULTFV og LTFV blev benyttet større rørdimensioner. De større rørdimensioner medførte en større anlægspris i forhold til traditionel FV, hvorfor det også blev påvist at der ved at forhøje det tilladte tryktab kunne skabes bedre forudsætninger for anlægspriserne. Der blev beregnet et varmetab for det udlagte område i Irmabyen på 0,64 % for ULTFV, hvilket ud fra sammenligning med varmetab for lignende områder virker urealistisk lavt. Derfor blev varmetabet på baggrund af sammenlignelige cases korrigeret og benyttet til sammenligning ved de økonomiske analyser for området.

Igennem specialet blev der indentificeret én primær teknisk barriere for implementeringen af ULTFV i nye boligområder, nemlig legionelladannelse i brugsvandet. Denne problematik blev i specialet løst ved at installere en microboosterunit, til at booste varmtvandsproduktionen, frem for en traditionel FV unit. Dette viste sig dog at skabe en række økonomiske barrierer, da unitten er 3 gange så dyr som den traditionelle. Dette medførte bl.a., at der ikke kunne findes noget samfunds- og forbrugerøkonomisk incitament for at vælge ULTFV frem for traditionel FV. Så trods det at der blev fundet et stort selskabsøkonomiske incitamentsgrundlag for at implementere ULTFV i Irmabyen, vil det generelt ikke være økonomisk rentabelt at anlægge ULTFV i Irmabyen medmindre der kan laves nogle offentlig



reguleringer af skatter og tilskud der kan fremme teknologien. For at der ville kunne blive skabt et samfundsøkonomisk rationale, som dermed ville kunne danne grundlag for at ændre offentlige reguleringer i form af skatter og tilskud, skal de samlede samfundsmæssige investeringsomkostninger (forbruger- og anlægsomkostninger) sænkes til 66-67 % af det på nuværende fastsatte beløb.

# Litteraturliste

A. Dyrelund; K. Fafner; F. Ulbjerg; S. Knudsen; H. Lund; B.V. Mathiesen et al. (2010): Varmeplan Danmark 2010. Forudsætningskatalog for samfundsøkonomiske analyser på energiområder, checked on 8/31/2015.

A.R.J. Briggs; M. Coleman; M. Morrison (2012): Research Methods in Educational Leadership & Management. 3rd edition: SAGE Publicatiok Ltd.

Aastrup B.; Hartwig J.; Nielsen L.; Uhrskov M.; Hellmers C. (2001): Tariffer: Danske fjernvarmeværkers forening.

Andersen N.B.; Andreasen B.; Buhl L.; Drivsholm C.; Teknologisk Institut; Frederiksen J. et al. (2012): Varmeståbi. 6. Udgave: Det Tekniske Forlag.

B. Flyvbjerg; S. Brinkmann; I. Tanggaard (2010): Kvalitative metoder - en grundbog. Fem misforståelser om casestudiet: Hans Raitzels Forlag, checked on 8/31/2015.

BilligVVS.dk (2015): Danfoss Redan Akva Les II uden kappe. Available online at <http://www.billigvvs.dk/Varmesystemer-Vekslerer-Redan--Danfoss-Redan-Akva-Les-II-uden-kappe-611130.html>, checked on 7/2/2015.

C.R. Nave (2004): Specific Heat. Available online at <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/spht.html>, updated on 6/7/2004, checked on 9/6/2015.

Christensen F.K. (2008): Byudviklingsprocessen og byggemodning i et økonomisk perspektiv. Working paper.

Connoly, D. (2009): Smart energy systems, checked on 5/8/2015.

COWI (2014): Etablering af Lavtemperaturfjernvarme i Eksisterende Fjernvarmeforsyning: Dansk Fjernvarme.

COWI, TI, DGC (2013): Technology Data for Energy Plants. Individual Heating Plants and Energy Transport, checked on 9/6/2015.

Danfoss Radan A/S (2015): Akva Les II TD. Available online at [http://redan.danfoss.dk/xxTypex/643988\\_MNU17581703\\_SIT193.html](http://redan.danfoss.dk/xxTypex/643988_MNU17581703_SIT193.html), checked on 7/2/2015.

Dansk Fjernvarme (2013/2014): Benchmarking statistik 2013/2014. Available online at <http://www.danskfjernvarme.dk/viden-om/aarsstatistik/benchmarking-statistik-2013-2014>, checked on 9/6/2015.

Dyrelund, A.; Lund, H.; Möller, B.; Mathiesen, B. V.; Fafner, K.; Knudsen, S. et al. (2010): Varmeplan Danmark: Dansk Fjernvarme. Available online at [http://enlillebid.dk/mmd/wp-content/uploads/2012/03/Sem-2-DK\\_kvantitativ-og-kvalitativ-research\\_metode-og-teori\\_2012.pdf](http://enlillebid.dk/mmd/wp-content/uploads/2012/03/Sem-2-DK_kvantitativ-og-kvalitativ-research_metode-og-teori_2012.pdf).

Energistyrelsen (a) (1999): Brændselsprisforudsætninger for samfundsøkonomiske beregninger, checked on 8/31/2015.

Energistyrelsen (b) (2010): 7. Energiforbrug - BR10. Available online at [http://bygningsreglementet.dk/br10\\_05\\_id104/0/42](http://bygningsreglementet.dk/br10_05_id104/0/42), checked on 5/13/2015.

Energistyrelsen (c) (2014): Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet, checked on 8/31/2015.

Energistyrelsen (d) (2005): Vejledning i samfundsøkonomiske analyser på energiområdet, checked on 9/6/2015.

Energitilsynet (a) (2015): Prisstatistik: Energitilsynet. Varmepristatistik. Available online at <http://energitilsynet.dk/varme/statistik/prisstatistik/>, checked on 8/27/2015.

Energitjenesten: Nye regler for olie- og gasfyr. Available online at <http://www.energitjenesten.dk/nye-regler-for-oliefyr.html>, checked on 5/13/2015.

Finansministeriet (2013): Ny og lavere samfundsøkonomisk diskonteringsrente. Available online at <http://www.fm.dk/nyheder/pressemeddelelser/2013/05/ny-og-lavere-samfundsoekonomisk-diskonteringsrente/>, checked on 9/6/2015.

Frede Hvelplund (05.02.14): Energy Policy and Innovative Democracy, 05.02.14.

Grontmij A/S (2015): Geding-Energi-Spot 2014 to Lisa Nielsen. Grontmij Aarhus, 5/13/2015.

Grontmij A/S; 4 (2015): Projekt Birkerød to Lisa Nielsen, 7/15/2015.

Henrik Lund (Ed.) (2010): Renewable Energy Systems. The Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions. With assistance of ELSEVIER Inc.

Henry Juul Nielsen (2015): Lav temperatur fjernvarme to Grontmij A/S, 6/4/2015.

HOFOR; CTR; VEKS (2015): Miljødeklaration 2014 for fjernvarme i Hovedstadsområdet, checked on 9/6/2015.

I Andersen (2008): Den skinbarlige virkelighed: Samfundslitteratur (4. udgave).

IDA (2009): IDAs Klimaplan 2050. Hovedrapport: Ingeniørforeningen IDA.

Investopedia (2015): Cost-Benefit Analysis Definition | Investopedia. Available online at <http://www.investopedia.com/terms/c/cost-benefitanalysis.asp>, updated on 8/30/2015, checked on 8/31/2015.

J. Wellington; M. Szczerbinski (2007): *Research Methods for the Social Sciences*: Continuum International Publishing Group.

Jensen, Emmy L. (1999): 1. Indledning, checked on 9/4/2015.

K. B. Jensen: Research metode + teori. Available online at [http://enlillebid.dk/mmd/wp-content/uploads/2012/03/Sem-2-DK\\_kvantitativ-og-kvalitativ-research\\_metode-og-teori\\_2012.pdf](http://enlillebid.dk/mmd/wp-content/uploads/2012/03/Sem-2-DK_kvantitativ-og-kvalitativ-research_metode-og-teori_2012.pdf), checked on 9/6/2015.

K.V. Qvist; L. Grundahl (2014): Fremtidens fjernvarme. Lavtemperaturfjernvarme i nye boligområder, checked on 9/6/2015.

Kaarup Olsen P.; Holm Christiansen C.; Hofmeister M.; Svendsen S.; Thorsen J.E. (2014): Guidelines for Low-Temperatur District Heating: Danish Energy Agency.

Klima Energi- og Bygningsministeriet (2011): Bekendtgørelse af lov om varmforsyning, checked on 9/6/2015.

KommuneKredit (2014): KommuneKredit - Fastsættelse af rente til brug for takstberegninger. Available online at <http://kommunekredit.dk/L%C3%A5n/Vejledninger/Fasts%C3%A6ttelse-af-rente-til-brug-for-takstberegninger.aspx>, checked on 8/31/2015.

Leon Buhl: Dansk lovgivning for legionella. BR10, DS 439, checked on 7/20/2015.

LOGSTOR (2015): LOGSTOR. Available online at <https://www.logstor.com/dk>, checked on 9/6/2015.

Lund, H. (2010): *Renewable Energy Systems. A Smart Energy Systems Approach to the Choice and Modeling of 100 % Renewable Solutions*.

Lund, H.; Werner, S.; Wiltshire, R.; Svendsen, S.; Thorsen, J. E.; Hvelplund, F.; Mathiesen, B. V. (2014): 4th Generation District Heating (4GDH). In *Energy* 68, pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.energy.2014.02.089.

M. Pitt; M. Tucker; M. Riley; J Longden (2009): Towards sustainable construction: promotion and best practices. Vol. 9 nr. 2, s. 201-224: *Construction Innovation*.

Miljøstyrelsen (2006): Fjernvarmerør. Miljøstyrelsen. Available online at <http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/Publikationer/2006/87-7052-007-0/html/kap02.htm>, updated on 7/23/2006, checked on 8/31/2015.

Olsen B.; Marhisen H.; Arendt E.; Andersen K.B.; Sørensen P.L.; Jensen P. et al. (2012): Fjernvarme og legionella. Udredning og undersøgelser: Teknologisk Institut.

Regeringen (2011): Energistrategi 2050. - fra kul, olie og gas til grøn energi: Regeringen.

Rødovre Kommunale Fjernvarmforsyning (2015): Økonomi. Takster. Available online at undefined, checked on 9/6/2015.

Rødovre Kommune (a) (2015): Forslag til Lokalplan 133 - Irmabyen. Del 1: Lokalplanens redegørelse og bestemmelser, checked on 9/6/2015.

Rødovre Kommune (b) (2015): Forslag til Lokalplan 133 - Irmabyen. Designmanual: Del 2 til forslag til lokalpla 133, checked on 9/6/2015.

Sydbank (2015): Priser for udlån rente. Se aktuelle priser for udlånsrenten | Sydbank - Sydbank Privat. Available online at <http://www.sydbank.dk/privat/daglig-oekonomi/priser/udlaan>, checked on 9/5/2015.

VEKS (2013): Årsrapport, checked on 9/6/2015.

VEKS A/S (2015): Nøgletal for varmeproduktionen to Lisa Nielsen, 6/7/2015.