

Til

Dansk Fjernvarme F&U konto

Dokumenttype

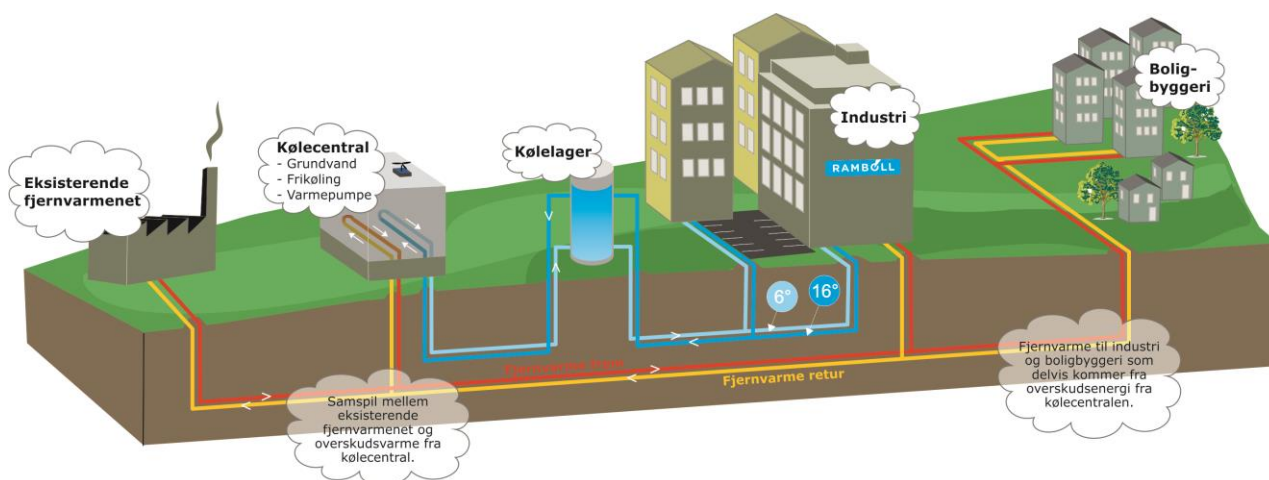
Rapport

Dato

25. april 2016

DANSK FJERNVARMES F&U-KONTO

KØLEPLAN DANMARK 2016



DANSK FJERNVARMES F&U-KONTO KØLEPLAN DANMARK 2016

Revision **1**
Dato **2016-04-25**
Udarbejdet af **AD, TRHA, TSR**
Kontrolleret af **BVM, AD**
Godkendt af
Beskrivelse **Køleplan Danmark 2015 belyser, hvordan kølebehovet i Danmark kan forsynes på den mest samfunds- og selskabsøkonomiske måde med fjernkøling i symbiose med fjernvarmen**

Ref. 1100017014 Køleplan Danmark

Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S
T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
www.ramboll.com/energy

FORORD

For at nå den energipolitiske målsætning i Energiaftalen fra 2012 på en omkostningseffektiv måde, bliver det nødvendigt at se på det samlede energisystem og bygningerne som helhed. Her indgår køleanlæg i bygninger og fjernkøling som en vigtig del af den effektive energiinfrastruktur, og fjernkølingen kan i høj grad bidrage til at effektivisere fjernvarmen.

Da fjernkølingen hidtil har været overset i varmeplanlægningen, er der et stort behov for at se på fjernkølingen i symbiose med fjernvarmen.

Køleplan Danmark skal således ses som en naturlig fortsættelse af Varmeplan Danmark, hvor vi sætter fokus på fjernkølingen med gode råd og anbefalinger til politikere, embedsmænd og fjernvarmeselskaber.

Vi vil gerne takke de mange fjernvarmeselskaber og andre aktører, som har bidraget med eksempler og gode ideer til rapporten.

Rapporten er desuden delvist baseret på resultater af forskningsaktiviteterne under Strategic Research Centre for 4th Generation District Heating (4DH), som har modtaget støtte fra Innovationsfonden. Fjernkøling i symbiose med fjernvarmen, de termiske lagre og bygningernes installationer for lavtemperaturvarme og højtemperaturkøling er netop det, som kendetegner fjerde generation fjernvarme. Desuden kan fjernkølingen bidrage til fjernvarmeeksporten, da der internationalt er brug for et samlet koncept for fjernvarme og/eller fjernkøling.

INDHOLD

1.	RESUME	1
2.	HVORFOR FJERNKØLING I DANMARK?	7
2.1	Lovgivning og energipolitik	7
2.1.1	EU lovgivningen	7
2.1.2	Dansk lovgivning og analyser	7
2.2	Termisk komfort og dagslys	9
2.3	Symbiose med fjernvarmen	9
2.4	Eksportpotentialet	10
3.	TEKNISKE LØSNINGER	11
3.1	Termisk komfort til kunderne	11
3.2	Distributionsanlæg i bygninger	11
3.2.1	Komfortkøling	11
3.2.2	Proceskøling	12
3.3	Produktion og lagring af køling	12
3.3.1	Kompressionskøling	12
3.3.2	Frikøling	12
3.3.3	Varmepumper	13
3.3.4	Grundvandskøling og sæsonlager for køl og varme (ATES)	13
3.3.5	Køleakkumulator	16
3.3.6	Absorptionskøling	18
3.4	Fjernkølenet	19
3.4.1	Plastrør	19
3.4.2	Stålrør	19
3.4.3	Direkte/indirekte anlæg	19
3.5	COP værdi ved samproduktion af køl og varme	19
3.5.1	COP værdier	19
3.5.2	Marginal varme COP	20
3.5.3	Samproduktion COP	20
4.	DEFINITION AF ATES OG VARMEPUMPEKAPACITET	22
5.	KØLEPOTENTIALET I DANMARK	24
5.1	Behovet for køling i udvalgte sektorer	24
5.2	Screening af fjernkølepotentialet	24
6.	POTENTIALET FOR OVERSKUDSVARME FRA KØL	30
6.1	Individuelle løsninger	31
6.1.1	Kompressorkøl med frikøl	31
6.1.2	ATES med varmepumpe	32
6.2	Fjernkøleløsninger med overskudsvarme	32
6.3	Opdeling af markedet	33
7.	ANALYSE AF KØLEKLYNGE PÅ 10 MW_{KØL}	35
7.1	Grundlag for opbygning af fjernkøling	35
7.2	Samfundsøkonomi af fjernkøling og varmeudnyttelse	38
7.3	Brugerøkonomi	40
7.4	Selskabsøkonomi og samlet brugerøkonomi	42

8.	KØLEPLAN DANMARK	45
8.1	Maksimal og hurtig udbygning	46
8.2	Realistisk udbygning	47
9.	VARIATIONSBEREKNINGER	50
10.	EKSEMPLER	52
10.1	DTU-Campus	52
10.2	Carlsberg byen	53
10.3	Høje Taastrup Fjernvarme	53
10.4	HOFOR	54
10.5	Frederiksberg Forsyning	55
10.6	Bjerringbro Fjernvarme og Grundfos	55
10.7	Københavns Lufthavne	56
10.8	Aalborg Forsyning	56
10.9	Butiksanlæg	57
10.10	Individuelle ATES anlæg, Widex i Allerød	57
10.11	Individuelle ATES anlæg, Copenhagen Towers i Ørestaden	57
10.12	Rambøll's domicil i Ørestaden	58
10.13	Individuelle grundvandskøleanlæg	58
11.	ORGANISATORISKE MODELLER OG TARIFFER	59
11.1	Hvile i-sig-selv kontra kommerciel model	59
11.2	Kommunale forsyningsvirksomheder og kommuner	60
11.3	Forbrugerejede selskaber	61
11.4	Foreninger	61
11.5	Tariffer og aftaler for fjernkøling	61
12.	FJERNKØLINGENS BIDRAG TIL EL I FJERNVARMEN	63
13.	ANBEFALINGER	65
13.1	De centrale myndigheder	65
13.2	Kommunerne	65
13.3	Fjernvarmeselskaber	66
13.4	Bygningsejere og byudviklingsselskaber	67

TABEL- OG FIGURFORTEGNELSE

Figur 1-1 Kortlægning af fjernkølepotentiale i Danmark – Grupper > 2 MW _{køl} .	6
Figur 3-1 Principskitse for kompressionskøling	12
Figur 3-2 Principskitse for en varmepumpe	13
Figur 3-3 Principskitse for grundvandslager	14
Figur 3-4 Eksempel på kortlægning af jord og grundvand	15
Figur 3-5 Udbredelsen af ATES i Holland	16
Figur 3-6 Udjævning af kølekapacitet med køleakkumulator	17
Figur 3-7 Optimal køleproduktion med køleakkumulator	18
Figur 4-1 ATES gevinst ved forskellige investeringsomkostninger	23
Figur 5-1 Storskalafordele for kølekompressorer	25
Figur 5-2 Eksempel på skruekompressor fra Johnson Controls	25
Figur 5-3 Kapacitetsbehov med samtidighed og akkumulator	26
Figur 5-4 Kortlægning af fjernkølepotentiale i Danmark – Grupper > 2MW _{køl} .	28
Figur 5-5 Samlet effekt som funktion af gruppestørrelsen	29
Figur 6-1 Udbygning med fjernkøling i Stockholm	30
Figur 7-1 Udbygning af fjernkøling	35
Figur 7-2 Kølecentral og investeringer	36
Figur 7-3 Produktion af fjernkøling fordelt på anlæg og typer	36
Figur 7-4 Varmedudnyttelse med og uden grundvandskøl	37
Figur 7-5 Produktion af overskudsvarme til fjernvarmen	38
Figur 7-6 Selskabsøkonomisk gevinst for fjernkøling og varmedudnyttelse.....	43
Figur 7-7 Betalingsstrømme i faste priser.....	43
Figur 7-8 Likviditet for køleprojekt	44
Figur 7-9 Likviditet for overskudsvarmeprojektet	44
Figur 8-1 Udvikling af fjernkøleproduktion til kunder frem mod 2050.....	48
Figur 8-2 Udvikling af varmeproduktion fra fjernkøl inden 2050	48
Figur 8-3 Udvikling i elforbrug fra individuel køling til fjernkøl.....	49
Figur 9-1 Følsomhedsberegning	50
Figur 9-2 Sandsynlighed for gevinst over et niveau, 1.000 kr.	50
Figur 9-3 Hver faktors bidrag til usikkerheden	51
Figur 9-4 Grafisk fremstilling af variationsberegningen, i 1.000 kr.....	51
Figur 10-1 Fjernkølenet på DTU	52
Figur 10-2 Lagertank til fjernkølesystemet i Carlsberg byen	53
Figur 10-3 Fjernkølenet i Høje Taastrup	53
Figur 10-4 Forsyning med fjernkøl i Copenhagen Markets	54
Figur 10-5 HOFOR's Fjernkølecentral i Adelgade	54
Figur 10-6 Fjernvarme og fjernkøling til Hovedbanegården i samme grav	55
Figur 10-7 Fjernkølecentral hos Bjerringbro Fjernvarme og Grundfos.	55
Figur 10-8 Fjernkølesystem og ATES anlæg i Københavns Lufthavne	56
Figur 10-9 Copenhagen Towers	57
Figur 10-10 Eksempel på grundvandskøling	58
Figur 12-1 Fjernvarmeproduktion Varmerplan Danmark 2010.....	63
Figur 12-2 Energistyrelsens prognose i vindscenariet.....	64
 Tabel 3-1 Overslag over COP værdier	19
Tabel 3-2 Marginal COP	20
Tabel 3-3 Gennemsnitlig COP	20
Tabel 5-1 Kølebehov i Danmark	24
Tabel 5-2 Fjernkølebehov i Danmark	27
Tabel 5-3 Fjernkøling opdelt på gruppestørrelser	29
Tabel 6-1 Fjernkøling i forhold til varmeforsyningen	30
Tabel 6-2 Valgte gruppeintervaller fra 1 til 5	33

Tabel 6-3 Bygninger og køleeffekt i $MW_{køl}$ i de valgte intervaller	34
Tabel 7-1 Samfundsøkonomi ved fjernkøl uden varmeudnyttelse	39
Tabel 7-2 Samfundsøkonomi ved varmeudnyttelse.....	39
Tabel 7-3 Brugerøkonomi ved valgt tarif	41
Tabel 7-4 Selskabs- og brugerøkonomi for fjernkøling	42
Tabel 7-5 Selskabsøkonomi ved udnyttelse af overskudsvarme	42
Tabel 8-1 Energimængder og nøgletal for fjernkøleanlæg	45
Tabel 8-2 Investeringer i fjernkøling.....	46
Tabel 8-3 Relative investeringer pr $MW-k$	46
Tabel 8-4 Samfundsøkonomi for fjernkøl og varmeudnyttelse.....	47
Tabel 8-5 Selskabs- og brugerøkonomi for fjernkøl og varme	47

BILAG

Bilag 1 Referencer

1. RESUME

Der er et stigende behov for køling i vores bygninger som følge af krav til komfort, isolering og dagslys samt til proceskøling til bl.a. servere. På grundlag af data fra BBR-registret og CVR-registret samt erfaringstal for bygningers kølebehov, er kølebehovet i Danmark anslået til omtrent **9.500 GWh_{køl}** køleenergi og **6,8 GW_{køl}** kølekapacitet. Det svarer til en gennemsnitlig benyttelsestid på 1.400 timer. Køleenergibehovet fordeler sig nogenlunde ligeligt på komfortkøling, der kun forekommer i sommerhalvåret, og proceskøling, som er jævnt fordelt over hele året.

På verdensplan er køling lige så vigtig som opvarmning, og i EU's energidirektiver sidestilles varme og køl. Der er således et krav om, at bygninger skal have et godt indeklima og mindske brugen af fossile brændsler til opvarmning og køling under hensyntagen til mulighederne for at overføre vedvarende energi til bygningerne via fjernvarme og fjernkøling. Ligeledes stilles krav om, at myndighederne skal planlægge for fjernvarme og fjernkøling, hvor det er økonomisk fordelagtigt. I Danmark har kommunerne med stor succes haft ansvaret for at planlægge individuel og kollektiv opvarmning som en integreret del af kommuneplanlægningen siden 1979, men der er endnu ikke fastlagt lignende rammebetingelser for fjernkølingen.

De typiske individuelle køleanlæg er i størrelsesordenen 0,5 MW_{køl}, medens fjernkølecentraler typisk vil være 5 MW_{køl} eller større. Der er mange storskalafordele forbundet med køleanlæg. Prisen på 10 kølemaskiner á 0,5 MW_{køl} er således dobbelt så stor som prisen på en enkelt på 5 MW_{køl}. Rambøll har ved hjælp af en model, der sammenholder det potentielle kølebehov med geografisk information og storskalafordele ved kølemaskiner anslået, at det vil være økonomisk fordelagtigt at forsyne næsten halvdelen af kølebehovet med fjernkøleanlæg med en kapacitet over 2 MW_{køl}. Fjernkølepotentialet for anlæg over 2 MW_{køl} er således anslået til **4.200 GWh_{køl}** køleenergi og **2,4 GW_{køl}** kølekapacitet.

Dertil kommer, at køling har en betydelig samtidighedsfaktor. Mange små og forskelligartede anlæg, der er koblet sammen i et fjernkølenet, har tilsammen et mindre maksimalt behov end summen af de individuelle anlægs behov. Desuden er der for nye anlæg en stor usikkerhed om den maksimale kapacitet, hvorfor mange individuelle anlæg etableres med en vis overkapacitet, som man kan undgå ved fjernkøling.

Endnu en storskalafordel er, at store anlæg gør det muligt og rentabelt at etablere køleakkumuleringsstanke, som kan udjævne den relativt store døgnvariation den varmeste dag og spare yderligere produktionskapacitet.

Der er yderligere fordele ved fjernkøling, når man inddrager synergien mellem fjernkøling, fjernvarme, bygningerne, grundvandet og elsystemet. Køleakkumuleringsstanke kan eksempelvis optimere produktionen af køl i forhold til elprisens døgnsvingninger. Fjernvarme og fjernkøling kan udveksle cirkulerende vand, og flere installationer i bygningerne kan benyttes til både varme og køl. Den samme varmepumpe kan benyttes til varme og køl, og grundvandet kan sæsonlagre kulde og varme.

En af udfordringerne i fremtidens energisystem bliver netop at integrere fluktuerende vedvarende energi i energisystemet. Her vil kombinationen af fjernkøling og fjernvarme kunne udnytte den fluktuerende el med varmepumper, varmelagre og kølelagre og dermed være en vigtig af fremtidens energisystem.

Endelig er der en lang række tekniske og organisatoriske fordele ved at fjernvarme og fjernkøling varetages af samme selskab.

Det samlede potentielle fjernkølebehov på 4.200 GWh_{kø} kan produceres med en kombination af:

- Frikøling og traditionelle kølekompressorer, hvor overskudsvarmen bortledes
- Varmepumper med varmeudnyttelse og
- Absorptionsvarmepumper baseret på overskudsvarme.

Sidstnævnte mulighed var aktuel for år tilbage, da der var højtemperaturoverskudsvarme til overs om sommeren. I dag er absorptionsvarmepumper kun interessante i særlige tilfælde, men de kunne måske blive aktuelle på længere sigt for bedst muligt at udnytte termisk forgasning mv. Absorptionsvarmepumper er derimod meget interessante i lande med stort kølebehov og lille varmebehov.

Frikøling og kølekompressorer med tørkølere, der køler med luft eller vand, er indtil videre dominerende i de få fjernkøleanlæg, vi har i dag, men udviklingen går stærkt i retning af varmepumper, der kan udnytte overskudsvarmen til bygningerne direkte og til fjernvarme i større skala.

Hvis hele det potentielle kølebehov til fjernkøling udnyttes til overskudsvarme, vil det beløbe sig til 6.000 GWh fjernvarme svarende til ca. 15 % af fjernvarmeproduktionen i 2015. De samme varmepumper vil formentlig kunne levere yderligere 3.000 GWh ved at producere varme som afbrydelige varmepumper med spildkøling, når elprisen er under et vist niveau. Dertil kommer, at en del fjernvarmeforsynede bygninger, der ligger udenfor de potentielle fjernkøleområder, vil kunne levere overskudsvarme til eget forbrug og til fjernvarmen.

Produktionen af overskudsvarme fra især komfortkøl er ved første øjekast ikke så interessant, da overskudsvarmen jo primært produceres om sommeren, hvor varmeproduktionsprisen normalt er lav.

Hvis overskudsvarmen derimod lagres i grundvandet med grundvandskøling ved en temperatur op til 20 grader, så vil en væsentlig del af overskudsvarmen være til rådighed netop i de koldeste måneder, hvor varmen er dyrest, og der er mest brug for den. Den største fordel ved grundvandskøling er imidlertid, at man udnytter samme varmepumpe til både at producere køling om sommeren som supplement til grundvandskøling og til at producere fjernvarme om vinteren ved at trække den lagrede varme ud af grundvandet. Dertil kommer, at varmepumpen er til rådighed resten af året til at producere varme, når elprisen er lav og den alternative varmeproduktionspris er høj. Investeringen i varmepumpen kan med andre ord tjene tre formål.

Varmepumper, der bruges primært til fjernkøling om sommeren og sekundært til fjernvarme om vinteren, vil således være løftestang for at indføre store afbrydelige varmepumper i fjernvarmen og dermed fremme integrering af vindenergi i energisystemet. Når varmepumperne har produceret køl om sommeren og kølet grundvandet ned i løbet af vinteren, vil de som nævnt ovenfor kunne producere mere varme baseret på omgivelsesvarme, såkaldt spildkøling.

Hvis det potentielle marked for fjernkøling udnyttes til produktion af overskudsvarme i kombination med maksimal grundvandskøling, vil der skulle investeres følgende i fjernkøleprojekter:

Fjernkøle lagertanke	0,6 mia.kr
Grundvandskøling, med sæsonvarme- og kølelager	2,3 mia.kr
Kølecentraler og teknik	4,8 mia.kr
Fjernkølenet og stik	7,2 mia.kr
Merinvestering til varmepumper ift. Kølekompressorer	0,8 mia.kr
Tilslutningsanlæg til fjernvarmenet	1,1 mia.kr
I alt i fjernkøling ca.	17 mia.kr

Den alternative investering i bygningernes køleanlæg udgør 23 mia.kr

De to muligheder er her sammenlignet på lige vilkår med beskedne omkostninger til plads i bygninger og byggemodning. Der er imidlertid også storskalafordele ved at etablere en fælles bygning til en fjernkølecentral på et egnet sted frem for at beslaglægge areal i bygningernes kældre og på tagene. Alt afhængig af de lokale forhold kan bygninger gøre et fjernkøleprojekt bedre eller dårligere. I nogle tilfælde kan fjernkøleprojektet fordyres med 10-15 % til ny infrastruktur til fjernkølecentral uden, at kunderne oplever tilsvarende besparelser ved fjernkøling. I andre tilfælde kan kunderne i tætte byområder og særligt ved ny bebyggelse opleve en endnu større besparelse ved fjernkøling, ved ikke at skulle skaffe plads til individuelle køleanlæg.

Der er ikke regnet med disse ekstra fordele, da de kan være vanskelige redegøre for i forhandlingen mellem fjernkøleselskab og kunde, ligesom yderligere fordele i form af bedre lokalt miljø (æstetik, støj og vibrationer mv) i og omkring bygningerne ikke er inddraget.

For fjernvarmeselskabet er der flere fordele ved at gå aktivt ind i arbejdet med fjernkøling. Det ligger naturligt indenfor rammerne med at hjælpe egne kunder med energibesparelser. Dernæst er det med til at sikre, at kunderne forbliver indenfor fjernvarmesamarbejdet, så man opnår optimale løsninger og undgår suboptimeringer. Ved at samarbejde med kølekunderne, enten via fjernkøling eller ved at enkeltstående kølekunder udveksler overskudsvarme med fjernvarmen, kan man undgå, at kølekunder kun producerer varme til sig selv, hvor det ville være bedre at udveksle varme med fjernvarmen.

Ved en ligelig sammenligning vil det medføre følgende fordele i form af nutidsværdigevinst for samfundet og de energiforbrugere, der aftager fjernkøling og fjernvarme:

Gevinst for samfundet med 4 % i diskonteringsrente	10 mia.kr
Gevinst for energiforbrugere med 4 % i diskonteringsrente	13 mia.kr

Der er i samfundsøkonomien kun indregnet de direkte omkostninger iht. Energistyrelsens vejledning. Man kunne overveje at inddrage værdien af bygningsareal, miljø og beskæftigelse.

Værdien af bygningsarealet kan være betydelig, særligt ved ny bebyggelse, ligesom færre støjgener og visuelle gener fra tørkølere på tagene i tæt bebyggelse kan øge ejendomsværdien i området.

Betydningen for handelsbalancen og beskæftigelsen skal ikke undervurderes.

For det første har fjernkøleprojekter en betydelig andel af lokal arbejdskraft til ledninger, grundvandskøling, lagertanke, store kølemaskiner og varmepumper, som i høj grad produceres af danske virksomheder, medens de individuelle anlæg har en større importandel til mindre kølemaskiner.

For det andet vil fjernkøleprojekter i symbiose med fjernvarmen og alle ovennævnte komponenter styrke eksporten indenfor fjernvarme- og fjernkølekomponenter. Danske rådgivere og leverandører af komponenter har allerede markeret sig på verdensmarkedet og vil kunne udbygge denne position, hvis der er et godt hjemmemarked. Et hjemmemarked for avancerede varmepumper til kombineret køl og varme vil ligeledes styrke forskning og udvikling i den danske industri indenfor området.

Synergien mellem fjernvarme og fjernkøling og den foreslåede udbygningstakt vil bedst kunne opnås, hvis lovgivningen tillader, at fjernvarmeselskaberne og kommunerne får mulighed for at gå aktivt ind i fjernkøling helt analogt til fjernvarmen. Kun derved kan opnås maksimal effektivitet. Det vil sige:

- Teknisk effektivitet i form af optimale anlægsprojekter
- Organisatorisk effektivitet i form af et åbent samarbejde mellem alle aktører om de bedste løsninger og
- Finansiell effektivitet i form af lavest mulig lånerente baseret på maksimal konkurrence blandt långivere.

Fjernkøling vil således i høj grad bidrage til at effektivisere fjernvarmesektoren og bygningssektoren og dermed opfylde de forventninger, der er til begge sektorer fra de centrale myndigheder.

Det er imidlertid kun ca. 4 % af kølebehovet i Danmark, der er dækket med fjernkøling, hvor det i Sverige over de seneste 20 år har udviklet sig til 40 %. Fjernkøling i Danmark vil som nævnt, både som enkeltstående anlæg og i kombination med fjernvarme være af stor betydning for danske eksportvirksomheder, der har behov for referenceanlæg.

Behov for lovgivning

De centrale myndigheder og lovgivningen har muligheden for at igangsætte en massiv udbygning med fjernkøling og dermed effektivisere sektoren, herunder:

- At give kommunerne opgaven med at planlægge for fjernkøling, som det kræves i EU direktiverne således, at fjernkøling ligesom fjernvarme bliver en integreret del af kommuneplanlægningen. Det kan eksempelvis ske ved, at der reserveres plads til fjernkøleanlæg i tætte stationsnære områder, da fjernkøling til kontorbyggeri, institutioner og butikcentre naturligt går hånd i hånd med kollektiv transport i byudviklingen.
- At sikre, at alle fjernvarmeselskaber, herunder kommunalt ejede selskaber får lige adgang til at udbygge med fjernkøling og fjernvarme og kan få kommunegaranterede lån for projekter, der er godkendt iht. Varmeforsyningsloven med deraf følgende krav til samfundsøkonomi, selskabsøkonomi og brugerøkonomi.
- At gøre det muligt for alle byudviklingsselskaber at sikre 100 % tilslutning for ny bebyggelse til nye fjernkølenet, der etableres efter hvile-i-sig-selv-princippet for at udnytte, at fjernkølenet er et naturligt monopol, som kan sikre kølekunderne de lavest mulige priser.
- At indrette prisbestemmelserne, så fjernvarmeselskaber får mulighed for at tilbyde kunder fjernkøling til konkurrencedygtige priser på kommercielle vilkår, (i lighed med muligheden for at sælge el på markedet på kommercielle vilkår) og dermed sikre størst mulig gevinst for varme- og kølekunder som helhed.
- At indrette skattelovgivningen, så den fremmer en samfundsøkonomisk udnyttelse af energien, og undlader at gøre selskaber skattepligtige, når de beviseligt hviler i sig selv på lang sigt til glæde for forbrugerne.

Kommunernes rolle

Kommunerne bør ideelt set og forudsat, at lovgivningen ikke lægger hindringer i vejen for en mere effektiv adfærd foretage sig følgende:

- Have et opdateret plangrundlag i form af et detaljeret kort og et kort notat baseret på fjernvarmeselskabernes udbygningsplaner, hvor der redegøres for:
 - Kommunens og samfundets målsætninger.
 - Status for varme- og køleforsyning i kommunens byområder.
 - Mulige planer for udbygning med fjernvarme og fjernkøling.

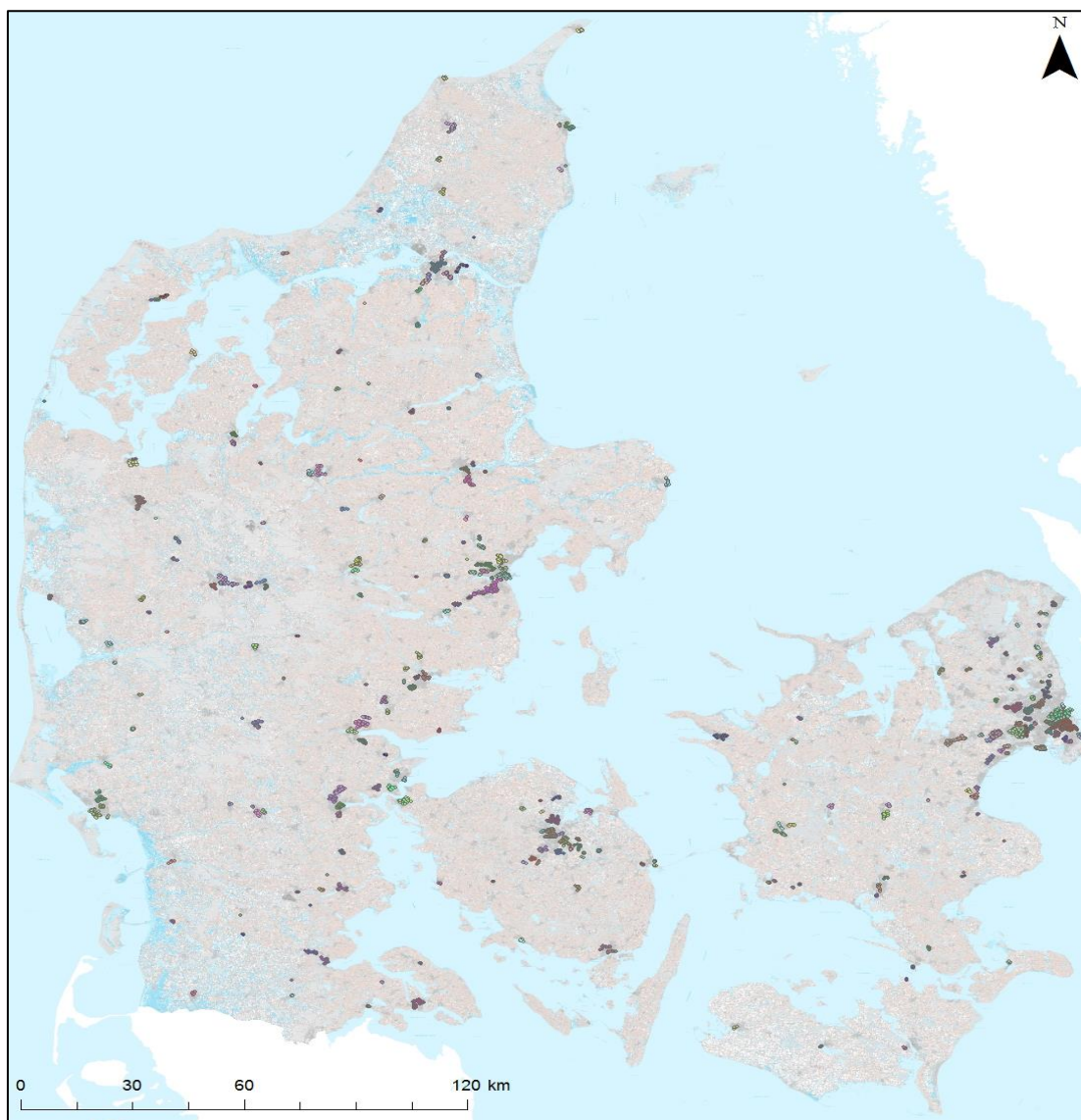
- Have en målsætning for, hvordan kommunen gør sin byudvikling mere erhvervsvenlig ved at sikre, at fjernkøling og udnyttelse af overskudsvarme er mulig.
- Inddrage fjernvarme og fjernkøling som en del af kommuneplanlægningen og lokalplanlægningen således, at der som hovedregel kan godkendes et projektforslag for fjernvarme med evt. fjernkøl, hvor det er fordelagtigt samtidig med, at lokalplanen vedtages.
- Sikre, at sektorplanlægningen for den samfundsøkonomisk fordelagtige udvikling af varme og køl indgår i alle tiltag i kommunen, der sigter mod at reducere emission af klimagasser.
- Sikre, at kommunens eksisterende og ikke mindst fremtidige ejendomme forsynes fra den planlagte infrastruktur for varme og køl.
- Sikre, at byggesagsbehandlingen sker under iagttagelse af Varmeforsyningslovens krav samt kommunens planlægning indenfor energiområdet.
- Arbejde for, at boligselskabers ejendomme og andre ejendomme med offentlig støtte også forsynes fra den planlagte infrastruktur og indrettes optimalt med centrale varme og klimaanlæg med optimale temperaturniveauer.
- Yde garanti for lån til kommunale såvel som forbrugerejede selskaber til udbygning med fjernvarme og fjernkøl.
- Inddrage byudviklingsselskaber og ejendomsejere i planlægningen.

Fjernvarmeselskabernes rolle

Fjernvarmeselskaberne bør ideelt set og forudsat, at lovgivningen ikke lægger hindringer i vejen for en mere effektiv adfærd, foretage sig følgende:

- Arbejde mere målrettet med energibesparelser hos de store kunder, som også har et kølebehov og derigennem sammen med kunden se på, hvordan de samlede omkostninger til varme og køl kan nedbringes ved at udnytte synergierne. Udgangspunktet er, at fjernvarmeselskabet som et hvile-i-sig-selv selskab, modsat kommercielle selskaber, netop kan se dette som sin målsætning, da selskabet jo reelt ejes af forbrugerne med ansvarlige bestyrelser valgt direkte eller indirekte.
- Vedligeholde udbygningsplaner for både fjernvarme og fjernkøl og sikre, at det digitale grundlag løbende opdateres efter behov og, at disse tilgår kommunens varmeplanansvarlige.
- Opgradere fjernvarmetariffen med en tidsafhængig variabel del, så den afspejler sæsonvariationer i den marginale varmeproduktion, eksempelvis på månedsbasis, så snart der er installeret fjernaflæste målere. Det giver bygningsejere med eget ATES anlæg incitament til at drive det optimalt med maksimal varmeproduktion, når varmen er dyrest.
- Indføre returtemperaturtarif så snart der er installeret målere, der kan måle enthalpi, således at afkølingstariffer kan ændres til tariffer, der præmierer lav årlig middel returtemperatur. Derved vil kunder, som får en lavere fremløbstemperatur fra lavtemperaturvarmekilder (som eksempelvis overskudsvarme fra køl) ikke føle sig diskrimineret, som hvis de havde en afkølingstarif.
- Indføre en tarif, der er næsten symmetrisk, således at fjernvarmen (som repræsenterer alle øvrige kunder) og en leverandør af overskudsvarme fra køling får en fælles fordel

- Indføre et princip for forsyning, så fjernvarmen kan leveres frem til hver lejlighed eller til hvert lejemål parallelt med fjernkøl for de kunder, der også har et kølebehov. I begge tilfælde etablerer bygningsejeren rør-infrastrukturen i bygningen, som en "nagelfast installation" og efter fjernvarmeselskabets anvisninger, således at fjernvarmeselskabet kan opsætte målere for varme og køl ved hver slutforbruger. Fjernvarmeselskabet bekoster således nettab i røret, men skal naturligvis kunne inspicere, at alle rør er isolerede.
- Samarbejde med bygningsejerne om effektive fælles løsninger, eksempelvis at der etableres fjernvarme og fjernkøl uden vekslere til bygningen, og således at bygningens rørnet til ventilationsanlæg, gulvslanger, loftpaneler mv. kan skifte mellem køl og varme. Derved fremmes innovative løsninger med lavtemperaturvarme og højtemperaturkøling, fælles lagre og fælles returledning m.v.
- Udarbejde og gennemføre projektforslag for fjernkøling så vidt muligt med ATES anlæg og sæsonvarmelagring.



Figur 1-1 Kortlægning af fjernkølepotentiale i Danmark – Grupper > 2 MW_{køl}

2. HVORFOR FJERNKØLING I DANMARK?

Der er mange gode grunde til, at der i dag er et stort samfundsøkonomisk og selskabsøkonomisk potentiale for at udbygge med fjernkøling i Danmark i samspil med el-og varmforsyningen, herunder:

- At der er et stigende ønske om et godt indeklima med dagslys, hvilket resulterer i et kølebehov i velisolerede bygninger indenfor mange anvendelsesområder
- At der er en umiddelbar økonomisk fordel i at etablere fjernkøling frem for individuel køling i alle godt planlagte bæredygtige bydele.
- At den energipolitiske udvikling de seneste 10 år har øget potentialet for fjernkøling, da fjernkølingen i samspil med fjernvarmen bidrager til at integrerer mere fluktuerende vedvarende energi i energisystemet.
- At lov om Kommunal Fjernkøling, som egentlig skulle fremme fjernkøling, er baseret på tanken om at udnytte overskudsvarme til køling, hvilket ikke længere er økonomisk fordelagtigt under danske forhold, da al gratis overskudsvarme er udnyttet og, da det tværtimod er mere interessant at udnytte overskudsvarmen fra kølingen.
- At Varmeforsyningsloven og Lov om Fjernkøling hidtil har blokeret for, at fjernvarmeselskaberne kunne udvikle den samfundsøkonomisk fordelagtige fjernkøling i symbiose med fjernvarmen, hvilket ikke helt er i overensstemmelse med de seneste EU-direktiver, som sidestiller varme og køl.

2.1 Lovgivning og energipolitik

EU har i direktiverne indenfor energiområdet været opmærksom på, at både fjernvarme og fjernkøling er en vigtig infrastruktur, der kan fremme de energipolitiske målsætninger på en omkostningseffektiv måde, og at der derfor bør planlægges for denne infrastruktur.

2.1.1 EU lovgivningen

Der er 3 vigtige EU-direktiver, som burde følges op af dansk lovgivning, der fremmer fjernkøling:

Bygningsdirektivet, ref. 1, har en overordnet målsætning om, at bygninger skal have et godt indeklima, at de skal indrettes med lavt forbrug af fossile brændsler på en omkostningseffektiv måde under hensyntagen til de lokale forhold. Alene dette indikerer, at bygninger med et kølebehov bør kobles sammen med fjernkøling, hvis det er økonomisk fordelagtigt.

Desuden stilles krav om, at brugen af fossile brændsler ("nearly zero buildings") skal mindskes under hensyntagen til, at bl.a. muligheden for fjernvarme og fjernkøling.

Direktivet for vedvarende energi, ref. 2, henstiller, at man på nationalt og kommunalt niveau skal arbejde med varme- og køleplanlægning for at fremme vedvarende energi.

Direktivet for energieffektivitet, ref. 3, stiller tilsvarende krav om varme- og køleplanlægning.

2.1.2 Dansk lovgivning og analyser

Den energipolitiske målsætning om, at Danmark skal være uafhængig af fossile brændsler inden 2050 er en stor udfordring, da det naturligvis er tanken, at omstillingen skal ske på den mest samfundsøkonomiske måde, så det helst ikke blive dyrere end at fortsætte med den nuværende afhængighed af fossile brændsler.

I Energistyrelsens scenarianalyser, ref. 6, som viser, at det stort set kan lade sig gøre uden meromkostninger, peges på, at det er helt essentielt at vi får et integreret energisystem og, at vi skal satse på en optimal kombination af vind og biomasse.

I den tidligere regerings Smart Grid-strategi, ref. 12, peges på, at fjernvarme og fjernkøling også spiller en stor rolle med hensyn til at udnytte den fluktuerende el-produktion i kraft af afbrydeligt elforbrug og store lagre for varme og kulde.

I Energistyrelsens analyser af det integrerede energisystem hvor el, fjernvarme og gas spiller sammen fremgår, hvordan primært fjernvarmen og dens lagre har en vigtig rolle som et "virtuelt batteri".

Desværre redegør analysen ikke for, hvordan bygningernes interne anlæg og fjernkølingen har stor betydning for at fremme effektiviteten af det integrerede energisystem, herunder især at de kan bane vejen for at indføre effektive store varmepumper. Derfor vil Køleplan Danmarks anbefalinger særligt fokusere på disse forhold.

I IDA's Energivision 2050 fra 2015, ref. 7, er fjernkøling for første gang indarbejdet i en analyse af det samlede energisystem, bl.a. på grundlag af oplysninger fra arbejdet med denne Køleplan Danmark 2015. Analysen viser, at fjernkølingen ligesom fjernvarmen bidrager til at udnytte de svingende elpriser og integrere vindenergi set i forhold til individuelle kølemaskiner, som ikke kan regulere.

Varmeforsyningsloven, ref. 4, stiller krav om, at kommuner skal arbejde med varmeplanlægning i samarbejde med berørte forsyningsselskaber for at fremme samfundsøkonomisk fordelagtige projekter for bl.a. udnyttelse af overskudsvarme.

Projekter, for varmepumper, der skal levere overskudsvarme fra eksempelvis køleanlæg og fjernkøleanlæg, er således omfattet af loven. Det gælder også varmepumper, der etableres i bygningskomplekser, der har en samlet varmekapacitet over 250 kW.

Derimod er de øvrige anlæg i fjernkølesystemet, som er forudsætningen for, at varmepumpen kan "få fat" i overskudsvarmen ikke omfattet.

Det betyder, at fjernvarmeselskaberne og kommunerne har vanskeligt ved at inddrage fjernkølingen på lige fod med fjernvarmen og dermed opnå den synergi, der er mellem de to forsyningsnet.

Ydermere må kommunerne ikke garantere for lån til investeringer i fjernkøling.

Lov om fjernkøling, ref. 5, giver nogle rammer for håndteringen af fjernkøling, men det er ikke ligefrem regler, der fremmer udbygning. Der lægges således hindringer i vejen for, at kommunale selskaber kan etablere fjernkølingsanlæg på lige fod med andre investeringer i udnyttelse af overskudsvarme, eksempelvis kraftvarmeværker. Der er principielt intet til hinder for, at forbrugerejede selskaber kan etablere fjernkøl, men det er ikke muligt at opnå kommunegaranti, selv for gode projekter, hvor risikoen er minimeret, og lovgivningen er noget usikker med hensyn til regnskaber, afgifter og beskatning.

Derved kommer lovgivningen til at blokere for samfundsøkonomisk fordelagtige projekter i fjernkøling.

I rapportens anbefalinger vil være forslag til, hvordan lovgivningen kan fremme samfundsøkonomiske projekter i fjernkøling og således bedre leve op til de energipolitiske målsætninger og EU lovgivningen.

2.2 Termisk komfort og dagslys

Der har siden Dansk Energipolitik 1976 været særlig fokus på opvarmning som et meget nødvendigt gode, lige som vand, spildevand og affald, hvorfor det har været et naturligt ansvarsområde for kommunerne.

Køling derimod, har i mange år været opfattet som et luksusforbrug i kommercielle virksomheder, og derfor ikke noget, man skulle befatte sig med i kommunerne. I nogen sammenhænge har det endog været opfattet som et selvsagt problem på grund af dårlig arkitektur eller bygningsdesign.

I dag er der imidlertid en stigende bevidsthed om betydningen af god termisk komfort og ikke mindst dagslys. En overtemperatur, som man ikke kan imødekomme ved at mindske påklædningen er lige så slem eller næsten værre for komforten, som en undertemperatur, som man dog kan imødekomme med ekstra påklædning.

Desuden har bygningerne fået mere overskudsvarme fra el-forbrugende apparater samtidig med, at varmetabet fra klimaskærmen og ventilation er mindsket.

Det har samlet set øget behovet for køling. Mange bygningskategorier har behov for køling for at sikre god termisk komfort. Desuden har mange institutioner og erhvervsbygninger et kølebehov til både termisk komfort og til proceskøling fra især servere mv.

Man kunne undgå komfortkølingen ved at indrette sig i underjordiske huler, men det er naturligvis ikke tilfredsstillende. Som alternativ kan man udnytte grundvandsforekomster til køling og dermed udnytte den naturlige køling fra jorden via det cirkulerende vand.

Derfor bør køling sidestilles med opvarmning, og fjernkøling bør fremover opfattes som en naturlig del af byernes energiinfrastruktur i lighed med el og fjernvarme. I Danmark dog kun i erhvervs- og centerområder, hvor der er et kølebehov.

Dette underbygges af, at det er betydelige fjernkølesystemer til erhvervsområder og institutioner i eksempelvis Helsinki, Stockholm og Oslo, ligesom der er et stigende antal fjernkølesystemer i områder, hvor en enkelt beslutningstager har ansvar for al energiinfrastruktur og alle bygninger i området. Se eksemplerne, hvor der bl.a. er vist figurer med omfattende fjernkølesystemer på DTU og i Københavns Lufthavne.

Det er et problem at holde et godt indeklima i mange moderne boliger, og nogle kunne fristes til at opsætte en varmepumpe til kombineret varme og køl i en lejlighed. I Holland har man eksempelvis i nyt byggeri i Amsterdam udstyret nye lejligheder med gulvslanger til kombineret varme og køl fra hhv. fjernvarme og fjernkøling.

2.3 Symbiose med fjernvarmen

Danmark opfattes blandt internationale eksperter som verdens førende land indenfor fjernvarme. Det skyldes både den store fjernvarmeindustri og vores tradition for at planlægge fjernvarmeinfrastruktur. Derfor er det et paradoks, at Danmark er bagud indenfor fjernkøling, som er nært beslægtet med fjernvarme. De er begge to naturlige monopoler, som er en naturlig del af byernes infrastruktur, hvor energitætheden er stor nok. De to forsyningsformer er to sider af samme sag, og der er stor symbiose mellem fjernvarme og fjernkøling:

- Fælles kudeanlæg med mulighed for direkte tilslutning uden veksler
- Fælles cirkulerende vand
- Fælles varmepumpe
- Fælles ATES anlæg
- Fælles salgs- og driftsorganisation

- Næsten ens rør
- Begge systemer i samme udgravning
- Evt. fælles returledning i nye bydele
- Næsten ens akkumuleringsstank, vekslere, pumper mv.
- Komplet løsning til kunden på varme og kulde
- Fælles vekslerflader i ventilationsanlæg
- Fælles slanger i gulv og loft
- Samproduktion af varme og køl

Disse synergier har man kendt mange steder, eksempelvis hos adskillige ejere af store bygningskomplekser og campusområder i bl.a. Sverige, Finland, Holland og Nordamerika.

I de kommuner i Danmark, som har arbejdet med strategisk energiplanlægning med fokus på den samlede termiske komfort, kommer man til samme erkendelse, men kan ikke komme videre, da lovgivningen lægger hindringer i vejen.

Det er i praksis kun kommuner, som ejer et energiselskab med fri egenkapital, som har muligheden for at deltage.

2.4 Eksportpotentialet

Verdensmarkedet for køl er større end for varme.

Den danske model med forbrugerejede og kommunalt ejede selskaber understøtter eksportarbejdet, der er baseret på et **tværgående og åbent** samarbejde mellem:

- Leverandører
- Rådgivere
- Fjernvarmeselskaber og
- Myndigheder

En stærk dansk fjernkølesektor vil understøtte fjernvarmeteknologien og konvertere mod en komplet palette "District Energy Technologies".

Med denne model får alle byer muligheden for at planlægge i helheder ud fra en holistisk synsvinkel, ligesom man kan det i områder med én ejer.

Den danske model har således to umiddelbare positive sider, som kan bidrage til at fremme vores konkurrenceevne og eksport:

1. Konceptet sikrer den mest effektive forsyning af varme og køl ud fra de givne rammer og dermed de laveste netto energjudgifter for erhvervsvirksomheder. Det vil sige man minimerer energjudgifter til varme og køl og maksimerer industriens udbytte af at levere overskudsvarme.
2. Fjernvarme og fjernkøleselskaber vil kunne udnyttes som eksperimentarium for at afprøve nye teknologier, særligt indenfor store varmepumper, lagre og konverteringsteknologier, og dermed markedsføre de ydelser, som rådgivere og industrivirksomheder leverer over hele verden.

Endelig kan man sammenligne fjernkøleteknologien med teknologien til den individuelle køling.

Individuel køling har en stor importandel af masseproducerede mindre kølemaskiner medens fjernkøleindustrien har en mindre importandel og kan etableres med simpelt og robust udstyr med lang levetid, som tilvirkes i Danmark.

3. TEKNISKE LØSNINGER

Køling og fjernkøling i særdeleshed vil i fremtiden blive en integreret del af det samlede energisystem. Det er således vigtigt at se på samspillet mellem alle tekniske komponenter, lige fra køleflader til køleproduktion og kølelagre til snitflader mellem kølingen og klimaskærm, varmforsyning, elforsyning og de industrielle processer.

3.1 Termisk komfort til kunderne

Den termiske komfort opnås bedst ved en passende kombination af tunge bygningsdele, ventilation og varme/køleflader med temperatur tæt på den komfortable rumtemperatur.

Det er samtidig vigtigt, at kunderne let kan regulere på temperaturen til behovet og får incitament til at gøre det.

De nyeste anlæg på markedet rummer netop disse kvaliteter.

Opvarmning og køling sker både i ventilationsanlæg med enten køl eller varme og det sker i gulve og i strategisk placerede radiatorer mv.

Det giver mulighed for at samme anlæg kan levere god termisk komfort med "lavtemperatur-varme" og "højtemperatur køling"

Desuden kan både varme og køl leveres med måler og reguleringsudstyr til brugere decentralt i bygninger og derved leve op til princippet om, at energi skal måles tæt ved slutforbruget.

3.2 Distributionsanlæg i bygninger

Distribution af køling internt i en bygning kan ske på flere forskellige måder. Metoden til distribution afhænger af bygningens alder og temperaturkrav, da klimaanlæg i de senere år gennemgået en udvikling. Det er desuden vigtigt at skelne mellem, om det er køling til komfort (f.eks. et kontor) eller, om det er køling til proces, (for eksempel køling af servere i datacentre).

3.2.1 Komfortkøling

Som beskrevet i Afsnit 2.2 er der sket en udvikling i behovet for termisk komfort og komfortkølebehovet er steget betydeligt. På samme måde har leveringen af køling til komfort gennemgået en udvikling fra at køling blev leveret af små individuelle ventilationsanlæg, som man ser det i Syd-europa, til at blive leveret fra centrale anlæg i bygningerne via et eller flere ventilationssystemer.

Køling leveret via et ventilationssystem kan enten være båret af kold luft, vand eller en kombination af de to. De forskellige systemer kan have forskellige krav til temperatur og køleforbrug. F.eks. vil en skole med mange elever i en klasse have større behov for luftudskiftning pga. luftkvaliteten, og derfor ikke så lav en køletemperatur, mens et kontor med få mennesker i lokalerne har behov for mindre luftudskiftning, med en lavere køletemperatur. De forskellige anlæg og kølebehov kræver forskellige køleløsninger og variationen af driftstimer for anlæggene vil også variere. Fælles for systemerne er dog, at kølingen typisk leveres af en centralt placeret kompressionskølemaskine, som kan erstattes af fjernkøling. Større bygninger kan dog være delt op i ventilationsceller, som hver forsynes med varme og køl. Her kan fjernkøling og fjernvarmen føres direkte frem til hver celle, enten direkte eller via en central veksler, hvor bygningen tilsluttes.

Komfortkøling har meget kort benyttelsestid, eksempelvis 1.000 timer, og kølingen sker i sagens natur i de varmeste måneder. Derfor er der mere fokus på investeringerne i kølemaskiner til at opfylde komfortkravet end på energieffektivitet, ligesom værdien af den overskudsvarme, som kan produceres med kølingen uden sæsonvarmelagring er lav.

3.2.2 Proceskøling

Proceskøling er køling til procesformål. Det kan f.eks. være køling af grønsager eller frostvarer i et supermarked, køling af servere i et datacenter eller køling af en maskine på en fabrik. Kravet til temperatur for proceskøling er meget afgørende og meget mere varieret end ved komfortkøling. Køling til køl og frost kræver en temperatur under frysepunktet, mens køling af servere kan klares med en temperatur op imod 20 °C.

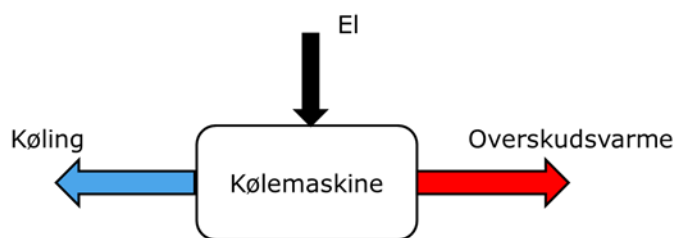
Køling til kølebehov med temperaturkrav under frysepunktet kan ikke leveres med vand eller luft som ved komfortkøl. Her benyttes typisk en glykol/vand blanding, der kan tåle de krævede temperaturen uden at fryse, eller som i mange supermarkeder sendes kølemidlet ud i køledisken og køler varerne direkte. Fjernkøling vil ikke blive leveret ved disse kolde temperaturer pga. store tab i rør samt store omkostninger og miljøfare ved at have glykol i hele fjernkølesystemet. Kølesystemer til frost kan derimod godt have gavn af fjernkøling. Fjernkøling kan benyttes på den varme side af køleanlægget og dermed sørge for en mere stabil og i store dele af året også en mere effektiv køleproduktion. I sådan et tilfælde erstatter fjernkøling ikke en kølemaskine, men forbedrer driften af den eksisterende frysemaskine samtidig med, at store tørkølere/blæsere, som støjer og generer bybilledet, ikke er nødvendige.

Proceskølingen er nødvendig hele året og har derfor stor benyttelsestid, eksempelvis 3.000 timer, og størstedelen af den overskudsvarme, der kan leveres fra kølingen, kan have stor værdi i fjernvarmen selv uden lagring.

3.3 Produktion og lagring af køling

3.3.1 Kompressionskøling

Kompressionskøling er den mest traditionelle metode til at producere køling. Det er bl.a. den type køling, der produceres i et køleskab. Her anvendes el til at tryksætte en kølevæske, og kølemidlets faseovergang fra gas til væske udnyttes til at producere køling. F.eks. ved at køle noget vand ned til en lavere temperatur. Ved kompressionskøling er der et elforbrug, som hovedsageligt går til at drive kompressoren. Forholdet imellem køleproduktionen og elforbruget kaldes "Coefficient Of Performance" (COP, effektfaktoren). Den er et udtryk for en kølemaskines effektivitet. COP-k for en kølemaskine afhænger af hvilken temperatur der skal køles til – jo koldere temperatur des større elforbrug. COP-k for en kølekompressor ligger typisk imellem 3 og 8. Et simpelt principdiagram for et kompressionskølesystem ses i Figur 3-1.



Figur 3-1 Principskitse for kompressionskøling

Når der produceres køling, produceres der samtidig overskudsvarme. Denne overskudsvarme skal bortkøles. Typisk gøres dette via udeluften, hvor udeluften ventilerer kølevæsken.

3.3.2 Frikøling

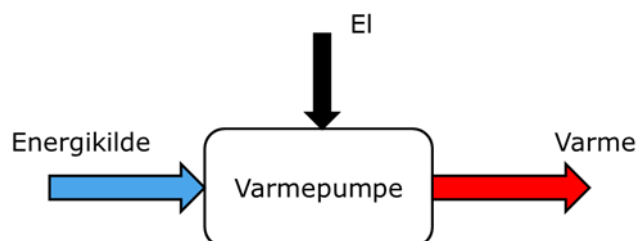
Ved frikøling forstås køleproduktion uden brug af elektricitet, bortset fra et mindre forbrug til at drive pumper og ventilatorer. Frikøling kræver en kold kilde, som eksempelvis kan være havet, en sø eller udeluften. Alle koncepter benytter samme princip. Hvis udeluften er koldere end den ønskede køletemperatur, køles der direkte med udeluften i stedet for med kompressionskølema-

skinen. På den måde spares der på elforbruget. Ulempen ved frikøling i Danmark er, at kølebehovet ofte er begrænset, når udeluften eller havet er koldt nok.

Proceskøling, der kan nøjes med en høj temperatur, som for eksempel 20 °C har således større muligheder for frikøling.

3.3.3 Varmepumper

En varmepumpe er i princippet den samme teknologi som et kompressionskøleanlæg. Når den varme side (overskudsvarmen i Figur 3-1) udnyttes, kaldes maskinen en varmepumpe. En varmepumpe kræver en lavtemperatur energikilde, som f.eks. kan være luften, grundvandet eller havet. Havet eller grundvandet køles ned, og samtidig produceres der varme i varmepumpen. På sammen måde som ved kompressionskøling defineres COP-v ud fra forholdet imellem varmeproduktion og elforbrug. Jo højere temperatur varmen produceres ved, des dårligere bliver COP-v. I Figur 3-2 ses et simpelt diagram, der beskriver varmepumpen.



Figur 3-2 Principskitse for en varmepumpe

I stedet for at benytte havet som energikilde og dermed nedkøle havet eller søen, kan man benytte et lokalt kølebehov som energikilde. På den måde kombineres kompressionskøling og varmepumpen til en samlet køle-varmemaskine.

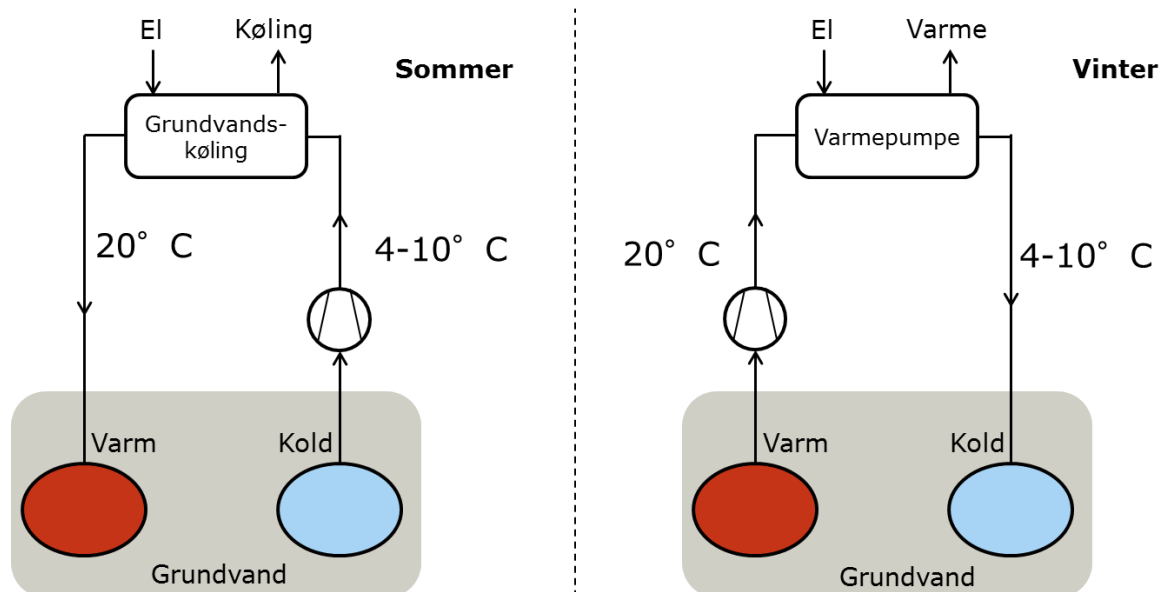
I jagten på overskudsvarme til fjernvarmen er det derfor interessant at fokusere på kunder, der alternativt må investere i kølemaskiner for at bortskaffe overskudsvarmen.

3.3.4 Grundvandskøling og sæsonlager for køl og varme (ATES)

Når et kølebehov benyttes som energikilde til en varmepumpe, er det kølebehovet, der styrer, hvornår varmen produceres. Da kølebehovet er størst om sommeren, vil varmen derfor også hovedsageligt blive produceret om sommeren. Det kan derfor være en fordel at kunne sæsonforskyde varmeproduktionen. Dette kan gøres ved at benytte grundvandet som lavtemperatur lager af køling og varme eller ved at benytte et sæsonlager, som f.eks. et damvarmelager.

Ved et sæsonvarmelager flyttes varmeproduktionen fra sommer til vinter. Et sæsonvarmelager benyttes typisk i sammenspil med store solvarmeanlæg, som f.eks. i Vojens og Gram til at lagre varme ved en nyttig temperatur på eksempelvis 80 °C, men et sæsonlager kan også benyttes til at lagre varmen fra en varmepumpe ved eksempelvis 65 °C evt. i samspil med varme fra et affaldsanlæg.

Ved et grundvandslager benyttes grundvandet både som varme- og kølelager men ved lavere temperaturer mellem typisk 4 °C og 20 °C. Grundvandsboringen etableres som x antal boring-spar (dipoler), der benyttes til henholdsvis køling om sommeren og varme om vinteren. I Figur 3-3 ses de to driftssituationer for grundvandslageret.



Figur 3-3 Principskitse for grundvandslager

Denne form for køling og grundvandslager har den internationale betegnelse ATES (Aquifer Thermal Energy Storage).

Om sommeren pumpes koldt vand op fra den kolde brønd og benyttes til køling, hvorefter det returneres i den varme brønd. Denne situation vendes om vinteren, hvor det varme vand pumpes op fra den varme brønd og via en varmepumpe nedkøles samtidig med, at der produceres varme i varmepumpen.

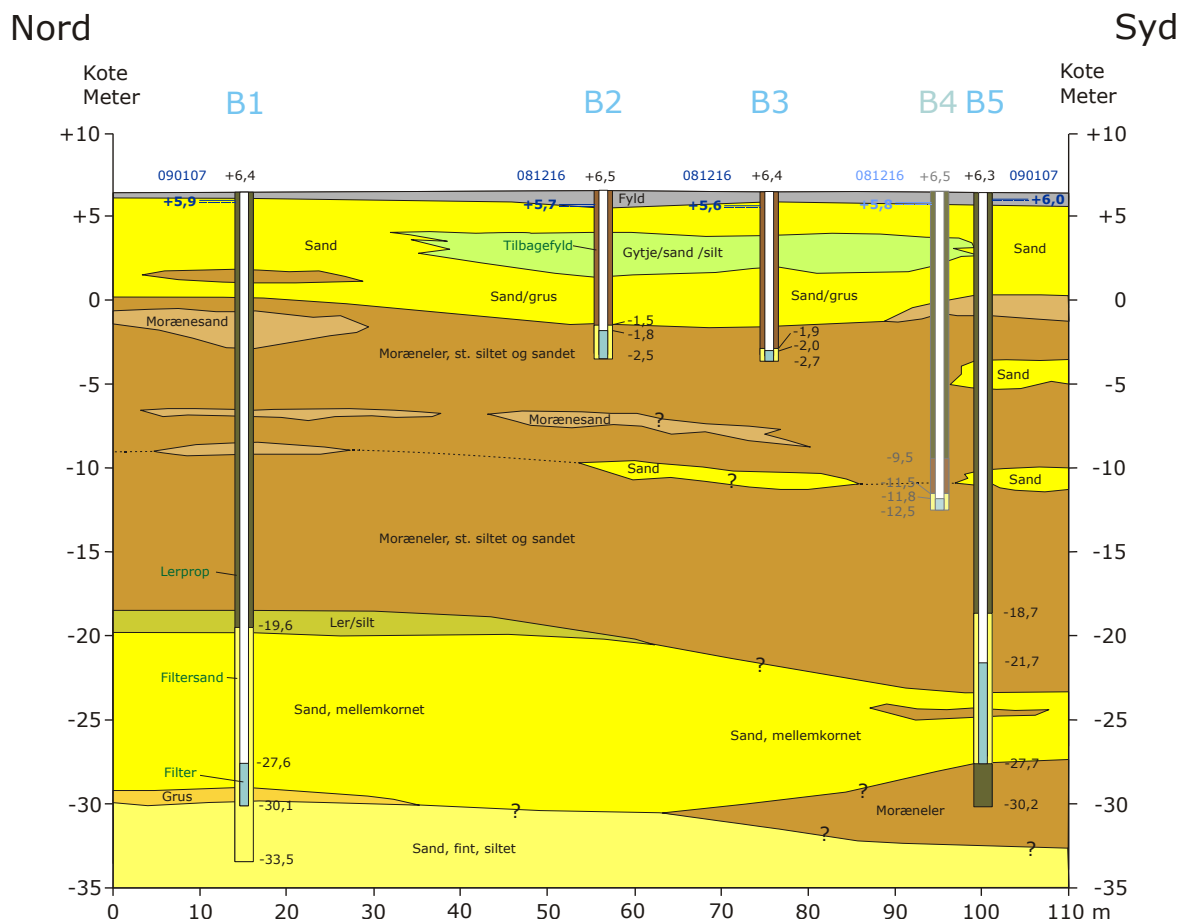
Grundvandslageret får dermed to anvendelsesmuligheder og benyttes i kombination med en varmepumpe til at producere billig køling om sommeren og varme om vinteren.

Ligesom grundvandsboringerne (dipolerne) har en dobbeltfunktion, har varmepumpen også en dobbeltfunktion, der gør systemet særlig økonomisk attraktivt:

- Varmepumpen supplerer grundvandskølingen om sommeren som spidslast og som temperatur booster til at sænke fremløbstemperaturen til behovet, eksempelvis til 4 °C eller 10 °C når grundvandets temperatur ikke er lav nok
- Varmepumpen køler grundvandet ned til eksempelvis 4 °C om vinteren og producerer samtidig varme ved en temperatur, der kan nyttiggøres i bygninger og fjernvarme, eksempelvis 65-75 °C alt efter bygningernes krav på stedet.

Vores drikkevandsressource i Danmark har meget høj prioritet, og de kommunale miljømyndigheder har pligt til at sikre, at der ikke etableres anlæg, som i værste fald kan forurene eller opvarme grundvandet for meget, så der sker en bakterievækst. Myndighederne er derfor særligt opmærksomme på eksempelvis grundvandskøling og jordvarme med vandrette eller lodrette borer. Samtidig har regionernes miljømyndigheder pligt til at holde øje med forurenede grunde.

Derved er der umiddelbart lagt op til en konflikt mellem energi- og miljøinteresser. Problemstillingen er imidlertid meget kompleks. Nedenfor ses et eksempel på en kortlægning af jord og grundvand i et område.



Kilde: Rambøll miljø

Figur 3-4 Eksempel på kortlægning af jord og grundvand

De helt grundlæggende miljøkrav, som umiddelbart let kan overholdes af professionelt drevne anlæg er følgende:

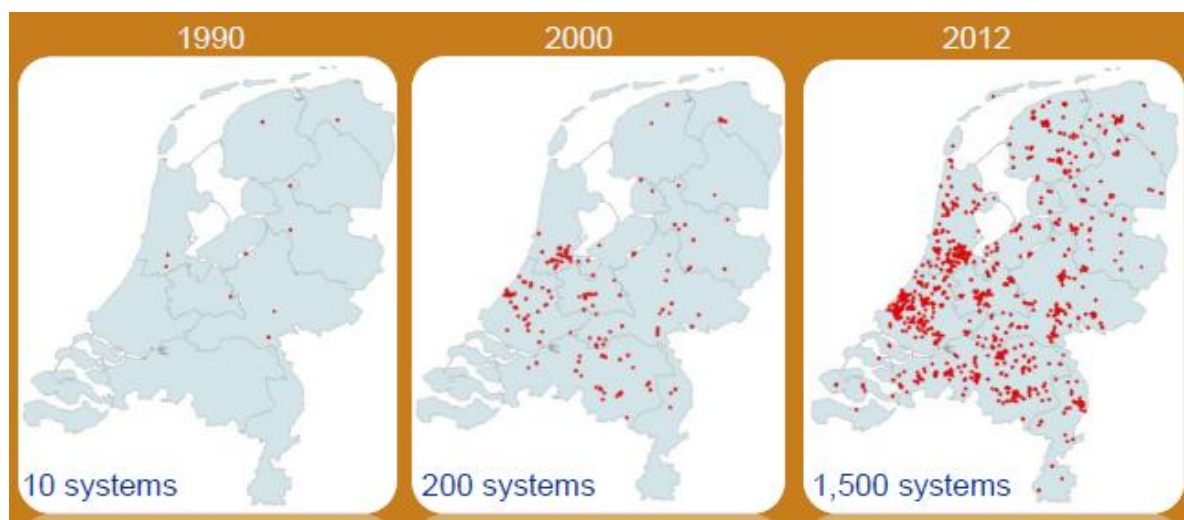
- Der skal være termisk balance på årsbasis, så grundvandet ikke opvarmes
- Der skal være overtryk på grundvandsledningen i forhold til varmekredsen i veksleren, således at der ikke trænger vand ind i grundvandskredsen ved en eventuel lækage i veksleren
- Det skal overvåges, at krav om maksimal vandføring og årlig cirkuleret vandmængde ikke overskrides

Den potentielle konflikt mellem fjernkøling og grundvand kan meget vel vendes til et positivt samarbejde og en symbiose, når det gribes rigtigt an. Følgende forhold taler for, at fjernkøling med grundvandskøling ikke skader, men måske endda ligefrem kan forbedre vores grundvandskvalitet i forhold til et realistisk alternativ:

- Med fjernkøling kan man koncentrere, koordinere og overvåge grundvandsboringer et centralt sted, der er optimalt i forhold til øvrige interesser og derved erstatte mange alternative individuelle grundvandsboringer, som i øvrigt også kan komme i konflikt indbyrdes.
- Med fjernkøling og grundvandskøling kan man endvidere tage højde for forureneede grunde og placere boringer, så de kan medvirke til at overvåge det forureneede grundvand og rense det med aktivt kulfilter mv., hver gang det pumpes op.

- Med grundige analyser af grundvandsforekomsterne kan man ofte udnytte grundvandsmagasiner til ATES, som ikke kommer i konflikt med drikkevandsressourcer, der udnytter andre grundvandsmagasiner
- Når ATES anlægget udnyttes til varmeproduktion til fjernvarmen, er der næppe problemer med at sikre termisk balance, og det vil endda være sandsynligt, at grundvandet underafkøles, så det bliver koldere end normalt

ATES er et nyt fænomen i Danmark og det er naturligt, at det betragtes med en vis skepsis af miljømyndighederne. Der er derfor behov for at udveksle erfaringer omkring ATES anlæg. I Holland har man i de seneste 20 år etableret over 1.500 individuelle anlæg, bl.a. fordi fjernkøling endnu ikke er udbredt.



Kilde: If-Technologies

Figur 3-5 Udbredelsen af ATES i Holland

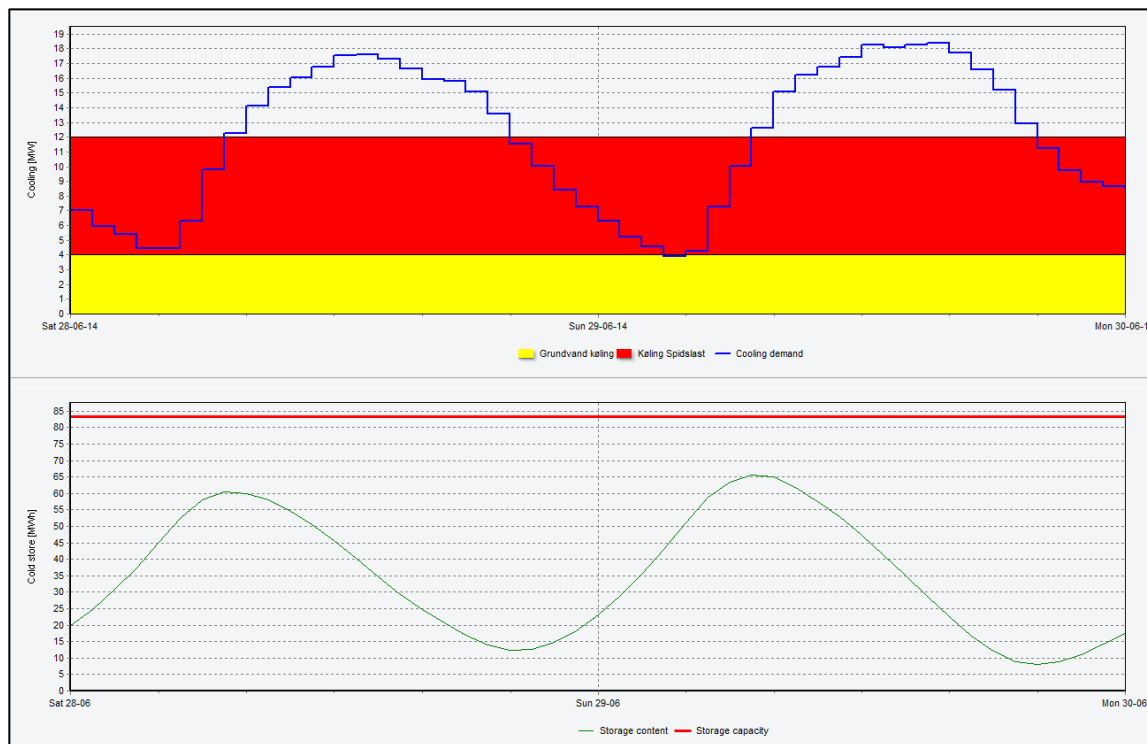
I Danmark kunne man forvente et pres på myndighederne for et lignende antal individuelle anlæg, med mindre der etableres fjernkøling. Med fjernkøling vil antallet ud fra denne rapportes potentialebureauinger kunne reduceres betydeligt.

3.3.5 Køleakkumulator

En køleakkumulator benyttes modsat sæsonlageret til at udligne produktionen kortvarigt, f.eks. en dag eller en uge. Køleakkumulatoren kan etableres som en cylindrisk tank af stål. Den er mægtig til en varmeakkumuleringstank bortset fra, at der skal træffes foranstaltninger til at forhindre uønsket rust som følge af kondensering. En køleakkumulator har to hovedformål:

- At minimere den samlede kompressorkapacitet, ved at udligne behovet den varmeste dag.
- At producere køling, når elprisen er lav og medhjælpe til at integrere vindenergi

Princippet med at udjævne behovet den varmeste dag ses i Figur 3-6. Den samlede kapacitet er på maksimum hele døgnet. Med den viste døgnvariation ses, at man reducerer kølekapaciteten med en faktor omkring 0,7.



Figur 3-6 Udjævning af kølekapacitet med køleakkumulator

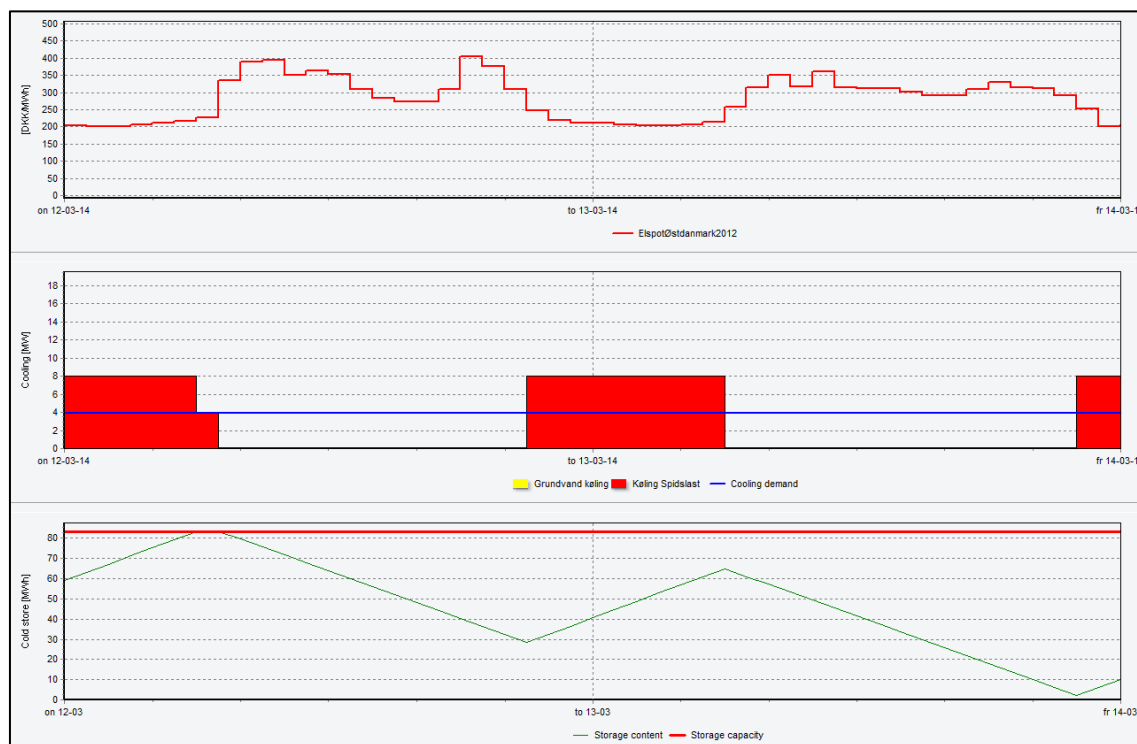
Når belastningen ikke er maksimal, er der plads i akkumulatoren til at optimere produktionen i forhold til markedsprisen på el. Med dagens elforsyning er døgnsvingningen dominerende, og elprisen er lavere om natten. Der kan derfor typisk produceres køling til en lavere pris om natten, ligesom man med tørkølere kan drage fordel af, at udetemperaturen er lavere om natten. Dette princip er vist i Figur 3-7.

Desuden giver en køleakkumulator også en bedre drift af køleanlægget. Produktionen er mere stabil, og kølemaskinen kan i højere grad operere i maskinens designområde, som resulterer i bedre virkningsgrad og besparelse i drift og vedligehold.

Netop lagerets evne til at lagre koldt vand til køling, så køleproduktionen kan maksimeres, når elprisen er lav, og stoppes, når elprisen er høj, ses som en stor fordel i Danmarks fremtidige energisystem. Med den planlagte udbygning med fluktuerende el-produktion fra bl.a. vindmøller og solceller, kan man forvente, at priserne vil variere endnu mere og tilfældigt som vinden blæser og solen skinner. Derfor bliver der i fremtiden et endnu større behov for at optimere elforbruget i forhold til elpriserne nogle døgn frem.

Det kan de store lagerenheder gøre meget effektivt og billigt, sammenlignet med f.eks. batterier. Tabet til omgivelserne i en køleakkumuleringskøleakumulator er meget lavt, og anlægsinvesteringerne er ligeledes lave.

På figuren nedenfor ses, hvordan produktionen koncentrerer sig i korte perioder, hvor elprisen i eksemplet formodes at være lavest. Figuren er stilistisk og viser ikke, at varmepumper skal op og nedregulere efter en rampe iht. fabrikantens anvisning.



Figur 3-7 Optimal køleproduktion med køleakkumulator

Man kan således fylde lageret med koldt vand, når andelen af vindmøllestrøm er stor og elprisen er lav. Modsat kan man tømme lageret for koldt vand om dagen, når el-behovet og elprisen er høj. Hvis elpriserne giver tilstrækkelige incitamenter, kan man forholdsvis let udvide lagerkapaciteten med flere parallelle tanke.

Det vil gavne både fjernkøleselskabet, der vil opleve lavere udgifter til el, men også samfundet, da vindmølle- og solcellestrøm i højere grad kan integreres i el-systemet.

3.3.6 Absorptionskøling

Absorptionskøling er drevet af varme i stedet for el som ved en kølemaskine. Det betyder at el-forbruget i en absorptionsvarmepumpe er begrænset til cirkulationspumper og derfor minimalt. Til gengæld kræver absorptionskøling store mængder billig varme ved en høj temperatur, for at økonomien bliver god. COP-a for absorptionskøling er angivet som forholdet imellem køleproduktionen og varmekonsumet, COP-a er typisk imellem 0,7 og 1,2.

Der har tidligere været perioder i året, hvor varmen var næsten gratis, men med nye teknologier og tiltag, som sæsonlagring, grundvandslagring og større fjernvarmeområder, er det sjældent, at varmen er helt gratis. Derfor får absorptionskøling næppe nogen betydning i fremtidens køleforsyning i Danmark.

Der kan dog være særlige tilfælde, hvor der er høj temperatur til rådighed til at drive absorptionsvarmepumpen samtidig med, at den noget lavere returtemperatur fra anlægget kan nyttiggøres til opvarmning af eksempelvis nyere byggeri, der kan nøjes med 60-70 °C

I et varmt klima, hvor elforbruget er højest om sommeren og konstant i lange perioder, kan absorptionsvarmepumper dog være en god ide, så man undgår omvejen via el-systemet. Damp-turbiner fra affaldsforbrænding og hedtvandskedler kan således drive absorptionsvarmepumper med høj COP-a uden at belaste el-systemet.

3.4 Fjernkølenet

For at kunne distribuere det kolde vand til kølekunderne kræves et fjernkølenet. Det skal graves ned og kan enten etableres i plast (PE-rør) eller som præisolerede rør (som til fjernvarmen).

3.4.1 Plastrør

Plastrør fremstilles i materialet Polyætylen (PE). PE-rør har følgende fordele:

- Lav vægt
- Fleksibelt
- Korrosionsbestandigt
- Lav friktion

PE-rør kan leveres både med og uden isolering. Hvis der ikke produceres varme, kan det være en fordel ikke at isolere rørene, da man på returen vil opnå gratis køling fra jorden.

3.4.2 Stålrør

Stålrør er kendt teknologi fra fjernvarmen, og fjernkøling kan etableres i samme rør som benyttes i fjernvarmen. Rørene kan med fordel etableres med laveste isoleringsklasse, da temperaturerne ved fjernkøling ikke varierer meget fra jordtemperaturen. Det er dog vigtigt med isolering og alarmsystem for at undgå korrosionsskader, som kan reducere levetiden på rørene.

3.4.3 Direkte/indirekte anlæg

Kundetilslutningen kan umiddelbart etableres på to forskellige måder. Et direkte anlæg, hvor fjernkølevandet løber direkte i kundens lokale kølenetværk, eller som et indirekte anlæg, hvor der etableres en veksler hos kunden. Det direkte anlæg har den fordel, at temperaturtabet er mindre og dermed fås en mere energieffektiv produktion. Ulempen ved et direkte anlæg er, at grænsefladen imellem fjernkøleselskab og kunde er sværere at definere og, at et eventuelt udslip hos kunden, kan påføre kunden vandskader og forstyrre køleforsyningen.

3.5 COP værdi ved samproduktion af køl og varme

Der er ikke nogle generelle retningslinjer for, hvordan COP skal defineres, når der er tale om samproduktion af køling og varme i en samlet varme- og kølemaskine (fremover omtalt varmepumpe). Når temperaturen hæves, og den varme side af varmepumpen udnyttes samtidig med, at der produceres køling, opstår der et forøget elforbrug sammenlignet med, at der udelukkende produceres køl, og COP-værdien falder. Man kan derfor komme til at tro, at det ikke kan betale sig at lave samproduktion af køl og varme, men her er det vigtigt at holde for øje, at varmepumpen har to nyttige produkter: varme og køl.

I dette afsnit vises eksempler, hvor COP deles imellem køling og varme ved samproduktion.

3.5.1 COP værdier

I tabellen nedenfor ses et eksempel på COP værdier ved køleproduktion og ved samproduktion.

Værdi Beskrivelse	
Ren køl:	
COP køl	7 Årlig COP for udelukkende køleproduktion
Samproduktion:	
COP køl	2,5 Køle COP ved samproduktion
COP varme	3,5 Varme COP ved samproduktion

Tabel 3-1 Overslag over COP værdier

3.5.2 Marginal varme COP

Hvis det antages, at køling kan produceres med en COP på 7, kan det beregnes, hvor meget merforbruget af el er, hvis temperaturen skal hæves til f.eks. fjernvarmetemperatur. Dette angiver en marginal varme COP, og den kan benyttes til at definere en virkningsgrad for varmeudnyttelsen ved samproduktion af køling og varme.

I nedenstående tabel tages udgangspunkt i en køleproduktion på 100 MWh med tilsvarende varmeproduktion og elforbrug. For varmepumpen er der benyttet COP for samproduktion fra tabellen ovenfor.

Beskrivelse	Værdi	Enhed
Køleproduktion	100 MWh køl	
Varmeproduktion	140 MWh varme	
Elforbrug køl	14 MWh el	
Elforbrug varme	26 MWh el	
Total elforbrug	40 MWh el	
COP køl	7	
COP varme	5,4	

Tabel 3-2 Marginal COP

Der opnås en marginal varme COP på 5,4, når det antages, at køling alene kan produceres med en gennemsnitlig COP på 7. Denne betragtning med en marginal varme COP kan anvendes, når varmen fra en varmepumpe skal sammenlignes med andre teknologier, som f.eks. en gaskedel for at se, om det er gaskedlen eller varmepumpen, der skal producere varme en given time.

3.5.3 Samproduktion COP

En mere simpel metode er at definere COP ved samproduktion ud fra summen af køle- og varmeproduktionen og det totale elforbrug. Dette giver en samlet system COP for varmepumpen, der tager højde for både køle- og varmeproduktion. Ulempen ved denne metode er, at køling og varme bliver sammenlignet på samme vilkår, selv om varme og køling ikke nødvendigvis har samme prioritet. Generelt har køling højere prioritet end varme om sommeren og omvendt om vinteren.

Nedenfor ses definitionen af COP værdi for samproduktion. Med COP værdierne for varmepumpen defineret i tabellen ovenfor, benyttes 2,5/6 af elforbruget til køl og 3,5/6 af elforbruget til varme.

Beskrivelse	Værdi	Enhed
Køleproduktion	100 MWh køl	
Varmeproduktion	140 MWh varme	
Elforbrug køl	17 MWh el	
Elforbrug varme	23 MWh el	
Total elforbrug	40 MWh el	
COP køl	6	
COP varme	6	

Tabel 3-3 Gennemsnitlig COP

Ved at benytte metoden for samproduktion til at beregne COP, fås en samlet COP for køling og varme på 6.

Det er vigtigt, at man ikke bestemmer sig for enten en ren køleløsning eller en varmepumpeløsning ud fra COP værdien. COP skal benyttes til at beregne elforbruget i en varmepumpe eller en kølemaskine.

Når man skal udnytte samproduktion af køling og varme skal effektiviteten vurderes ud fra, om der er et varmebehov, når der er et kølebehov. Desuden skal den alternative varmepris vurderes. Hvis der produceres køling på en ren kølemaskine, skal prisen for at producere køling her sammenlignes med gevinsten for både at producere køling og varme på samme tid. Her er det vigtigt at se på, hvornår varmepumpen producerer varme, til hvilken pris, og hvad varmen fra varmepumpen substituerer på det givne tidspunkt.

Der er flere tiltag, der kan bidrage til en billigere køle- og varmepris ud over virkningsgraden for varmepumpen. En køle- eller varmelagertank kan, hvis der vælges en variabel el-tarif, producere billigere varme og køling, når der er billig el. Et ATES system kan benyttes til billig køling om sommeren og til at producere varme på tidspunkter, hvor varmen er dyr (spidslast produktion). Det er vigtigt, at disse tiltag vurderes sammen med COP-faktoren, så man får det rigtige billede af omkostningerne ved det samlede varme- og kølesystem.

COP-faktoren er naturligvis vigtig for energieffektiviteten, men man skal være opmærksom på, at investeringerne spiller en større rolle for den samlede økonomi. Ved planlægning af fjernkøling skal man således i højere grad koncentrere sig om storskalafordele ved investeringerne frem for de små forskelle i COP-værdierne.

4. DEFINITION AF ATES OG VARMEPUMPEKAPACITET

Et ATES system kan, som vist i Afsnit 3.3.4, sæsonlagre varme fra sommer til vinter og køling fra vinter til sommer. ATES systemet skaber derfor fordele både for varmesiden og kølesiden i et varme- kølesystem med varmepumper. I dette afsnit laves nogle generelle beregninger for, hvor stor en del af et kombineret varme- og kølesystem, der med fordel kan dækkes af ATES.

Køling produceret fra ATES er billig og med en høj virkningsgrad. De variable omkostninger ved køling fra ATES, går hovedsageligt til at pumpe vand op fra den kolde brønd. Derudover skal grundvandet afhængig af grundvandsforholdene køles igen, så det er klar til næste sommers køleproduktion. Her kan man benytte en varmepumpe og producere fjernvarme. Denne varmepumpe kan evt. også benyttes om sommeren til at producere køling. Fordelingen imellem varmepumpe/grundvandskøl og afhænger af varmebehovet og kølebehovet, men det er vigtigt at varmepumpen har kapacitet til at køle alt grundvandet ned i løbet af vinteren.

Når grundvandet køles ned og gøres klar til den efterfølgende sommer, kaldes det i det følgende for termisk balance. Den energi, der er trukket op og brugt til køling, skal leveres tilbage til grundvandet, så den termiske balance opretholdes. Det er op til den enkelte forbruger/ejer af grundvandsanlægget at bestemme hvornår på året, der laves termisk balance.

Hvis det er en enkeltstående forbruger af grundvandskøling vil forbrugeren typisk benytte varmepumpen og producere varme, når forbrugeren har et lokalt varmebehov. Hvis det er fjernvarmeselskabet, der styrer driften af varmepumpe og ATES kan man lave termisk balance, når varmen er dyrest, eksempelvis når der er mangel på spidslast i fjernvarmesystemet. Dette vil resultere i en bedre udnyttelse af ATES, og den producerede varme vil have større værdi for selskabet og samfundet.

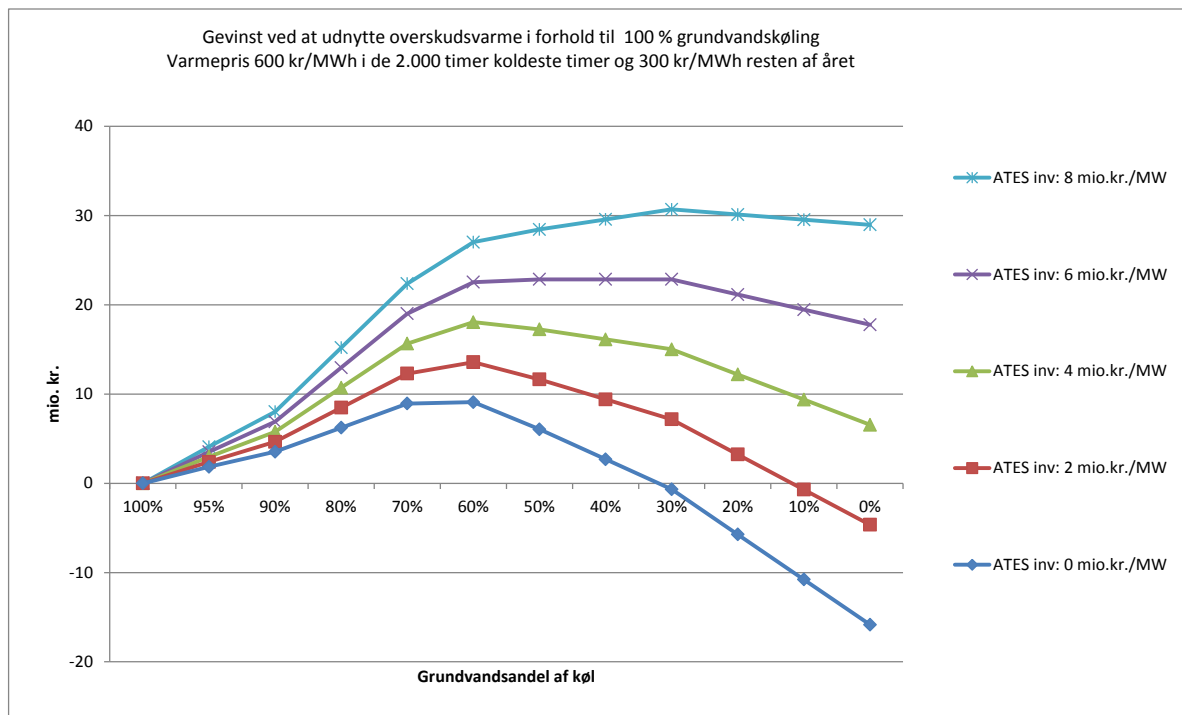
I Figur 4-1 belyses, om det er fordelagtigt at udnytte overskudsvarme fra køl i forhold til en reference, hvor der kun etableres grundvandskøling, og hvor overskudsvarmen køles bort. Desuden belyses den optimale kombination af grundvandskølekapacitet og varmepumpekapacitet med forskellige antagelser om prisen på grundvandskølekapaciteten.

Der er taget udgangspunkt i et kølemarked på $10 \text{ MW}_{\text{køl}}$ og det er antaget:

- At varmen har en værdi på 600 kr./MWh i de 2.000 koldeste timer og 300 kr./MWh i resten af årets timer.
- At elprisen er 1.100 kr/MWh
- At varmepumpen koster 6 mio.kr./ $\text{MW}_{\text{køl}}$

Hvis man udelukkende ser på omkostningerne ved kølingen, vil det ofte være en fordel med så meget grundvandskøling eller frikøling som muligt, med mindre det er dyrt at etablere (boring er med ringe vandføring) eller vanskeligt at drive (problemer med organisk materiale ved køling med havvand eller søvand). Det vil sige, at man smider overskudsvarmen væk.

Hvis man imidlertid kan udnytte overskudsvarmen, og især hvis overskudsvarmen har en høj værdi om vinteren, kan det være en fordel at erstatte noget af grundvandskølekapaciteten med varmepumpekapacitet.



Figur 4-1 ATES gevinst ved forskellige investeringsomkostninger

Ud fra figuren ses:

- At det med de givne varmepriser altid vil være en fordel ikke at smide overskudsvarmen væk
- At det vil være fordelagtigt at etablere varmepumper med en kapacitet svarende til ca. 40 % af den samlede kapacitet, selv om ATES boringen er gratis, eller hvis den allerede er etableret
- At det vil være fordelagtigt at øge andelen af varmepumpekapacitet til op mod 70 % af den samlede kapacitet, hvis ATES anlægget koster nogenlunde det samme som varmepumpen pr MW-k.

Der vil naturligvis ske et vist tab af varme og køl i det underjordiske lager. Når eksempelvis 100.000 m³ varmt vand ved 20 °C pumpes ned, kan man ikke få lige så meget op ved samme temperatur, men måske 100.000 ved 18 °C eller 50.000 ved 20 °C og 50.000 ved 16 °C. Tabet er imidlertid ikke så afgørende. Det betyder blot, at varmepumpen skal løfte fra 18 °C til 65 °C i stedet for fra 20 °C til 65 °C. Det vil ikke forringe COP værdien væsentligt. Man kan i højere grad tale om, at grundvandet udgør et temperaturreervoir.

Forbipasserende strømmende drænvand, som gerne må opvarmes og nedkøles, er helt analogt til et ATES anlæg. Det vil være lidt mindre energieffektivt, da den tilførte varme jo forsvinder, men til gengæld kan det være billigere at etablere. Et nogenlunde konstant flow af eksempelvis drænvand kan udnyttes på samme effektive måde med en varmepumpe, dog uden sæsonlagermulighed for varme og køl. Om sommeren hentes køl fra vandet, hvorved temperaturen på det forbipasserende vand hæves lidt. Om vinteren hentes varme fra vandet med varmepumpen, hvorved temperaturen på det forbipasserende vand sænkes lidt. Samlet set fås en lidt dårligere COP, men det vigtigste er, at man har en strøm af rent vand ved en stabil lav temperatur modsat eksempelvis havvand og søvand, som indeholder organisk materiale og har en mindre gunstig temperaturprofil året igennem.

5. KØLEPOTENTIALET I DANMARK

5.1 Behovet for køling i udvalgte sektorer

Kølebehovet i Danmark er estimeret ved at kombinere BBR (Bygnings- og boligregisteret), Adresregisteret, ESR (Det fælleskommunale ejendoms stamregister) og CVR (Det centrale virksomhedsregister). I BBR identificeres samtlige bygninger i Danmark, som har et erhvervsareal, samt placeringen (vha. adresseregisteret) og størrelsen af bygningen. Disse bygninger med erhvervsareal er derefter sammenholdt med informationer fra CVR registeret, der oplyser hvilken branche, der er registreret på den pågældende ejendom. Om bygningen f.eks. er et hospital, en skole eller en bygning, der benyttes til medicinal industri. For hver af disse bygningstyper er der estimeret en køledensitet, det vil sige kølebehovet pr m² for den specifikke bygningstype.

Med denne fremgangsmåde er det samlede kølepotentiale for Danmark bestemt på grundlag af data fra:

- CVR. Register over ejere af virksomheder med 70 anvendelses kategorier
- ESR. Register der kæder CVR og BBR sammen vha. CVR nr. og ejendomsnummer.
- BBR. Register med areal, bygningsanvendelse og alder
- Erfaringstal for specifikke kølebehov indenfor hver anvendelseskategori

Kølebehov i Danmark i MWh/år							
SNr	SektorNavn	Sum MWh	Region Hovedstaden	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Region Sjælland	Region Syddanmark
1	Landbrug og fiskeri	515.153	22.403	145.429	68.266	100.865	178.190
2	Industri	3.616.151	695.432	910.511	482.563	633.538	894.106
3	Detailhandel	495.653	85.645	155.765	59.114	74.843	120.286
4	Servicesektor i øvrigt	4.053.859	994.156	1.083.651	464.415	428.600	1.083.038
5	Kontorer og undervisning	837.513	245.292	283.249	73.884	112.404	122.684
Total		9.518.329	2.042.928	2.578.604	1.148.242	1.350.250	2.398.305

Køleeffektbehov i Danmark i MW							
SNr	SektorNavn	Sum MW	Region Hovedstaden	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Region Sjælland	Region Syddanmark
1	Landbrug og fiskeri	515	22	145	68	101	178
2	Industri	1.304	250	330	173	220	331
3	Detailhandel	343	60	103	43	50	87
4	Servicesektor i øvrigt	3.993	975	1.072	453	426	1.067
5	Kontorer og undervisning	622	180	189	61	84	108
Total		6.778	1.488	1.839	799	881	1.771

Benyttelsestid for kølebehov, h							
SNr	SektorNavn	timer	Region Hovedstaden	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Region Sjælland	Region Syddanmark
1	Landbrug og fiskeri	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	Industri	2.774	2.785	2.762	2.784	2.881	2.702
3	Detailhandel	1.444	1.430	1.510	1.369	1.504	1.377
4	Servicesektor i øvrigt	1.015	1.019	1.011	1.025	1.006	1.015
5	Kontorer og undervisning	1.346	1.360	1.500	1.206	1.337	1.139
Total		1.404	1.373	1.402	1.437	1.533	1.354

Tabel 5-1 Kølebehov i Danmark

5.2 Screening af fjernkølepotentialet

Potentialet for fjernkøling bestemmes ud fra ovenstående information om de enkelte bygningers kølebehov, deres placering og deres besparelse ved fjernkøling i forhold til et individuelt anlæg. Her medtages kun den besparelse, der opnås i kraft af den storskalafordel, der er ved større kompressorbaserede køleanlæg.

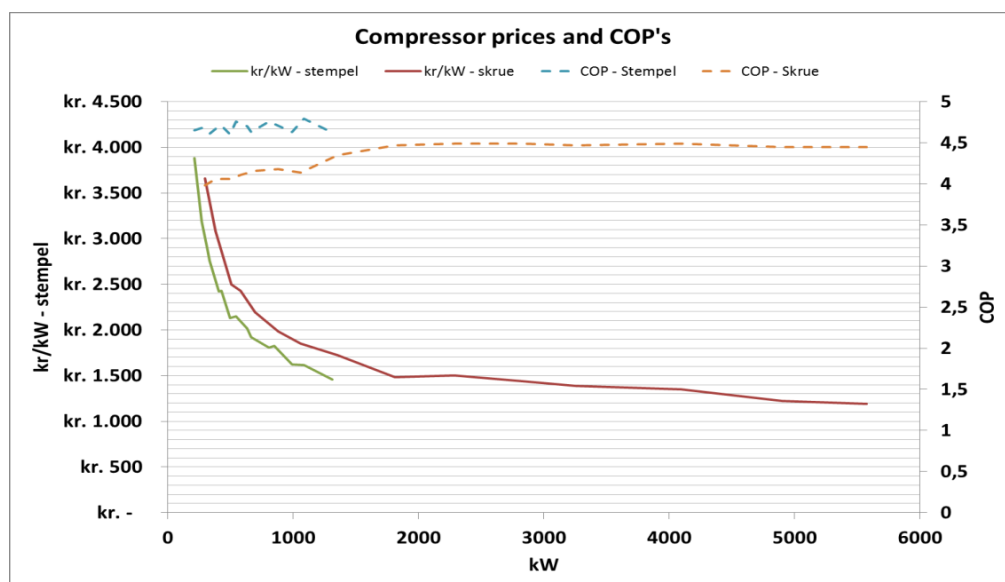
Til at vurdere fjernkølepotentialet ud fra kølepotentialet, benyttes en fjernkøleberegningssmodel kaldet DC Mapper. Ud fra storskalabesparelsen ved fjernkøling, i forhold til et individuelt anlæg, beregnes en bygnings rækkevidde, dvs. hvor mange meter fjernkølerør kan der etableres for besparelsen. Ud fra denne rækkevidde undersøges, om den givne bygning kan forbindes til en

nærliggende bygning. Hvis to eller flere bygninger kan nå hinanden, er der et potentiale for fjernkøling. Rækkeviddens overlap illustrerer således besparelsen ved fjernkøling. Illustreret på et kort er bygningen markeret med en grøn prik og rækkevidden med en cirkel omkring bygningen.

Prisen på distributionsledninger for fjernkøl i DC mapperen er forhøjet med en sikkerhedsfaktor, som tager højde for, at man sjældent kan lægge ledningerne i direkte linje fra bygning til bygning, pga. veje, andre bygninger osv. For Storkøbenhavn er der antaget en højere sikkerhedsfaktor sammenlignet med resten af Danmark.

- Storkøbenhavn: 2,5
- Resten af Danmark: 2,0

Tabellen nedenfor viser storskalafordelen for selve kølekompressorerne. Det ses, at man over en størrelse på 2 MW-k har opnået de største besparelser i investeringer og COP. Det bemærkes også, at storskalafordelen ved investeringerne er dominerende.



Figur 5-1 Storskalafordele for kølekompressor

Kurven er udarbejdet af Rambøll baseret på oplysninger fra Johnson Controls for skruekompressor og uden omkostninger til øvrige komponenter og montage.



Figur 5-2 Eksempel på skruekompressor fra Johnson Controls

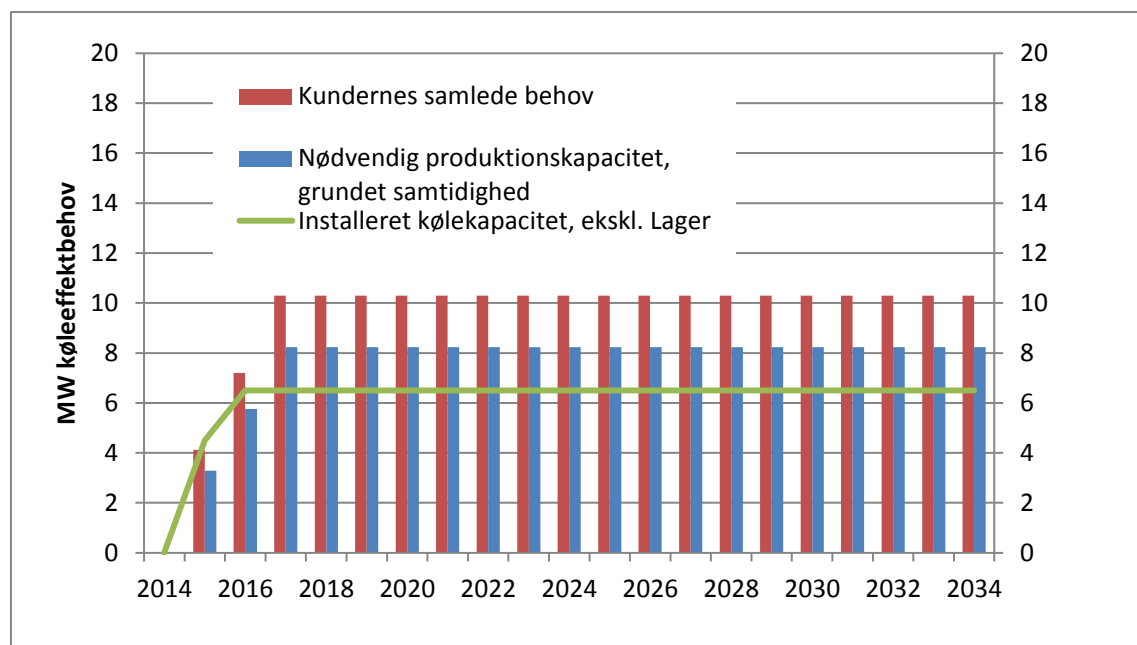
Erfaringerne fra projekter med større kølecentraler over ca. 200 kW viser, at øvrige investeringer i maskiner og bygninger udviser storskalafordele af samme størrelsesorden. Samlet set er de øvrige investeringer større end investeringen i selve kølekompressoren. For de helt små kølemaskiner overlejres storskalafordelen af fordele ved masseproduktion således, at prisen pr kW køl har en øvre grænse.

Fjernkøling kombinerer en række storskalafordele, hvoraf kun den første er medregnet i DC Mapper:

- Storskalafordele for investering i kølekompressorer, (som er med i DC mapper)
- Samtidighedsfaktor, idet mange kunder har et samlet behov, der er mindre end summen af de enkelte kunders behov
- Køleakkumulatoren, som udjævner døgnsvingningen den varmeste dag og dermed reducerer behovet for kølekompressorer
- Bedre mulighed for akkumulator, da akkumulatorer er relativt dyre og vanskelige at indpasse i bygninger
- Bedre mulighed for at etablere en koordineret udnyttelse af grundvandskøling mv.

Screeningsresultat er bekræftet flere steder bl.a. i Høje Taastrup og Gentofte. For disse projekter viser det sig, at de enkelte bygningers kølebehov kan variere meget, men at det samlede kølebehov for områderne svarer rimelig godt til det faktiske.

Figuren nedenfor giver en indikation af de øvrige storskalafordele, hvor man ser, at kapacitetsbehovet reduceres betydeligt med samtidighed og lastudjævning med akkumulator.



Figur 5-3 Kapacitetsbehov med samtidighed og akkumulator

Resultatet af fjernkøleanalysen ses i nedenstående tabeller fordelt på regioner og en række udvalgte sektorer.

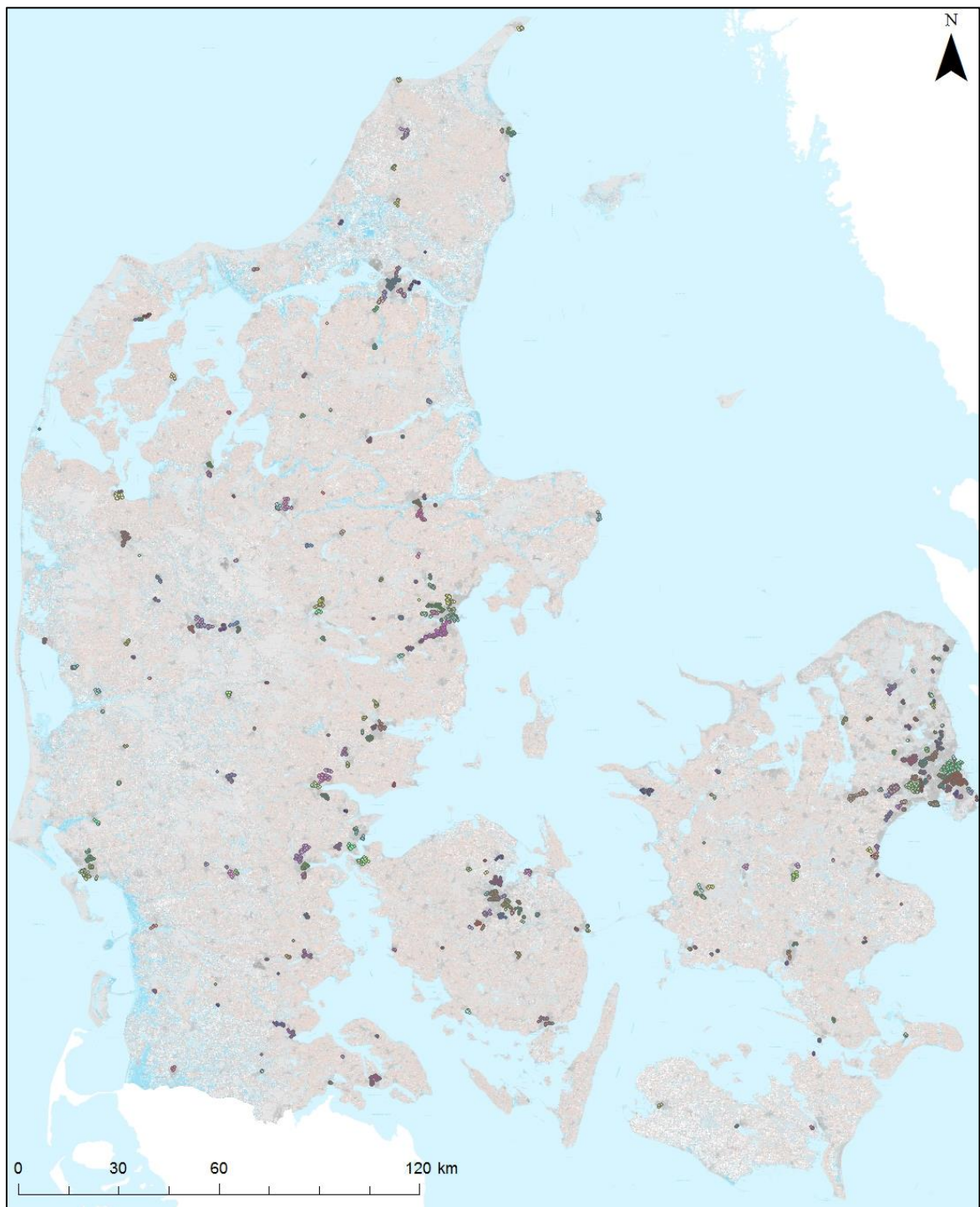
Fjernkølebehov i Danmark i MWh/år (Over 2 MW grupper)						
SektorNavn	Sum MWh	Region Hovedstaden	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Region Sjælland	Region Syddanmark
Landbrug og fiskeri	58.828	1.254	10.327	577	8.975	37.695
Industri	2.410.648	600.248	558.470	266.440	429.241	556.248
Detailhandel	114.649	42.997	34.478	5.982	8.886	22.305
Servicesektor i øvrigt	1.313.019	534.522	306.360	85.470	88.547	298.119
Kontorer og undervisning	296.460	109.880	133.940	18.774	20.048	13.818
Total Fjk > 2 MW	4.193.604	1.288.902	1.043.575	377.243	555.698	928.185
Total Fjk < 2 MW	574.742	62.785	171.511	78.679	99.911	161.857
Total Individuel	4.749.983	691.241	1.363.518	692.320	694.641	1.308.263
Total køl	9.518.329	2.042.928	2.578.604	1.148.242	1.350.250	2.398.305

Fjernkøleeffektbehov i Danmark i MW (Over 2 MW grupper)						
SektorNavn	Sum MW	Region Hovedstaden	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Region Sjælland	Region Syddanmark
Landbrug og fiskeri	59	1	10	1	9	38
Industri	836	210	192	92	144	199
Detailhandel	81	31	22	5	6	17
Servicesektor i øvrigt	1.283	522	295	84	90	292
Kontorer og undervisning	167	68	66	11	9	13
Total Fjk > 2 MW	2.426	833	585	193	258	558
Total Fjk < 2 MW	343	51	105	44	54	88
Total individuel	4.009	604	1.149	562	569	1.125
Total køl	6.778	1.488	1.839	799	881	1.771

Benyttelsestid for fjernkølebehov, h						
SektorNavn	timer	Region Hovedstaden	Region Midtjylland	Region Nordjylland	Region Sjælland	Region Syddanmark
Landbrug og fiskeri	1.000	1.003	1.000	995	1.001	1.000
Industri	2.883	2.857	2.909	2.903	2.989	2.798
Detailhandel	1.414	1.377	1.567	1.182	1.459	1.333
Servicesektor i øvrigt	1.023	1.024	1.039	1.013	979	1.022
Kontorer og undervisning	1.778	1.609	2.044	1.740	2.170	1.074
Total Fjk	1.729	1.547	1.784	1.955	2.154	1.663

Tabel 5-2 Fjernkølebehov i Danmark

Klynger af kølekunder, hvor fjernkøling formentlig er fordelagtig kan ses i Figur 5-4.



Figur 5-4 Kortlægning af fjernkølepotentiale i Danmark – Grupper > 2MW_{køl}

I figuren er der kun vist grupper med en køleeffekt større end 2 MW. Det ses, at klynger med fjernkølepotentiale hovedsageligt er koncentreret i de store byer og specielt i områder med industri.

Fjernkølepotentialet er størst i Storkøbenhavn, hvorimod Region Midtjylland og Region Syddanmark har det største kølebehov, som det ses af Tabel 5-1 Kølebehov i Danmark.

Årsagen til de store kølebehov i disse regioner er den store mængde af industri. Befolknings- og bygningstætheden er derimod ikke så stor i disse områder, hvorfor fjernkølepotentialet er størst i Storkøbenhavn og i de øvrige store byer som Aarhus, Odense og Aalborg.

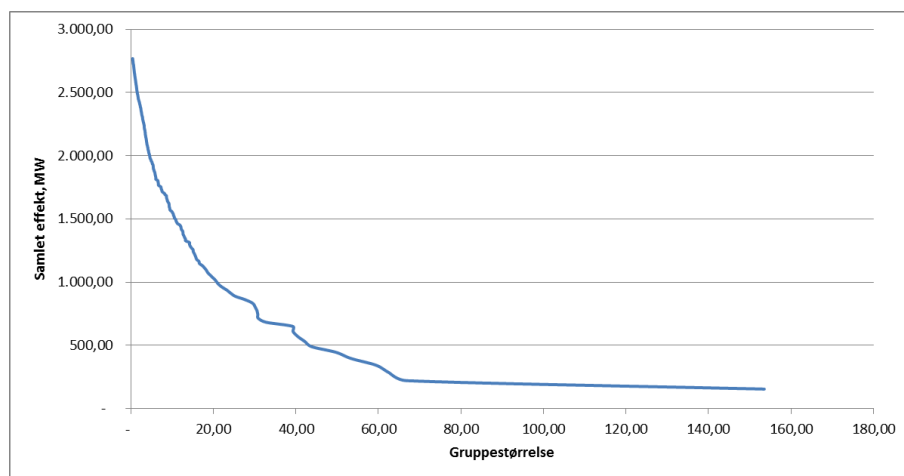
Gruppe størrelse	Effekt, MW	Antal grupper	MW/gruppe
< 2 MW	343	362	1
2-5 MW	474	147	3
5-10 MW	399	57	7
10-15 MW	292	24	12
15-20 MW	237	14	17
> 20	1.020	25	41
sum Fjk	2.765	629	4
Individuelle	4.013	-	
Total	6.778	629	

Tabel 5-3 Fjernkøling opdelt på gruppestørrelser

Nedenfor ses hvilke gruppestørrelser, der bidrager med den samlede kapacitet. 25 grupper over 20 MW_{køl} indeholder således en samlet kapacitet på 1.020 MW_{køl}.

Når grupperne bliver op mod 20 MW_{køl}, er de største storskalafordele opnået, og der opstår en modsat rettet udvikling af investeringen i fjernkølenettet. Både store dimensioner og længden af fjernkøleledninger samt krydsning af jernbaner og motorvej mv. taler imod alt for store områder.

Derfor vil det formentlig være mere realistisk med over 50 grupper i størrelsen over 20 MW_{køl} frem for 25 grupper med 41 MW_{køl} i gennemsnit.



Figur 5-5 Samlet effekt som funktion af gruppestørrelsen

6. POTENTIALET FOR OVERSKUDSVARME FRA KØL

For at vurdere potentialet for at udnytte overskudsvarme fra fjernkølingen sammenholdes de lokaliserede fjernkøleklynger med:

- PlansystemDK information om varmeforsyning
- Grundvandsoplysninger
- Dansk Fjernvarmes statistik

Det generelle billede er, at stort set alle områder eller bygninger, hvor der er et kølebehov (med undtagelse af en del af gruppen "landbrug og fiskeri", som tegner sig for en lille andel), enten allerede er forsynet med fjernvarme eller kan forventes forsynet med fjernvarme indenfor en kort årrække.

Nedenfor ses en opdeling af det potentielle fjernkølebehov i forhold til de store fjernvarmesystemer og de øvrige fjernvarmeområder:

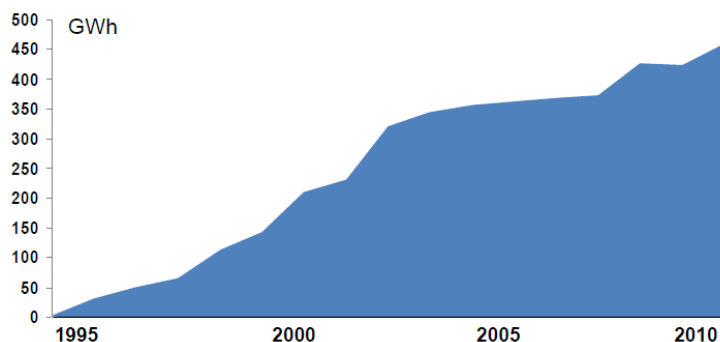
Forsyningsområde	Køleeffekt MW	Kølebehov MWh	Antal grupper
Storkøbenhavn*	751	1.095.238	58
Affaldsvarme Aarhus	132	180.072	16
Fjernvarme Fyn	101	129.445	11
TVIS	111	159.604	12
Aalborg Forsyning	61	118.154	9
Esbjerg Varme	44	79.872	5
Indenfor store forsyningsområder	1.200	1.762.386	111
Udenfor store områder	1.569	3.005.960	518
Total Fjk.	2.769	4.768.346	629
Total Individuelle	4.009	4.749.983	-
Total	6.778	9.518.329	629

*Storkøbenhavn omfatter HOFOR, CTR, VEKS, Vestforbrændingen

Tabel 6-1 Fjernkøling i forhold til varmeforsyningen

Der er således kortlagt 111 fjernkøleklynger indenfor de store systemer med en samlet kapacitet på 1.200 MW og 519 overvejende mindre klynger udenfor de store områder med en samlet kapacitet på 1.569 MW. I alt anslås, at det samlede fjernkølebehov for alle anlægsstørrelser er 4.768 GWh køl

Det giver et samlet fjernkølepotentiale med anlæg større end 2 MW_{køl} på rundt ca. 4.500 GWh_{køl}, som vil kunne generere ca. **6.000 GWh varme** på landsplan, heraf 1.100 GWh i Storkøbenhavn. Er det mon realistisk, at der udbygges med 1.100 GWh i Storkøbenhavn eksempelvis inden 2050? Det vil sige i løbet af 35 år.



Figur 6-1 Udbygning med fjernkøling i Stockholm

Til sammenligning er der udbygget med 500 GWh_{køl} i Stockholm i de seneste 15 år, så spørgsmålet er, om Storkøbenhavn kan præstere samme udbygningstakt. Stockholm havde i 1995 en situation i varme- og elmarkedet, der meget ligner den situation, vi har i dag i Danmark, så hvorfor ikke? Især hvis lovgivningen arbejder med.

Det bemærkes, at summen af de individuelle kølebehov er af samme størrelse, men at benyttelsestiden for de individuelle er mindre end for kunder, der er beliggende i fjernkøleklynger. Det tyder på, at de fleste proceskølekunder ligger i områder med potentiale for fjernkøling.

De individuelle kølekunder rummer imidlertid også et potentiale for at udnytte overskudsvarme.

Potentialet på rundt regnet 4.700 GWh_{køl} for individuelle kølekunder kunne ligeledes generere ca. 6.000 GWh varme. En del af denne overskudsvarme fra individuelle bygninger vil kunne leveres til fjernvarmen via varmepumper og lagres enten med ATES anlæg eller med sæsonvarmelagre.

Det bemærkes, at ovenstående prognoser ikke inkluderer ekstremt store datacentre.

Det er meget usikkert, hvor hurtigt disse potentialer kan realiseres. Det afhænger bl.a. af

- om fjernkøling bliver en del af kommunernes planlægning, jf. EU direktiverne
- om alle fjernvarmeselskaber får mulighed for at tilbyde varmekunderne fjernkøling, hvor det er konkurrencedygtigt, for at effektivisere fjernvarmen helt analogt med øvrige investeringer i at udnytte overskudsvarme og kraftvarme mv.
- om fjernvarmeselskaber får mulighed for at få kommunegaranti for lån til investeringer i samfundsøkonomisk- og selskabsøkonomisk fordelagtige projektforslag
- om fjernvarmeselskaberne gennem tidstariffer og varmelagring og ATES anlæg hos kunderne får mulighed for at udnytte overskudsvarme fra individuelle kølekunder
- om kølekunder, der skal skifte kølemaskiner, får information og tilbud om konkurrencedygtig fjernkøling eller overgangsløsninger
- om erhvervsvirksomheder med kølebehov lokaliseres i områder, der er udlagt til erhverv med kølebehov i kommuneplanen
- om alle erhvervsområder tilbyder konkurrencedygtig fjernkøling, der kan tiltrække virksomheder med kølebehov, herunder virksomheder med særligt store kølebehov til datacentre mv.
- om alle nye bydele med kølebehov for planlagt fjernkøling fra starten

Hvis den energipolitiske målsætning fastholdes i EU og i Danmark, vil det ikke være urealistisk at antage, at halvdelen af fjernkølepotentialet kan realiseres inden 2035 og resten inden 2050.

Der er her regnet med, at mange ældre industrier med mange individuelle kølemaskiner eller med et dårligt indeklima inden 2050 vil være flyttet til nye bygninger med højere energistandarder og dermed integrerede anlæg til køling.

6.1 Individuelle løsninger

Det samlede potentiale for køling for de individuelle anlæg er rundt regnet 4.000 MW_{køl} og 4.700 GWh_{køl}. Nedenfor ses to eksempler på, hvordan en bygning kan forsynes.

6.1.1 Kompressorkøl med frikøl

Bygningen kan forsynes traditionelt med en kompressor, der bortleder overskudsvarme til omgivelserne.

Denne køleform med kompressor er gældende for næsten alle bygninger i Danmark med kølebehov.

Hvis der er tale om proceskøl, og hvis virksomheden er beliggende ved havet, vil der med stor sandsynlighed kunne leveres frikøl om vinteren.

Disse bygninger vil kunne levere overskudsvarme til fjernvarmen fra komfortkøl om sommeren og fra proceskøl jævnt over året.

6.1.2 ATES med varmepumpe

Bygningen kan forsynes med grundvandskøling i kombination med en varmepumpe, eksempelvis med følgende data:

- 1,8 MW kølebehov
- 2.000 MWh kølebehov
- 0,9 MW grundvandskøl til grundlast i bygning
- 1,5 MW varmepumpe, der kan levere 65 °C til fjernvarmen og bygningen selv
- 1,5 MW varmebehov
- 2.000 MWh varmebehov

- +1,5 MW/-1,5 MW varmeudveksling med fjernvarmen
- 1.800 MWh køleproduktion med grundvand
- 200 MWh kombineret køle- og varmeproduktion med varmepumpe
- 2.700 MWh varmeproduktion med varmepumpe ved 65 °C
- 1.500 MWh fjernvarme til bygningen i 9 måneder
- 500 MWh fra varmepumpe til bygningen i 3 vintermåneder
- 2.200 MWh fra varmepumpe til fjernvarmen i 3 vintermåneder

Fjernvarmen har således med denne løsning fået en kunde, som kan skifte fra at være forbruger til at være producent, netop når varmen er dyrest. Kunden kan eksempelvis afbrydes de koldeste 3 måneder, hvor varmen er dyrest, og til gengæld producere op til 1,5 MW i disse måneder fordelt med 500 MWh varme til bygningen og 2.200 MWh varme til fjernvarmenettet.

Med yderligere optimering vil varmepumpen skulle stoppe og erstattes med fjernvarme (fra spidslastkedler) på vinterdage med meget høje elpriser, ligesom varmepumpen kan starte en af de øvrige 9 måneder i korte perioder med meget lave elpriser og/eller dyr spidslast ved udfald af grundlast.

Dette samspil mellem en enkeltstående bygning og fjernvarmen er en god model for, hvordan de store fjernkølesystemer kan spille sammen med fjernvarmen og yderligere optimere produktionen med kølelagre.

Det gode samspil mellem fjernvarmen og kunden med grundvandskøl forudsætter, at fjernvarmetariffen er tidsafhængig, så den afspejler, at varme koster langt mindre at producere om sommeren end om vinteren.

De første fjernvarmeselskaber har introduceret tidstariffer. Hillerød Forsyning har eksempelvis en meget stor omkostningsbetinget forskel mellem sommer- og vinterpris.

Der er redegjort nærmere for en sådan tarif i F&U rapporten om konkurrencedygtige fjernvarmetariffer, ref. 9.

6.2 Fjernkøleløsninger med overskudsvarme

Der ses på et grundtilfælde for at udnytte overskudsvarme i fjernkølingen:

- 30 % af køleproduktionskapaciteten, etableres som grundvandskøling
- 70 % etableres som varmepumper med varmeudnyttelse
- Den varme, der produceres, erstatter fjernvarme i et fjernvarmesystem med relativ billig varme, svarende til de centrale systemer

Der ses her bort fra:

- At alternativet kan effektiviseres yderligere med mere grundvandskøling og med sæsonvarmelager, der kan lagre billig overskudsvarme fra sommer til vinter
- At mange særligt mindre fjernvarmeværker har dyr fjernvarmeproduktion fra naturgas det meste af året og, at nogle har eller vil få sæsonvarmelagre, hvilket kan øge værdien af den producerede varme
- At nogle kunder har nyere anlæg, der kan indgå i fjernkølingen i en overgangsperiode
- At nogle fjernkøleselskaber kan få ekstra omkostninger til kølecentral, byggemodning og el-tilslutning, hvis centralen skal etableres i tæt bebyggelse med særlige krav til bygning
- At det omvendt har en værdi for kunderne at få frigjort areal i kælderen og på taget, særligt for ny bebyggelse, hvor disse omkostninger på grund af storskalafordele normalt vil overstige ekstraomkostninger til en fælles kølecentral.

6.3 Opdeling af markedet

I de efterfølgende afsnit ses på økonomien i fjernkøling og udnyttelse af overskudsvarme i de typiske fjernvarmebyer for typiske fjernkøleklynger. Der regnes økonomi på en række repræsentative gruppestørrelser. Grupperne er identificeret ud fra det samlede danske potentiale for fjernkøling vist i Figur 5-4.

- 2,5 MW_{køl}
- 5 MW_{køl}
- 10 MW_{køl}
- 20 MW_{køl}
- 50 MW_{køl}

Der regnes på ovenstående gruppestørrelser. Gruppestørrelserne er valgt ud fra repræsentative intervaller af fjernkølegrupper. Intervallerne ses i Tabel 6-2.

Interval #	Interval, MW
0	0,0 - 2,0
1	2,0 - 3,7
2	3,7 - 7,5
3	7,5 - 15
4	15 - 30
5	> 30

Tabel 6-2 Valgte gruppeintervaller fra 1 til 5

Ud fra alle de identificerede grupper med fjernkølepotentiale er medianen for hvert af de ovenstående intervaller fundet, dvs. den mest repræsentative gruppestørrelse indenfor hvert interval. Ud fra den gennemsnitlige gruppestørrelse, er fundet de gruppestørrelser, som benyttes til at beregne den samlede økonomi.

Efter den energitekniske og økonomiske beregning af de repræsentative grupper, skalleres hver af grupperne indenfor deres givne interval. Med denne metode er der sammenfald imellem antallet af bygninger i fjernkølescreeningen og beregningerne.

I Tabel 6-3 ses en statistik for intervallerne.

Interval #	Effekt, MW	Antal grupper	Antal bygninger	Bygninger per gruppe	Gns Effekt
0	343	361	989	3	1
1	304	107	633	6	3
2	398	78	784	10	5
3	467	44	885	20	11
4	451	23	690	30	20
5	805	16	1257	79	50
Total	2.769	629	5.238		

Tabel 6-3 Bygninger og køleeffekt i MW_{kø} i de valgte intervaller

Det må understreges, at nedenstående eksempler kun er indikative, da de er baseret på den første generaliserede screening. Klyngerne, som er vist, indikerer kun, at der her er en stor sandsynlighed for at finde et kølebehov og, at det derfor kan være umagen værd at besøge de største kølekunder i klyngen for at få undersøgt:

- Om der er et kølebehov overhovedet
- Om det er i samme størrelsesorden som det estimerede
- Om der er et potentiale for at udskifte med fjernkøling
- Om der er et potentiale at køleanlæg kan bruges til at levere fjernkølingskapacitet og/eller energi til andre bygninger

Når resultatet af en sådan undersøgelse foreligger, er der helt overordnet tre muligheder:

- Man går videre med næste fase, som kan være et feasibility studie med korrigerede data og med supplerende undersøgelser omkring mulig lokalisering af kølecentral, grundvandskøling og udnyttelse af overskudsvarme.
- Man finder kun enkelte kølekunder, som ikke udgør en potentiel klynge, og man går derefter i dialog med kunderne for at se, om der er grundlag for en individuel løsning, som beskrevet i afsnittet om potentiale for køling
- Man arkiverer resultatet og inddrager det i kommunens og fjernvarmens løbende arbejde med varmeplanlægning og køleplanlægning, eksempelvis at der kan være et potentiale for at gå videre, når køleanlægget skal udskiftes eller, når bygningen tages i brug igen.

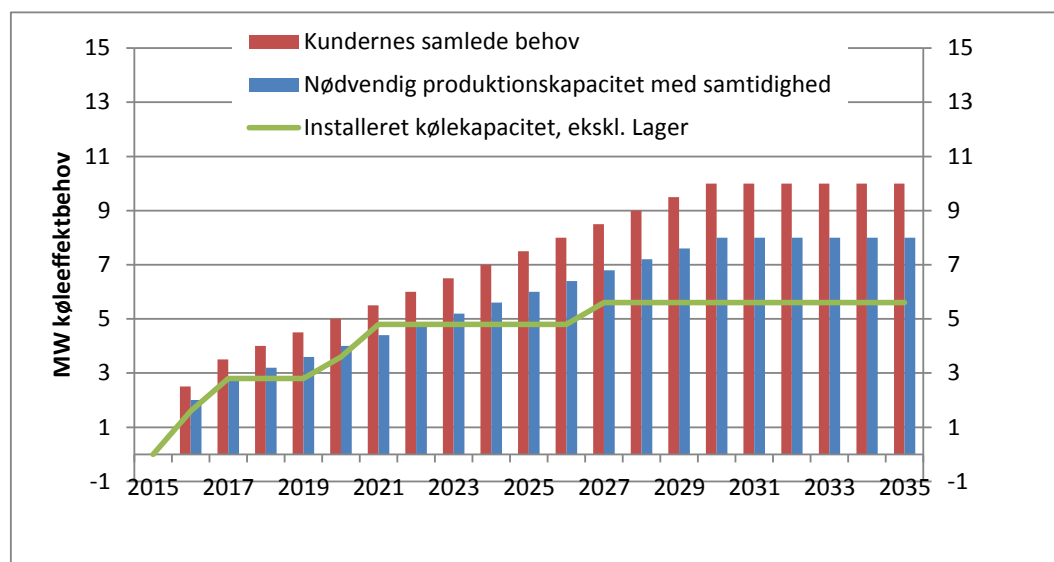
I det følgende vises resultater af analysen for en 10 MW klynge, og dernæst vises et sammen-
drag af resultatet for alle 5 klynger samt summen af alle klynger, svarende til det samlede poten-
tiale.

7. ANALYSE AF KØLEKLYNGE PÅ 10 MW_{KØL}

I dette afsnit analyseres en typisk køleklynge på 10 MW_{køl} an slutkunde.

7.1 Grundlag for opbygning af fjernkøling

Udgangspunktet er den kundemasse, der er fundet i en typisk klynge ved screeningen, samt det fjernkøleledningsnet, der kunne forbinde alle kunder.



Figur 7-1 Udbygning af fjernkøling

Figuren ovenfor viser, hvordan kølekunderne tilsluttes med deres teoretiske kølebehov over en periode på 15 år fra 2015 til 2030 (røde søjler).

For ny bebyggelse ville den alternative installerede kapacitet formentlig være noget større, da det er svært at estimere behovet på forhånd og, da der ofte etableres reserve. For eksisterende kunder kan man tilpasse behovet til de målte data.

De blå søjler viser det forventede målte maksimale kølebehov til fjernkølenettet under hensyntagen til samtidighedsforhold. Denne samtidighedsfaktor er 1,0 når der er én kunde, og den kan formentlig reduceres til 0,75, når der er flere forskellige kundetyper.

Den grønne kurve viser udbygningstakten for kapacitet fordelt på varmepumper og grundvandskøling, idet køleakkumulator udjævner døgnsvingningen den varmeste dag.

I tabellen nedenfor ses bestykningen med varmepumper, grundvandskøling og varmeakkumulator. Det ses, at bidraget fra køleakkumulatorens til udjævning af døgnbelastningen udgør 2,4 MW, svarerende til forskellen mellem den blå søjle og den grønne kurve.

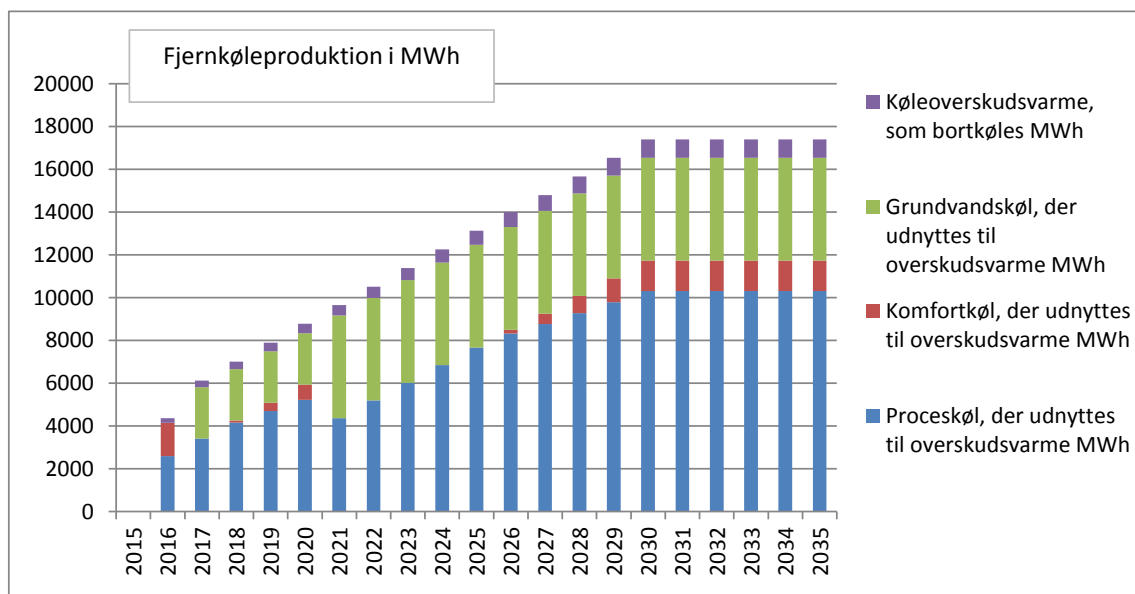
Centralen rummer muligheden for at bortkøle en mindre mængde overskudsvarme gennem tørkølere som reserve, hvis varmen ikke kan udnyttes.

Fjernkølecentral	levetider	20 år, diskont. 4,0%		
Investeringer i kølecentral	MW	Investering	NPV	
Varmepumpe ny central	1,6	12.285	11.812	1000 kr.
Varmepumpe 2	0,8	8.008	5.002	1000 kr.
Varmepumpe 3	0,8	8.008	6.582	1000 kr.
Varmepumpe 4	0,0	0	0	1000 kr.
Grundvandskøl 1	1,2	4.720	4.364	1000 kr.
Grundvandskøl 2	1,2	4.720	3.731	1000 kr.
Varmepumpe i slutudbygning	0,0	0	0	1000 kr.
Kølelagertank	2,4	2.483	2.295	1000 kr.
I alt	8,0	40.224	33.786	1000 kr.
<i>Bidrag til scrapværdi</i>		9.557		1000 kr.
I alt inkl. scrapværdi			29.424	1000 kr.

Figur 7-2 Kølecentral og investeringer

En sådan kølecentral rummer stor fleksibilitet i forhold til produktion af varme og køl i forhold til elpriser og i forhold til investeringer i samlet kapacitet. Hvis de tilsluttede kunder bruger mindre end de abonnerede på fra starten, kan man spare den sidste udbygning med kapacitet eller tilslutte flere kunder. Hvis en potentiel kunde har en velfungerende kompressorkøler, kan den indtages til spidslast, eller kunden kan blive afbrydelig.

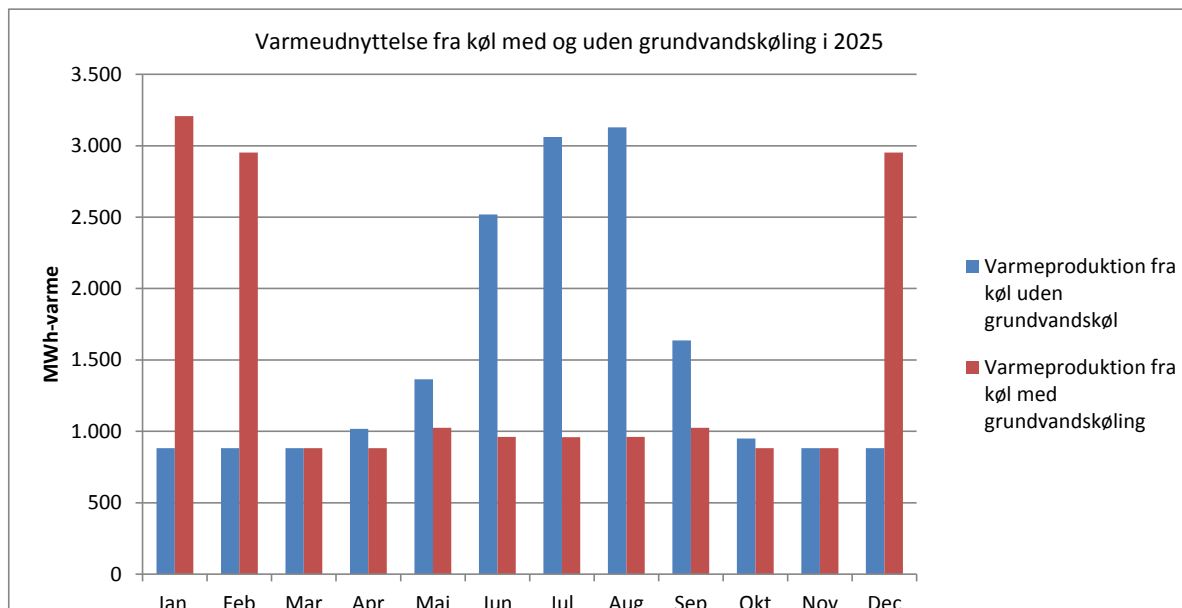
Figuren nedenfor viser, hvordan kølingen produceres med den angivne bestyknings og udbygningstakt.



Figur 7-3 Produktion af fjernkøling fordelt på anlæg og typer

Det ses, at anlægget er trimmet til at udnytte mest mulig overskudsvarme, idet kun en mindre del bortkøles.

Figuren nedenfor viser, hvor meget overskudsvarme, der måned for måned kan udnyttes fra kølingen med varmepumper, idet det antages, at der kan produceres 1,45 MW overskudsvarme for hver MW køl. Overskudsvarmen er vist, dels som den umiddelbart ville være produceret, hvis der ikke var grundvandskøling (blå søjler), dels som den kan produceres til fjernvarmenettet, når der er den forudsatte grundvandskøling (røde søjler).



Figur 7-4 Varmeudnyttelse med og uden grundvandskøl

Samtidig ses fordelingen mellem komfortkøl, som toppe om sommeren, og proceskøl, som antages at være fordelt med samme månedsbelastning alle 12 måneder. Det ses også, at grundvandskølingen primært bruges til at køle komfortkølingen og genvinde overskudsvarmen om vinteren.

Grundvandskøling vil således indenfor dens maksimale kapacitet køle komfortkølingen i sommerhalvåret, og den er i modellen sat til at levere maksimal kapacitet til fjernvarmen i de 3 vintermåneder.

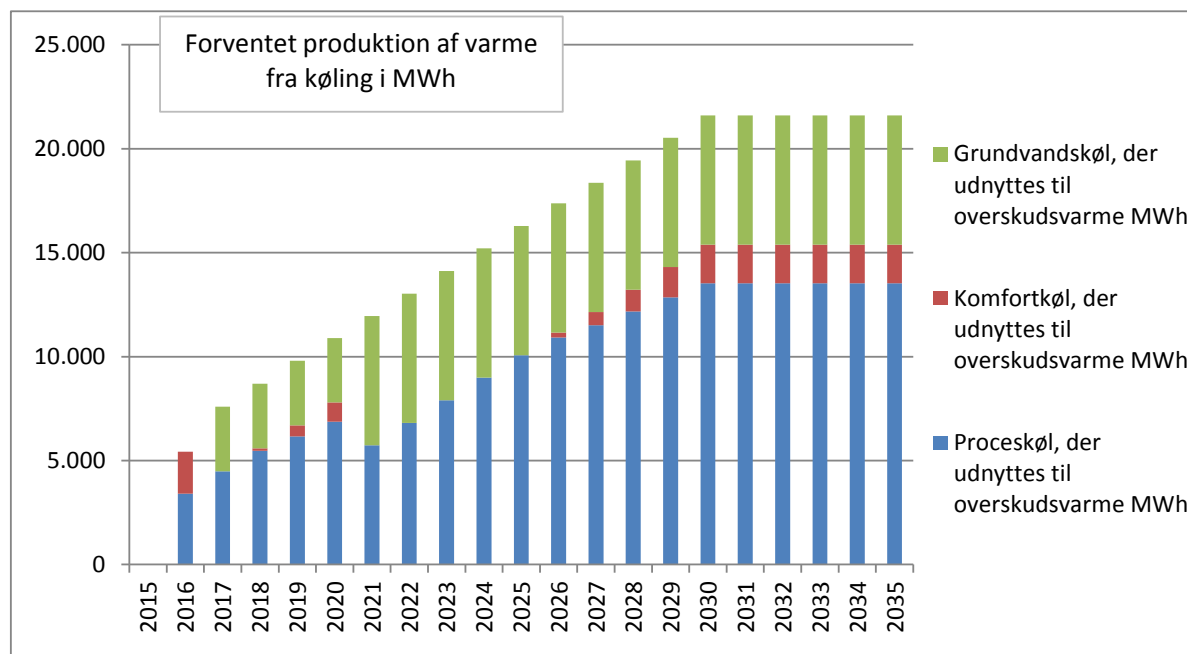
I månederne i overgangsperioderne, hvor grundvandet er kølet ned til ca. 4 °C, vil varmepumpen kunne yde mere varmereproduktion end vist her på grafen. Det kan være aktuelt ved lave elpriser eller ved højere varmepriser pga. udfald af enheder mv.

Varmepumpen vil derudover kunne producere "spildkøling", idet den nedkøler omgivelserne på eksempelvis følgende måder:

- Yderligere nedkøling af grundvand så sæsonkølelageret øges, hvis muligt
- Tørkølere på centralen
- Forbipasserende drænvand
- Forbipasserende drikkevand
- Søvand, åvand eller havvand (dog med forbehold for, at der skal etableres særlige vekslere for at undgå begroinger mv.)

Der er i analysen set bort fra denne mulighed for "spildkøling", da den afhænger meget af de lokale forhold.

På figuren nedenfor ses den deraf følgende produktion af overskudsvarme.



Figur 7-5 Produktion af overskudsvarme til fjernvarmen

Ved at kombinere de to ovenstående grafer ses:

- At den grønne søjle fra grundvandskøl placeres netop, hvor varmen er dyrest i de 3 koldeste måneder, idet man udnytter, at grundvandet er et sæsonlager.
- At den blå søjle fra proceskøl, hvor varmen produceres samtidig med kølingen, fordeles jævnt over årets 12 måneder
- At den røde søjle fra komfortkøl kun produceres om sommeren

Disse figurer viser således, at grundvandskøling har meget stor betydning for økonomien i at udnytte overskudsvarmen i de fjernvarmesystemer, der har billig varme om sommeren og dyr varme i de koldeste måneder – og det har de fleste. I dette tilfælde er det forudsat at 30 % af kølekapaciteten er fra grundvand og 70 % fra varmepumper. I variationsberegningen ses på konsekvensen af at ændre grundvandsandelen. Omkring 50 % varmepumpe er ofte den optimale andel, da varmepumpen, som skal nedkøle grundvandet, dermed har samme kapacitet, som grundvandet. Man kan dog ikke regne med, at alle fjernkølecentraler vil kunne etablere grundvandskøling.

Det ses også, at overskudsvarmen vil kunne udnyttes mere effektivt, hvis der er etableret et sæsonvarmelager, eksempelvis et damvarmelager.

7.2 Samfundsøkonomi af fjernkøling og varmeudnyttelse

Tabellen nedenfor viser de samfundsøkonomiske omkostninger for fjernkøleprojekt i forhold til referencen. Det bemærkes, at investeringerne i køleanlæg er meget afgørende og, at elafgifterne betyder mindre.

Samfundsøkonomi		Samfundsøkonomiske omkostninger		
			Individuel	Gevinst
Fjernkøling		Fjernkøling	køling	ved fjernkøling
Akkumulator kapacitet	m3	2.069	0	
Samlet kapacitetsbehov	MW	8	10	
Samlet kompressorkapacitet	MW	6	10	
Beregningspriser, Nutidsværdi		1000 kr	1000 kr	1000 kr
Kølecentral ekskl. scrapværdi		39.530	0	-39.530
Kølecentral, scrapværdi		-5.103	0	5.103
Net og stik, ekskl. scrapværdi		30.705	0	-30.705
Net og stik, scrapværdi		-9.238	0	9.238
Brugerinvestering ekskl. scrapværdi		3.831	103.677	99.846
Brugerinvestering, scrapværdi		-1.174	-10.919	-9.745
Investeringer i alt		58.550	92.758	34.208
D&V af anlægsaktiver		15.641	24.133	8.491
D&V marginale udgifter af net		947	0	-947
Administration		5.214	3.761	-1.453
Variabel D&V af køleproduktion		5.448	5.641	193
Drift af fjernkøleinstallationer hos kunder		0	0	0
D&V i alt		27.250	33.535	6.285
El til kompressorer		13.000	20.982	7.981
Afgiftsforvridningstab		-3.600	-4.032	-432
Beregningspris for CO2 emission		507	568	61
Skadesomk ved SO2, Nox og PM2,5 mv.		321	359	38
I alt		96.028	144.170	48.142
Gevinst ved fjernkøling		48.142		

Tabel 7-1 Samfundsøkonomi ved fjernkøl uden varmeudnyttelse

Overskudsvarme fra fjernkøling	Varme fra fjernkøling	Alternativ varme	Gevinst ved projekt
Beregningspriser, Nutidsværdi	1000 kr	1000 kr	1000 kr
Investering	8.177	2.043	-6.133
D&V	2.337	2.859	522
El og brændsel	35.550	42.280	6.730
Afgiftsforvridningstab	-8.198	-6.491	1.707
Beregningspris for CO2 emission	1.155	4.911	3.756
Skadesomk ved SO2, Nox og PM2,5 mv.	730	738	8
I alt	39.751	46.340	6.589
Gevinst ved at udnytte overskudsvarme	6.589		
Gevinst ved fjernkøl med overskudsvarme	54.731		

Tabel 7-2 Samfundsøkonomi ved varmeudnyttelse

Tabellen viser de samfundsøkonomiske meromkostninger ved at producere varme fra fjernkølingen set i forhold til traditionel kompressorkøling.

Investeringerne består af tilslutning til fjernvarmenettet og opgradering af en kompressor til en varmepumpe i to trin.

Elforbruget er det ekstra elforbrug, der skal til at producere varme ved 75 °C set i forhold til elforbruget til en kompressor med tørkøler.

Det ses, at energiudgifterne betyder relativt mere for selskabsøkonomien end for samfundsøkonomien.

Der er her set bort fra den yderligere gevinst, der kan være især på lang sigt ved at producere yderligere varme med varmepumpen, når elpriserne er lave og den alternative varmeproduktionspris er høj.

7.3 Brugerøkonomi

Nedenfor er vist brugerøkonomien for 4 forskellige kølekunder, hvor fjernkøling sammenlignes med individuel kompressorkøling. Der er valgt en rimelig konkurrencedygtig fjernkøletarif.

Der er valgt en tarif med en høj tilslutningsafgift, der er 20 % lavere end kundens alternative investering i nyt køleanlæg.

Det er antaget, at tilslutningsafgiften forpligter selskabet til at levere denne kapacitet i 20 år, hvorefter det er op til forhandling, hvordan kontrakten kan forlænges.

Da økonomien i fjernkøleselskabet antages at skulle hvile i sig selv og komme køle- og varmekunderne til gode, vil kunden kunne se frem til at få indsigt i økonomien og få aftalen forlænget for et beløb, der er lavere en alternativ ny investering i individuel køling.

Fjernkøling	Enhed	Fjernkøling			
		Stor kunde	Ml. kunde	Lille proces kunde	Lille kunde
Priser ekskl. Moms					
Areal med køling	m2	100.000	15.000	5.000	5.000
Enhedsbehov	W/m2	40	40	40	40
Kølebehov	MWh/år	8.000	600	600	200
Benyttelsestid	h/år	2.000	1.000	3.000	1.000
Kapacitet an bruger	kW	4.000	600	200	200
Udgifter/rabatter ved fjernkøletilslutning					
Tilslutningsafgift i pct. af indiv. kompressor	kr.	17.645.472	4.984.416	2.160.000	2.160.000
Kundeinstallation betales af fjernkøleselskab ja	kr.	0	0	0	0
Samlet investering ved tilslutning	kr.	17.645.472	4.984.416	2.160.000	2.160.000
Årlig udgift til fjernkøling					
Amortisering, 4% i 20 år	kr./år	1.305.765	368.847	159.840	159.840
Fjernkøleudgift					
Fast kølepris 0-200 kW	100,00 kr./kW/år	20.000	20.000	20.000	20.000
Fast kølepris 200-400 kW	50,00 kr./kW/år	10.000	10.000	0	0
Fast kølepris 400-800 kW	25,00 kr./kW/år	10.000	5.000	0	0
Fast kølepris 800-99000 kW	0,00 kr./kW/år	0	0	0	0
Årlig fast afgift i alt	kr./år	40.000	35.000	20.000	20.000
Forbrugsafgift	260,00 kr./MWh	2.080.000	156.000	156.000	52.000
Årlig fjernkøleudgift	kr./år	2.120.000	191.000	176.000	72.000
Årlig fjernkølepris	kr./MWh	265	318	293	360
Drift af brugerinstallation					
Variabel udgift	0 kr./MWh	0	0	0	0
Drift af brugerinstallation i alt	kr./år	0	0	0	0
Årlig udgift til køling med fjernkøling i alt	kr./år	3.425.765	559.847	335.840	231.840
Gennemsnitsomkostning inkl. kapitalomkostning	kr./MWh	428	933	560	1159

Individuel køling	Enhed	Individuelle køleanlæg			
		Stor kunde	Ml. kunde	Lille proces kunde	Lille kunde
Individuel forsyning, der sammenlignes med fjernkøling		Kompressor	Kompressor	Kompressor	Kompressor
Individuelt køleanlæg med kompressor og luftkøler	kr.	22.056.840	6.230.520	2.700.000	2.700.000
Samlede investering	kr.	22.056.840	6.230.520	2.700.000	2.700.000
Specifik investering i individuelt køleanlæg	kr/kW	5.514	10.384	13.500	13.500
Årlig køleproduktion i alt	MWh/år	8.000	600	600	200
COP		6,0	6,0	6,0	6,0
Årlige elforbrug til varmepumpe	MWh/år	1.333	100	100	33
Årlig udgift til opvarmning 1. år					
Amortisering, 4% i 20 år	kr./år	1.632.206	461.058	199.800	199.800
Eludgifter	kr./år	1.750.667	131.300	131.300	43.767
Drift af individuel kølecentral					
D&V, Fast andel af aktiver	2,0%	441.137	124.610	54.000	54.000
Administration	20 kr/MWh	160.000	12.000	12.000	4.000
Variabel udgift, varmepumpe	30 kr/MWh	240.000	18.000	18.000	6.000
Drift af brugerinstallation i alt	kr./år	841.137	154.610	84.000	64.000
Årlig køleudgift i alt	kr./år	4.224.010	746.969	415.100	307.567
Gennemsnitsomkostning	kr./MWh	528	1.245	692	1.538

Besparelse ved fjernkøling 1. år i alt	kr/år	798.245	187.122	79.260	75.727
Besparelse ved fjernkøling 1. år i alt	%	19%	25%	19%	25%

Besparelse ved fjernkøling 1. år ekskl. tilslutningsafgift	kr/år	2.104.010	555.969	239.100	235.567
Besparelse ved fjernkøling 1. år ekskl. tilslutningsafgift	%	50%	74%	58%	77%

Tabel 7-3 Brugerøkonomi ved valgt tarif

7.4 Selskabsøkonomi og samlet brugerøkonomi

Tabellen viser en opdeling af omkostninger for fjernkøleselskab, kølekunder og for fjernvarmeselskabet, der erstatter noget af den eksisterende produktion med overskudsvarme fra køl. Derved fås lokalsamfundets samlede gevinst ved fjernkøling i forhold til referencen.

Selskabs- og brugerøkonomisk vurdering af fjernkøling	Gevinst ved fjernkøling			Omkostning	
	Fjernkøle-selskab	køle-kunder	Lokal samfund	for kølekunde	
	1000 kr	1000 kr	1000 kr	Fjernkøl	Individuel
Nutidsværdi	1000 kr	1000 kr	1000 kr	1000 kr	1000 kr
Kølecentral ekskl. scrapværdi	-33.786	0	-33.786		0
Kølecentral, scrapværdi	4.362	0	4.362		0
Net og stik, ekskl. scrapværdi	-26.243	0	-26.243		0
Net og stik, scrapværdi	7.896	0	7.896		0
Brugerinvestering ekskl. scrapværdi ja	-3.275	88.613	85.338	0	-88.613
Brugerinvestering, scrapværdi	1.003	-9.333	-8.329	0	9.333
Investeringer i alt	-50.043	79.280	29.237	0	-79.280
Tilslutningsafgifter	59.651	-59.651	0	-59.651	
Investeringer inkl. tilslutningsafgift	9.608	19.629	29.237	-59.651	-79.280
D&V af anlægsaktiver	-13.369	20.626	7.258		-20.626
D&V marginale udgifter af net	-809	0	-809		0
Administration	-4.456	3.214	-1.242		-3.214
Variabel D&V af køleproduktion	-4.046	4.822	776		-4.822
Drift af fjernkøleinstallationer hos kunder		0	0	0	0
D&V i alt	-22.680	28.662	5.982	0	-28.662
Energiudgifter til køleproduktion	-18.386	35.171	16.785		-35.171
Køb/salg af køling	47.749	-47.749	0	-47.749	
Energi i alt	29.363	-12.578	16.785	-47.749	-35.171
I alt gevinst ved fjernkøl	16.291	35.714	52.005	-107.400	-143.114

Tabel 7-4 Selskabs- og brugerøkonomi for fjernkøling

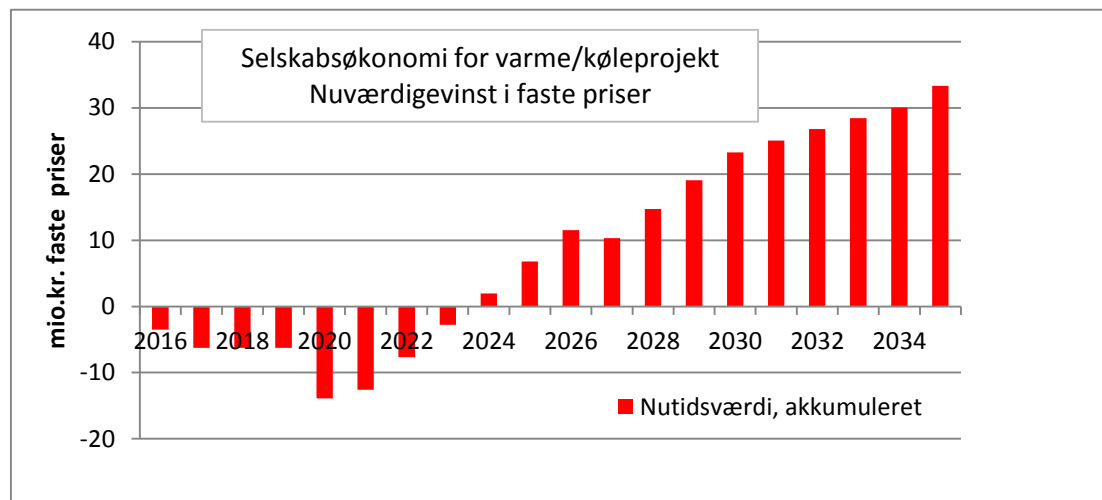
Selskabsøkonomisk vurdering af varmeudnyttelse og fjernkøling	Varme-selskab	køle-kunde	Lokal samfund
	1000 kr	1000 kr	1000 kr
Ekstra investering i varmesiden	-8.659	0	-8.659
Ekstra investering, scrapværdi	1.670	0	1.670
Salg af kapacitet/sparet alternativ kapacitet	1.747	0	1.747
Investeringer og faste omk. i alt	-5.242	0	-5.242
D&V omkostninger ved varmeudnyttelse	-2.637	0	-2.637
Energiomkostninger ved varmeudnyttelse	-54.408	0	-54.408
Salg af varme/sparet køb af varme	79.317	0	79.317
I alt gevinst ved varmeudnyttelse	17.029	0	17.029

Gevinst i alt ved varme og fjernkøl	33.320	35.714	69.033
--	---------------	---------------	---------------

Tabel 7-5 Selskabsøkonomi ved udnyttelse af overskudsvarme

Den samlede gevinst er således 69 mio.kr.

I tabellen nedenfor ses den selskabsøkonomiske gevinst i form af nutidsværdien i faste priser for varme- og køleprojektet.



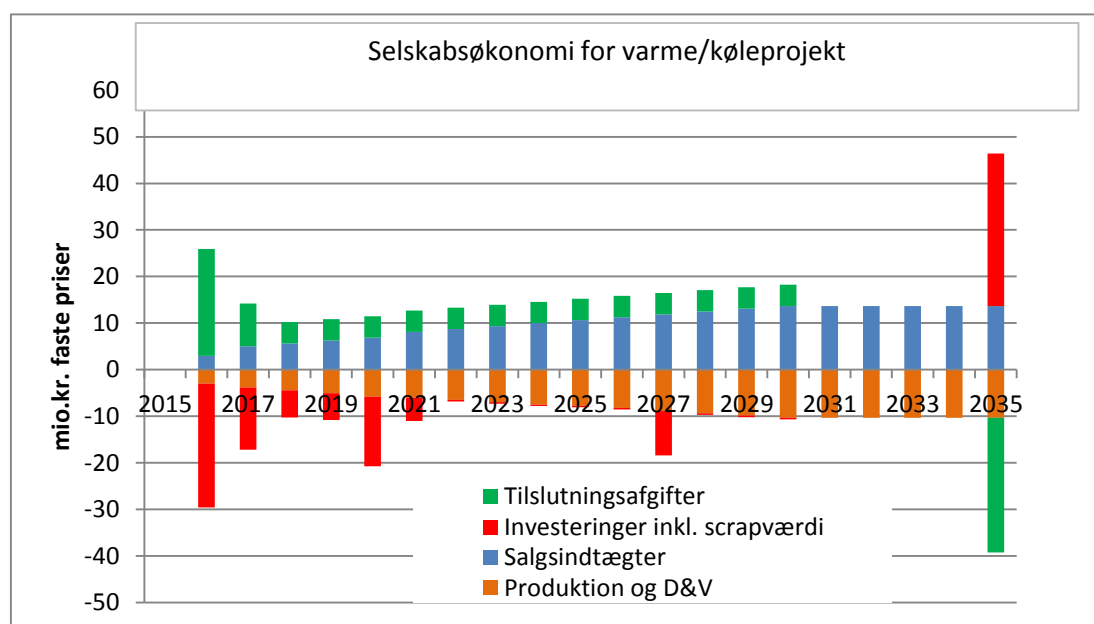
Figur 7-6 Selskabsøkonomisk gevinst for fjernkøling og varmeudnyttelse

I tabellen nedenfor ses betalingsstrømme for fjernkøleselskabet for det samlede varmekøleprojekt i faste priser.

De røde søjler er investeringer og scrapværdi.

De grønne søjler illustrerer tilslutningsafgifterne, som svarer 80 % af kundens alternative investering, og tilslutningstakten.

Der er indført en negativ tilslutningsafgift ved periodens udløb analog til scrapværdien, som afspejler, at fjernkøleselskabet er forpligtet til at levere kapacitet til alle tilsluttede kunder i 20 år.



Figur 7-7 Betalingsstrømme i faste priser

De blå søjler svarer til salgsindtægter og de brune svarer til produktionsomkostninger og D&V.

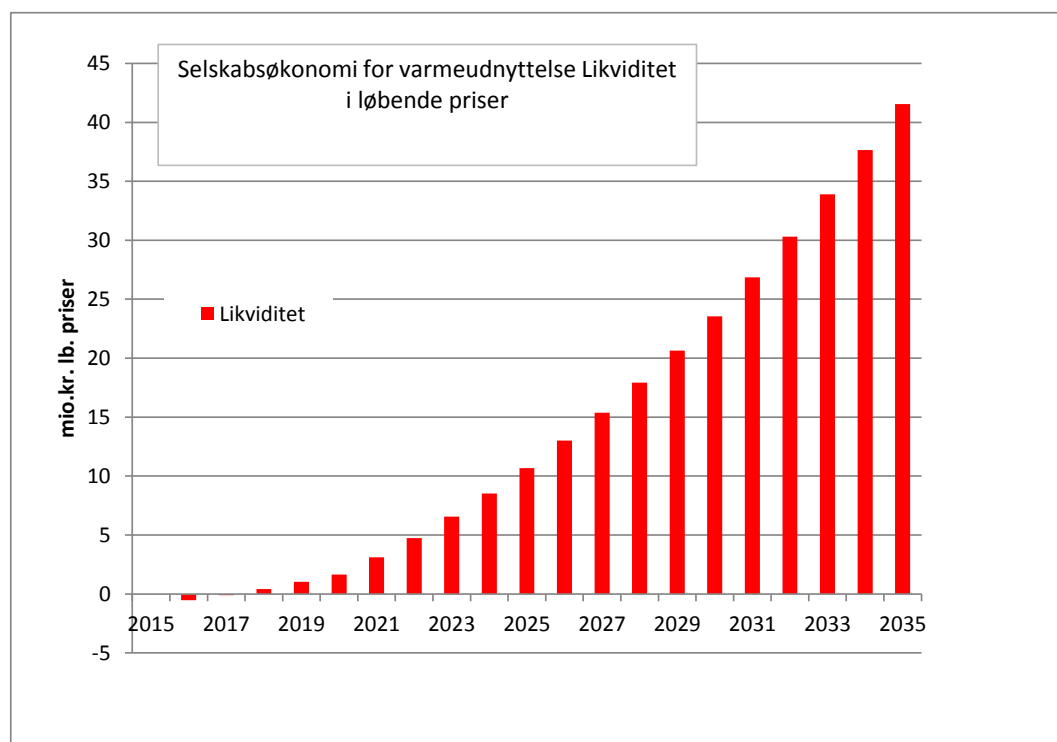
Med denne model vil en væsentlig del af finansieringen komme fra tilslutningsbidrag. Problemet i forhold til den gældende skattelovgivning er, at tilslutningsafgift skal bogføres som indtægt det år indtægten bogføres, medens investeringer afskrives. Derved skabes et kunstigt overskud, som skal beskattes.

Alternativt kunne indgås en aftale om, at kunden garanterer betaling af løbende ydelser over perioden på 20 år, hvorved fjernkøleselskabet eller kunden skal skaffe finansiering.

I diagrammet nedenfor ses den akkumulerede likviditet ved fjernkølingen og varmeudnyttelsen, idet investeringer afskrives lineært over 20 år, og der optages 20 årige serielån med renten 4 % nominelt.



Figur 7-8 Likviditet for køleprojekt



Figur 7-9 Likviditet for overskudsvarmeprojektet

8. KØLEPLAN DANMARK

I dette afsnit vises et resume af beregningerne i det foregående kapitel for alle 5 størrelser anlæg og for alle klynger med samme start og udbygning. Dernæst ses på en mere realistisk udbygning. Data for hver af de 5 klynger ses nedenfor, dog med lidt konservative data for COP-varme.

Størrelse af anlæg		2,5 MW	5 MW	10 MW	20 MW	50 MW	Alle anlæg
Antal anlæg	stk	107	78	44	23	16	268
Data for alle anlæg							
Behov							
Køleeffektbehov	MW-k	268	390	440	460	800	2.358
Proceskøl	MW-k	77	185	166	253	259	941
komfortkøl	MW-k	190	205	274	207	541	1.417
Fuldstimer proces	h	3.500	2.523	2.955	2.362	3.269	2.841
Fuldstimer komfort	h	1.000	1.000	1.000	995	979	991
Proceskøl	MWh-k	270.089	467.986	490.984	598.575	845.957	2.673.591
Komfortkøl	MWh-k	190.347	204.520	273.840	205.507	529.707	1.403.921
Nettab afrundet	%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Kølebehov	MWh-k	465.041	679.231	772.471	812.123	1.389.421	4.118.287
Samtidighedsfaktor		95%	90%	80%	77%	75%	81%
Køleeffektbehov	MW-k	254	351	352	354	600	1.911
Fuldstimer an net	h	1.830	1.935	2.194	2.293	2.316	2.155
Køleproduktioner							
Køleproduktion GV	MWh-k	152.484	210.610	211.204	212.517	359.997	1.146.813
Køleproduktion komp/VP	MWh-k	312.557	468.621	561.267	599.606	1.029.423	2.971.474
Total Køleproduktion	MWh-k	465.041	679.231	772.471	812.123	1.389.421	4.118.287
Varmerproduktioner							
COP-v/COP-k	-	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
Varmerproduktion køle VP	MWh-v	454.365	681.236	815.916	871.649	1.496.476	4.319.643
Varmerproduktion ATES	MWh-v	221.666	306.164	307.029	308.937	523.330	1.667.126
Total varmerproduktion	MWh-v	676.032	987.401	1.122.945	1.180.586	2.019.806	5.986.769
Elforbrug til varme og køl							
Elforbrug til varme og køl	MWh-el	210.991	308.170	350.473	368.463	630.385	1.868.482
Heraf el varme ift. Ref.	MWh-el	134.251	196.085	223.003	234.450	401.108	1.188.897
Total marginal COP varme		5	5	5	5	5	5
Nøgletal							
Kompressorkapacitet	MW-k	102	140	141	142	240	765
Fuldstimer	timer	3.075	3.338	3.986	4.232	4.289	3.887
Grundvands kap	MW-k	76	105	106	106	180	573
Fuldstimer GV	timer-k	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Lagerkapacitet pct.af max.		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Lager fuldstid	h	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Fremløbstemperatur	oC	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Returløbstemperatur	oC	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Køleafkøling	oC	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Lagerkapacitet	MW-k	76	105	106	106	180	573
Lagerstørrelse	MWh-k	762	1.053	1.056	1.063	1.800	5.734
Lagerstørrelse	m³	65.726	90.780	91.036	91.602	155.171	494.316

Tabel 8-1 Energimængder og nøgletal for fjernkøleanlæg

Tabellen ovenfor samler og summerer energidata og nøgletal fra beregningerne.

Det bemærkes, at tabellen gælder for tilfældet, hvor grundvandskøling og varmepumper deler kapaciteten i forholdet 1:2, og hvor den alternative fjernvarmeproduktionspris ligger i den lave ende.

8.1 Maksimal og hurtig udbygning

I dette afsnit belyses økonomien, hvis udbygningen i alle klynger startede nu.

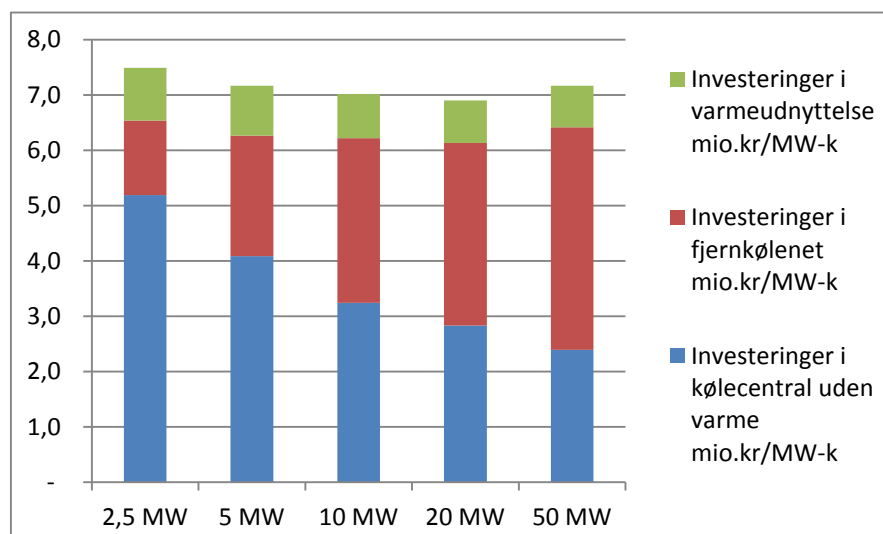
Nedenstående tabel viser de samlede investeringer i fjernkøling fordelt på hovedkomponenter. Investeringerne er sammenlignet med investeringerne i traditionel kompressorkøling i referencen.

Investeringer i fjernkøling		2,5 MW	5 MW	10 MW	20 MW	50 MW	Total
Kølelager	mio.kr	79	109	109	110	186	593
Grundvandskøling	mio.kr	366	445	415	396	629	2.251
Kompressor + teknik	mio.kr	943	1.040	904	799	1.102	4.788
Fjernkølenet og stik	mio.kr	361	850	1.308	1.517	3.217	7.254
Ekstra til Varmepumpe	mio.kr	102	140	141	142	240	765
Tilslutning til fjernvarme	mio.kr	152	211	211	213	360	1.147
Investeringer i fjernkøl	mio.kr	2.004	2.795	3.089	3.176	5.734	16.797
Alternative invest i ref	mio.kr	2.033	3.951	4.908	4.185	8.367	23.444

Tabel 8-2 Investeringer i fjernkøling

Der skal således investeres rundt regnet **17 mia.kr.** for at realisere fjernkøleplanen. Heraf er kun omkring 30 % fra fortrinsvis større komplicerede anlæg som varmepumper. Resten er ledninger i jord, grundvandsboringer og stålakkumuleringstanke. Der er således en betydelig andel lokal arbejdskraft i projekterne. Da de komplicerede anlæg er forholdsvis store og drives af professionel stab på anlæggene, er der effektiviseringsgevinster ved drift og vedligehold, og levetiden kan forlænges.

Hvis ikke fjernkøleprojekterne realiseres, vil der med traditionel køling skulle investeres **23 mia.kr.** over de kommende 20 år i komplicerede fortrinsvis mindre kølekompressor-anlæg. Da de komplicerede anlæg er mindre, og da drift og vedligehold fortrinsvis varetages af tilkaldt personale, kan man forvente relativt højere vedligeholdelsesomkostninger og kortere levetider.



Tabel 8-3 Relative investeringer pr MW-k

Tabellen viser de samlede investeringer fordelt på hovedposter i forhold til den samlede tilsluttede køleeffekt.

Det ses, at man vinder betydelige storskalafordele for kølecentralen ved at øge størrelsen af køleklyngerne, men, at denne opvejes af større investeringer i ledningsnet, når størrelsen overstiger 20 MW-k. Denne tendens er naturligvis meget generel. Der kan være lokale forhold som gunstige lokaliseringer af centraler og ledninger, som taler for større klynger, og der kan være lokale forhold som jernbanekrydsninger mv. som taler for mindre klynger.

Samfundsøkonomisk nutidsværdi		2,5 MW	5 MW	10 MW	20 MW	50 MW	Total
Fjernkøling alene	mio.kr	-494	1.114	2.456	1.493	3.579	8.148
Varmeudnyttelse	mio.kr	195	301	290	329	467	1.582
I alt varme/køl	mio.kr	-299	1.415	2.746	1.822	4.046	9.730

Tabel 8-4 Samfundsøkonomi for fjernkøl og varmeudnyttelse

I ovenstående tabel er vist de samfundsøkonomiske gevinster ved fjernkøling, hvis (som nævnt ovenfor) hele udbygningen starter i dag. Den samlede gevinst er anslået til **10 mia.kr.**

I den næste tabel vises de selskabs- og brugerøkonomiske resultater for alle fjernkøleklynger opdelt på størrelse.

Lokalsamfundetsgevinst nuværdi		2,5 MW	5 MW	10 MW	20 MW	50 MW	Total
Selskab Fjernkøling	mio.kr	-819	73	1.268	390	1.183	2.095
Selskab varmeudnyttelse	mio.kr	483	714	691	805	1.286	3.980
Selskab varme og køl i alt	mio.kr	-336	788	1.960	1.195	2.469	6.076
Fjernkølebrugere	mio.kr	712	1.331	1.185	1.386	2.705	7.319
Lokalsamfundet for køl	mio.kr	-107	1.404	2.454	1.775	3.888	9.414
Lokalsamf. varme og køl	mio.kr	376	2.118	3.145	2.580	5.174	13.394

Tabel 8-5 Selskabs- og brugerøkonomi for fjernkøl og varme

Det ses, at der er en samlet gevinst for lokalsamfundet, bestående af fjernkøleselskabet, fjernvarmeselskabet og fjernkølekunderne, på **13 mia.kr.**

8.2 Realistisk udbygning

I dette afsnit vurderes hvor hurtigt alle ca. 268 anlæg vil kunne udbygges. Det kan naturligvis ikke ske på én gang, som forudsat i den økonomiske analyse ovenfor. Det er der ikke ressourcer til. På den anden side vil alle fjernvarmesektorens mange selskaber kunne bidrage, og man kan forestille sig, at udviklingen vil forløbe som en S-kurve, hvor det antal anlæg, der påbegyndes hvert år, starter med få anlæg og gradvist tiltager for til sidst at aftage, når markedet er mættet. De bedste anlæg påbegyndes først og de dårligste til sidst.

Der forudsættes følgende udbygningstakt for hvert anlæg og for alle 268 anlæg:

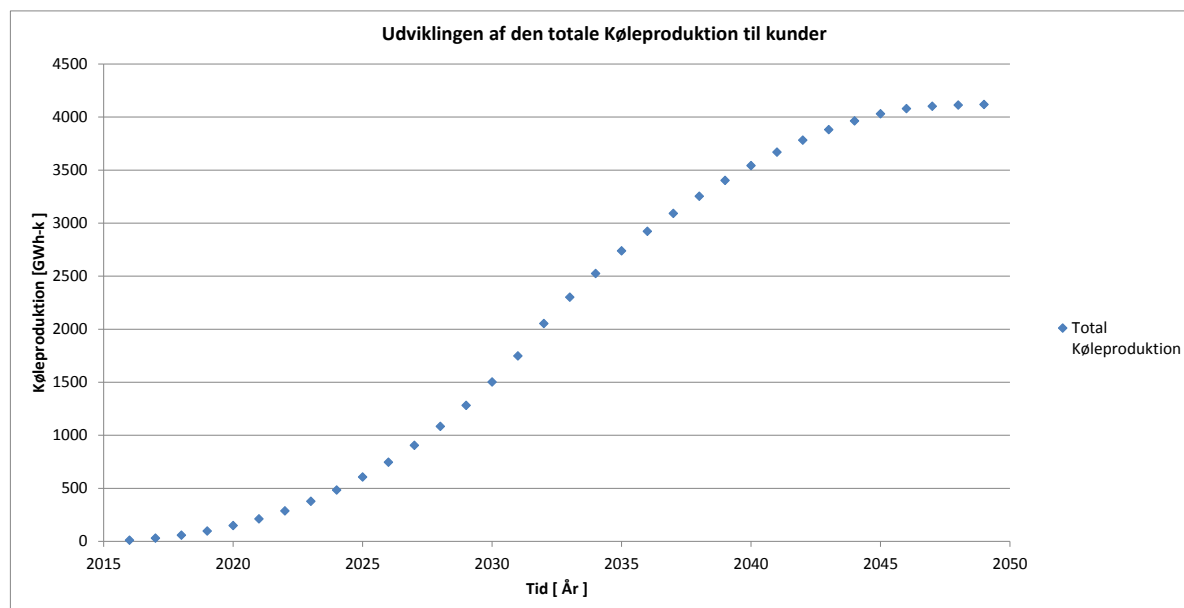
- Udbygningen af de første ca. 5 anlæg startede omkring 2010
- For hvert anlæg går der 2 år fra ide og screening til start
- Alle 268 anlæg påbegyndes over en periode på 20 år fordelt med en typisk S-form
- Hvert anlæg etableres med 5 års netudbygning
- Der regnes med 15 års tilslutning for hvert anlæg
- Den sidste tilslutning vil således være færdig i 2050

For at kunne opnå tilslutning over 15 år forudsættes, at der etableres overgangsløsninger, som sættes i gang i god tid inden den egentlige udbygning med varmepumper starter, eksempelvis:

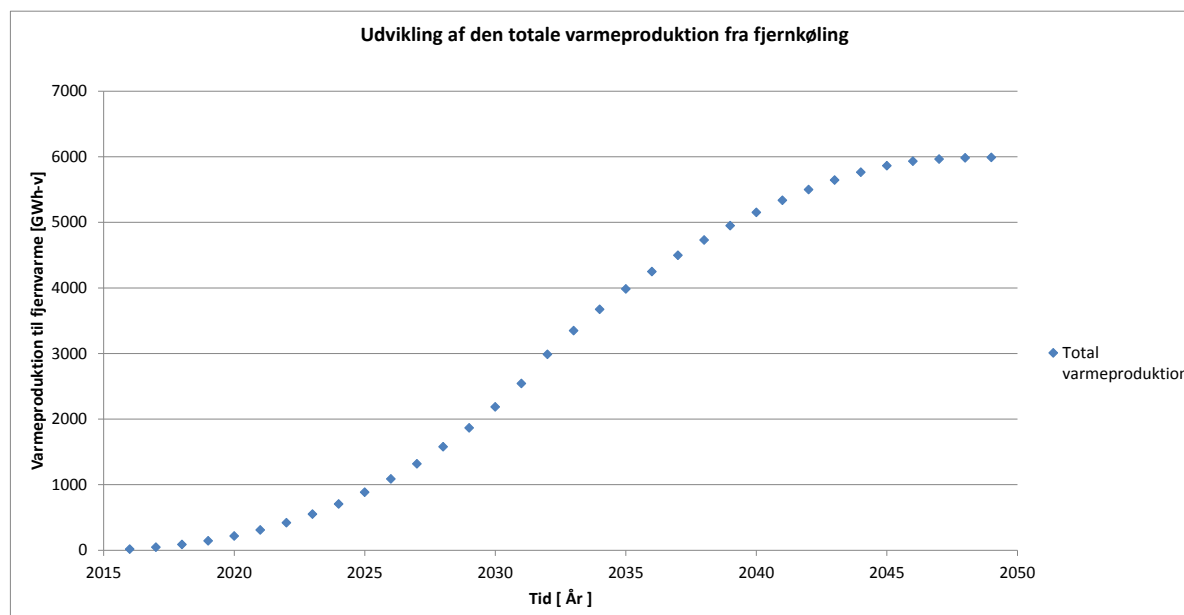
- Containerløsninger til kunder, der hjælpes inden fjernkølingen er fremme

- Fjernvarmen overtager store kunders kølecentraler
- 100 % frikøling i starten hvor det er muligt, og hvor der er nok billig overskudsvarme
- Enkelte absorptionskølere, hvor der er billig overskudsvarme om vinteren, og hvor ATES ikke er mulig
- Kompressorkøling i en første etape indtil det er attraktivt at levere overskudsvarme og indtil der er et lokalt varmemarked med lav fremløbstemperatur

Nedenfor ses, hvordan udvikling frem mod 2050 kan ske med denne forudsætning for



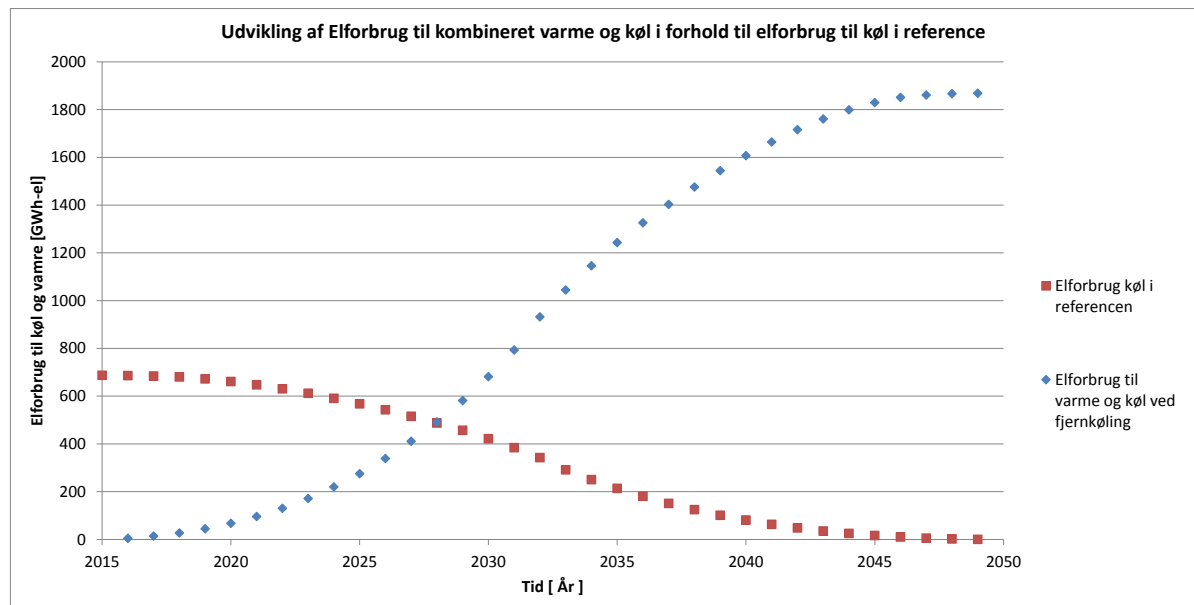
Figur 8-1 Udvikling af fjernkøleproduktion til kunder frem mod 2050



Figur 8-2 Udvikling af varmeproduktion fra fjernkøl inden 2050

Som supplement til denne varmeproduktion på ca. 6.000 GWh, som stammer fra at udnytte overskudsvarmen fra ca. 4.000 GWh salg af fjernkøling, kan der meget vel være yderligere 3-4.000 GWh varmeproduktion med spildkøling. Det vil sige, at perioder med ikke alt for høje elpriser udnyttes til at producere ekstra varme ud fra den bedste omgivelsesvarme, der er til rådighed.

hed, eksempelvis luft via tørkølere eller drænvand eller ekstra forurenede grundvand, der skal pumper op og renses.



Figur 8-3 Udvikling i elforbrug fra individuel køling til fjernkøl

Ovenstående viser det mest interessante slutresultat set fra elforsyningens side.

Fjernkølingen vil således erstatte 700 GWh ikke regulerbar "usmart" elforbrug til 1.900 GWh "smart" regulerbart elforbrug.

Derfor er fjernkølingen ligesom fjernvarmen en af krumtapperne i konceptet for den "Smarte by". Det kan endda implementeres uden ret mange data. Det vigtigste er kvaliteten af data. Ikke mindst fuldt indblik i alle alternative omkostninger til individuel køl i de kommende kølekunder.

9. VARIATIONSBEREGNINGER

Nedenfor ses en tabel med følsomhedsberegning for nutidsværdigevinsten for lokalsamfundet for eksemplet med 10 MW_{køl}.

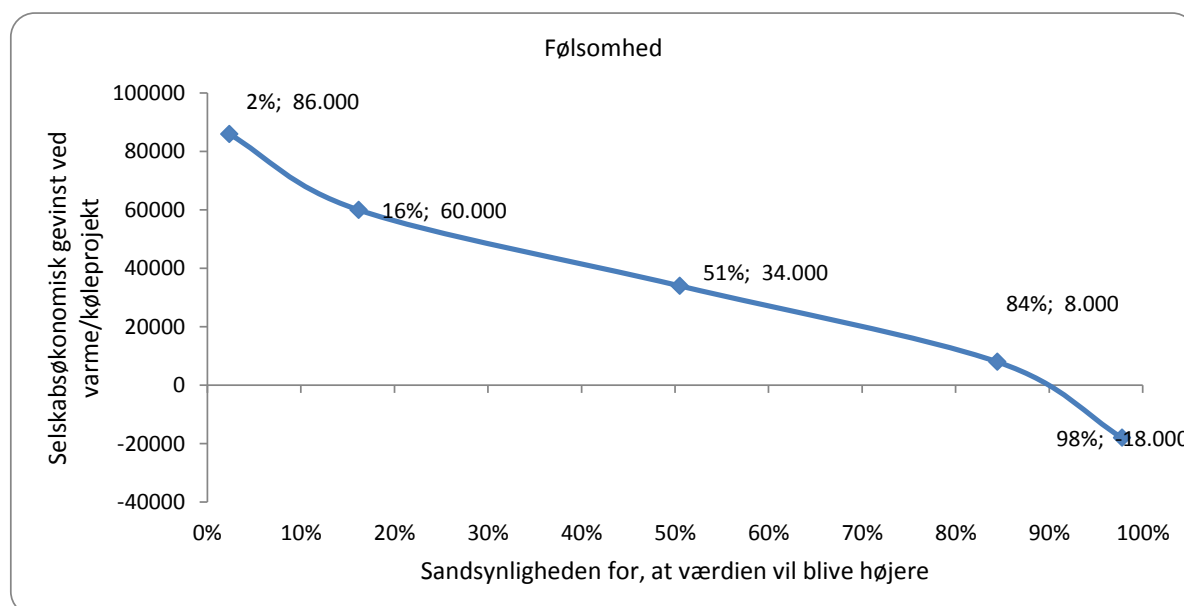
Riskovurdering af følgende resultat		Statistisk analyse af risiko		Middel	Værst - 1 Std. af.	Bedst + 1 Std. af.
Lokalsamfundets gevinst til varme og kølekunder		1.000 kr		33.320	7.000	59.000
Parameter		Værst	Normal	Bedst	1.000 kr	1.000 kr
Diskonteringsrente selskab og kunder, %	%	5,0%	4,0%	3,0%	28.600	38.800
Levetid for fjernkølenet til scrapværdi år	år	30	40	50	31.100	34.700
Levetid for fjernkølecentraler til scrapværdi år	år	15	20	25	30.500	36.500
Afskrivningsperiode fjernkøleinvesteringer år	år	15	20	25	33.300	33.300
Nominel lånerente, indlån 2% lavere %	%	2%	4%	6%	33.300	33.300
Faktor på fjernkølenet	-	1,2	1	0,8	28.900	37.700
Faktor på investering i fjernkølecentraler	-	1,2	1	0,8	28.500	38.200
Faktor på investering i individuelle kølecentraler	-	0,8	0,9	1	26.900	39.800
Faktor el til alt kølebehov og var kølepris	-	1,2	1	0,8	27.300	39.400
Faktor elpris fjernkøl ift. Individuel	-	1	0,86	0,8	21.600	38.300
Faktor på kunders kapacitetsbehov i MW	-	0,9	1	1,1	28.100	38.100
Faktor på kunders kølebehov i MWh	-	0,8	1	1,2	29.900	36.300
Ekstra samtidighedsfaktor på fjernkøl	-	1,1	1	0,8	32.200	34.300
Tilladt udnyttelse af grundvand, max. Timer	timer	1.500	2.000	2.500	27.400	38.600
Mulig kapacitetsbidrag fra akkumulator, %	%	25%	30%	35%	31.000	35.600
Faktor på fjernkøle COP	-	0,9	1	1,1	31.300	35.000
Faktor på varme COP	-	0,9	1	1,1	27.900	37.500
Afskrivningsperiode fjernkøleinvesteringer, år	-	15	20	25	33.300	33.300
Faktor på fast kølepris, kr/kW	-	0,8	1	1,2	32.100	34.500
Overskudsvarmeafgift ved komfortkøl	-	44	22	0	33.300	33.400
Overskudsvarmeafgift ved proceskøl	-	44	22	0	32.700	34.000

Figur 9-1 Følsomhedsberegning

For hver betydende parameter er anslået det "værst tænkelige" og det "bedst tænkelige", ud fra et skøn, som i det konkrete tilfælde kan være meget anderledes.

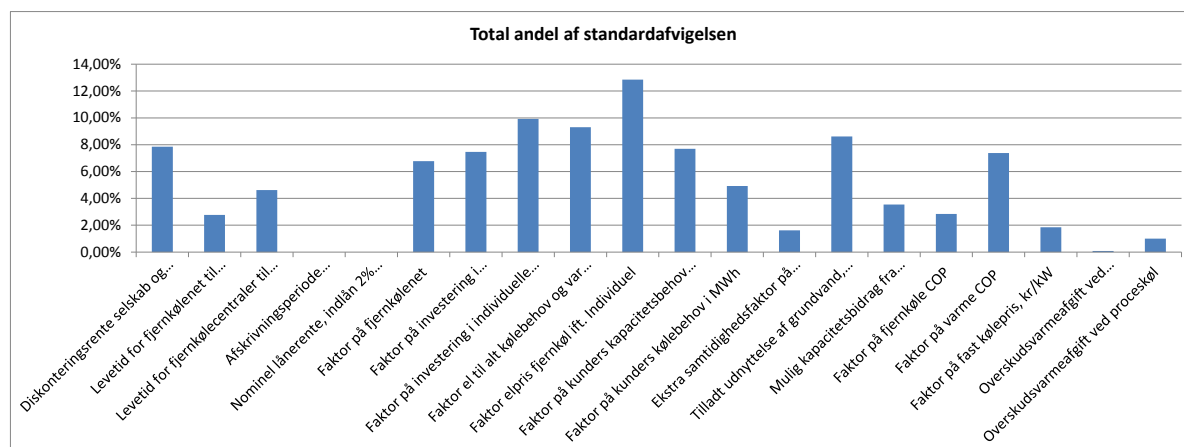
For hvert tilfælde er resultatet beregnet nutidsværdien for lokalsamfundet i 1.000 kr.

Ud fra disse resultater er beregnet en sandsynlighedskurve, som viser hvilken sandsynlighed, der er for, at resultatet bliver positivt. Omvendt ses, at de er 2 % sandsynlighed for at resultatet ikke bliver 33 mio.kr, men 86 mio.kr.



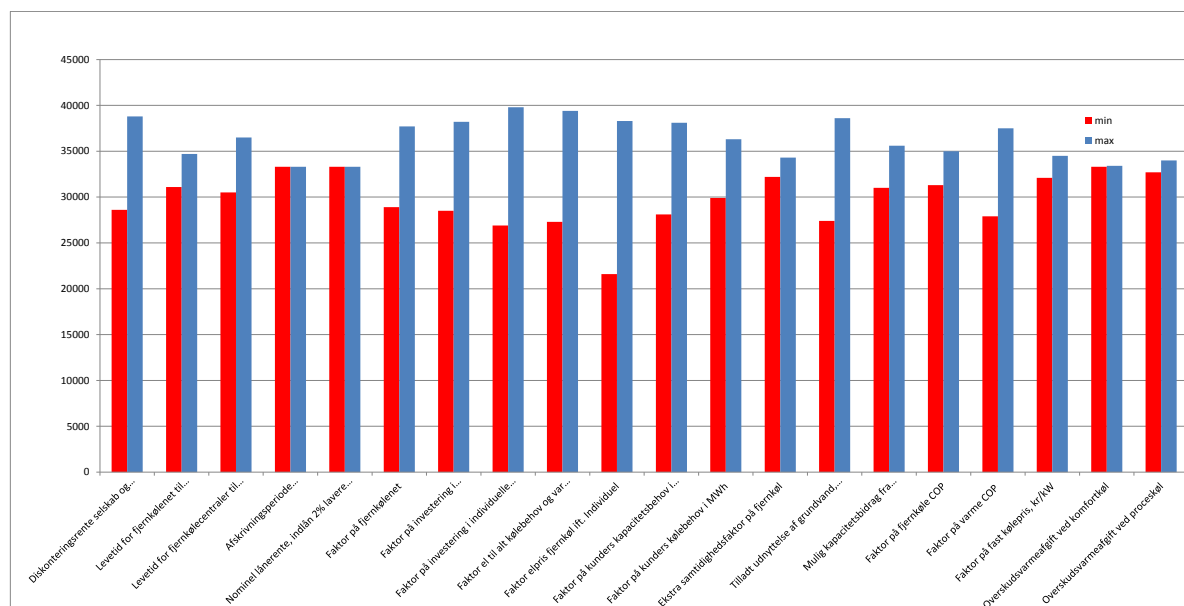
Figur 9-2 Sandsynlighed for gevinst over et niveau, 1.000 kr.

Nedenfor ses betydningen af de enkelte faktorer for standardafvigelsen i sandsynlighedsvurderingen. Det ses, at risikovurderingen for elprisen til fjernkøl ift. Individuel elpris er ret stor. Det skyldes primært usikkerhed om tidsafhængige el-tariffer og afgifter.



Figur 9-3 Hver faktors bidrag til usikkerheden

Nedenfor variationerne i nutidsværdien i 1.000 kr.



Figur 9-4 Grafisk fremstilling af variationsberegningen, i 1.000 kr.

Det ses, at kundernes alternative investeringer i referencen betyder meget, hvilket understreger, at det er vigtigt med et godt forarbejde i samarbejde med kunderne, så fjernkølingen kan vurderes i forhold til et reelt alternativ.

Forbrugernes fjernkølebehov har ligeledes stor betydning. I modellen er det antaget, at kølekunden får sit faste bidrag reduceret i takt med, at man opdager, at behovet er mindre, og at slutudbygningen i kapacitet kan tilpasses det samlede mindre behov.

En stor del af denne usikkerhed kan let imødekommes ved at kølekunder, som udgangspunkt betaler én gang for alle den tilslutningsafgift, som svarer til deres behov og eksempelvis udgør 80-90 % af deres alternative investering.

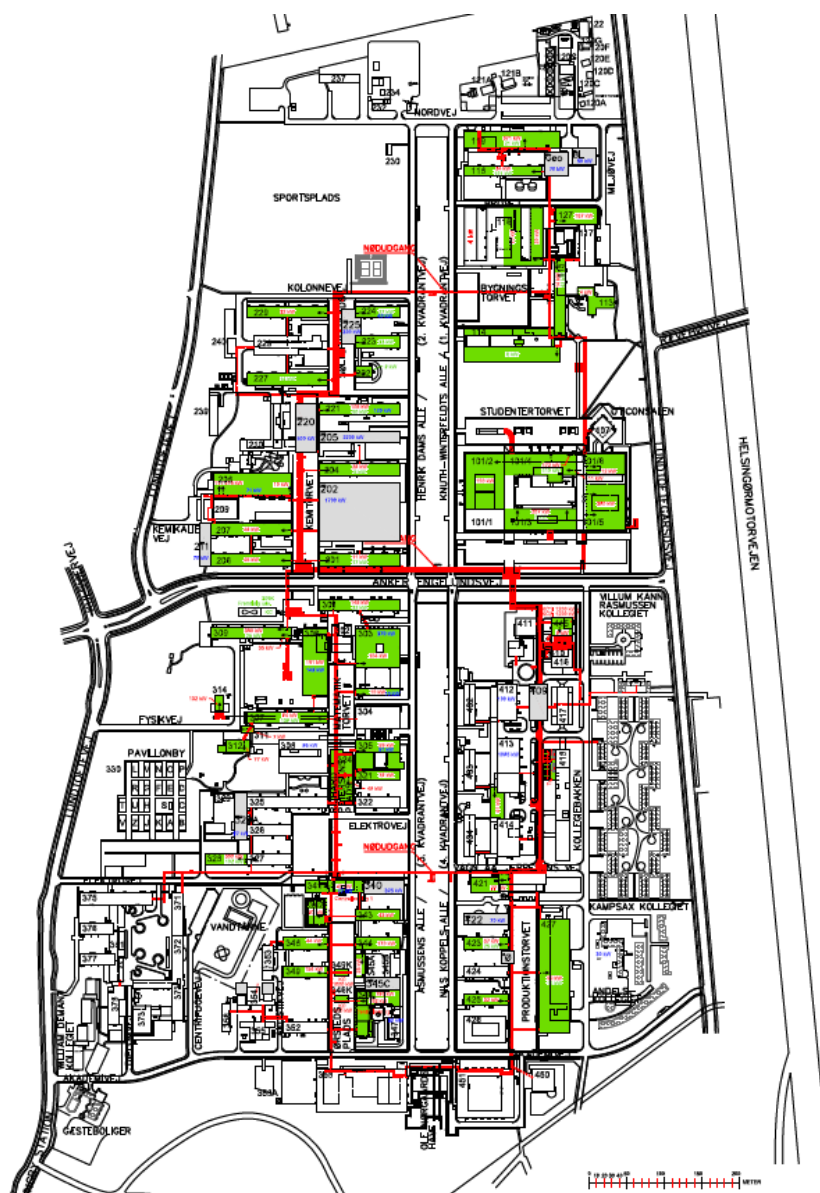
10. EKSEMPLER

I dette kapitel gengives en række gode eksempler på tiltag indenfor fjernkøling og individuelle køleanlæg i Danmark, som kan bruges til inspiration.

Den generelle tendens er, at fjernkøling helt naturligt etableres i områder, hvor en enkelt aktør har den økonomiske interesse i, at alle bygninger i et større område forsynes med termisk komfort for de lavest mulige omkostninger.

10.1 DTU-Campus

DTU har ud fra en samlet vurdering etableret et fjernkølenet for at erstatte mange små anlæg med nogle få kølecentraler, ligesom man har planer om en større kølecentral med grundvandskøling (ATES). Figuren nedenfor viser fjernkølenettet (rød) samt eksisterende (grønne) og nye (grå) bygninger, der er tilsluttet. ATES anlægget vil kunne bidrage med at effektivisere fjernvarmeproduktionen i Lyngby og Rudersdal Kommuner, når Vestforbrændings fjernvarme er koblet sammen med DTU-HF Amba. Fjernkøleledningerne ligger således side om side med fjernvarmeledninger i tunnelsystemet på DTU.



Figur 10-1 Fjernkølenet på DTU

10.2 Carlsberg byen



Carlsberg byen har arbejdet for at fremme de mest bæredygtige energiløsninger og er således nået frem til, at alle bygninger skal have fjernvarme og, at ca. halvdelen af bygningerne, som har kølebehov, skal forsynes fra et lokalt fjernkøleanlæg.

Carlsberg byen har fået vurderet, at det vil være mere fordelagtigt med en lokal fjernkølecentral frem for en meget lang transmissionsledning fra nærmeste anlæg.

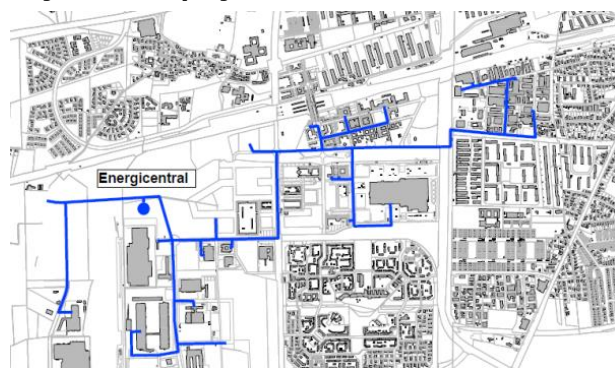
Dette resultat bekræfter den tendens, der er fundet i de foregående kapitler.

Figur 10-2 Lagertank til fjernkølesystemet i Carlsberg byen

Carlsberg byen har en aftale med Frederiksberg Forsynings fjernkøleselskab, som står for hele fjernkøleprojektet.

Carlsberg byen indgår desuden kommercielle aftaler med hver bygherre, som har et væsentligt kølebehov, at kølingen skal baseres på fjernkøling. Baggrunden er, at fjernkøling derved bliver endnu billigere for alle og, at man derved slipper for støjende og synlige køleinstallationer på tagene. Derved tilføres bydelen værdi, som kommer alle aktører og brugere i bydelen til gode.

10.3 Høje Taastrup Fjernvarme



Det forbrugerejede fjernvarmeselskab Høje Taastrup Fjernvarme har arbejdet på at identificere potentialet for fjernkøling og har ud fra denne screening udarbejdet et projektforslag iht. Varmeforsyningsloven for at udnytte overskudsvarme fra fjernkøling og udnytte synergien ved fjernkøling. Projektet tager udgangspunkt i, at Copenhagen Markets, er ved at etablere en meget stor grønttorvshal, som har brug for køling.

Figur 10-3 Fjernkølenet i Høje Taastrup

Ledningsplanen ovenfor viser det godkendte fjernkølesystem ved fuld udbygning, som dækker kølemarkedet i erhvervsområdet syd for jernbanen. Længst til venstre ses en afgang til Copenhagen Markets, hvor der er etableret en kølecentral til Copenhagen Markets, som udgør første etape i projektet.

Projektet er det første større fjernkøleprojekt i Danmark, som i fuld udbygning indeholder alle de hovedkomponenterne der er inkluderet i de foranstående beregninger for køleplan Danmark. Det drejer sig om:

- Fjernkølenet med koldt vand
- Fjernkølecentral med varmepumper til kombineret køl og varme
- Forsyning af fjernkølekunder decentralt i et bygningskompleks

- Forsyning af køl til kunder med temperatur omkring frysepunktet hvorfor der cirkuleres kølevæske
- Forsyning af køl til kunder, der selv køler videre til fryz
- Køleakkumuleringsstank i stål
- Grundvandskøling med sæsonlagring af varme og kulde (ATES)
- Option for et damvarmelager, så yderligere overskudsvarmen fra køl, der ikke kan sæsonfor skydes med ATES, bedre kan udnyttes, så den erstatter gaskedler om vinteren



Det nye grønttorv Copenhagen Markets har etableret en meget stor bygning, hvori der er plads til mange individuelle lejemål, som stort set alle kræver både varme og køl. Nogle endda køl ved lavere temperaturer.

Fjernkølingen leveres af Høje Taastrup Fjernvarme gennem Copenhagen Markets interne ledninger under loftet til hvert af de ca. 73 tilslutningspunkter. På billedet ses to af disse tilslutningspunkter.

Det betyder, at en lejer, der etablerer sig i bygningen kan modtage både vand, varme og køl fra centrale distributionsledninger. Derved undgår man, at hver lejer skal etablere egne kølemaskiner på taget.

Nogle lejere køler videre med egne maskiner for at opnå en endnu lavere temperatur.

Figur 10-4 Forsyning med fjernkøl i Copenhagen Markets

Fjernkølingen til Copenhagen Markets leveres fra en lokal kølecentral, der leverer overskudsvarme til fjernvarmen. Denne central vil senere blive koblet på det planlagte fjernkølenet.

10.4 HOFOR



Foto: HOFOR, Carsten Andersen

Figur 10-5 HOFOR's Fjernkølecentral i Adelgade

HOFOR har etableret to fjernkølesystemer i København med centraler i hhv. Adelgade og Tietgensgade. De er indtil videre baseret på en kombination af frikøling, kompressorkøling og absorptionskøling. På billedet ses den underjordiske central i Adelgade, som bl.a. leverer køl til området omkring Kgs. Nytorv. Centralen rummer både installationer til frikøling fra en renoveret kølekanal fra havnen samt kølekompressorer og absorptionsvarmepumper, der fødes fra dampsystemet.



HOFOR arbejder med at konvertere fjernvarme fra damp til vand. I den forbindelse udnyttes synergien med fjernkøl ved at lægge begge systemer i samme udgravning.

Tidligere er eksempelvis Industriens hus tilsluttet på denne måde.

På billedet ses tilslutning af Hovedbanegården, som også har et stort kølebehov.

Figur 10-6 Fjernvarme og fjernkøling til Hovedbanegården i samme grav

HOFOR har planer om at fortsætte udbygningen i flere områder i kommunen. HOFOR's fjernkøleforretning HOFOR Fjernkøling A/S har for tredje år i træk modtaget Børsens Gazellepris.

10.5 Frederiksberg Forsyning

Ud over forsyningen i Carlsberg byen har Frederiksberg Forsyning etableret fjernkøling, der forbinder Frederiksberg Varmecentral med Frederiksbergcentret. Anlægget er indtil videre baseret på kompressorkøling, men vil blive udbygget.

10.6 Bjerringbro Fjernvarme og Grundfos

I Bjerringbro er etableret et samarbejde mellem fjernvarmen og Grundfos, idet der er etableret et fjernkøleanlæg med grundvandskøling og varmeudnyttelse.



Figur 10-7 Fjernkølecentral hos Bjerringbro Fjernvarme og Grundfos.

Anlægget har følgende nøgletal:

- 10.500 MWh køl til Grundfos årligt til Grundfos interne kølenet
- 13.500 MWh varme overskudsvarme fra køl årligt til Bjerringbro Fjernvarme
- Grundvandskølekapacitet: 1,5 MW_{køl}
- Varmepumpekapacitet: 2,7_{køl} og 3,6 MW_{varme}
- COP for varmepumpe ved nedkøling af grundvand til 6 °C og produktion til 46/67 °C = 4,6
- Plan for udvidelse 4,45 MW_{varme} COP 4,4

Der er ikke særligt store døgnfluktuationer for køl om sommeren, da det overvejende er processkøl. Sommer belastningen er rimelig konstant på 1,8 MW_{køl} som lægges i et ATES anlæg i juni, juli, august og september.

Det overvejes dog at etablere en køleakkumulator for at udjævne lastsvingninger om sommeren og for at kunne optimere driften.

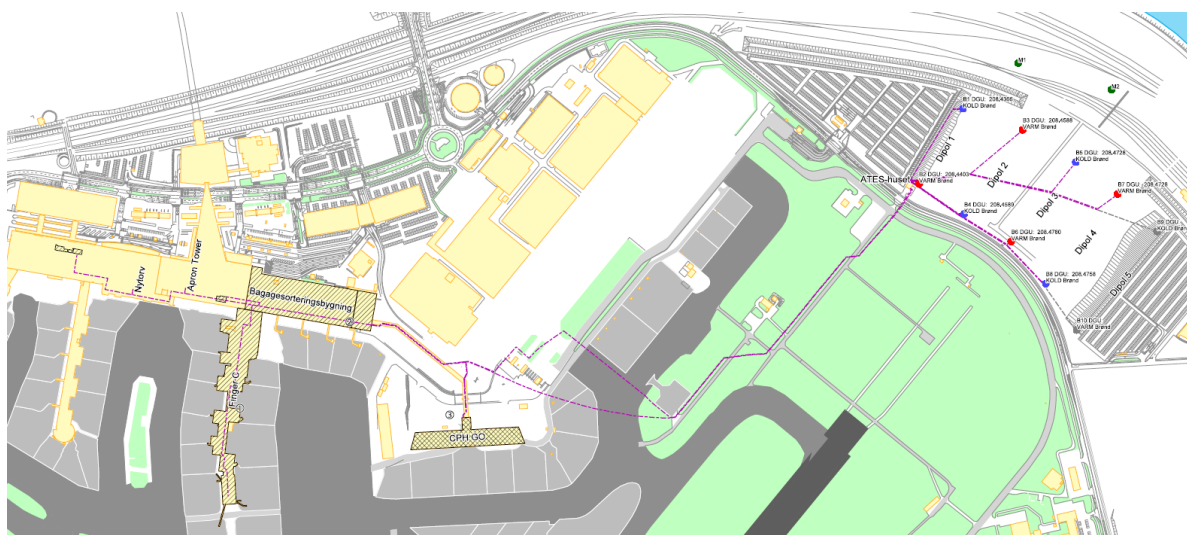
10.7 Københavns Lufthavne

Københavns Lufthavne (CPH) har eget fjernvarmenet, der forsyner ca. 450.000 m² samt fly ved gaten med varme. Nettet forsynes med varme fra Tårnby Forsyning, der får leveret grundlast og spidslast fra CTR.

Ca. 450.000 m² af bygningsmassen og fly ved gaten har også et kølebehov på over 12 MW_{køl}. CPH har set en selskabsøkonomisk fordel i at etablere et stort fjernkølenet, som kan forsynes med grundlast fra et centralt grundvandskøleanlæg på 5 MW_{køl} stedet for at bygge traditionelle-decentrale kølemaskiner. Grundvandskøleanlægget forsyner på nuværende tidspunkt ca. 35 % af kølebehovet i de varmeste måneder. I de lune forårs og efterårsmåneder dækker grundvandskøleanlægget kølebehovet for alle de tilsluttede forbrugere, svarende til ca. 50 % af CPH's samlede kølebehov.

CPH øger samarbejdet med Tårnby Forsyning og CTR med henblik på at samkøre fjernvarme og for at optimere den samlede fjernvarme og fjernkøling. Første skridt i den retning er at etablere og drive 2 varmepumper, der udnytter overskudsvarmen fra fjernkølingen til forsyning af fjernvarmenettet.

De næste skridt i samarbejdet vil yderligere kunne effektivisere forsyningen af den kommende meget store udbygning af CPH med varme og køl. CPH påregner at det samlede kølebehov vil vokse til omkring 20 MW indenfor de kommende 10 år.



Figur 10-8 Fjernkølesystem og ATES anlæg i Københavns Lufthavne

På billedet ses det eksisterende fjernkølesystem samt ATES anlæg ved parkeringsområdet yderst til højre.

10.8 Aalborg Forsyning

Aalborg Forsyning er i gang med at udvikle et fjernkølesystem ved AUC og det nye supersygehus i Aalborg. Fjernkølingen er indtil videre primært baseret på frikøling fra kalksøen ved Aalborg

Portland. Billig frikøling kan således være drivkraften til at etablere fjernkøling nær ved søen i de kommende år, hvor der er nok billig grundlast. På længere sigt hvor der kunne mangle mellem-last vil det være fordelagtigt at reinvestere i ATES anlæg med varmeproduktion fra varmepumper i perioder med høje varmeproduktionspriser.

10.9 Butiksanlæg

Der er nye CO₂ drevne kølemaskiner på vej i landets butikker, hvor man udskifter ældre køleanlæg i butikkerne til nye effektive anlæg baseret på CO₂ som kølemiddel. Her er det interessante at varmen kan leveres direkte ved 70 °C – meget velegnet til typiske fjernvarmenet i de fleste byer. Hvis der opsættes sådanne anlæg til produktion af fjernkøling bliver forretningen ved at udnytte varmedelen meget bedre, når der ikke skal være en eldrevne varmepumpe efterfølgende – men kun et pumpe til levering af tryk. Anvendes varmen direkte f.eks. i et indkøbscenter kan værdien være endnu højere. SuperBrugsen i Skjern fik således fjernvarmprisen i 2013 og blev således landskendt som en af de første, der leverede overskudsvarme fra køl. Man skal blot huske, at overskudsvarme fra kølediske ikke kan konkurrere med den billige sommervarme i mange fjernvarmeselskaber. Det er først, når der bliver indført sæsonlagring i ATES og/eller damvarmelagre, at man vil kunne udnytte overskudsvarmen fra alle kølediske i Danmark.

10.10 Individuelle ATES anlæg, Widex i Allerød

Widex kontorbygning i Allerød har et decentralt ventilationssystem med 350 individuelle anlæg, der alle har varmegenvinding og mulighed for køling og opvarmning af luften. Køling og opvarmning sker i samme effektive vekslerflade, som enten tager køl fra det interne kølenet eller varme fra det interne varmenet. Begge net er samlet i varmecentralen, hvor 100 % grundvandskøl sørger for stort set hele kølingen, medens varmepumper køler grundvandet ned og leverer varme, når der er behov for det. Bygningen ligger for sig selv uden fjernvarme eller andre bygninger med kølebehov i nærheden. Bygningens anlæg har imidlertid potentiale til at kunne forsyne mindst dobbelt så stor en bygningsmasse med køl og varmegrundlast, blot der etableres en køleakkumulator og en mindre spidslastkapacitet.

10.11 Individuelle ATES anlæg, Copenhagen Towers i Ørestaden

Hotellet har et stort ATES anlæg, som er klar til at forsyne hele hotellet efter udvidelsen i 2015/16. Hotellet modtager fjernvarme fra HOFOR, og man arbejder nu sammen om at udnytte ATES anlæggets varmepumper og sæsonlager således, at det kan bidrage til at forbedre økonomien i den samlede produktion af varme i hele det Storkøbenhavnske fjernvarmenet. Bortset fra, at der ikke har været plads til en køleakkumuleringsstank, er der således store ligheder mellem bygningen og et fjernkølesystem, der kobler bygninger sammen i en bydel.



Foto og kilde: If-Technologies

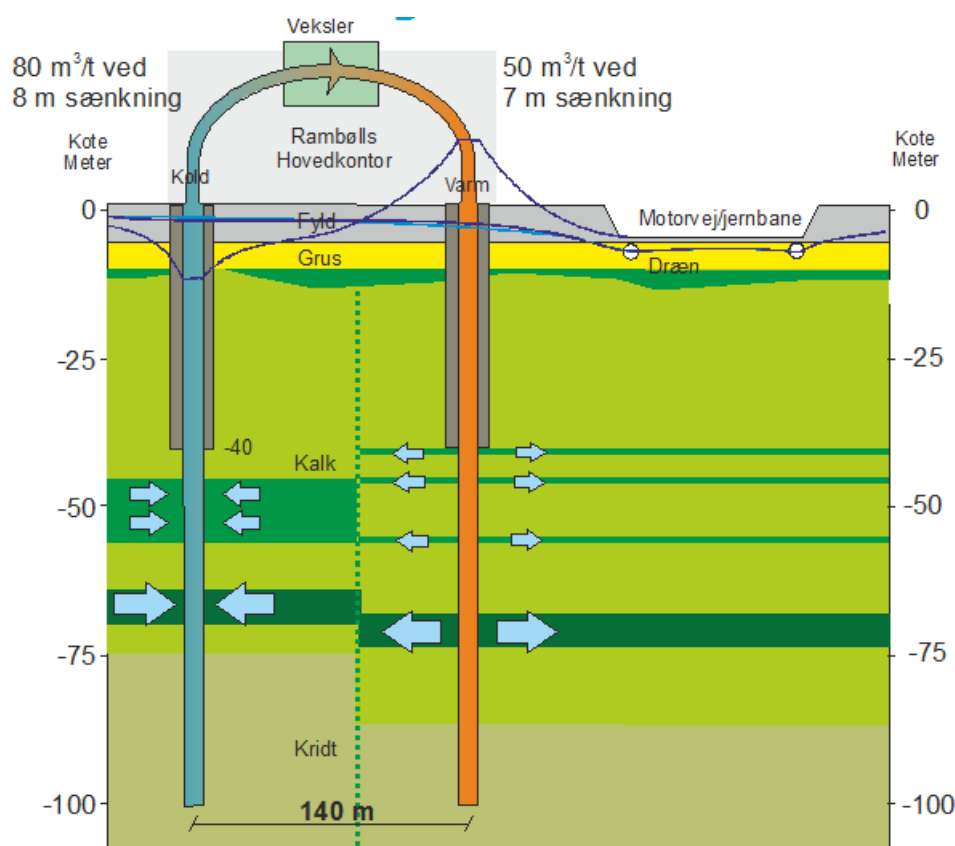
Figur 10-9 Copenhagen Towers

Varmebehovet og kølebehovet er estimeret til hhv. 5.500 MWh varme og 4.200 MWh køl, og grundvandsmagasinet kan stort set lagre det samlede kølebehov. Det samlede varmebehov til bygningen kan således produceres med de varmepumper, der skal nedkøle grundvandet og ska-

be termisk balance. Ved at samarbejde om at producere maksimalt til bygningen og til fjernvarmen i eksempelvis de 3 koldeste måneder og forsyne bygningen med fjernvarme i de øvrige 9 måneder, kan den samfundsøkonomiske værdi af varmen blive mere end fordoblet.

10.12 Rambøll's domicil i Ørestaden

I figuren nedenfor ses et eksempel på grundvandsboringer, som udnytter vand fra kalklagene i et område uden grundvandsinteresser. Grundvandsanlægget, som har en kapacitet på næsten 1 MW køl, er kombineret med kølekompressorer til spidslast, og grundvandet køles ned med tørkølere om vinteren. Bygningen forsynes 100 % med fjernvarme. Når der skal reinvesteres i en af kompressorerne, er det tanken at etablere en varmepumpe, som kan nedkøle grundvandet helt i løbet af 2-3 vintermåneder ved at levere til både bygningen og til HOFOR og således udnytte fjernvarmen i de øvrige måneder.



Figur 10-10 Eksempel på grundvandskøling

10.13 Individuelle grundvandskøleanlæg

Der er etableret mange individuelle grundvandskøleanlæg i fjernvarmeområder, bl.a. i Ørestaden, hvor der er gode muligheder. I disse anlæg køles grundvandet ned om vinteren med tørkølere, og der er kølekompressorer som supplement til grundvandskølingen. Når kølekompressorerne skal udskiftes vil det være samfundsøkonomisk fordelagtigt at erstatte dem med varmepumper, der kan levere til både bygning og fjernvarmen i de 2-3 vintermåneder, hvor de kan erstatte dyr spidslast eller når elprisen er særlig lav.

For at denne udveksling kan virke optimalt, kan der være behov for, at fjernvarmetariffen er tidsafhængig, eksempelvis at den varierer på månedsbasis eller, at den som minimum indeholder en lav sommerpris og en lidt højere vinterpris.

11. ORGANISATORISKE MODELLER OG TARIFFER

I dette afsnit ses på udfordringen med lovgivning, organisering og tariffer, som er vigtig for at Danmark udnytter fjernkølingens muligheder for at bidrage til at vi opnår de energipolitiske mål på en smart og omkostningseffektiv måde.

11.1 Hvile i-sig-selv kontra kommerciel model

Salg af fjernkøling til virksomheder er en kommerciel aktivitet på linje med salg af el på elmarkedet. Man kunne overveje, om komfortkøl skulle sidestilles med opvarmning, men størstedelen af proceskølingen og komfortkølingen betales af kommercielle virksomheder, der har behov for lave energiydgifter for at være konkurrencedygtige.

Tariffen for fjernkølingen til kølekunder skal således tilpasses kundens alternative omkostningsægte prisstruktur og den skal være åben og gensidig, således at fjernkøleselskabet også kan købe kapacitet og køleenergi af kunder, hvis det ud fra en fælles vurdering er bedst.

For fjernvarmeselskabet vil det være en god ide, at man på vegne af alle fjernvarmekunderne, søger at gøre fjernvarmen endnu mere effektiv ved at udvikle fjernkøling for at udnytte overskudsvarmen, sælge kølingen kommercielt til kølekunder og lade fordelene komme varmekunderne til gode.

Det svarer præcis til, at fjernvarmeselskaberne kan sælge el-ydelser til det kommercielle el-marked i håb om at kunne sænke varmeprisen. Det er blot meget mindre risikofyldt.

- Indtægter fra salg af el-ydelser svarer til indtægter fra fjernkøl (markedstilgang)
- Gasmotor svarer til varmepumper (konverteringsteknologi)
- Gasprisen svarer til elprisen for el til køl
- Generator, transformer og el-tilslutning svarer til fjernkølenettet (tilslutning til markedet)
- Varmeakkumuleringstank og sæsonlager svarer til køleakkumuleringstank og ATES

Fjernkøling er mindre risikofyldt end kraftvarme af flere grunde:

- Elmarkedet vil ikke leverer et investeringsbidrag til gasmotoren, hvorimod fjernkølekunder gerne vil betale et investeringsbidrag til fjernkøl, da de umiddelbart kan sammenligne med deres alternative ufravigelige investering i individuel køl
- Gaskraftvarmen er fanget mellem el- og gaspriser (hvilke vi af erfaring ved kan være risikabelt) medens prisniveauet for el til fjernkøl og individuel køl er det samme bortset fra, at fjernkølingen bedre kan drage fordel af prisfluktuationer ved at etablere lagre.
- Fordelen ved gasmotorkraftvarme er meget afhængig af prisrelationer på energi, medens fordelene ved fjernkøling i forhold til individuel køl primært skabes ved storskalafordele, som fjernkøleselskaberne og kunderne kan udnytte i et lokalt fællesskab

Hvile-i-sig-selv princippet harmonerer således særdeles godt med, at fjernvarmeselskabet sælger køl på kommercielle vilkår, og det harmonerer særlig godt med, at fordelene ved fjernkøl bedst kan realiseres i et åbent samarbejde mellem selskab og kunde, som i øvrigt ofte er (varme)kunder i forvejen og derfor kender selskabet.

Varmeforbrugene vil således løbe en vis risiko ved at etablere fjernkøl, men det er en meget velovervejet risiko med stor sandsynlighed for gevinst. Det svarer som nævnt helt til hvad man har gjort med decentral kraftvarme, hvor man har solgt el på markedet mod at kunne udnytte overskudsvarmen.

I dette tilfælde med fjernkølingen er risikoen bare mindre, fordi man kan indgå langsigtede aftaler med kunderne uden at være afhængig af udviklingen i gas og elpriserne.

Udbygning med fjernvarme til nye bydele og introduktion af ny teknologi indebærer også en vis risiko. Tilslutningen kan være usikker, særligt til ny bebyggelse, hvis der ikke kan opkræves byggeomkostninger, ligesom ny teknologi kan være risikabel. Erfaringen viser, at det normalt går det godt, når fjernvarmeselskaber løber en risiko, fordi den er velovervejet, men i enkelte tilfælde koster det. Hvis fjernvarmeselskaberne aldrig havde turdet løbe nogen risiko, havde Danmark næppe været førende indenfor sektoren og næppe markeret sig indenfor præisolerede rør, kraftvarme, stor fjernvarmeandel, solvarme, sæsonlagre mv.

Derfor bør alle fjernvarmeselskaber få fuld ret til at engagere sig i fjernkøling helt på lige fod med alle øvrige fjernvarmeaktiviteter.

Hvile-i-sig-selv fjernvarmeselskaberne har yderligere en konkurrencefordel ved salg af køling, idet kølekunderne, som normalt også vil være varmekunder kan se frem til at få en del af fordelene, enten ved at få kølingen lidt billigere på længere sigt eller ved at få varmen billigere.

I modsætning hertil står et rent kommercielt fjernkøleselskab, som må formodes at maksimere sin profit og dermed stå i vejen for, at kølekunderne får en langsigtet gevinst, ligesom det vil være vanskeligere at opnå synergi med fjernvarmen.

En kunde, som overvejer at tilslutte sig fjernkølingen, vil sandsynligvis være mere positiv, hvis kunden får indflydelse på den fremtidige forsyning og kan se, at der ikke pr. automatik bliver opkrævet et nyt tilslutningsbidrag, når kontraktperioden er udløbet.

Dette udelukker ikke, at kommercielle selskaber engagerer sig i at levere køl til enkeltvirksomheder eller etablerer fjernkølesystemer. Det kan tilmed være en fordel, så fjernvarmeselskaberne kan sammenligne deres fjernkøletilbud både med kundens alternativ og med kommercielle fjernkøleselskabers tilbud.

11.2 Kommunale forsyningsvirksomheder og kommuner

Det vil være indlysende for kommunale forsyningsvirksomheder at etablere fjernkøling som endnu en forsyningsart og dermed opnå fordele og synergier både for samfundet og for kommunen som lokalsamfund.

Det er imidlertid i umuligt med den gældende lovgivning med mindre selskabet råder over fri kapital og har lov til at bruge den til fjernkøling.

Derfor er det særlig vigtigt, at kommunalfuldmagt og andre lovgivninger tydeligt præciserer, at fjernkøling er en naturlig del af en bys infrastruktur (dog kun i tæt bebyggelse med erhverv mv.) på linje med vand, kloak, el, tele, fjernvarme mv. og, at kommunerne får et utvetydigt ansvar for at lade denne infrastruktur indgå som en del af kommuneplanlægningen.

I de mange byer, hvor forbrugerne ikke har kunnet finde sammen om at etablere deres egen forsyning som et Amba eller som en forening er det vigtigt, at kommunerne træder ind og står for forsyningen, dels som rent kommunale selskaber, dels som kommunale interessentselskaber, hvor det er fordelagtigt.

Her kan synergierne udnyttes, enten ved at alle forsyningsarter er samlet i et lokalt forsynings-selskab i et afgrænset geografisk område eller ved at beslægtede afgrænsede forsyningsarter som vand/spildevand, el/gas eller fjernvarme/fjernkøling udnytter synergierne i et meget større

område. I øjeblikket er der en vis konkurrence mellem de to organisationsmodeller. Indenfor el og gas er man nået frem til at der er storskalafordele ved at ekspandere på nationalt niveau.

Det er ikke oplagt at det samme skal gælde for de meget mere lokale investeringstunge forsyningsarter som vand/spildevand og fjernvarme/fjernkøling. For sidstnævnte er der desuden store synergier med kundernes anlæg, hvor fjernvarme og fjernkøl i fremtiden i større grad vil blive leveret til hver bolig eller erhvervslejemål.

Varmeforsyningslovens krav, om at kommunerne skal arbejde med varmeplanlægning som en del af kommuneplanlægningen skal således udvides til også at omfatte køleplanlægning. Ved samme lejlighed kan genopfriske kravet om varmeplanlægning, som endnu ikke er indarbejdet i alle kommuneplaner og lokalplaner.

Der er således ikke brug for en fjernkølelov, som reelt lægger hindringer i vejen, men derimod for en fælles lov om fjernvarme og fjernkøling.

Det forekommer ligeledes naturligt, at kommunerne skal have mulighed for at stille lånegarantier for fjernkøleprojekter, der godkendes iht. Varmeforsyningsloven.

Det er særlig aktuelt for kommuner med erhvervsområder, at bydelen kan tilbyde både fjernvarme og konkurrencedygtig fjernkøling. Det vil tiltrække virksomheder med et stort kølebehov.

11.3 Forbrugerejede selskaber

Forbrugerejede selskaber har større mulighed for at komme i gang. Faktisk kan man gå i gang, hvis man har en god bankforbindelse eller kan stille garanti.

Det er imidlertid en urimelig stor udfordring for de mindre selskaber, særligt fordi lovgivningen omkring selskabsstruktur, prisberegning, skat mv. fortsat er usikker og optræder som en urimelig administrativ byrde, hvor man fra centralt hold fratager forbrugerne deres frihed til at handle og beslutte på eget ansvar.

Kun de store forbrugerejede fjernvarmeselskaber eller selskaber, som kan samarbejde med en særlig stor kølekunde, har reel mulighed for at etablere fjernkøling.

11.4 Foreninger

Hvis man i et område har tradition for samarbejde virksomhederne imellem, vil det være en mulighed at flere virksomheder med kølebehov etablerer en forening for fjernkøl med det formål at etablere og drive fjernkøling i samarbejde med fjernvarmeselskabet.

Derved er virksomhederne sikre på, at de langsigtede synergier også kommer kølekunderne til gode.

Modellen med to forbrugerejede foreninger i symbiose, en for varme og en for køl kan også udvikles til et samlet selskab med to målgrupper, ligesom vi har set, at enkelte forbrugerejede selskaber har valggrupper for hver forbrugerkategori.

11.5 Tariffer og aftaler for fjernkøling

Der vil næsten altid være en fordel ved at etablere et samarbejde mellem et fjernkøleselskab og en stor kølekunde. Nogle kølekunder har eksempelvis et behov for 100 % lokal reserve. Samarbejdet kan bestå i, at kunden køber både kapacitet og energi, men det omvendte kan også være tilfældet, helt eller delvist. Derfor bør en forhandling altid ende med, at man når til enighed om at udveksle kapacitet og/eller energi den ene eller den anden vej.

Derfor bør køletariffer helst være omkostningsægte med høje tilslutningsafgifter og lave variable afgifter.

Man kan således vanskeligt sammenligne priser på individuel køl med fjernkøl ud fra en enkelt pris på køl i kr./MWh_{køl}. Det kan meget vel lede til at man "sidder i hver sin silo" og kommunikerer uden at se hinanden.

Sammenligningen bør ske ved, at man sammen ser på det samlede betalingsforløb over 20 år for alle relevante omkostnings komponenter for kunden og for en marginal udvidelse af fjernkølingen.

Hvis der er en fælles fordel ved et samarbejde, vil det også være muligt at tilpasse en aftale, så fjernkøling også er fordelagtig for kunden.

Hvis fjernkøleselskabet har udviklet forretningskonceptet til at levere køl både centralt og individuelt kan nå frem til den konklusion, at fjernkøling altid vil være fordelagtigt, bortset fra ejerskab og drift af kølemaskiner, som er helt vitale som backup for virksomhedens kerneydelser.

Den mest optimale centrale fjernkøleløsning, som kunden kan etablere med ATES mv., vil også kunne gennemføres af fjernkøleselskabet. Fjernkøleselskabet har desuden bedre muligheder end en kunde for at kunne levere fjernkøl til ejendomme i nærområdet samt udnytte storskalafordele og synergier med fjernvarmen.

En fjernkøletarif med et tilslutningsbidrag, der næsten svarer til kundens alternative investering, eller en langsigtet aftale om faste årlige betalinger vil således være et vigtigt element i en fjernkøletarif.

Tilslutningsbidraget kan således også erstattes af, at kunden stiller kapacitet til rådighed.

Fjernvarmetariffen er også vigtig for at opnå synergierne og særligt i forhold til virksomheder med eget køleanlæg og ATES anlæg.

Det er vigtigt, at fjernvarmetariffen har følgende egenskaber:

Den variable varmeprijs bør være sæsonafhængig med en lav sommertarif, som afspejler de marginale varmeproduktionsomkostninger og en tilsvarende højere variabel tarif om vinteren, som afspejler den marginale produktionsomkostning. Det vil give varmekunde med eget køleanlæg incitament til at udnytte overskudsvarme, når det er fordelagtigt og særligt at anlægge og drive ATES anlæg optimalt.

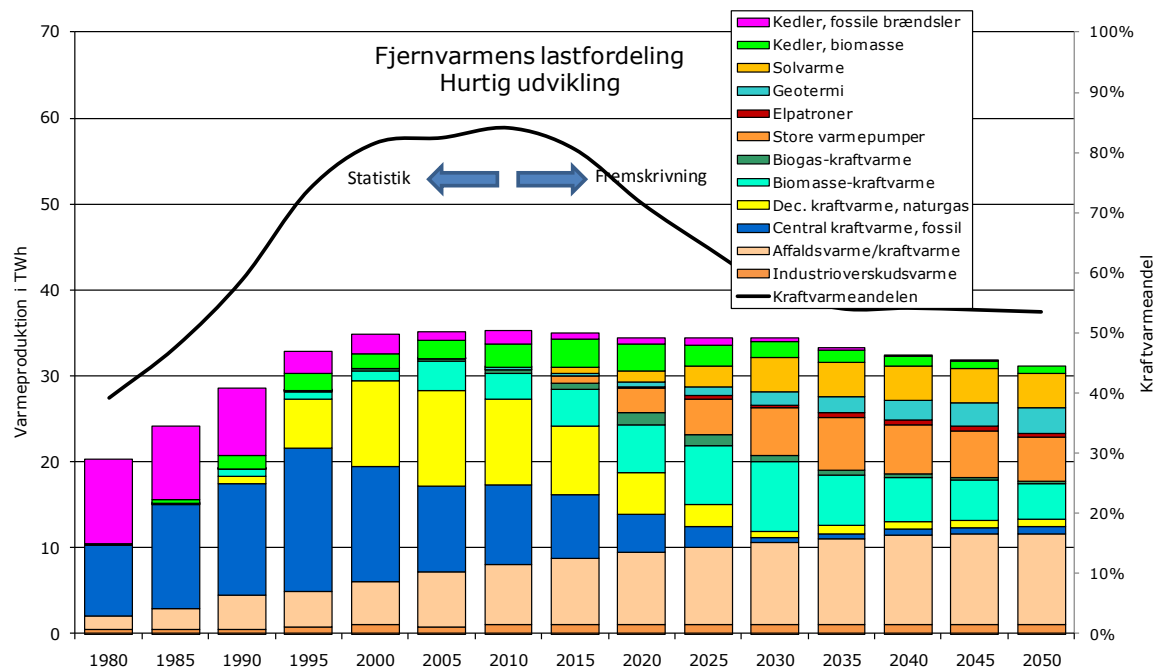
Sæsontariffer har yderligere den fordel, at kunderne ikke forledes til at investere i urentabel varmeproduktion til eget forbrug om sommeren (som eksempelvis individuel solvarme) og, at nogle kunder får mulighed for at øge nyttevirkningen af varmen, eksempelvis at tørholde kælderlokaler, se i øvrigt rapport om konkurrencedygtige fjernvarmetariffer, ref.9.

Den variable fjernvarmetarif bør være symmetrisk således, at kunden kan levere varme til nettet, som, (fraregnet omkostninger ved tilslutning og eventuelle gener ved lavere fremløbstemperatur), svarer til prisen på at modtage varme.

Afkølingstariffer bør erstattes af returtemperaturtariffer, således at varmekunder, som modtager varme ved lavere temperatur som følge af, at der leveres lavtemperaturvarme fra køl opstrøms i nettet ikke bliver diskrimineret.

12. FJERNKØLINGENS BIDRAG TIL EL I FJERNVARMEN

Ifølge Varmeplan Danmark 2010 skal der produceres ca. 7.000 GWh varme fra store varmepumper per 2030. Med en benyttelsestid på 5.000 timer svarer det til en varmeeffekt på 1.400 MW. En stor del af denne effekt vil kunne tilvejebringes i kombination med fjernkøling.



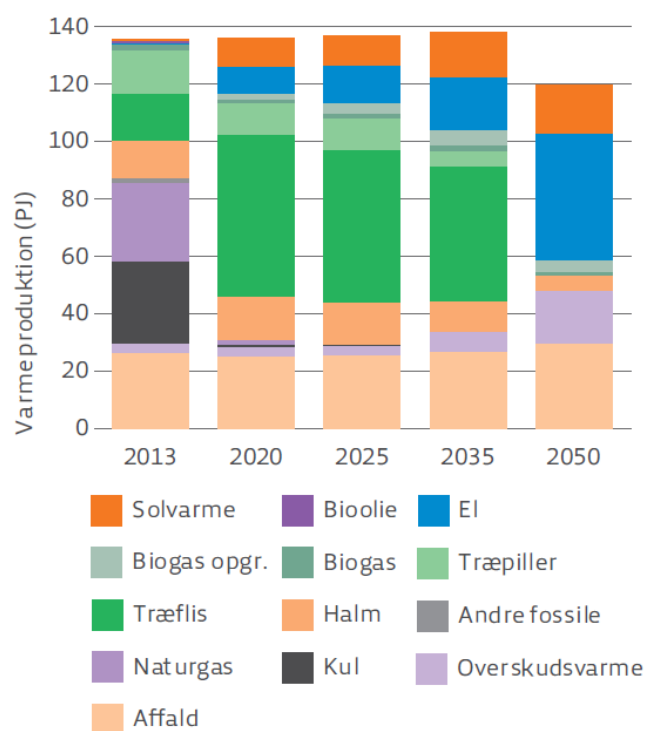
Figur 12-1 Fjernvarmeproduktion Varmeplan Danmark 2010

I Køleplan Danmark er beregnet, at det samlede potentiale for produktion af varme fra fjernkøle-anlæg er **6.000 GWh** eller **6 TWh** svarende til **22 PJ** ved fuld udbygning. Det er desuden vurderet, at disse varmepumper vil kunne øge produktionen betydeligt med op til 4 TWh i overgangsperioder og levere spildkøling. Det vil sige i alt **10 TWh** eller **36 PJ**, hvis kapaciteten udnyttes godt. Derved vil produktionen fra disse varmepumper formentlig kunne komme op over estimatet i Varmeplan Danmark 2010, som det ses på figuren ovenfor.

Det forudsætter dog, som belyst i det foregående, at der skabes de rette rammebetingelser, så fjernvarmesektoren får en chance for at effektivisere til glæde for samfundet og forbrugerne og samtidig bidrage til at realisere energipolitikken.

Energistyrelsens seneste analyse af fjernvarmens rolle i fremtidens energisystem, ref.6, ender med en prognose for fjernvarmens udbredelse og produktionsfordeling i vindscenariet, som omkring 2035 er meget lig prognosen fra Varmeplan Danmark 2010. I 2050 udgør varmeproduktionen fra vindbaseret el ca. 42 PJ.

Denne prognose er bekræftet i IDA's Energivision 2050 fra 2015, ref. 7.



Figur 17. Fjernvarmeproduktion i Danmark i det vind-samfundøkonomiske forløb uden afgifter og tilskud.

Figur 12-2 Energistyrelsens prognose i vindscenariet

13. ANBEFALINGER

Anbefalinger opdeles på hhv. de centrale myndigheder, kommuner, fjernvarmeselskaber og bygningsejere.

13.1 De centrale myndigheder

For at fremme udviklingen af energiområdet, så de energipolitiske mål kan nås til størst gavn for samfundet, bør Folketinget og de centrale myndigheder samarbejde om:

- At give kommunerne opgaven med at planlægge for fjernkøling, som det henstilles i EU direktiverne således, at fjernkøling ligesom fjernvarme bliver en integreret del af kommuneplanlægningen. Det kan eksempelvis ske ved, at der reserveres plads til fjernkøleanlæg i tætte stationsnære områder, da fjernkøling til kontorbyggeri, institutioner og butikcentre naturligt går hånd i hånd med kollektiv transport i byudviklingen
- At sikre, at alle fjernvarmeselskaber, herunder kommunalt ejede selskaber får lige adgang til at udbygge med fjernkøling og fjernvarme og kan få kommunegaranterede lån for projekter, der er godkendt iht. Varmeforsyningsloven og deraf følgende krav til samfundsøkonomi og selskabsøkonomi
- At gøre det muligt at alle byudviklingsselskaber kan sikre 100 % tilslutning til nye fjernkølenet for ny bebyggelse, der etableres efter hvile-i-sig-selv-princippet for at udnytte, at fjernkølenet er et naturligt monopol, som kan sikre kølekunderne de lavest mulige priser
- At indrette prisbestemmelserne, så fjernvarmeselskaber får mulighed for at tilbyde kunder fjernkøling til konkurrencedygtige priser på kommercielle vilkår, (i lighed med muligheden for at sælge el på markedet på kommercielle vilkår) og dermed sikre størst mulig gevinst for varme- og kølekunder som helhed.
- At indrette skattelovgivningen, så den fremmer en samfundsøkonomisk udnyttelse af energien, og undlader at gøre selskaber skattepligtige når de beviseligt hviler i sig selv på lang sigt til glæde for forbrugeren.

13.2 Kommunerne

Kommunerne bør ideelt set og forudsat lovgivningen ikke lægger hindringer i vejen for en mere effektiv adfærd foretage sig følgende:

- Have et opdateret plangrundlag i form af et detaljeret kort og et kort notat baseret på fjernvarmeselskabernes udbygningsplaner, hvor der redegøres for
 - Kommunens og samfundets målsætninger
 - Status for varme- og køleforsyning i kommunens byområder
 - Mulige planer for udbygning med fjernvarme og fjernkøling
- Have en målsætning for, hvordan kommunen gør sin byudvikling mere erhvervsvenlig ved at sikre, at fjernkøling og udnyttelse af overskudsvarme er mulig
- Sikre at fjernvarme og fjernkøling indgår som en del af kommuneplanlægningen og lokalplanlægningen således, at der som hovedregel kan godkendes et projektforslag for fjernvarme med evt. fjernkøl, hvor det er fordelagtigt samtidig med, at lokalplanen vedtages.
- Sikre, at sektorplanlægningen for den samfundsøkonomisk fordelagtige udvikling af varme og køl indgår i alle tiltag i kommunen, der sigter mod at reducere emission af klimagasser

- Sikre, at kommunens eksisterende og ikke mindst fremtidige ejendomme forsynes fra den planlagte infrastruktur for varme og køl
- Sikre, at byggesagsbehandlingen sker under iagttagelse af Varmeforsyningslovens krav samt kommunens planlægning indenfor energiområdet
- At arbejde for, at boligselskabers ejendomme og andre ejendomme med offentlig støtte også forsynes fra den planlagte infrastruktur og indrettes optimalt med centrale varme og klimaanlæg med optimale temperaturniveauer
- At yde garanti for lån til kommunale såvel som forbrugerejede selskaber til udbygning med fjernvarme og fjernkøl.

13.3 Fjernvarmeselskaber

Fjernvarmeselskaberne bør ideelt set og forudsat lovgivningen ikke lægger hindringer i vejen for en mere effektiv adfærd foretage sig følgende:

- Arbejde mere målrettet med energibesparelser hos de store kunder, som også har et kølebehov og derigennem sammen med kunden se på, hvordan de samlede omkostninger til varme og køl kan nedbringes ved at udnytte synergierne. Udgangspunktet er, at fjernvarmeselskabet som et hvile-i-sig-selv selskab, modsat kommercielle selskaber, netop kan se dette som sin målsætning, da selskabet jo reelt ejes af forbrugerne med ansvarlige bestyrelser valgt direkte eller indirekte.
- Vedligeholde udbygningsplaner for både fjernvarme og fjernkøl og sikre, at det digitale grundlag løbende opdateres efter behov og at disse tilgår kommunens varmeplanansvarlige.
- Opgradere fjernvarmetariffen med en tidsafhængig variabel del, så den afspejler sæsonvariationer i den marginale varmeproduktion, eksempelvis på månedsbasis, så snart der er installeret fjernaflæste målere
- Indføre returtemperaturtarif så snart der er installeret målere der kan måle enthalpi, således at afkølingstariffer kan ændres til tariffer, der præmierer lav årlig middel returtemperatur. Derved vil kunder som får en lavere fremløbstemperatur fra lavtemperaturvarmekilder som overskudsvarme fra køl, ikke blive diskrimineret som de i værste fald kan blive med en normal afkølingstarif.
- Indføre en tarif, der er næsten symmetrisk, således at fjernvarmen som repræsentant for alle øvrige kunder og en leverandør af overskudsvarme, herunder især fra ATES anlæg får en fælles fordel
- Indføre et princip for forsyning, så fjernvarmen kan leveres frem til hver lejlighed eller til hvert lejemål parallelt med fjernkøl for de kunder, der også har et kølebehov. I begge tilfælde etablerer bygningsejeren rør-infrastrukturen i bygningen, som en "nagelfast installation" og efter fjernvarmeselskabets anvisninger, således at fjernvarmeselskabet kan opsætte målere for varme og køl ved hver slutforbruger. Fjernvarmeselskabet bekoster således nettab i røret, men skal naturligvis kunne inspicere at alle rør er isolerede og kan evt. overvåge tabet med en procesmåler ved indføringen af røret til bygningen.
- Udarbejde og gennemføre projektforslag for fjernkøling så vidt muligt med ATES anlæg og sæsonvarmelagring.

13.4 Bygningsejere og byudviklingsselskaber

Bygningsejerne og byudviklingsselskaberne bør, inden der planlægges noget indenfor energiområdet, drøfte mulighederne med kommunens varmeplanlægger og det lokale fjernvarme/fjernkøleselskab i et åbent samarbejde.

BILAG 1 REFERENCER

1	EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2010/31/EU af 19. maj 2010 om bygnin- gers energimæssige ydeevne, Bygningsdirektivet
2	EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2009/28/EF af 23. april 2009 om fremme af anvendelsen af energi fra vedvarende energikilder EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS
3	DIREKTIV 2012/27/EU af 25. oktober 2012 om energieffektivitet, Energieffektiviseringsdi- rektivet
4	LBK nr. 1307 af 24/11/2014 af Lov om Varmeforsyning
5	LBK nr. 1190 af 10/11/2014 af lov om Fjernkøling
6	Fjernvarmens rolle i fremtidens energiforsyning, Energistyrelsen, marts 2014
7	IDA's Energy Vision 2050, A Smart Energy System strategy for 100 % renewable Denmark, IDA og AUC 2015
8	Varmeplan Danmark 2010, Dansk Fjernvarmes F&U konto, 2010, Rambøll og AUC
9	Konkurrencedygtige fjernvarmetariffer, Dansk Fjernvarmes F&U konto, januar 2014, Ram- bøll, VEKS, Vestforbrænding, Lystrup Fjernvarme og Rødovre Kommunale Fjernvarme
10	Varmeplan Danmark, Dansk Fjernvarmes F&U konto 2008, Rambøll og AUC
11	IDA's klimaplan 2050, Tekniske energisystemanalyser og samfundsøkonomiske konse- kvensvurdering – Baggrundsrapport, IDA 2009
12	Smart Grid-Strategi – fremtidens intelligente energisystem, Klima-, Energi- og Bygningsmi- nisteriet, april 2013.

