FJERNKØLINGENS POTENTIALE

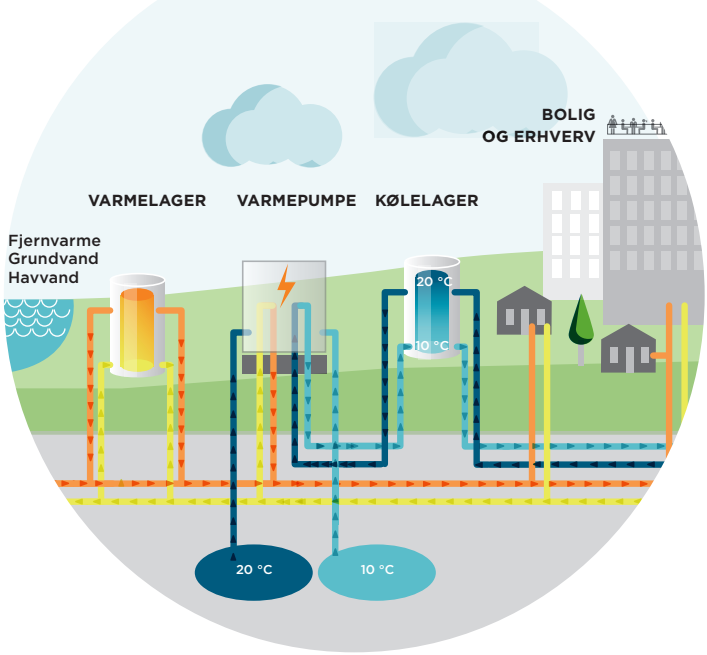
SEPTEMBER 2017

RAMBØLL

FJERNKØLINGENS POTENTIALE
Rapporten er udarbejdet på opdrag af DI Energi, Grøn Energi og Fjernvarmeindustrien

Revision:	1
Dato:	September 2017
Udarbejdet af:	AD
Kontrolleret af:	LEHL, PMO
Godkendt af:	TIKK
Beskrivelse:	Denne rapport belyser potientialet for fjernkøling med udgangspunkt i Køleplan Danmark samt danske og udenlandske erfaringer med fjernkøling.
Formål:	Rapporten er udarbejdet med henblik på at formidle resultatet af Køleplan Danmark til en bred kreds af beslutningstagere i Danmark samt belyse fjernkølingens eksport-potentiale.

FORORD



HVAD ER FJERNKØLING?

FJERNKØLING ER ligesom fjernvarme et ledningsnet, der cirkulerer vand fra centrale anlæg til kunder i et byområde. Modsat fjernvarmesystemet, sender fjernkølesystemet koldt vand ud til kunderne. Kølingen kan eksempelvis produceres med kompressorer (som et køleskab), med en varmepumpe, som hæver temperaturen til brug i fjernvarmen, med havvand eller med en absorptionsvarmepumpe, som udnytter en varmekilde ved høj temperatur.

I det danske klima efterspørger kølekunderne især kølekapacitet, til at sikre et godt indeklima om sommeren, men der er også behov for køling af processer i industrien. Varmepumper, der leverer komfortkøling om sommeren kan resten af året hente varme fra andre steder eksempelvis spildevandsanlæg, grundvand eller datacentre.

Danmark er gennem de seneste 40 år blevet kendt som et af verdens førende lande, når det kommer til fjernvarme. Fjernvarmen har stor udbredelse, og vi er førende med løsninger og komponenter, som kan bruges til både fjernvarme og fjernkøling. Til gengæld har Sverige siden 1990 udviklet sig til Europas førende land, når det kommer til fjernkøling, mens fjernkølingen først lige er kommet i gang i Danmark. Det skyldes dels, at vi først nu har de rette betingelser i energisystemet, dels at krav til indeklima, dagslys og isolering har skabt et kølebehov.

Verdensmarkedet for køling er ifølge FN's klimapanel IPCC stærkt stigende, og IPCC forventer, at markedet for køling vil overstige markedet for opvarmning. Klimaaftalen i Paris har bidraget til at accelerere den grønne omstilling, og markedet for grønne teknologier er i kraftig vækst. Fra dansk synspunkt er det derfor særlig interessant at udnytte synergien mellem fjernvarme og fjernkøling, for at fremme den grønne omstilling i Danmark og for at skabe et afsæt af danske løsninger til et hastigt stigende eksportmarked.

RAPPORTEN ER DISPONERET SOM FØLGER:

Kapitel 1 Resume - Hvorfor fjernkøling, argumenterer for, hvorfor vi skal have mere fjernkøling

Kapitel 2 Fordele ved fjernkøling, belyser fordelene med udgangspunkt i Køleplan Danmark

Kapitel 3 Behovet for fjernkøling er stort, redegør for potentialet i Danmark og de tekniske løsninger

Kapitel 4 Fjernkølepotentialet i resten af verden, ser på udvalgte cases

Kapitel 5 Markedsmodeller for danske fjernkøleløsninger, belyser organisatoriske koncepter

Rapporten afsluttes med anbefalinger til de vigtigste aktører, der kan fremme fjernkølingens udbredelse.

DI Energi, Grøn Energi og Fjernvarmeindustrien har bedt RAMBØLL om at udarbejde denne rapport om potentialet for Fjernkøling i Danmark og resten af verden med udgangspunkt i Køleplan Danmark. Rapportens analyser og anbefalinger er imidlertid RAMBØLL's egne.

Grundfos og Bjerringbro Fjernvarme har etableret fjernkøling med grundvandskøling (ATES).

INDHOLD

Kapitel 1: RESUMÉ - HVORFOR FJERNKØLING? 6

Kapitel 2: FORDELEN VED FJERNKØLING Køleplan Danmark 8
2.1 DEN ØKONOMISKE FORDEL 8
2.2 INVESTERINGS FORDELEN 8
2.3 FLEKSIBILITET SKABER FORDEL FOR ELSYSTEMET 9
2.4 DE LOKALE FORDELE 9
2.5 GOD PLANLÆGNING ER VEJEN TIL LAVERE PRISER 10
2.6 FORDEL FOR EKSPORTEN 11

Kapitel 3: BEHOVET FOR FJERNKØLING ER STORT. 12
3.1 DATACENTRE. 13
3.2 DE INDIVIDUELLE KØLEANLÆG 13
3.3 FJERNKØLING 14
3.3.1 Fjernkøleklynger 14
3.3.2 Installér køleakkumulator 15
3.3.3 Storskalafordel. 15
3.3.4 Udnyt overskudsvarmen fra køling. 15
3.3.5 ATES: Grundvandskøling med sæsonlagring. 17
3.3.6 Passer ind i byplanlægningen. 19

Kapitel 4: FJERNKØLEPOTENTIALET I RESTEN AF VERDEN. 20
4.1 FJERNKØLING I EU'S ENERGIPOLITIK.. 22
4.2 FJERNKØLING I EU. 23
CASES 25
SVERIGE 26
HOLLAND, SPANIEN, NORDAMERIKA. 27
MELLEMØSTEN 29
ASIEN, KINA 29

Kapitel 5: MARKEDSMODELLER FOR DANSKE FJERNKØLELØSNINGER 30
5.1 UDBUD AF UDSTYR. 30
5.2 UDBUD AF TOTALENTREPRISER. 30
5.3 UDBUD AF FORSYNING EFTER ESCO KONCEPTET. 31
5.4 UDBUD AF RET TIL FORSYNING. 31

ANBEFALINGER 32

1
RESUMÉ

FOR BYGNINGSEJEREN
- Mere fleksibel kølekapacitet
- Sparer plads til tekniske anlæg
- Undgår besvær med drift af tekniske anlæg
- Økonomisk fordelagtig
- Grønnere profil

HVORFOR FJERNKØLING?

Kølebehovet i verden er stærkt stigende. Det skyldes befolkningstilvæksten, urbaniseringen og stigende velstand. Verdens befolkning strømmer til storbyerne i de varme klimazoner i takt med industrialiseringen. Det øger efterspørgslen for aircondition, som også forstærkes af den globale opvarmning. FN's klimapanel, IPCC, har således i en nylig rapport anslået, at alene kølebehovet til beboelse i verden vil stige fra 300 TWh i år 2000, til 4.000 TWh allerede i år 2050. Heraf vil 25 % kunne tilskrives den globale opvarmning.

ALLEREDE I DAG er kølebehovet betydeligt i de industrialiserede lande, hvor aircondition øger presset på elsystemet. I Indien har stigende industrialisering og velstand øget behovet så markant, at det ofte er årsag til elafbrydelser i de varmeste timer.

Der er et betydeligt kølebehov i Danmark og de øvrige industrialiserede lande, og det er stigende. Det har flere årsager, bl.a. krav om et godt indeklima, skærpede isoleringskrav og elektronisk udstyr.

Det stigende kølebehov øger potentialet for fjernkøling, men kun i samfund, hvor man udnytter storskalafordelene i byerne. I Køleplan Danmark 2016 er det anslået, at vi har et kølebehov på 10 TWh til primært erhvervsbygninger. Rapporten viser, at det vil være fordelagtigt, hvis knap halvdelen af kølebehovet dækkes med fjernkøling, for at udnytte storskalafordele i samspil med resten af energisystemet. Da vi har tradition for at planlægge fjernvarme, og da der er synergier mellem fjernvarme og fjernkøling, vurderes i Køleplan Danmark, at potentialet vil kunne realiseres inden 2050.

Energikomissionen har anbefalet, at vindenergi skal være Danmarks primære vedvarende energiressource og, at vi derfor skal fremme fleksibelt elforbrug. En stigende del af opvarmningen skal ifølge Kommissionen ske med store fleksible varmepumper i fjernvarmen, der kan bruge meget el, når prisen er lav, og slet ikke bruge el, når prisen er høj. En af fordelene ved fjernkøling er netop, at den samme varmepumpe kan udnyttes til både fjernvarme og fjernkøling, og at fjernkølingen øger det fleksible elforbrug.

FOR ENERGISELSKABET

- Pakkeløsning for fjernvarme og fjernkøling giver tilfredse kunder
- Gensidig markedsføring af fjernvarme og fjernkøling
- Baner vejen for store varmepumper og overskudsvarme
- Udnytter eksisterende ressourcer
- Sænker varmeprisen

FOR SAMFUNDET

- Baner vejen for store varmepumper i fjernvarmen
- Fremmer integration af fluktuerende vedvarende energi
- Er samfundsøkonomisk fordelagtig
- Fremmer lokal arbejdskraft fremfor import
- Fremmer energieksport af samlet koncept for fjernvarme, fjernkøling og vindmøller

FOR BYEN

- Mere erhvervsvenlig
- Lavere energiudgifter til varme og køling
- Fremmer fjernvarme
- Grønnere profil
- Bedre bymiljø

Køleplan Danmark viser, at samfundet opnår en nutidsværdigevinst på 10 mia. kr., hvis potentialet realiseres. For at realisere potentialet skal der investeres 17 mia. kr. i fjernkølerør, store varmepumper, køleakkumuleringstanke og grundvandskøling. Til gengæld spares investeringer på 23 mia. kr i individuelle kølekompressorer, så samfundet sparer i alt 6 mia. kr. Samtidig gøres elforbruget til køling mere fleksibelt, og de store varmepumper vil kunne producere fjernvarmen effektivt i samproduktion med kølingen. Derved sparer samfundet yderligere 4 mia. kr. til i alt 10 mia. kr. i nutidsværdi. Varmepumperne vil tilmed stå til rådighed, så de kan producere mere varme ved at udnytte overskudsvarme, når elpriserne er lave.

Sverige er i løbet af 20 år blevet det førende land i Europa indenfor fjernkøling. Det er det land i Euopa, hvor fjernkølingen har den største markedsandel. Det skyldes, at Sverige har tradition for fjernvarme, og at der var et marked for store varmepumper i Sverige allerede for 25 år siden. I dag har vi samme situation i Danmark, og udbygningen med fjernkøling er begyndt.

Danmark har her muligheden for at drage fordele af det store eksportpotentiale i fjernkøling i Europa og på verdensplan. Det forudsætter, at vi får et godt hjemmemarked, hvor vi kan fremvise koncepter for planlægning og design af fjernkøling, og hvor industrien kan udvikle og optimere dens produkter. På grund af fjernkølingens stærke samspil med fjernvarme og vindenergi, vil de tre teknologier gensidigt kunne understøtte hinanden i markedsføringen. Uanset hvor i verden man gerne vil udnytte den fluktuerende vindenergi, er det nødvendigt at indrette samfundet med et fleksibel elforbrug. Det kan vi med fjernkøling og fjernvarme med tilhørende store lagre.

EU har i direktiverne og i strategien for varme og køling erkendt, at der bør planlægges for fjernvarme og fjernkøling i byerne. På verdensplan er der stigende fokus på at udvikle smarte byer med smart infrastruktur for miljø og energi, der kan imødegå klimapåvirkninger og udnytte vedvarende energi uden at overblaste elsystemet.

Fjernkøleeksportmarkedet afhænger imidlertid af, om byerne tager fjernkøling til sig som en ny infrastruktur på niveau med vand og spildevand. Et skøn med afsæt i IPCC's prognoser tyder på, at der skal investeres 100 mia. kr. om året i gennemsnit frem mod 2050.

2

FORDELEN VED FJERNKØLING - KØLEPLAN DANMARK

Potentialet for fjernkøling er indiskutabelt til stede, og der er mange fordele ved at videreudvikle denne infrastruktur i Danmark. Den økonomiske fordel for både energiforbrugeren og samfundet er væsentlig. Primærenergien udnyttes mere effektivt, når fjernkølingen integreres i energisystemet. Det vil særligt understøtte brugen af de fluktuerende vedvarende energikilder i elsystemet.

GEVINST PÅ **10 MIA. KR.** FOR SAMFUNDET

Fjernkøling er en energiinfrastruktur, der udnytter storskalafordele i byerne. I Danmark køler vi ikke private boliger. Kølebehovet er i kontorer, industrien, service-sektoren, offentlige institutioner og lignende steder. Behovet bliver i dag typisk imødekommet ved individuelle løsninger.

2.1 DEN ØKONOMISKE FORDEL

Dansk Fjernvarme har i Køleplan Danmark vurderet, at den samfundsøkonomiske gevinst ved at udnytte potentialet for fjernkøling er 10 mia. kr. som følge af sparede investeringer og lavere omkostninger ved fleksibelt elforbrug. Måske endnu mere interessant er, at det samtidig giver en gevinst på 13 mia. kr. for forbrugerne. Denne ekstra besparelse skyldes primært spareret elafgift. Under hensyntagen til en realistisk udbygningstakt af denne helt nye forsyningsinfrastruktur og kundernes udskiftning af køleanlæg anslås, at omstillingen vil strække sig over 35 år.

Det er her forudsat, at fjernkølingen planlægges omhyggeligt i samarbejde med kunderne og i samspil med varmeplanlægningen således, at der kun etableres fjernkøling, hvor det er samfundsøkonomisk fordelagtigt.

Fordelen er fremkommet som et resultat af alle storskalafordelene og synergierne mellem fjernkøling, fjernvarme og resten af energisystemet. Det er især det lavere investeringsbehov og det fleksible elforbrug, som har bidraget til gevinsten ved fjernkøling.

2.2 INVESTERINGSFORDELEN

Investeringerne i en reference uden fjernkøling vil for alle de potentielle fjernkølekunder beløbe sig til 23 mia. kr. i individuelle kølemaskiner.

Hvis kølekunderne i stedet slår sig sammen i køleklynger, ved egen organisering eller via et fjernkøleselskab, kan de tilsammen nøjes med at investere 17 mia. kr. som følge af storskalafordele. For samfundet er det særlig interessant, at denne investering er fordelt på anlægsarbejder, som fortrinsvis kan gennemføres med lokal

LAVERE ANLÆGSUDGIFTER VED FJERNKØLING

Der kan spares investeringer på op mod 6 mia. kr., når potentialet ved fjernkøling udnyttes.

arbejdskraft. Sparede investeringer på 6 mia. kr. i nutidsværdi udgør således en betydelig del af den samlede gevinst ved fjernkøling.

Kun 30 % af investeringerne i fjernkøling går til kølekompressorer og varmepumper. Det er tilmed større installationer, som har en større idenlandsk andel end de mange små individuelle kølekompressorer.

2.3 FLEKSIBILITET SKABER FORDEL FOR ELSYSTEMET

Det fleksible elforbrug får større betydning i fremtiden, når andelen af vindenergi stiger. Dels fordi der er behov for at bruge mere el til opvarmning. Dels fordi det elforbrug, der skal bruges til opvarmning og køling, helst skal være så fleksibelt som muligt. Det vil sige, at det skal kunne reagere på elprisens svingninger og afbrydes med kort varsel, så længe der er behov for det af hensyn til elsystemet. Med andre ord, man skal helst bruge el, når vinden blæser i Nordeuropa og undlade at bruge el, når det er vindstille. Fordelene ved fleksibelt elforbrug og udnyttelse af overskudsvarme bidrager således med de resterende besparelser for samfundet og forbrugerne.

2.4 SAMPRODUKTION AF VARME OG KØL SPARER ENERGI

Ved at realisere potentialet i Køleplan Danmark og producere fjernvarme og fjernkøling sammen, vil man med 2.000 GWh fleksibelt elforbrug kunne producere 4.000 GWh fjernkøling og 6.000 GWh fjernvarme. Man udnytter både den varme og kolde side af varmepumpen. Hvis det samme behov skulle dækkes med invididuelle kølekompressorer og varmepumper, ville man skulle bruge 2.700 GWh el, som tilmed ville være mindre fleksibelt.

Disse varmepumper vil, ud over denne meget effektive varmeproduktion i samspil med fjernkølingen, elmarkedet og varmemarkedet, kunne producere 2500 GWh ekstra varme, hvor kølingen ikke udnyttes. Varmepumperne kan således hente varme fra omgivelserne, eksempelvis datacentrenes frikølere, drænvand, drikkevand eller behandlet spildevand.

VED AT UDNYTTE overskudsvarme fra fjernkøling bliver 1.200 GWh smart regulerbart elforbrug til 6.000 GWh fjernvarme.

Fjernkøling er således en vigtig komponent i opbygningen af det smarte energisystem. Den er både en selvstændig energiinfrastruktur med lagre, og den er løftestang for store fleksible varmepumper i fjernvarmen. Danske erfaringer viser desuden, at storskala solvarme kan bane vejen for store varmelagre, som også kan lagre varme fra varmepumperne.

2.5 GOD PLANLÆGNING ER VEJEN TIL LAVERE PRISER

For ny bebyggelse vil det i højere grad være muligt at etablere et effektivt fjernkølesystem, hvis det indgår i byplanlægningen i samspil med varmeplanlægningen og i et åbent samarbejde med de kommende bygningsejere og byudviklingsselskaber.

Fjernkøling vil gøre byen mere attraktiv for nye erhvervsvirksomheder og således bidrage til at gøre byen erhvervsvenlig. Høje-Taastrup Kommune, som er udnævnt til Danmarks mest erhvervsvenlige kommune, fremhæver således, at fjernkøling er et af mange tilbud, som gør byen mere interessant for erhvervsvirksomheder.

Fjernkøling er også med til at gøre byen mere miljøvenlig. Ud over at fjernkølingen bidrager til et lavere klimaaftryk for varme og køling, slipper man for tørkølere på byens tage.

I Carlsberg Byen er fjernkøling til alle bygninger med kølebehov også blevet et godt salgsargument fordi det:
- *sparer plads*
- *frigør dyre arealer*
- *er støjfrit*
- *er driftsstabilt.*

Gram Fjernvarme har etableret storskala solvarme og damvarmelager.

Bygningsejeren vil normalt få en pæn gevinst ved fjernkøling, alt afhængig af de lokale forhold og fjernkøleselskabets langsigtede målsætning. Når kunden har sit eget køleanlæg, er det kunden selv, som skal investere i et nyt anlæg. Ofte overinvesteres, på grund af usikkerhed om kapaciteten. Kunden er også ene om at skulle reinvestere. Fjernkølingens kapacitet til kunden er mere fleksibel og vil teknisk set kunne justeres, da andre kunde vil kunne overtage overskydende kapacitet. Tilsvarende vil man med fjernkølingen kunne reinvestere mere optimalt i forhold til alle kunders behov.

Når bygningen får en samlet forsyning med fjernvarme og fjernkøling spares plads og ressourcer til egne tekniske anlæg, typisk i kælderen og på taget. Det har overraskende stor værdi i tæt bebyggelse og særligt i nybyggeri, hvor hver kvadratmeter koster.

Bygningsejeren slipper desuden for bekymringer og problemer med drift og vedligeholdelse af køleanlæg.

I tæt bebyggelse kan det være en fordel at slippe for støjende tørkølere på taget.

For mange kunder vil det have stor betydning, at fjernkøling har et bedre miljøprofil end individuel køling.

2.6 FORDEL FOR EKSPORTEN

Det er vigtigt for eksporten, at danske virksomheder har et hjemmemarked. Dels for at udvikle fremtidens produkter, dels for at vise nye helhedsløsninger frem.

Det er derfor ekstra interessant, at fjernkøling går hånd i hånd med fjernvarme og vil bidrage til at markedsføre både fjernvarme og fjernkøling i udlandet.

Ydemere vil fjernvarme og fjernkøling tilsammen bane vejen for mere vindenergi, da de to forsyningsformer med store termiske lagre bidrager til at nyttiggøre vindenergien i samspil med elforsyningen. Det gælder både i klimazoner, hvor der er brug for både varme og køl, og i klimazoner, som kun har kølebehov.

På det globale marked findes der mange forskellige energisytemer, som resulterer i meget

Carlsberg Byen har fjernkøling.

forskellige optimale løsninger. Det er derfor vigtigt, at det danske hjemmemarked kan fremvise flere relevante systemudformninger og komponenter.

Ved at kombinere fjernvarme, fjernkøling og proceskøling med lagre og varmeudnyttelse fås et væld af systemløsninger, som hver især passer til de forskellige markeder.

Hjemmemarkedet vil stimulere danske virksomheder til at etablere større, mere fleksible og effektive varmepumper til eksportmarkedet.

Copenhagen Markets har fjernkøling til alle 73 stader.

3

BEHOVET FOR FJERNKØLING ER STORT

Der er et betydeligt kølebehov i Danmark. Det årlige køleenergibehov er anslået til 9.500 GWh i Køleplan Danmark. Til sammenligning er det samlede varmebehov i Danmark ca. 50.000 GWh varme. Køleenergibehovet svarer således til 20 % af varmeenergibehovet i Danmark. Kølebehovet er naturligt størst i sommerperioden. For at dække den forholdsvis varme og korte periodes behov er det nødvendigt at have en stor kapacitet på hele 6.800 MW. Af denne kapacitet kan 2.400 MW med fordel installeres som fjernkøling, hvorved der kan produceres 4.200 GWh fjernkøleenergi.

SELV I DET MILDE danske klima er behovet for komfortkøling og proceskøling stort og stigende. Der er skærpede krav til termisk komfort, dagslys, tæthed og isolering i bygninger. I kontorbygningerne er der et stigende elforbrug til elektronisk udstyr, som afgiver varme. Ligeledes er der et stigende behov i forhold til f.eks. at opbevare fødevarer og grønt.

3.1 DATACENTRE

Datacentre er i kraftig vækst for at klare efterspørgslen på datakommunikation og servere. De har et stort elforbrug, som omsættes til varme, der skal bortkøles. Flere store datacentre specialiserer sig i at drive servere for andre virksomheder, hvorved disse virksomheders kølebehov falder. Firmaer med meget store behov for data etablerer egne centre, eksempelvis de planlagte datacentre for Apple ved Viborg og Facebook ved Odense. Datacentra har ekstremt store krav til forsyningssikkerhed, og kan ikke forlade sig på kun at modtage fjernkøling.

Desuden er den nødvendige køletemperatur af servere stigende. Hvor et ældre komfortkøleanlæg og serveranlæg kan køles ved at opvarme vand fra 6 til 20 °C., kan de nyeste serverhaller køles ved at opvarme vand fra ca. 16 til 30 °C. Det betyder, at anlæggene kan køles med udeluften størstedelen af året. Derfor kan dette kølebehov ikke umiddelbart sammenlignes med ovennævnte behov for komfortkøling og proceskøling ved lavere temperaturer. Til gengæld er det en god overskudsvarmekilde.

3.2 DE INDIVIDUELLE KØLEANLÆG

I Danmark har der indtil år 2000 været tradition for, at bygningsejerne selv skulle dække bygningernes kølebehov med eldrevne kompressorkølere, hvor varmen bortkøles med udeluften. Det er typisk sket med knopskydninger og med mindre kølemaskiner rundt omkring i bygningerne. Det har forstærket miljøproblemerne og øget omkostninger til vedligeholdelse. Investeringer i kølekapacitet til at dække komfortbehovet de varmeste dage udgør en betydelig del af omkostningerne ved individuel køling. Dertil kommer, at komfortkølingen skal produceres i dagtimerne, hvor efterspørgslen på el er størst.

Det er muligt at investere i kølelagre og islagre hos store køleforbrugere, men det er relativt dyrt og ineffektivt og har endnu ikke været fordelagtigt i Danmark.

Det er også muligt at producere køling ved brug af en varmekilde i en absorptionskølemaskine. Den slags køling er en udbredt løsning til at øge effektiviteten på varmeproduktionsanlæg, idet den producerede varme ved høj temperatur driver varmepumpen, som køler røggassen, så virkningsgraden øges markant samtidig med, at al kølevarmen udnyttes til opvarmning.

DER ER ET POTENTIALE FOR **2.400 MW** FJERNKØLING I DANMARK

Løsningen anvendes også enkelte steder til at producere komfortkøling med fjernvarme baseret på overskudsvarme, som ved en høj temperatur driver varmepumpen, samtidig med, at varmen udnyttes til opvarmning. Absorptionskøling er meget udbredt i lande med stort kølebehov og dyr elproduktion, men vil næppe have en fremtid i Danmark, hvor det er muligt at udnytte vindenergien, og hvor fjernvarmetemperaturen er faldende.

STORE BYGNINGSEJERE, som eksempelvis DTU, Københavns Lufthavne, Pelsauktionerne i Glostrup og Grundfos i Bjerringbro har set fordelen i at etablere et fjernkølenet til egne bygninger. Det har vist sig at være et godt udgangspunkt for at arbejde videre med grundvandskøling og samproduktion med fjernvarme.

Der har været tradition for at distribuere køl og varme i bygningerne i store centrale ventilationsanlæg med central opvarmning og køling. I de seneste år er der udviklet hybridløsninger med flere decentrale ventilationsanlæg med vekslerflader og "termodæk" med indstøbte slanger, som forsynes fra to centrale vandbårne ledningsnet med hhv. varmt og koldt vand. Det er løsninger, som er fleksible og energieffektive, og de kan forsynes fra en central kilde med hhv. koldt og varmt vand. Det kan være fjernvarme og fjernkøling, eller det kan være centrale køleanlæg i bygningen, som er kombineret med grundvandskøling eller havvandskøling.

3.3 FJERNKØLING

Med fjernkølingen går man skridtet videre og udnytter fordelene på tværs af matrikelgrænser og private skel. Når flere bygninger med forskellige ejere ligger tilstrækkelig tæt på hinanden i forhold til deres kølebehov, er det fordelagtigt at koble dem sammen med et fjernkølenet. Derved kan man opnå en række yderligere storskalafordele, som mere end opvejer omkostningerne til fjernkølenettet.

I WIDEX KONTORHUS i Allerød er der eksempelvis 350 individuelle ventilationsanlæg, som er forbundet med interne varme- og køleledninger og forsynet fra et ATES anlæg. Overskudsvarmen fra kølingen lagres således i grundvandet og udnyttes til at opvarme bygningen om vinteren.

3.3.1 Fjernkøleklynger

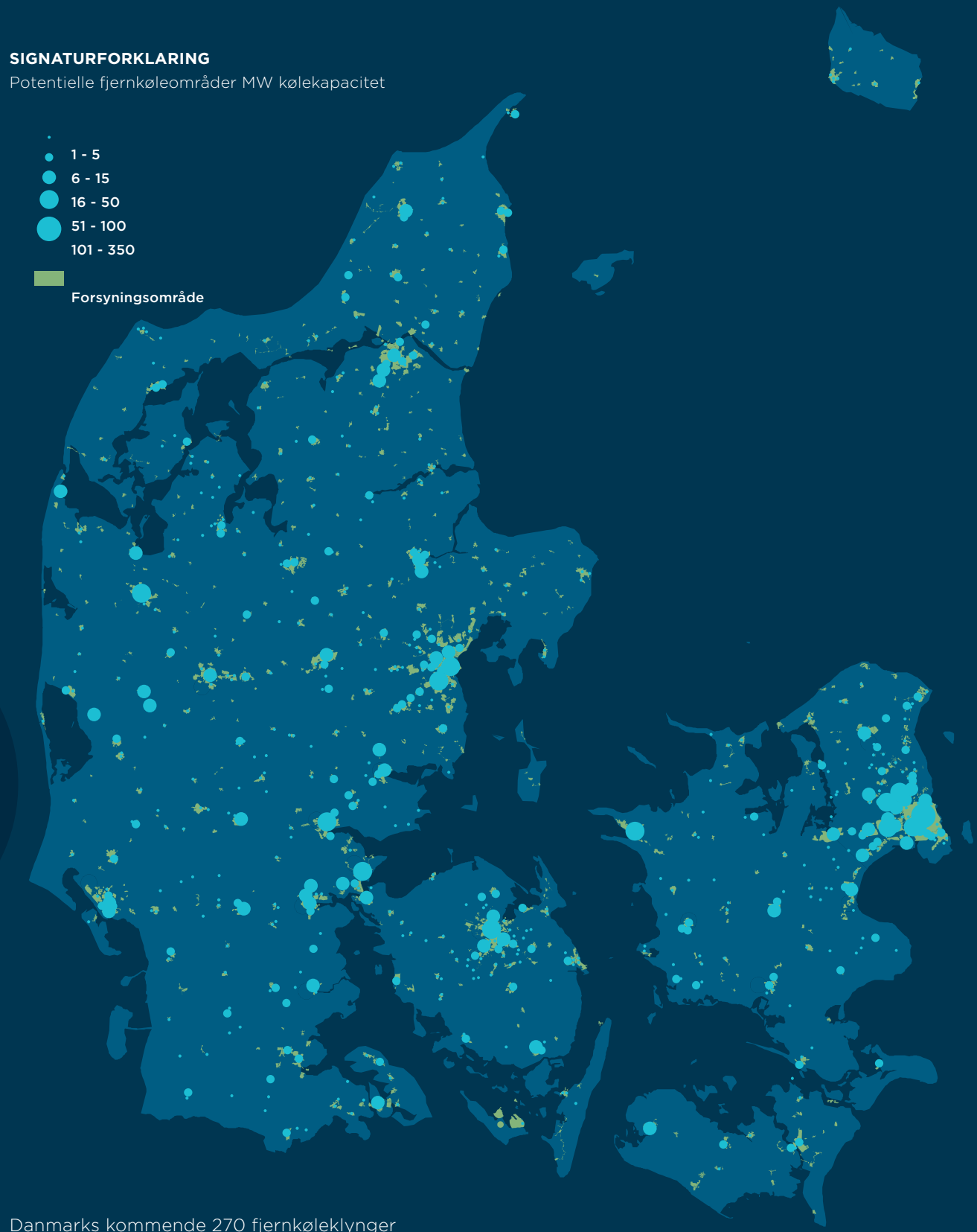
Bygninger har ikke deres maksimale kølebehov på samme tid, fordi forbrugsmønsteret er forskelligt, ligesom orienteringen i forhold til solen har betydning. Når der skal reinvesteres i ny kølekapacitet, kan behovet bestemmes ud fra statistikker, men for ny bebyggelse er der altid stor usikkerhed. Ofte overinvesteres i kapacitet for at være på den sikre side, og hver bygning skal have reservekapacitet.

Ved at koble bygningerne sammen med et fjernkølenet, vil det samlede kapacitetsbehov til nettet således være væsentligt mindre end summen af de kapaciteter, kunderne alternativt ville installere til at klare det maksimale behov den varmeste dag. Dernæst kan man reducere den samlede reservekapacitet. Desuden kan bygningernes kølebehov ændres over tid.

Når fjernkølemarkedet udbygges, vil det være muligt at basere nye investeringer i kapacitet på målinger og nye prognoser. Kapacitet, som er etableret til en kunde, som har bestilt for meget, kan i princippet sælges til en ny kunde, så kunden kan få nedsat sin kapacitetsbetaling.

Fjernkøleledninger på væggen i DTU's tunnelsystem

FJERNKØLEKLYNGER I DANMARK I DE FLESTE BYER



Danmarks kommende 270 fjernkøleklynger

Varmelagertanke på Avedøreværket.

LAGERTANKE TIL KØLING

- Virker som en varmeakkumulator, blot med koldt vand i stedet for varmt
- Udjævner behovet den varmeste dag, så der spares dyr produktionskapacitet
- Lagrer køling, der produceres, når elpriserne er lavest
- Gør det muligt at afbryde elforbruget til køling, når elprisen er høj

3.3.2 Køleakkumulering

Komfortkølebehovet varierer betydeligt over døgnet. Det topper først på eftermiddagen, og det er meget mindre om natten. Derfor kan kapacitetsbehovet reduceres yderligere, hvis køleproduktionen kan udjævnes over de varmeste døgn.

Principielt kunne noget af behovet udjævnes, hvis bygningen kunne lagre køling fra nat til dag i konstruktioner eller i en lagertank i bygningen. Det forringer imidlertid komforten, og det er relativt dyrt. Med fjernkølingen udnyttes, dels at der er en storskalafordel ved at etablere én stor køleakkumuleringstank frem for mange små, dels at man kan placere tanken hensigtsmæssigt i forhold til byplanlægningen.

Akkumuleringstanken kan typisk reducere det maksimale kapacitetsbehov med 30 %. Introduktion af akkumuleringstanken vil også betyde, at kølingen kan produceres, når det er mest fordelagtigt, eksempelvis om natten, når elpriserne er lavest, og udeluften er koldest. Det forbedrer effektiviteten af kølekompressorer, og det sænker udgifter til el. Fjernkøling gør det muligt at etablere en hensigtsmæssig og økonomisk fordelagtig køleakkumuleringstank, som reducerer kapacitetsbehovet og reducerer omkostningerne til el.

3.3.3 Storskalafordel

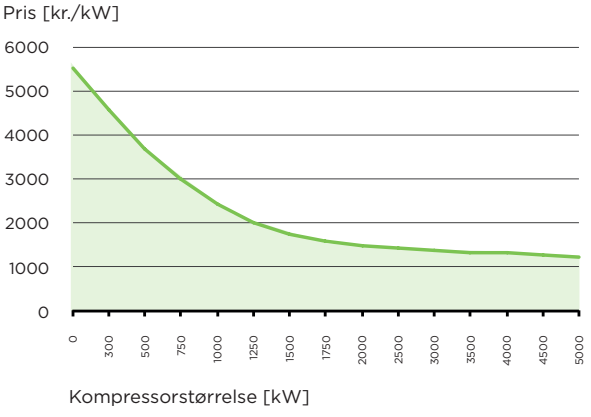
Ligesom en campusejer med mange bygninger kan se fordelen ved at etablere et fælles kølesystem, kan man i fjernkøleklyngen se besparelser ved at udnytte storskalafordelen ved en fælles kølecentral. Der er flere fordele:

- Prisen pr. MW for store kølemaskiner på 1-2 MW eller mere er væsentlig mindre end for små kølemaskiner på 0,1- 0,5 MW. Desuden kan større kølecentraler på eksempelvis 5-10 MW udbygges i flere trin med forskellige muligheder.
- Prisen på drift og vedligehold for én stor central er mindre end for flere små centraler med samme kapacitet.
- Én stor fjernkølecentral kan drives og optimeres mere effektivt end mange små individuelle anlæg.

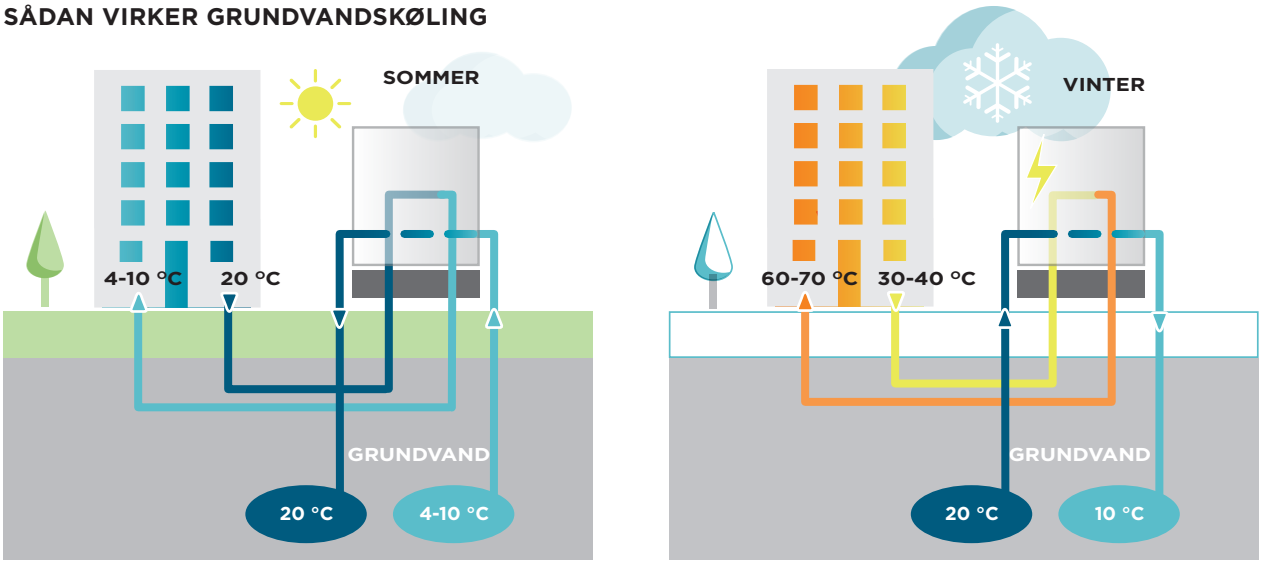
3.3.4 Overskudsvarme fra køling

Der er overskudsvarme, når man producerer køling. Enten smider man den ud, eller også anvender man den til produktion af varme, når det er økonomisk fordelagtigt. Fjernkølecentralen kan bedre indrettes og drives i samspil med fjernvarmen end mange små centraler således, at overskudsvarmen fra fjernkøling udnyttes med en varmepumpe og lagres, indtil der er behov for den.
Når man i stedet for en kølekompressor etablerer en varmepumpe, der leverer køling og varme

Storslakafordele



SÅDAN VIRKER GRUNDVANDSKØLING



i samproduktion, udnyttes investeringen dobbelt. Der er to til at betale for varmepumpen, nemlig kølekunden og varmekunden. Set i forhold til, at fjernkølesystemet skulle etablere en stor kølekompressor med tørkølere for at levere køling, koster det kun ca. 1 mio. kr. pr. MW varme at opgradere kompressoren til en varmepumpe. Det er under 20 % af prisen på en varmepumpe, der kun laver varme. Desuden øges den samlede effektivitet for produktion af varme og køling, når begge produkter kan udnyttes.

COP FAKTOREN ER MÅLET FOR ENERGIEFFEKTIVITET

For 1 MW el kan man typisk få 2,5 MW køling ved 10 °C og 3,5 MW varme ved 70 °C, i alt 6 nyttiggjorte energienheder for en energienhed el.
COP er altså totalt (2,5+3,5)/1,0 = 6,0 i dette tilfælde.

Produceres varmen (3,5 MW) og kølingen (2,5 MW) separat ved hjælp af varmepumper og kølekompressorer, vil man skulle bruge 1,4 MW COP faktoren er altså totalt kun (2,5+3,5)/1,4 = 3,4 i dette tilfælde.

3.3.5 ATES.
Grundvandskøling med sæsonlagring

Et grundvandskøleanlæg består fuldt udbygget af en kold og en varm grundvandsboring og en varmepumpe. Det benævnes ofte som et ATES anlæg (Aquifer Thermal Energy Storage).

Om sommeren bruges den kolde boring til køling, og den varme opvarmes, mens varmepumpen sikrer, at vandet til fjernkølingen er koldt nok.

Om vinteren vendes processen. Varmen anvendes til opvarmning, og kølingen underkøler grundvandsmagasinet. Dette betyder, at den kolde boring får endnu større effektivitet om sommeren.

ATES har således 5 funktioner i samme anlæg
Et eller flere sæt brøndboringer, som har to funktioner:
- Et sæsonkølelager og
- Et sæsonvarmelager

En varmepumpe, som har tre funktioner:
- om sommeren leverer den komfortkøling som supplement til grundvandskølingen
- om vinteren producerer den varme ved at nedkøle grundvandet
- resten af året kan den, når elpriserne ikke er for høje, levere yderligere konkurrencedygtig varme og "spilde kølingen" eksempelvis til udeluften, til drænvand, til spildevand eller til frikøling på datacentre mv.

MUSEE

- Endnu en fordel ved en fælles kølecentral er, at den kan placeres, hvor det er mest hensigtsmæssigt at etablere grundvandskøleanlæg.

Anlægget kan bedre etableres i et stort fælles anlæg på den mest egnede placering frem for ved hver bygning, hvor man risikerer, at de individuelle anlæg modarbejder hinanden.

Anlægget kan måske endda placeres, hvor der er forurenet grundvand, som skal renses eller pumpes væk.

Fjernkøling med ATES-anlæg vil bane vejen for varmepumper i fjernvarmesystemerne, dels fordi varmepumpen udnyttes dobbelt til køl om sommeren og varme om vinteren, dels fordi ATES anlægget sæsonforskyder varmeproduktionen til de måneder, hvor der er mest brug for den.

3.3.6 Byplanlægningen

Fjernkølepotentialet er størst i tætte bydele med arbejdspladser, typisk i stationsnære områder. En fjernkøleinstallation i en bygning optager næsten ingen plads sammenlignet med individuel køling. Med fjernkøling frigøres mere plads i kælderen, og man undgår støjende og synlige tørkølere på tagene eller langs bygningerne. Til gengæld kan det være en udfordring at finde en plads til den fælles fjernkølecentral og akkumuleringstank.

Det kan være svært at indpasse en fjernkølecentral i eksisterende byrum, men der er i kraft af nettets fleksibilitet flere muligheder, eksempelvis at ombygge gamle bygninger, der har været brugt til tekniske formål. Desuden kan fjernkølecentralerne lokaliseres mere optimalt i forhold til havvandskøling, grundvandskøling, varmeudnyttelse og arealer, der er udlagt til tekniske formål.

HOFOR har eksempelvis etableret to store fjernkølecentraler i den indre by i København ved at genbruge gamle faciliteter. I centralen i Adelgade, genbruges en gammel kølevandskanal, og i Tietgensgade genbruges den bygning, som tidligere husede Vestre Elektricitetsværk, hvor der desuden er etableret adgang til havvandskøling.

Frederiksberg Forsyning har tilsvarende genbrugt gamle kældre til fjernkølecentral og til til underjordisk betontank til fjernkølelager i Carlsberg Byen.

Alle tre steder er der adgang til fjernvarmeforsyningen, så overskudsvarmen fra kølingen kan udnyttes på længere sigt.

I nye byområder har kommunerne mulighed for at inddrage fjernkølingen i abejdet med varmeplanlægningen som en del af kommuneplanlægningen og lokalplanlægningen.

Frederiksberg Forsyning har etableret en lagertank til Fjernkøling i Carlsbergbyen.
Til venstre: Carlsberg Byen.

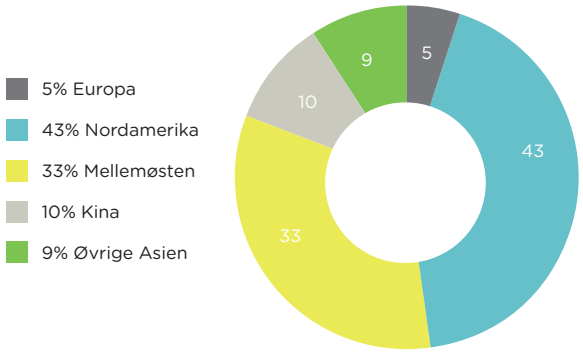
4
FJERNKØLEPOTENTIALET
I RESTEN AF VERDEN

For 100 år siden var der næppe nogen, som tænkte på fjernkøling. Samfundet var overalt indrettet således, at man kunne arbejde og opretholde en tilværelse uden køling. Man indrettede sig med boliger, der kunne modstå varmen, man udnyttede underjordiske huler, man holdt siesta midt på dagen for til gengæld at kunne arbejde, når temperaturen var faldet, og man opbevarede madvarerne i frisk tilstand. Sådan lever størstedelen af jordens befolkning i dag i lande, som er i begyndelsen af den industrielle udvikling.

Stigende potientiale for fjernvarme og fjernkøling i fremtidens voksende storbyer i alle klimazoner

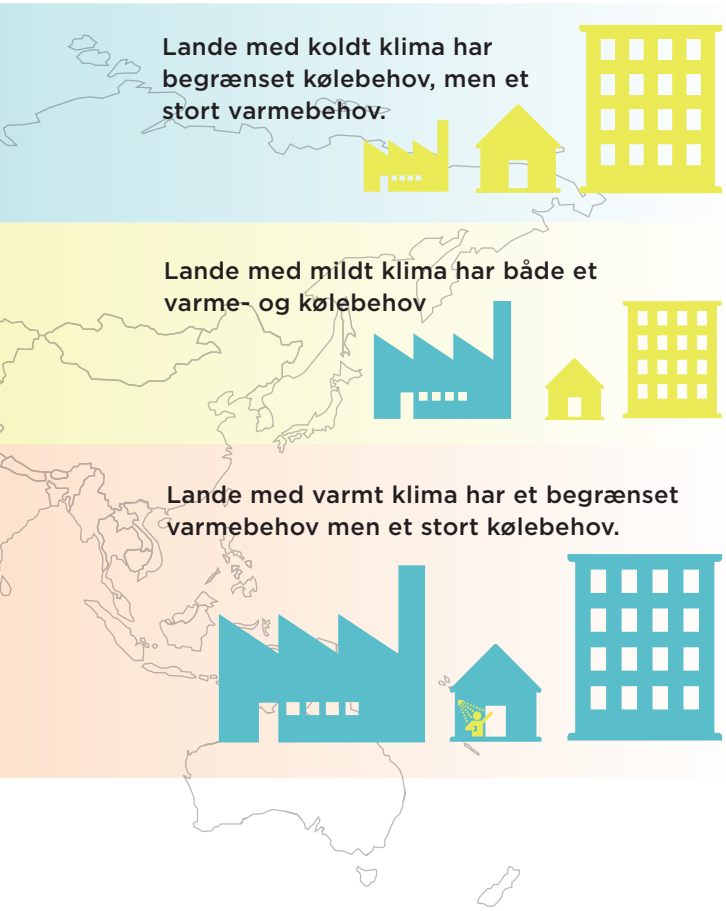
Alle faktorer peger på, at potentialet i resten af verdenen for fjernkøling er meget stort.

Fordeling af verdens fjernkølemarked i 2015



KILDE: ADB (2017) og Marafeq Qatar (2015)

Stigende velstand øger kølebehovet
Erfaringen viser imidlertid med stor tydelighed, at den stigende industrialisering og velstand i befolkningen medfører et markant stigende kølebehov:



- Befolkningen vil anskaffe sig køleskabe og air-condition anlæg, så snart de har råd til det.
- Byernes centre vil vokse med bygninger i glas og stål, som har et betydeligt kølebehov
- Bygningerne skal holdes i drift alle dagens timer, også når kølebehovet topper omkring kl. 13
- Brugen af elektrisk udstyr og servere, der afgiver varme, stiger
- Der bliver brug for at opbevare fødevarerne koldt for at undgå madspild og infektion

Megatrends, der kan have endnu større betydning:
- Jordens befolkning vokser markant
- Befolkningstilvæksten i de store byer stiger yderligere, dels som følge af den generelle befolkningstilvækst, dels fordi folk flytter fra land til by.
- Den største vækst sker i varme lande

Problemet er imidlertid, at det stigende ukontrollerede forbrug af el til individuel køling overbelaster elsystemet midt på dagen og fører til et stigende forbrug af fossile brændsler eller ligefrem black-out. Det er faktorer, som netop taler for effektive løsninger.

Der findes ingen prognoser for udviklingen i fjernkøling på verdensmarkedet, som tager fuldt ud højde for alle disse forhold. Det nærmeste man kommer er eksempelvis en rapport fra det Internationale Klima Panel IPCC (WGII ARC5 kapitel 10) fra oktober 2013. Rapporten estimerer, at det globale behov for komfortkøling til beboelse vil stige fra 300 TWh i år 2000 til 4.000 TWh i 2050, primært som følge af stigende velstand i udviklingslande.

Det er uvist, hvor stor en andel af denne tilvækst, der med fornuft kan blive dækket med fjernkøling. Det vil afhænge af staternes og byernes evne til at planlægge byernes udvikling. Hvis det bliver udbredt med smarte byer, hvor der fokuseres på effektiv styring og planlægning, bliver andelen stor.

Hvis man antager:
- at halvdelen af det estimerede kølebehov i 2050 på 4.000 TWh vil blive dækket med fjernkøling
- at kølekapaciteten i gennemsnit udnyttes dobbelt så meget som i Danmark da det primært forekommer i varmere klima og

• at investeringen i fjernkølingen udgør ca. 4 mia. kr. pr. TWh, som i Køleplan Danmark,

så vil der skulle investeres 4.000 mia. kr. inden 2050. Det er rundt regnet 100 mia. kr. om året på verdensplan. Heraf vil størstedelen være lokal infrastruktur, men en del vil være præisolerede rør, reguleringsventiler, vekslere og store varmepumper. Det er komponenter, hvor danske virksomheder allerede er, eller kan blive blandt en af de førende producenter på markedet.

4.1 FJERNKØLING I EU'S ENERGIPOLITIK

I det seneste årti har EU skærpet de energipolitiske målsætninger af mindst tre grunde:

- Ønske om politisk uafhængighed af importerede brændsler
- Internationale klimamålsætninger
- Udvikling og eksport af energiteknologi

Samtidig er det en overordnet målsætning, at målene skal nås for de lavest mulige omkostninger for at fremme velfærd og konkurrenceevne.

Der er mange teknologier i spil, men EU har fået øjnene op for, at fjernvarme og fjernkøling kan bidrage væsentligt til at nå målsætningerne. Dog ikke uden lovgivning og incitamenter.

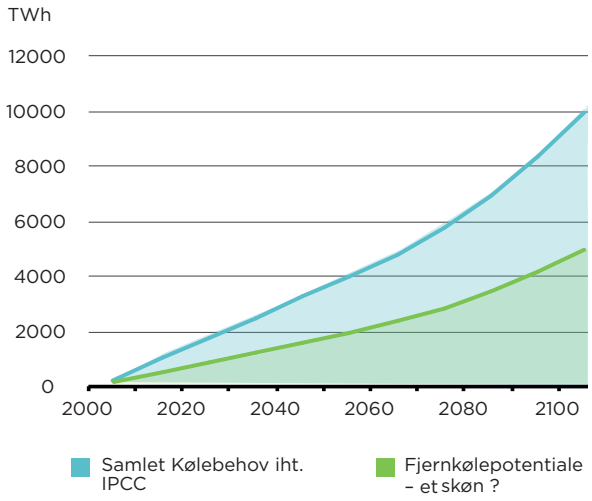
EU har således udarbejdet tre direktiver, som udstikker vigtige retningslinier for den nationale lovgivning indenfor energiområdet. De meget overbevisende danske erfaringer inden for planlægning af fjernvarme og kraftvarme har været et forbillede for EU. Kort fortalt siger direktiverne, at alle lande skal gøre lige som Danmark, dog ikke kun for fjernvarme, men også for fjernkøling. Hvor Danmark således er 35 år foran inden for fjernvarme, står vi lige med de øvrige lande inden for fjernkøling og bygninger.

De tre direktiver, som har betydning for fjernkølingen er kort fortalt:

- Bygningsdirektivet, hvor det fremhæves, at bygninger skal være næsten CO_2-neutrale under hensyntagen til muligheden for at overføre vedvarende energi til bygningerne via fjernvarme og fjernkøling.
- Direktivet for vedvarende energi, som henstiller, at medlemsstater såvel som lokale myndigheder skal udarbejde planer for fjernvarme og fjernkøling for at fremme udnyttelsen af vedvarende energi. Vedvarende energi til fjernkøling kan eksempelvis være frikøling eller køling, der produceres ved hjælp af vedvarende energi.
- Direktivet for energieffektivisering som henstiller at, medlemsstater, såvel som lokale myndigheder, skal udarbejde planer for fjernvarme og fjernkøling for at fremme energieffektivitet og vedvarende energi. Det er eksempelvis energieffektivt at udnytte overskudsvarmen fra køling ved samproduktion.

Men det er ikke nok med lovgivning. EU har indenfor det seneste år udsendt flere aktionsplaner, som fokuserer på fjernkøling.

Verdens samlede kølebehov og fjernkølingspotienale



Eksempel på byens muligheder før ...

HOVEDBUDSKABET
i EU direktiverne er, at man skal se på helhedsløsninger i byerne

MÅLSÆTNINGEN ER IKKE
CO_2 neutrale bygninger, men at man skal vælge omkostningseffektive løsninger, der fortrænger fossile brændsler i vores byer

EU's strategi for varme og køling
Fjernkøling har sammen med fjernvarmen fået en central rolle i EU-kommissionens strategi for varme og køling, august 2016, som yderligere understøttes af Europa Parlamentet. I strategien ses detaljeret på varme- og kølebehovet i vores bygninger i forskellige klimazoner, og der peges på, hvordan fjernvarme og/eller fjernkøling vil fremme de energipolitiske målsætninger.

Vinterpakken 2016
EU's "vinterpakke" fra november 2016 skal bidrage til at implementere EU's energiunion.

- De tre direktiver skal revideres – og formentlig skærpes.
- Der skal udvikles et nyt el-marked i EU – formentlig med vores eget nordiske elmarked som forbillede
- Der skal strammes op om krav til nationale energi- og klimaplaner – formentlig inspireret af vores egen energiplanlægning.

4.2 FJERNKØLING I EU

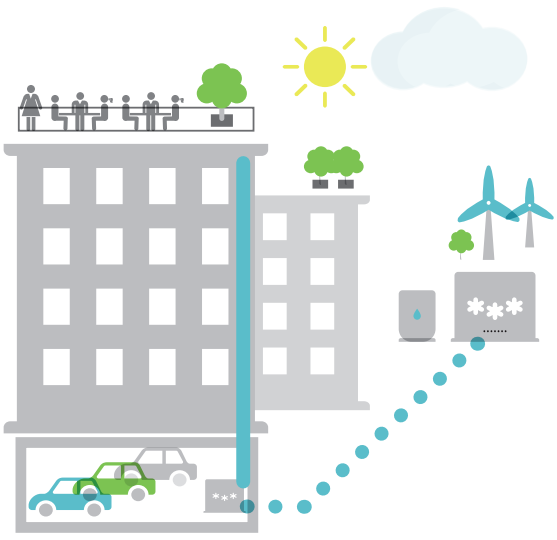
I det EU finansierede RESCUE (Renewable Smart Cooling in Urban Europe) er redegjort for kølemarkedet og fjernkølepotentialet i Europa. Kølemarkedet er vurderet til 300 TWh i 2015 stigende til 500 TWh i 2030.

Baggrunden for den store stigning må tilskrives den stigende velstand i primært de sydeuropæiske medlemslande og de nye medlemslande fra Østeuropa.

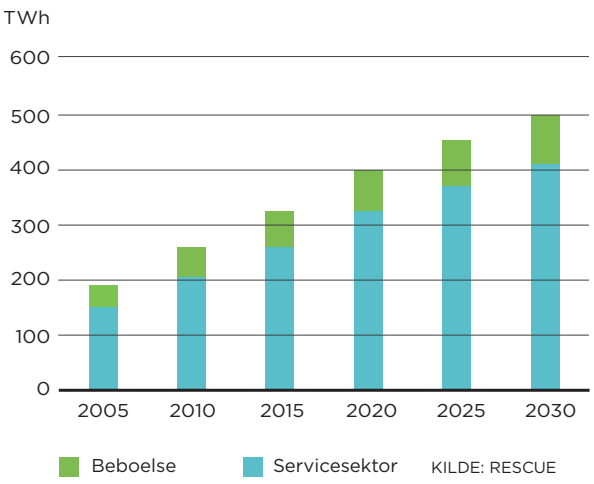
Heraf udgør den kortlagte fjernkøling i dag kun 3 TWh fordelt på 10 lande med Sverige og Frankrig som de absolut største. Det vil sige en markedsandel for fjernkølingen på kun 1 % i EU som helhed.

Ser man på fjernkølebehovet pr indbygger, så er Sverige suverænt i top med 130 kWh/indbygger med Finland og Norge gølger efter med ca. 30 kWh/indbygger.

... og efter etablering af fjernkøling



Markedet for køling i EU27 lande



BAGGRUNDEN FOR den relativt store fjernkøleandel i Sverige er, at Sverige har haft historisk lave elpriser og, at Sverige har en veludviklet fjernvarmesektor, som har kunnet drage fordel af symbiosen mellem fjernvarme og fjernkøling.

Baggrunden for den relativt store fjernkøleandel i Sverige er, at Sverige har haft historisk lave elpriser og, at en veludviklet fjernvarmesektor har kunnet drage fordel af symbiosen mellem fjernvarme og fjernkøling.

Symbiosen mellem fjernvarme og fjernkøling betyder, at der umiddelbart er et særlig stort langsigtet potentiale for eksport af danske fjernkøleløsninger i symbiose med fjernvarme i alle de østeuropæiske medlemslande, som har en lige så stor fjernvarmeandel, som Danmark.

Markedsføringen af fjernkøling må dog tilpasses kølebehovet, som jo afhænger både af klimazonen og af industrialiseringsgraden.

I mange af de øvrige EU lande, selv Tyskland, er fjernvarmen stagnerende, dels på grund af de øjeblikkelige lave gaspriser, dels fordi den nyeste energipolitik endnu ikke er operationel i landenes og byernes energipolitik. I den situation kan fjernkøling bidrage til, at byerne og virksomhederne kan se fordelen i kombineret fjernvarme og fjernkøling, og dermed indirekte markedsføre fjernvarmeløsninger.

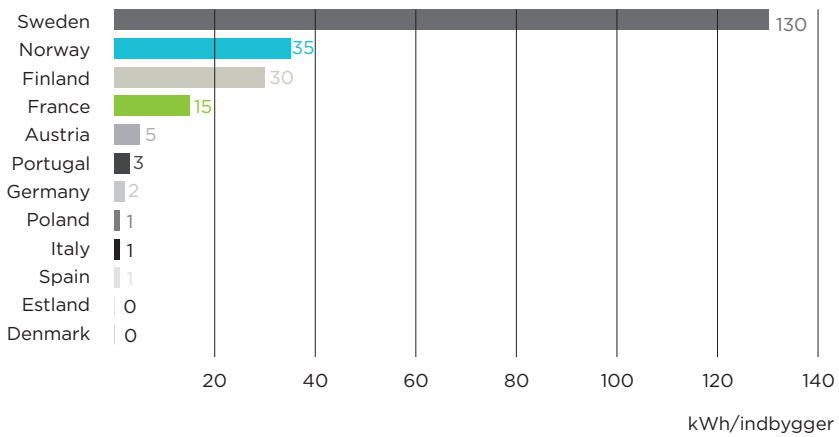
Især i Vesteuropa er landene meget fokuseret på at få en øget andel af vedvarende energi i elforsyningen ved vindmøller og solceller. Derfor er det oplagt at markedsføre fjernvarme og fjernkøling med tilhørende lagre og fleksibelt elforbrug som den smarte energiinfrastrutur, der kan integrere den fluktuerende energi fra vind og sol.

Vi kan muligvis se ind i et **EKSPORTPOTENTIALE** på rigtig mange milliarder om året.

VI ER langt foran andre EU lande med vores effektive fjernvarme, og vores varmeplanlægning har været et forbillede for EU direktiverne. Men vi er indtil videre bagefter med fjernkøling.

Fjernkøling i forhold til indbyggertal

Ser man på installeret fjernkølings kapacitet pr. indbygger, så er Sverige suverænt i top med 130 kWh/indbygger med Norge og Finland på hhv. anden- og tredjepladsen.



KILDE: RESCUE

I EN NETOP UDKOMMET RAPPORT fra EU-kom-missionen, Efficient district heating and cooling systems in the EU Joint Research Center (JRC) 2016, gennemgås 8 udvalgte case studier for fjernvarme og fjernkøling i EU. Herunder Storkøbenhavn og Gram Fjernvarme fra Danmark. Kun to af de fremhævede eksempler er uden køling, nemlig Gram Fjernvarme og Hafen City i Hamburg. Resten af eksemplerne fra Stockholm, Estland, Frankrig, Spanien og Italien har både fjernvarme og fjernkøling.

Heraf fremgår det, at Danmark endnu ikke er førende inden for fjernkøling og med hensyn til at udnytte symbiosen mellem fjernvarme, fjernkøling og bygninger.

CASES

SVERIGE
HOLLAND
SPANIEN
NORDAMERIKA
MELLEMØSTEN
KINA
ASIEN

SVERIGE

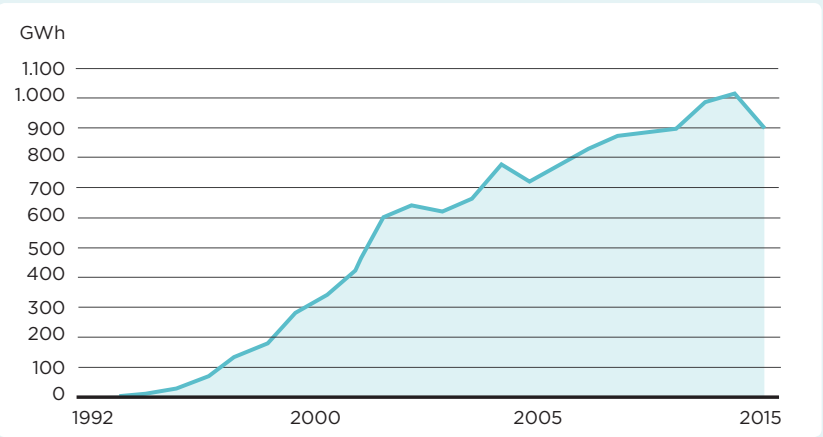
Fjernkølebehovet i Sverige er siden 1992 vokset til ca. 1.000 GWh, og det vokser stadig, bortset fra mindre klimaafhængige udsving. Stockholm tegner sig for ca. 40 % af denne udbygning.

Årsagen til denne stigning skal bl.a. søges i:

- At Sverige havde en veludbygget fjernvarmesektor allerede i 1992.
- At fjernvarmeselskaberne kunne se symbiosen mellem fjernvarme og fjernkøling ved at udnytte samproduktion af varme og køl.
- At varmekunder med kølebehov kunne se fordelen i at koble fra fjernvarmen og producere køling selv, med mindre fjernvarmen kunne tilbyde en konkurrencedygtig totalløsning med fjernvarme og fjernkøling.
- At elpriserne var lave i lange perioder som følge af bl.a. vandkraft.

Det forklarer også, hvorfor Sverige er foregangsland indenfor fjernkøling i forhold til andre europæiske lande med større kølebehov.

Fjernkøleudbygning I Sverige



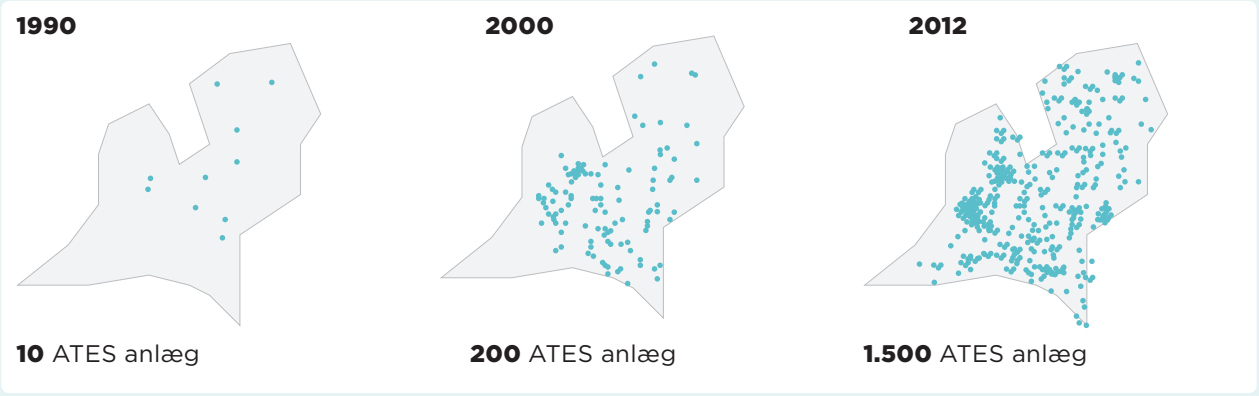
KILDE: Fjernkøleudbygning I Sverige, ikke klimakorrigeret iht. Svensk Fjärrvärme

UDENFOR EUROPA er der rigtig mange muligheder for fjernkøling. Baggrunden og modenheden er vidt forskellig.

Et eksempel på hvor kølebehovet virkelig har skabt udfordringer er Indien. Her har man på grund af industrialisering, urbanisering og stigende velstand i befolkningen fået et stærkt stigende og ukontrolleret elforbrug til køling. Det har ført til systematisk afbrydelse af elforbruget område for område (load-shedding), og det har fremprovokeret meget store el-afbrydelser (black-outs) til mellem over en halv og en hel milliard mennesker næsten hvert år.

Omvendt er man mange andre steder i gang med at planlægge smarte byer, hvor fjernkølingen har en vigtig rolle.

I Holland er der etableret 1.500 ATES anlæg i løbet af 22 år



HOLLAND

I Holland er der en lang tradition for grundvandskøling, de såkaldte ATES anlæg. Der er etableret 1.500 anlæg i løbet af 22 år, men kun på bygningsniveau.

Den nyeste udvikling i Holland er, at man vil udfase gasforbruget og udbygge med fjernvarme og fjernkøling, herunder udnytte ATES anlæg mere effektivt ved at koble bygninger sammen og forsyne dem fra fælles energicentraler.

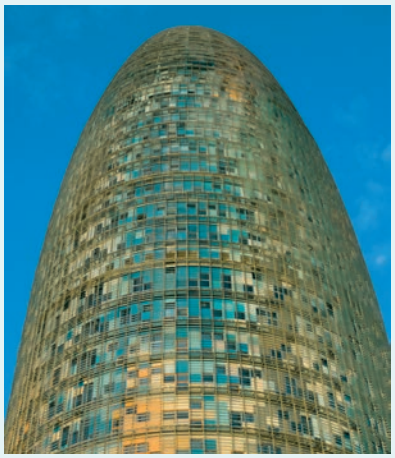
Et godt eksempel er en ny bydel på havnen i Amsterdam. Her har fjernvarmen overskydende billig varme om sommeren baseret på meget billig affaldsforbrænding med ca. 30 % affald fra Italien. Derfor er fjernkølingen til bydelen indtil videre kun baseret på grundvandskøling, idet grundvandet køles ned om vinteren med koldt vand fra havnen. I fjernkølenettet er der eksempler på, at returvandet ledes til beboelsesblokke og opvarmes, idet det leverer køling, som fordeles i de gulvslanger, der leverer varme om vinteren.

Da Holland har behov for mere fjernvarme og allerede har god erfaring med grundvandskøling er der her et stort potentiale for at markedsføre danske løsninger. Det vil samtidig fremme den videre udvikling af vores egne koncepter for både fjernvarme, fjernkøling og bygningers anlæg.

SPANIEN

Byen Barcelona i Spainen, som har en veludviklet byplanlægning, er en af de første sydeuropæiske byer, som er i vadestedet mellem landsbysamfundet med siesta uden kølebehov og den industrialiserede storby.

Der er planlagt en helt ny bydel, 22@barcelona, på en gammel industrigrund. Der udbygges med et bruttoetageareal på 4 mio. m^2 på et landområde på 2 mio. m^2.

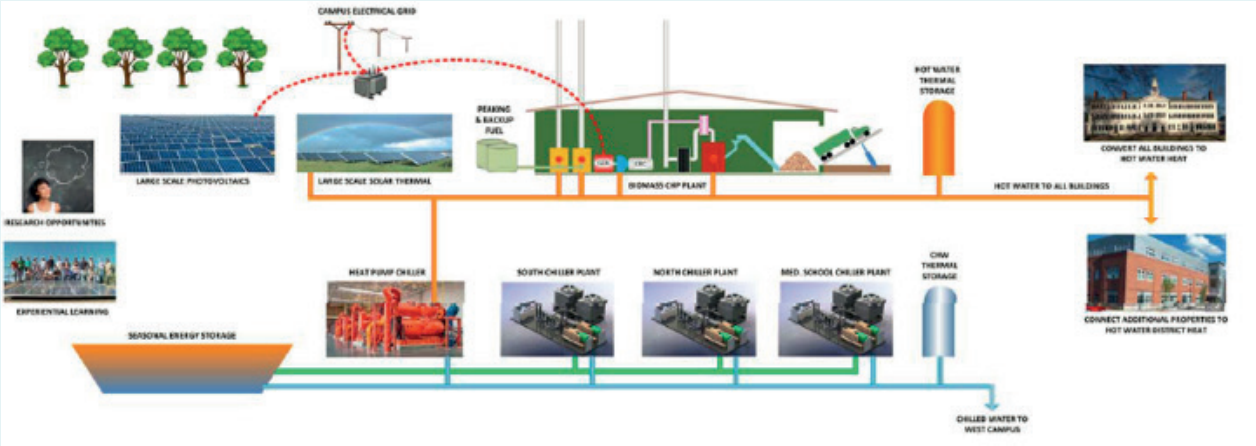


Det er samme bebyggelsestæthed som eksempelvis Carlsberg Byen. Her etableres tunneller og fælles udgravninger til al moderne infrastruktur, herunder fjernvarme og fjernkøling til alle bygninger. Fjernkølingen produceres med absorptionskølere baseret på energi fra et affaldsfyret kraftvarmeværk og med havvandskøling.

NORDAMERIKA

I USA var man først med fjernvarme, og særligt på campusser, eksempelvis universiteter, hospitaler og militærlejre. Her har der været en tradition for en gennemført planlægning, hvor institutionen, som ejer af alle bygninger og al infrastruktur har haft en mulighed for at finde frem til de bedste løsninger.

Der findes i dag omkring 400 vandbaserede fjernkølesystemer i Nordamerika. De fleste fjernvarmesystemer i campusser og enkelte byer er dog baseret på damp, der leverer varme og energi til absorptionskølemaskiner i bygninger med kølebehov. De har typisk eget kraftvarmeanlæg, som gør dem mindre sårbare over for black-out.



Campusejerne er ligeledes meget bevidste om, at det er mest effektivt for dem selv at investere og være ejere af infrastrukturen og så udbyde rådgivning, leverancer og anlægsarbejder efter forskellige modeller.

Nogle organisationer har aldrig hørt om vandbaserede anlæg og har med amerikanske rådgivere løbende renoveret dampsystemerne. Andre har engageret skandinaviske rådgivere, ikke mindst danske, og arbejder på at omlægge fra dampfjernvarme til vandbaseret fjernvarme og fjernkøling. Damprør og kondensatrør erstattes således af 4 rør, to for varmt vand og to for koldt vand.

Fælles for dem er, at de er meget engagerede og professionelle bygherreorganisationer fuldt på niveau med de danske fjernvarmeværker, og at de er interesserede i at udnytte den nye danske teknologi, hvor det er relevant.

Der er desuden et tværgående samarbejde mellem de forskellige campusejere, hvor man udveksler erfaringer. I foråret 2017 var Danmark således mål for delegationer fra amerikanske universiteter og NATO. Desuden ser byerne med interesse på, hvordan ejerne af disse relativt store bydele kan planlægge og etablere egen infrastruktur, som øger forsyningssikkerhed og forbedrer klimaftrykket.

Der er således et stort potentiale i USA for at gode erfaringer bringes videre og implementeres.

Den canadiske storby Toronto, som er udsat for et fastlandsklima med varme somre, er karakteriseret af meget høje kontorbygninger (tårne). Byen er beliggende ved Ontariosøen, som tilføres koldt vand via Niagara vandfaldet fra den nordlige del af Canada. Vandets temperatur på 80 meters dybde er konstant 4 °C.

Byen har for få år siden etableret et fjernkøleprojekt med frikøling fra det kolde vand i Ontariosøen, "deep lake water cooling". I 2009 forsynede anlægget 60 bygninger med i alt 3 mio. m^2 bruttoetageareal.

Der er desuden kolde vintre i Toronto, og dermed et potentiale for fjernvarme baseret på kraftvarme til den meget tætte bebyggelse.

MELLEMØSTEN

Mange byer i Mellemøsten er karakteriseret ved en hastig industrialisering og vækst til trods for, at de er beliggende i ørkenområder med meget varmt klima og uden vandressourcer. Derfor er der et meget stort kølebehov og betydelige storskalafordele ved fjernkøling.

En af fordelene er overraskende nok, at man kan udnytte samproduktion af køl og varme, ikke til rumopvarmning, men til opvarmning af havvand til afsaltning, fordi det effektiviserer processen betydeligt.

Der er allerede en stor dansk eksport af rådgivning og udstyr til Mellemøsten.

Byen Mekka i Saudi Arabien er beliggende i et meget varmt klima med knappe vandressourcer, og der er langt til havet.

I en ny bydel planlægger man at etablere nye moderne bygninger med et etageareal på 6,4 mio. m^2, og der er behov for et godt indeklima med deraf følgende kølebehov. Det samlede kølebehov er på 611 MW, og der planlægges et fjernkølesystem med en produktionskapacitet på 520 MW.

Det primære rationale i fjernkølingen er at friholde de meget dyre arealer for kølemaskiner og udnytte storskalafordelen med en central kølecentral på en mere egnet beliggenhed.

ASIEN

Tokyo er en af de mest industrialiserede storbyer i områder med varmt klima, og alle indbyggere, der har behov for komfortkøling, har råd til at købe sig et aircondition anlæg.

Samtidig har landet i mange år haft billig A-kraft suppleret med dyrere konventionel el-produktion. Det har skabt grundlaget for at etablere fjernkøling i de tætte bydele bl.a. for at aflaste elforbruget til køling.

Det største fjernkøleprojekt har en kapacitet på 200 MW køling, og hovedledningen med en diameter på 1,5 m er beliggende i en stor tunnel.

Fjernkølingen i Tokyos største fjernkølesystem produceres alene ved hjælp af naturgas. Dels via absorptionsvarmepumper drevet af hedtvand fra gaskedler, dels via naturgasturbine drevne kompressorer. Derved undgår man helt at bruge el til det meget store kølebehov i centrum. Overskudsvarmen fra kølingen bortkøles i et vådt køletårn.

Der er fortsat et meget stort potentiale for at udbrede og effektivisere fjernkølingen med dansk teknologi, eksempelvis:

- At udnytte spildvarmen fra nogle af byens mange affaldsforbrændingsanlæg til at producere køling.
- At supplere med køleakkumuleringstank.
- At effektivisere kundernes anlæg, så returtemperaturen hæves.
- At anlægge fjernkølenet i præisolerede fjernvarmerør, hvor tunneller bliver for dyre.

KINA

Vi kan forvente en kraftig vækst i kølebehovet i Kina som følge af den økonomiske vækst og byudviklingen.

Samtidig er Kina kendt for at kunne planlægge byernes infrastruktur, når der er et klart formål med det. I slutningen af 80'erne startede man eksempelvis en massiv udbygning med fjernvarme i Beijing for at mindske luftforureningen med Storkøbenhavn som forbillede. De mange tusinde små kulkedler med sort røg var i år 2000 erstattet af fjernvarme fra store kulfyrede kraftvarmeværker med hvid røg. Fjernvarmen er således vokset med 17 % om året siden 1990 i hele Kina, og der er allerede etableret ca. 6 TWh fjernkøling. Det er dobbelt så meget som i hele EU. I de seneste år har Kina desuden valgt at investere i vindenergi, og har efterspurgt dansk ekspertise i at integrere vindenergien med termiske lagre og fleksible kraftvarmeværker.

Den Asiatiske Udviklingsbank, ADB, har i januar 2017 udgivet en interessant rapport om status og udviklingspotentiale for fjernkøling i Kina. Rapporten, der også er inspireret af nordiske erfaringer, argumenterer overbevisende for fjernkølingens fordele. Det anslås, at fjernkølingen i Kina vil vokse med op mod 5 TWh om året, og således i løbet af 5 år overhale Nordamerika, som i dag har et fjernkølemarked på 25 TWh.

Da Kina i vid udstrækning har fulgt i Danmarks fodspor inden for energiområdet, kan Kina meget vel blive et betydeligt marked for danske energiteknologier. Her vil fjernkølingen være en vigtig brik i det samlede koncept for et integreret effektivt energisystem, der integrerer vedvarende energi.

Store fjernkølerør i Tokyos centrum.

5

MARKEDSMODELLER
FOR DANSKE FJERNKØLELØSNINGER

Der er mange forskellige modeller for eksport af dansk udstyr, alt afhængig af landenes industrialiseringsgrad og tradition for udbygning af energiinfrastruktur.

Da kølebehovet og det potentielle fjernkølebehov i særdeleshed overvejende findes i byer med en høj grad af industrialisering og velfærd, kommer det næppe på tale med støttede projekter. Derfor ses alene kun på kommercielle projekter.

Uanset hvilken model, der vælges for udbud af fjernkøling, vil et stærkt hjemmemarked med gode referencer støtte de danske rådgivere og leverandører. Desuden er det vigtigt, at viden kan spredes uden forretningshemmeligheder og med mulighed for at vise anlæg frem for besøgene.

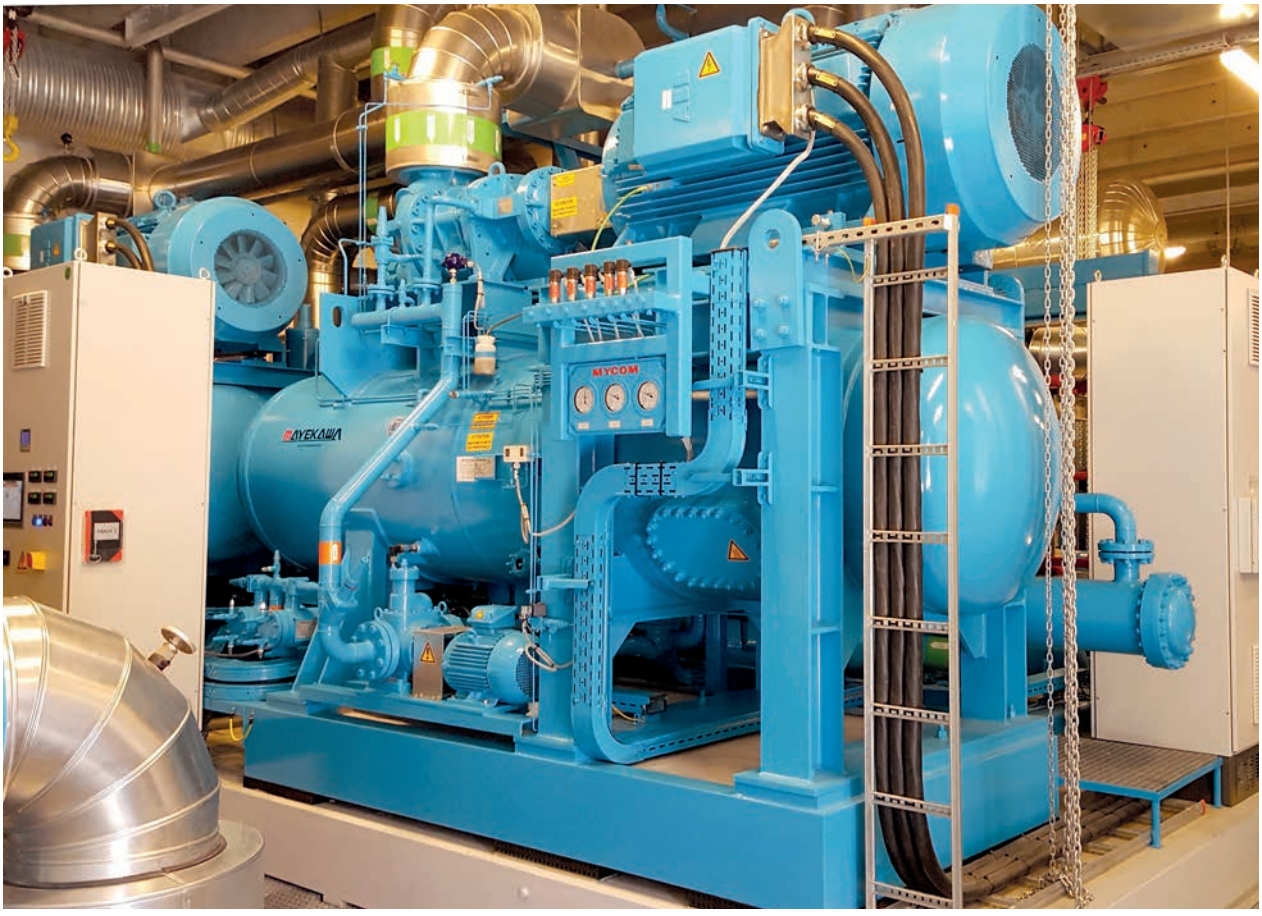
5.1 Udbud af udstyr

Det mest normale er, at der bliver et udbud af udstyr, eksempelvis præisolerede rør, varmepumper, vekslere, pumper, ventiler mv.

Det kan dels være bygherren, som selv står for projektet og udbyder delleverancer eller en total entreprenør, som udbyder.

Hvis en dansk rådgiver er bygherrerådgiver, er der en større chance for, at der bliver planlagt en løsning, som vi kender i Danmark og udbudt komponenter, som danske leverandører kan byde på.

HOFOR's fjernkølecentral i Adelgade.



Til gengæld behøver leverandørerne ikke at have lokalkendskab til forholdene i byen. Man skal blot kende landets standarder for produkterne og have et godt forhandlernetværk eller levere direkte. Et af problemerne i lande, hvor teknologien er ny er, at priserne er uforholdsmæssigt høje bl.a. som følge af mellemhandler avancer eller risikotillæg fra de involverede.

5.2 Udbud af totalentrepriser

Når der er tale om større sammensatte komponenter som en fjernkølecentral eller et komplet fjernkølesystem, som er ny teknologi for bygherren, er der en større sandsynlighed for, at bygherren vil udbyde hele pakken til en totalentreprenør, som dermed stiller garanti for, at det kommer til at fungere.

Her er der behov for, at leverandørerne danner et konsortium med relevante firmaer, herunder lokale firmaer, som kan stå for lokale leverancer af eksempelvis bygninger, konstruktioner, gravearbejde mv.

Når planlægning og udbud af totalentrepriser sker med dansk rådgiverbistand er der også her større sandsynlighed for, at danske konsortier vil kunne byde på opgaverne med bistand fra lokale rådgivere og entreprenører.

I dette tilfælde skal leverandørerne ikke selv medbringe kapital ud over garantistillelse for at ydelsen leveres og virker.

5.3 Udbud af forsyning efter ESCO konceptet

Når modtageren af fjernkølingen, eksempelvis en by, ikke selv ønsker at være bygherre og finansiere investeringen, er ESCO konceptet en mulighed.

Udbuddet kan eksempelvis bestå i, at der skal etableres et fjernkøleprojekt til et givet marked med en tilbudt pris og med ret til at drive anlægget i en årrække, hvorefter det skal overdrages til modtageren.

I forhold til totalentreprisen skal konsortiet således selv medbringe risikovillig finansiering, og der skal også ansættes lokal stab eller entreres med en lokal partner, som kan drive det færdige projekt.

Ved denne løsning er det endnu vigtigere, at det danske konsortium er forankret lokalt.

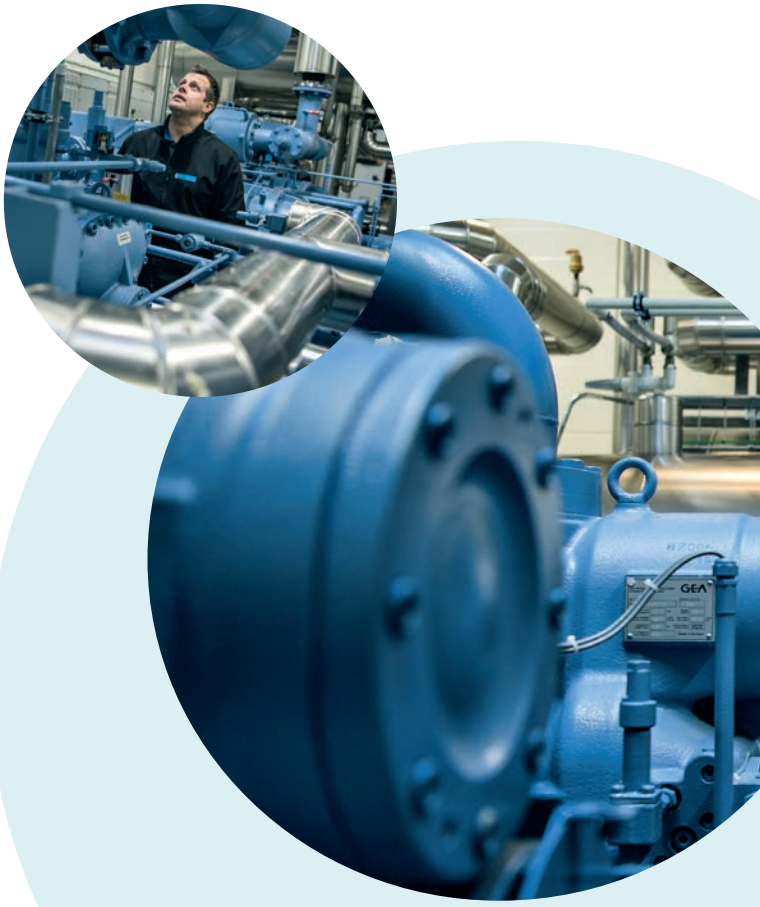
Der er forskellige modeller for at dele ansvar og risiko. Risikoen for konsortiet kan eksempelvis nedbringes, hvis modtageren garanterer en vis tilslutningsgrad.

5.4 Udbud af ret til forsyning

Når modtageren af fjernkølingen ikke ønsker at overtage anlægget på lang sigt, kan udbuddet bestå i, at den bydende forpligter sig til at levere fjernkøling på markedsvilkår og får retten til at eje og drive anlægget på ubegrænset tid.

Her kræves i højere grad end ovenfor, at der etableres et lokalt selskab med fuldt kendskab til det lokale marked.

Høje Taastrup Fjernvarme leverer fjernkøling til Copenhagen Markets



ANBEFALINGER

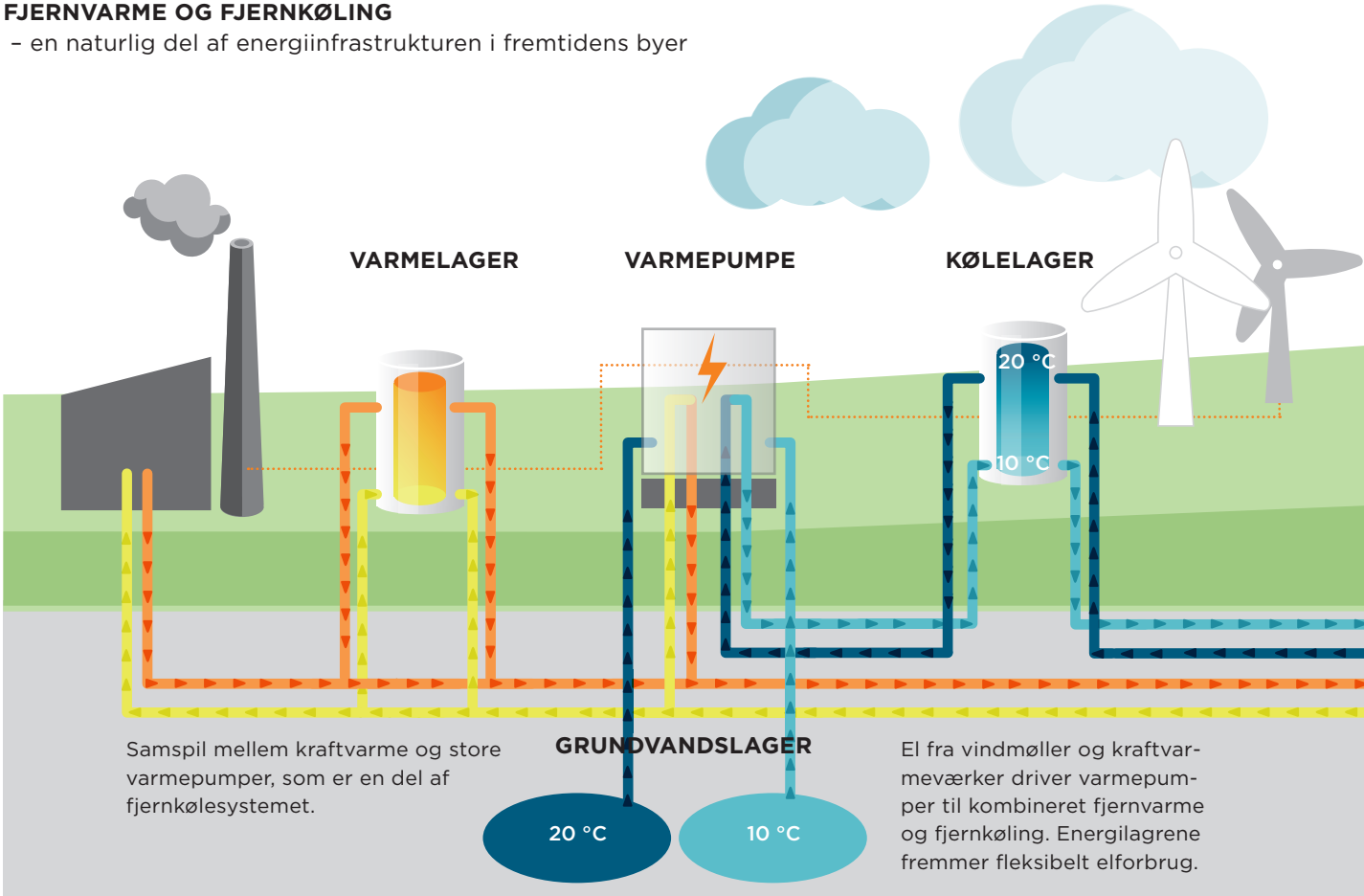
BYGNINGSEJERE I FJERNKØLEOMRÅDER

- Etabler et samarbejde med andre bygningsejere i nabolaget for at se på fordelene ved fælles fjernkøling.
- Organiser en fjernkøleforening hvis ikke det lokale fjernvarmeselskab eller fjernkøleselskab er til rådighed
- Overvej fordele ved at få bedre mulighed for at tilpasse abonneret kapacitet til faktisk behov, særligt ved ny bebyggelse
- Overvej fordele ved ikke selv at skulle stå for anlæg og drift af køleudstyr
- Overvej fordelene ved at få mere plads til rådighed.

KOMMUNER OG REGIONER

- Udvid arbejdet med varmeplanlægning til også at omfatte fjernkøling, for at imødekomme EU direktiver og fordi det i fremtiden vil være en del af varmeforsyningen
- Sørg især for, at fjernkøling indgår som en mulig infrastruktur for nyt erhvervsbyggeri i samspil med den øvrige byplanlægning
- Se på fjernkølingens synergier med drænvand og forurenet grundvand
- Udnyt muligheden for, at større offentlige byggerier med kølebehov, eksempelvis hospitaler, kan være drivkraft for nye fjernkøleklynger
- Arbejd for at kommunens egne forsyningsskaber etablerer fjernkøling til gavn for energiforbrugerne.

FJERNVARME OG FJERNKØLING
– en naturlig del af energiinfrastrukturen i fremtidens byer



Samspil mellem kraftvarme og store varmepumper, som er en del af fjernkølesystemet.

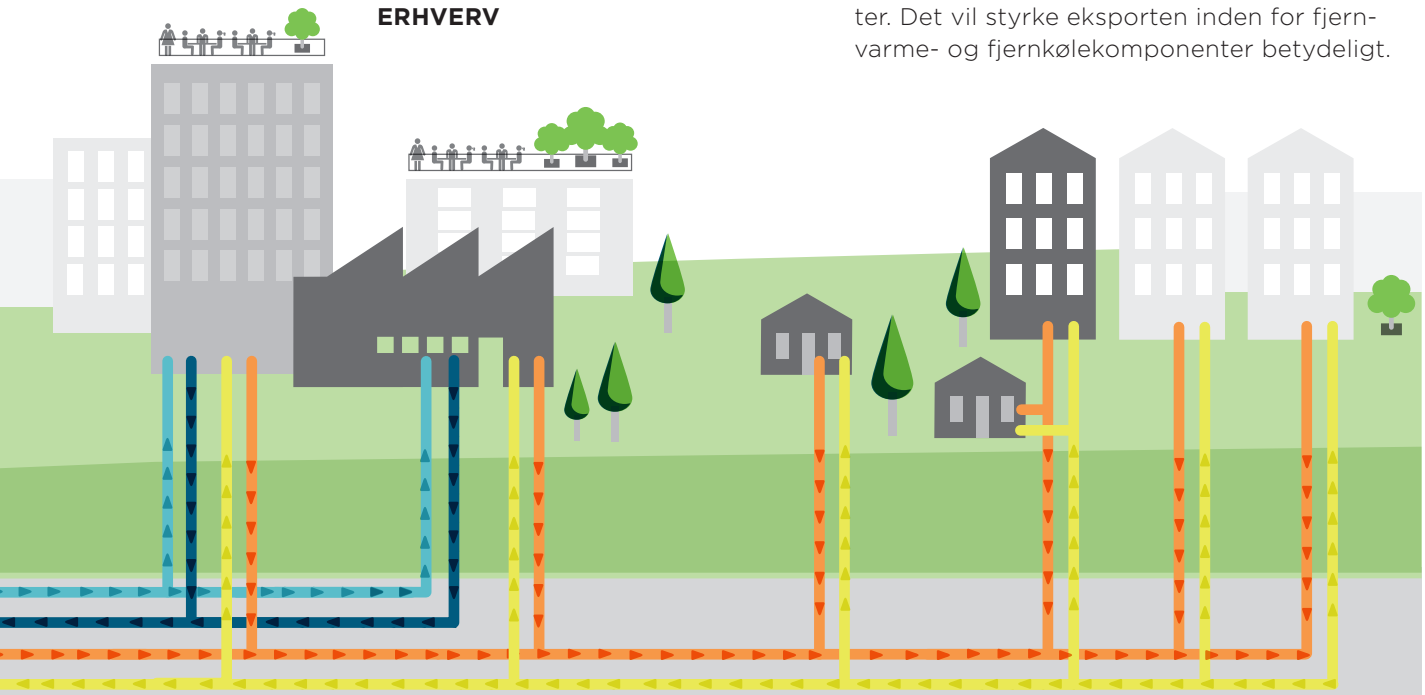
El fra vindmøller og kraftvarmeværker driver varmepumper til kombineret fjernvarme og fjernkøling. Energilagrene fremmer fleksibelt elforbrug.

FJERNVARMESELSKABER

- Lad fjernkøling blive en del af selskabets forretningsplan
- Etabler de organisatoriske rammer for fjernkølingen, så det fremmer et frugtbart samspil mellem fjernvarmen og fjernkølingen
- Samarbejd med kundernes forening eller anden aktør, hvis det ikke er muligt at etablere egne rammer
- Tilbyd kunderne et gennemsigtigt koncept med tariffer, som er fleksible og sikrer en balance mellem overskud til fjernkøleforretning samt fordele for varme- og kølekunder på kort og lang sigt.

STATEN

- Giv fjernvarmeselskaberne bedre mulighed for at etablere fjernkøleaktiviteter i samspil med fjernvarmen, således at fjernkøling sælges på kommercielle vilkår til kunderne i konkurrence med individuelle køleanlæg
- Sørg for, at der ikke skabes usikkerhed om afgift på den overskudsvarme, som et fjernkøleselskab skaber i forbindelse med, at der leveres køling til kunder mod betaling eller gratis i form af køling, der erstatter frikøling (eksempelvis frikøling på datacentre)
- Støt endnu flere forskningsprojekter, der viser synergierne mellem el, fjernkøling og fjernvarme med henblik på at integrere fluktuerende energi fra sol og vind.
- Skab rammer som sikrer finansiel effektivitet i form af lavest mulig lånerente baseret på maksimal konkurrence blandt långivere.
- Giv fjernvarmeselskaberne bedre rammer for kombinerede fjernkøle- og fjernvarmeprojekter. Det vil styrke eksporten inden for fjernvarme- og fjernkølekomponenter betydeligt.



Fjrenkøling til erhvervsbygninger og køleprocesser ersstatter individuelle køleanlæg i bygningerne.

Fjernvarme til industri og boligbyggeri som delvist kommer fra overskudsenergi fra kølecentral.

Fjernvarme frem
Fjernkøling retur
Fjernkøling frem
Fjernkøling retur

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

Print: Kopicenter Rambøll
Grafisk design: Nana Keiding / Designlinjen.dk
Foto: Entasis, Frederiksberg Forsyning, Gram Fjernvarme,
Daniel Halberg, Høje Tåstrup Fjernvarme, Luxigon, Rambøll, Shutterstock.

Energi

GRØN ENERGI

FJERNVARME INDUSTRIEN

RAMBØLL