

IDAs Klimaplan **2050**

FAGLIGT NOTAT



Fjernkøling

Vidensbehov om fjernkølingsteknologien til IDA's klimaplan.

Ved H. Bach Christensen, IDA energi¹

1. Systemperspektiv for teknologien.

Beskrivelse af teknologien.

Definitivt er fjernkøling produktion og distribution af koldt vand via et fjernkølings-rørsystem, (distributionsnet) hvor det kolde vand er produceret på hhv. centrale og decentrale kølecentraler.

Fjernvarmebaseret køling er hvor der distribueres fjernvarme i et fjernvarme-rørsystem, og hvor de enkelte forbrugere producerer køling vha. fjernvarme.

I dag anvendes køling i mange forskellige bygninger, primært butikcentre og kontorejendomme. Typisk vil kølingen være produceret på mere eller mindre individuelle kølemaskiner, der bliver drevet af el.

Et fjernkølingsanlæg vil distribuere koldt vand til forbrugernes køleflader med en fremløbstemperatur omkring 5 grader C. Returtemperaturen vil være omkring 15-20 grader C. Der skal derfor til et fjernkølingsanlæg anlægges et nyt rørsystem. Da fjernkøling arbejder med en temperaturdifferens på 10-15 grader C, vil dimensionerne på et sådan rørsystem blive relativt store. Større fjernkølingsanlæg vil derfor have behov for flere produktionssteder af koldt vand, end hvad vi ser af produktionssteder i et fjernvarmesystem.

En væsentlig fordel ved fjernkøling er, at de større produktionsenheder giver flere muligheder for køleproduktion, ved at inddrage flere kilder af køleenergi, end ved et traditionelt system, der som tidligere nævnt, normalt bliver produceret på el.

Ideen med fjernkøling er at udnytte flest mulige ressourcer således at energiforbruget minimeres. Disse ressourcer er f.eks. affaldsvarme, kraftvarme, solvarme eller frikøling.

Frikøling er udnyttelse af en lokal ressource i form af f.eks. hav-, grund- eller søvand som kan indvindes med en brugbar temperatur til køleformål. Det vil sige en temperatur lavere end returtemperaturen, således at den indvundne vand kan benyttes til at køle returvandet med. Derved opnår man at en del af køleenergien kan produceres uden brug af energi.

Et andet input af koldt vand til et fjernkølingssystem, kan være koldt vand produceret ved hjælp af en absorptionskølemaskine, der anvender varme som drivmiddel.

¹ De faglige notater udarbejdes af forskellige eksperter i forbindelse med klimaprojektet og afspejler ikke nødvendigvis IDAs holdninger

Der er forskellige steder i Danmark overskudsvarme til rådighed året rundt. I vintermånederne kan denne varme udnyttes som fjernvarme, men om sommeren bliver der kølet varme bort blandt andet fra affaldsforbrændingsanlæg.

Den overskudsvarme der findes om sommeren, kan udnyttes i en absorptionskølemaskine til at producere koldt vand. Eneste forudsætning er at temperaturen er høj nok, dvs. en temperatur typisk på min 80 grader C.

Endelig kan en del af det kolde vand produceres på centrale kompressorkøleanlæg, fortsat med el som drivmiddel. Et stort kompressorkøleanlæg vil have en bedre virkningsgrad end de mindre individuelle anlæg, der i dag findes rundt omkring.

Typisk vil man installere kompressorkøleanlæg til spids- og reservelast produktion, mens hovedparten af det kolde vand vil blive produceret ved hjælp af primært frikøling og sekundært med et varmedrevet absorptionskøleanlæg.

Fjernvarmebaseret køling produceres jf. definitionen ude hos de enkelte forbrugere, på en kølemaskine der anvender varme som drivmiddel.

Det kan være en mindre absorptionskølemaskine, som nævnt tidligere, men det kan endvidere også være på et sorptionskøleanlæg. Hvor absorptionskølemaskine kan producere koldt vand, producere sorptionskøleanlægget kold luft, og vil være en del af en ejendoms ventilationsanlæg.

Beskrivelse af teknologien i absorptionskølemaskiner.

Absorptionskølemaskiner er en miljøvenlig løsning og der er:

- Afhængig af drivvarmens oprindelse, mulig at være næsten CO₂ -neutral.
- Maskinen er ganske støjsvag og der er kun få bevægelige dele
- Ingen drivhusgas i systemet
- Elforbruget til drift er ganske få procent af kølemaskinens kølekapacitet.
- Vedligeholdelseskostninger er næsten neglige og har meget høj tilgængelighed

Absorptionskølemaskiner kan udføres med adskillige interne mediepar, men er langt overvejende med en LithiumBromid H₂O opløsning som absorbent og H₂O som kølemiddel. Med H₂O som kølemiddel og med vakuum i maskinen er det muligt at køle ned til +3,5 °C, men af sikkerheds grunde (mod frysning) er en temperatur +4,5 °C hensigtsmæssig som koldt vands out-put.

Absorptionsmaskiner til fjernkøleanlæg er termisk drevne og kan drives af forskellige medier: varmt vand af min. 75 °C, hedtvand, damp, røggas fra gas motor eller direkte olie/gas fyret.

Ved drivmedie af lav temperatur er absorptions maskinen er det en såkaldt single effect type med en normal COP på ca. 0,7. Ved drivmedier af højere temperatur kan maskinen udføres som en såkaldt double effect type og da opnå en COP på over 1,2.

Absorptionsmaskiner fås i en lang række standardmaskiner fra 35 kW til 12MW køleeffekt.

Skal der opnås køletemperaturer (brine) under +4,5 °C er det muligt ved hjælp af ammoniak/vand, hvor det her er vand der er absorbent og ammoniak der er kølemedie. Det er muligt at opnå temperaturer ned til – 60 °C. Ammoniak maskiner er ikke vi vor del af verden endnu set benyttet til fjernkøleanlæg.

Bortkøling af absorptions kølemaskiners overskudsvarme.

Absorptionskølemaskinerne består af en fordamper, hvor det kolde fjernkølingsvand produceres, af en absorber/condenser hvor overskudsvarmen bortkøles samt en generator, hvor drivvarmen tilføres.

Overskudsvarmen kan bortkøles enten med en radiatorkøler (tørkøler), et køletårn (vådt), sø- eller havvand eller grundvand.

I enkelte tilfælde kan temperaturerne på afkølingen af condenserens være tilstrækkelig til evt. forvarmning af fjernvarmevand eller varmt brugsvand og i sådanne tilfælde kan økonomien i systemet forbedres væsentligt.

Frikøling.

Ovennævnte metoder til bortkøling af absorptionsmaskinernes overskudsvarme giver i alle tilfælde mulighed for at koble anlægget, så der i en stor del af året kan opnås en høj grad af frikøling, når udelufttemperatur eller sø-, hav-, grundvands temperatur er lavere end returtemperaturen fra fjernkøleanlægget.

Drivvarme.

Drivvarme til absorptionsmaskinerne kan som nævnt opnås fra forskellige kilder. For at opnå en god total økonomi vil det være hensigtsmæssigt at udnytte overskudsvarme fra affaldsforbrænding, industriel overskudsvarme, kraftvarme, eller solvarme. Som regel vil kølebehovet være sammenhængende med manglende mulighed for afsætning af overskudsvarmen i sommer perioden.

2. Anvendelsesperspektiv.

Produktion af køling på centrale fjernkøleanlæg.

Kølingen leveres som et afkølet medie, der har en nærmere specificeret temperatur og fremløbstemperaturen fra kølecentralen vil være ca. 6 °C og returtemperaturen fra kunderne forventes at være 14-16 °C.

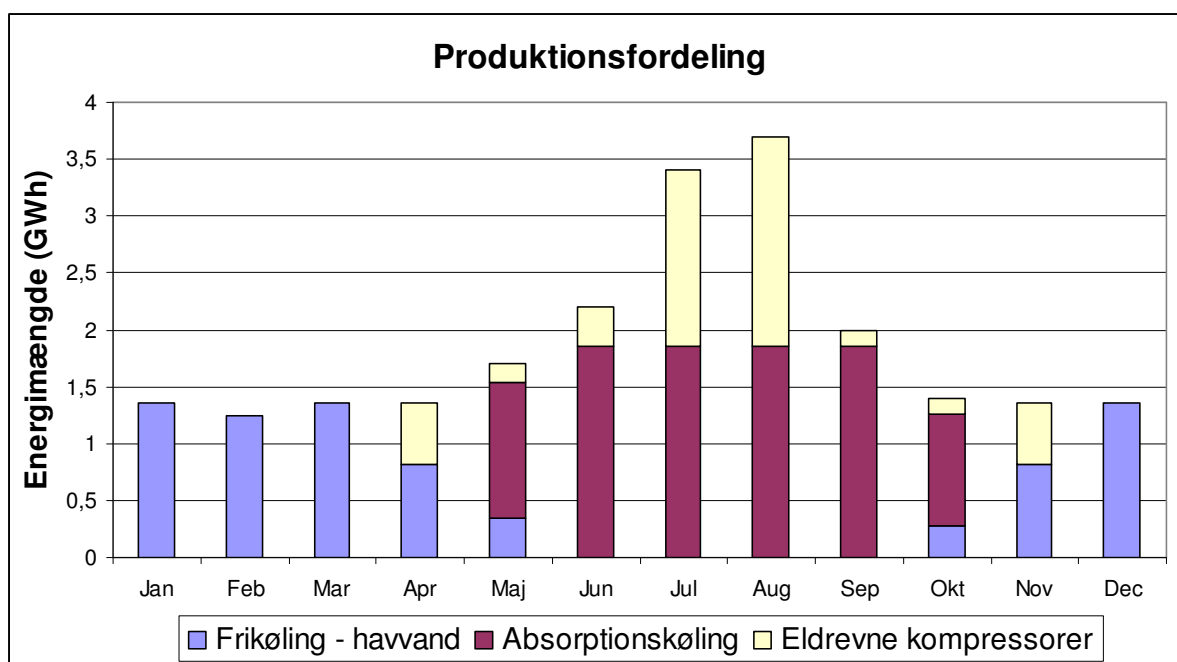
Kølecentral vil få en kapacitet der er tilpasset det aktuelle kølebehov og er baseret på 3 forskellige køleprincipper:

1. Anvendelse af koldt vand fra havnen/søen i perioder af året, hvor vandet er tilstrækkelig koldt.
2. Varmedrevne kølemaskiner, som kan udnytte overskudsvarme fra affaldsforbrænding, CO₂ neutral fjernvarme og kraftvarme.
3. Eldrevne kompressorer.

På grund af kombinationen af flere principper og anlæggets størrelse vil der blive tale om et fleksibelt anlæg med meget høj energieffektivitet. Nuværende individuelle køleanlæg er oftest kun baseret på eldrevne kompressorer, og det centrale køleanlæg har altså et lavere elforbrug, da det udnytter frikøling fra havvandet og varme fra fjernvarmesystemet.

Der er udført detaljerede simuleringer af driften af et kendt central køleanlæg og nedenstående figur viser den forventede produktionsfordeling for det fuldt udbyggede projekt. Frikøling benyttes i de perioder hvor havvandet/søvandet, har en tilstrækkelig lav temperatur som kølevand.

Absorptionskølerne har en høj minimumsproduktion og sættes derfor først i produktion, når kølebehovet, der ikke dækkes af frikøling, er højere end absorptionskølerens minimumsproduktion. De elektriske kompressorer benyttes til spidsbelastninger, og hvis kølebehovet er mindre end absorptionskølerens minimumsproduktion. Alt efter driftsbetingelser, som vejret og havvandstemperaturen, kan fordelingen mellem de tre køleprincipper ændres år for år.



Køleproduktionens fordeling på produktionsmetoder over året for et kendt fjernkøleanlæg.

Fjernvarmen kan leveres som damp til absorptionskølerne og kan komme fra affaldsanlæg, CO₂ neutrale fjernvarmeanlæg eller fra kraftvarme.

Forbrug.

Forbruget af køling kan relateres til komfortkøling, dvs. til airkonditioning i byggekomplekser, banker, stormagasiner, butikcentre, supermarkeder og butikker. Fjernkølingen kan anvendes til køling af produktionsprocesser, hvor den krævede procestemperatur matcher fremløbstemperaturen på kølemediet og som komfortkøling i private hjem i begrænset omfang.

I alle tilfælde opvarmes kølemediet til en højere returløbstemperatur og kølemediet recirkuleres efter en nedkølede proces i fjernkøleanlægget, på samme måde som fjernvarmevand, blot med omvendte temperaturparametre.

Decentral køling.

Ved decentral køling foregår produktion og forbrug nøje efter de samme principper som ved central fjernkøling, blot foregår processen i et mindre afgrænset geografisk område, hvor der ikke er behov for nogen infrastruktur arrangementer som et geografisk udbredt fjernkølingsnet, men at kølingen leveres lokalt til en enkelt forbruger eller måske to.

3. Tidsperspektiv.

Installering og CO₂ fortrængning.

Med vedtagelse af ”Lov om Kommunal Fjernkøling” af 17/06/2008 blev der åbnet op for muligheden for at kommunale varmeværker kan etablere fjernkølingsselskaber.

Loven har dog ikke ryddet alle hindringer af vejen, idet fjernkøling ikke er sidestillet med andre energiforsyningsarter da fjernkøling ikke er omfattet af lånerammebekendtgørelsen.

Dette vil være en væsentlig hindring for at få sat aktiviteter i gang, i større omfang, inden for de kommunalt ejede forsyninger.

Tidligere undersøgelser viser, at det vil være i de største byer, at behovet og interessen for fjernkøling er størst. Samtidig er det her primært tale om kommunalt ejede forsyninger, og de besværlige muligheder for finansieringen af fjernkølingsaktiviteterne, vil være en væsentlig hindring for at der kommer rigtig gang i sådanne projekter.

Teknologien er ellers kendt, og den nødvendige know-how findes også, men der vil formentlig ikke blive igangsat mange projekter i de første år.

Der er etableret et par mindre projekter, ligesom endnu et par projekter er på tegnebrættet. Umiddelbart forventes det at 2-4 nye mindre projekter etableret indenfor de næste par år, mens en

yderlig udbygning formentlig vil afvente driftserfaringer, og ændring i mulighed for finansiering af projekterne.

I det centrale København er der dog igangsat et projekt med en samlet kapacitet på 15 MW køleeffekt, til dækning af kølebehov i store kontor og forretningskomplekser.

4. Livscyklusperspektiv.

Miljøpåvirkning og ressourceforbrug.

Tidligere rapporter har dokumenteret, at traditionel produktion af køling på et kompressor anlæg typisk operere med erfaringsmæssige effektfaktorer på 1,5 til 4 (angives ofte som 2 til 5), eller at der for hver produceret kWh køling bruges mellem 0,2 og 0,5 kWh elektricitet. For at producere denne mængde elektricitet, skal et normal kondens – kraftværk (2,5 kWh brændsel for 1 kWh leveret el) anvende mellem 0,5 og 1,3 kWh brændsel.

Producers fjernkølingen ved hjælp af frikøling, solvarme, eller ved udnyttelse af overskudsvarme vil dette, ud over noget strøm til nogle pumper, ikke medføre noget ekstra brændselsforbrug, idet overskudsvarmen jo i stedet ville have været kølet væk.

Producers fjernkølingen ved hjælp af en absorptionskølemaskine bruger en sådan typisk 1,5 kWh varme for hver kWh køling. Afhængig af hvordan varmen bliver produceret vil det påvirke brændselsforbruget til produktion af kølingen.

Sker produktionen på et kedelanlæg med en virkningsgrad på 95% giver dette et brændselsforbrug på ca. 1,6 kWh brændsel. Sker produktionen derimod på et kraftvarmeværk med en samproduktion af el- og varme, hvor varmen tillægges 0,5 kWh brændsel til 1 kWh varme, vil brændselsforbruget være ca. 0,8 kWh brændsel pr kWh køling.

Endelig kan produktionen af det kolde vand på et kølekompressor anlæg. Et større kølekompressor anlæg vil normalt have en bedre virkningsgrad end mindre enheder. Typisk med effektfaktorer op til en faktor 6. Dette vil give et brændselsforbrug på ca. 0,4 kWh elektricitet pr. 1 kWh køling.

Energitalbet fra et fjernkølings ledningsnet, er relativt lille, idet forskellen på temperaturen på det kolde vand og jordtemperaturen er yderst beskedne.

Det samlede billede af brændselsforbruget skal derfor ses i forhold til en aktuel anlægskonfiguration. Jo mere overskudsvarme/spildvarme og jo mere frikøling der er til rådighed, jo mindre energiforbrug skal der anvendes til køleformål.

Miljømæssigt vil det ligeledes være afhængighed mellem den aktuelle anlægsconfiguration og de miljømæssige konsekvenser, og der vil være en sammenhæng mellem reduktionen af energiforbruget og reduktion af f.eks. CO₂ udledningen.

Da elektricitet bliver erstattet med varme vil CO₂ besparelsen ligge indenfor kvoteordningen.

Anvendelsen af kølemidler til traditionelle kølemaskiner vil blive reduceret ved et fjernkølingsprojekt, og dette vil ligeledes reducere miljøpåvirkningerne.

5. Økonomisk perspektiv.

Beregning af miljø- og økonomiske parametre.

I rapport fra Euro Heat and Power regnes kølebehovet i Danmark til 3,3 TWh og i Energistyrelsens rapport "Fjernkøling i Danmark" anvendes tal til beregninger der svarer til 50% af denne værdi og dette kølebehov er også anvendt i nedenstående beregninger.

Til beregningerne er anvendt budgettal fra et kendt større anlæg i Hovedstadsområdet og skal ses som et produkt heraf.

| Tekst | Kølebehov TWh | Investering mio kr. | Investering mio kr./TWh | Reduceret CO ₂ tons/år | Investering pr. sparet ton CO ₂ over 10 år * |
|--------------------|---------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|
| DK 50% fjernkøling | 1,65 | 10.023 | 6.075 | 235.935 | 5.948 |

*Der er regnet med faste stående 4% lån over 10 år

| Tekst | Sparet brændsel PJ | Brændselspris mio kr./PJ | Brændselsbesparelser mio kr./år |
|--------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------------|
| DK 50% fjernkøling | 1,1 | 37,3 | 41 |

Beregningerne viser, at ved et kølebehov fra fjernvarmebaseret fjernkøling på 1,65 TWh skal der investeres ca 10. mia i anlæg og infrastruktur, dvs. i kombinerede køleanlæg og rørledninger.

Et fuldt udbygget fjernkølesystem vil give en besparelse på 235.935 tons CO₂ om året, hvilket svarer til en investering på kr. 5.948 pr. sparet ton CO₂ med en levetid på mindst 10 år. Svarende til en samlet besparelse på 2.359.346 tons CO₂.

Brændselsbesparelsen er beregnet til 1,1 PJ og ved en brændselspris på 37,3 kr/GJ svarer det til en besparelse på nationalregnskabet på 41 mio kr. på årsbasis, svarende til 410 mio kr. med 10 års levetid.

Det kan udledes heraf, at den største besparelse ved fjernkøleanlæg kommer fra frikølingens andel af den samlede køleeffekt.

Denne beregning er udført ud fra et fjernvarmenet med kombinerede forsyningskilder naturgas, affald og kraftvarme og besparelserne vil blandt andet afhænge af det enkelte fjernvarmenets forsyningskilder.

Forsynes absorptionskølerne med fjernvarme, der er helt CO₂ neutrale, vil den samlede CO₂ besparelse vokse tilsvarende.

Der gøres opmærksom på, at disse beregninger er foretaget ud fra en gennemsnitlig varmepris og hvis der i stedet blev anlagt betragtninger på månedsbasis, hvor der i sommerperioden er rigeligt med affaldsvarme, ville beregningerne i disse måneder i højere grad falde ud til fjernkølingens fordel.

6. Aktørperspektiv.

Konklusion.

En væsentlig fordel ved fjernkøling er, at man ved produktion af koldt vand, kan inddrage flere kilder af køleenergi, end ved et traditionelt system, der som tidligere nævnt, normalt bliver produceret på el.

Ideen med fjernkøling er at flytte mest muligt af energiforbruget til produktionen af det kolde vand væk fra elektricitet, og over til nogle andre energiformer, som f.eks. affaldsvarme, kraftvarme, solvarme eller som frikøling.

Frikøling er udnyttelse af en lokal ressource i form af f.eks. hav-, grund- eller søvand som kan indvindes med en brugbar temperatur til køleformål. Det vil sige en temperatur lavere end returtemperaturen, således at den indvundne vand kan benyttes til at køle returvandet med. Derved opnår man at en del af køleenergien kan produceres uden brug af energi.

Der er forskellige steder i Danmark overskudsvarme til rådighed året rundt. I vintermånederne kan denne varme udnyttes som fjernvarme, men om sommeren bliver der kølet varme bort blandt andet fra affaldsforbrændingsanlæg.

Fjernvarmen kan leveres som damp til absorptionskølerne og kan komme fra affaldsanlæg, CO₂ neutrale fjernvarmeanlæg eller fra kraftvarme.

Loven har dog ikke ryddet alle hindringer af vejen, idet fjernkøling ikke er sidestillet med andre energiforsyningsarter da fjernkøling ikke er omfattet af lånerammebekendtgørelsen. Dette vil være en væsentlig hindring for at få sat aktiviteter i gang, i større omfang, inden for de kommunalt ejede forsyninger.

Tidligere undersøgelser viser, at det vil være i de største byer, at behovet og interessen for fjernkøling er størst. Samtidig er det her primært tale om kommunalt ejede forsyninger, og de besværlige muligheder for finansieringen af fjernkølingsaktiviteterne, vil være en væsentlig hindring for at der kommer rigtig gang i sådanne projekter.

Producers fjernkølingen ved hjælp af frikøling, solvarme, eller ved udnyttelse af overskudsvarme vil dette, ud over noget strøm til nogle pumper, ikke medføre noget ekstra brændselsforbrug, idet overskudsvarmen jo i stedet ville have været kølet væk.

Energitalbet fra et fjernkølings ledningsnet, er relativt lille, idet forskellen på temperaturen på det kolde vand og jordtemperaturen er yderst beskedne.

Det samlede billede af brændselsforbruget skal derfor ses i forhold til en aktuel anlægskonfiguration. Jo mere overskudsvarme/spildvarme og jo mere frikøling der er til rådighed, jo mindre energiforbrug skal der anvendes til køleformål.

Miljømæssigt vil det ligeledes være afhængighed mellem den aktuelle anlægskonfiguration og de miljømæssige konsekvenser, og der vil være en sammenhæng mellem reduktionen af energiforbruget og reduktion af f.eks. CO₂ udledningen.

Da elektricitet bliver erstattet med varme vil CO₂ besparelsen ligge indenfor CO₂ kvoteordningen.

En økonomisk analyse af rentabiliteten over 10 år, hvor den sparede CO₂ mængde regnes til købsprisen på CO₂ markedet og brændselsbesparelsen inddrages viser, at projektet er rentabelt, men at der kræves langsigtede investeringer.

Den driftsmæssige robusthed vurderes til at være stor, idet der er 3 kilder til produktion af køling i 8 måneder om året og selve anlæggenes mekaniske konstruktion med få bevægelige dele, giver en høj forsyningssikkerhed.

Den økonomiske påvirkelighed fra stigende brændselspriser er ringe, da 1/3 af kølingen er ”gratis” idet den stammer fra hav eller søvand og fjernkølingen er også ufølsom i forhold til energiafgifter og moms, der tilbagebetales til den erhvervmæssige bruger, dette vil være medvirkende til et CO₂ besparende system, med en stabil økonomisk drift.

Kilder:

Euro Heat and Power, District Cooling in Europe

Energistyrelsen, Fjernkøling I Danmark

Københavns Fjernkøling A/S

Dansk Fjernvarme

Scandinavian Energy Group

Energinet DK, Brændselsanalyser