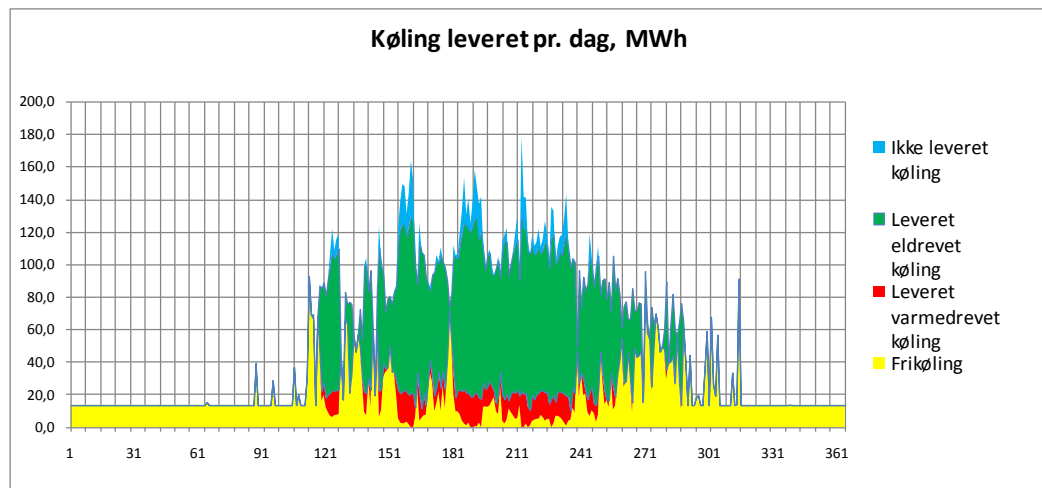


Elforsk

Værktøj til vurdering af fjernkøleløsninger (fjernkøl 1.0)

Slutrapport

April 2010



Elforsk

Værktøj til vurdering af jernkøleløsninger (jernkøl 1.0)

Slutrapport

April 2010

COWI A/S

Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

Telefon 45 97 22 11
Telefax 45 97 22 12
www.cowi.dk

Dokumentnr. p-069899
Version 1
Udgivelsesdato 30 april 2010

Udarbejdet SEM
Kontrolleret
Godkendt

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	4
2	Princip og beregningsmetode	6
2.1	Opbygning af program/værktøj	6
2.2	Brug af værktøjet	9
2.3	Salg af varme	9
3	Gennemgang af værktøjets dele	11
3.1	Opdeling i sheets	11
3.2	Systemløsninger	12
3.3	Indtastning af forbrugsdata	16
3.4	Tekniske data for anlæg til fjernkøling	19
3.5	Økonomidata	25
3.6	Resultat	27

1 Indledning

Elforsk har støttet udvikling af dette værktøj til vurdering af fjernkøleanlæg. Værktøjet er udviklet i et team med COWI som projektleder og deltagelse af Syddansk Universitet, Københavns Energi og med Danfoss, Grundfos og Logstor som referencegruppe.

Fjernkøling kan give store miljømæssige gevinster og der kan være rigtig god økonomi og andre fordele ved at benytte fjernkøling. Fordelene er bl.a. at det er enklere at købe køling end selv at have et anlæg. Dertil skal der ikke findes plads til luftkølere og maskiner.

I Danmark er der på trods af vores solide baggrund med fjernvarme, kun etableret få anlæg, mens der er flere i andre lande, som f.eks. i Sverige og Frankrig. Det kan skyldes, at det kan være svært at vurdere fjernkøleanlæg teknisk og økonomisk. Det betyder, at løsninger med fjernkøling ofte ikke kommer med på bordet i første omgang og derfor overses.

Formålet med dette værktøj er at medvirke til at bringe fjernkøle-løsninger med i overvejelserne ved at gøre det lettere at foretage en hurtig teknisk/økonomisk og miljømæssig analyse af fjernkøleløsninger med frikøling og med el- og varmedrevet køling samt salg af overskudsvarme, hvis dette er muligt.

Målgruppen for værktøjet er energiselskaber, leverandører og rådgivere, især for projektledere mv. som er involveret i en tidlig fase hvor de store linjer trækkes. Det er en forudsætning for brug af værktøjet at de centrale begreber vedr. køleanlæg er kendt og at man kan vurdere, eller indhente en vurdering af væsentlig nøgletal, herunder erfaringsværdier for COP samt enhedspriser for hovedkomponenter der indgår.

Værktøjet er bygget op som et aktivt program hvor slutresultatet hele tiden er synligt og er derfor velegnet til at se konsekvensen af ændringer, altså en form for parameteranalyse. Man kan sige at de data der skal bruges ofte er noget usikre og man kan da bruge værktøjet til at analysere betydning af disse og derfor vurdere hvor vigtigt det er at finde et bedre tal, eller opnå en lavere pris for eksempel.

Denne rapport beskriver opbygningen af værktøjet og fungerer samtidig som brugermanual for dette.

Projektgruppen påtager sig intet ansvar for den videre anvendelse af projektets resultater og af værktøjet, som helhed eller i uddrag, ligesom der tages forbehold for fejl og mangler i værktøjet.

2 Princip og beregningsmetode

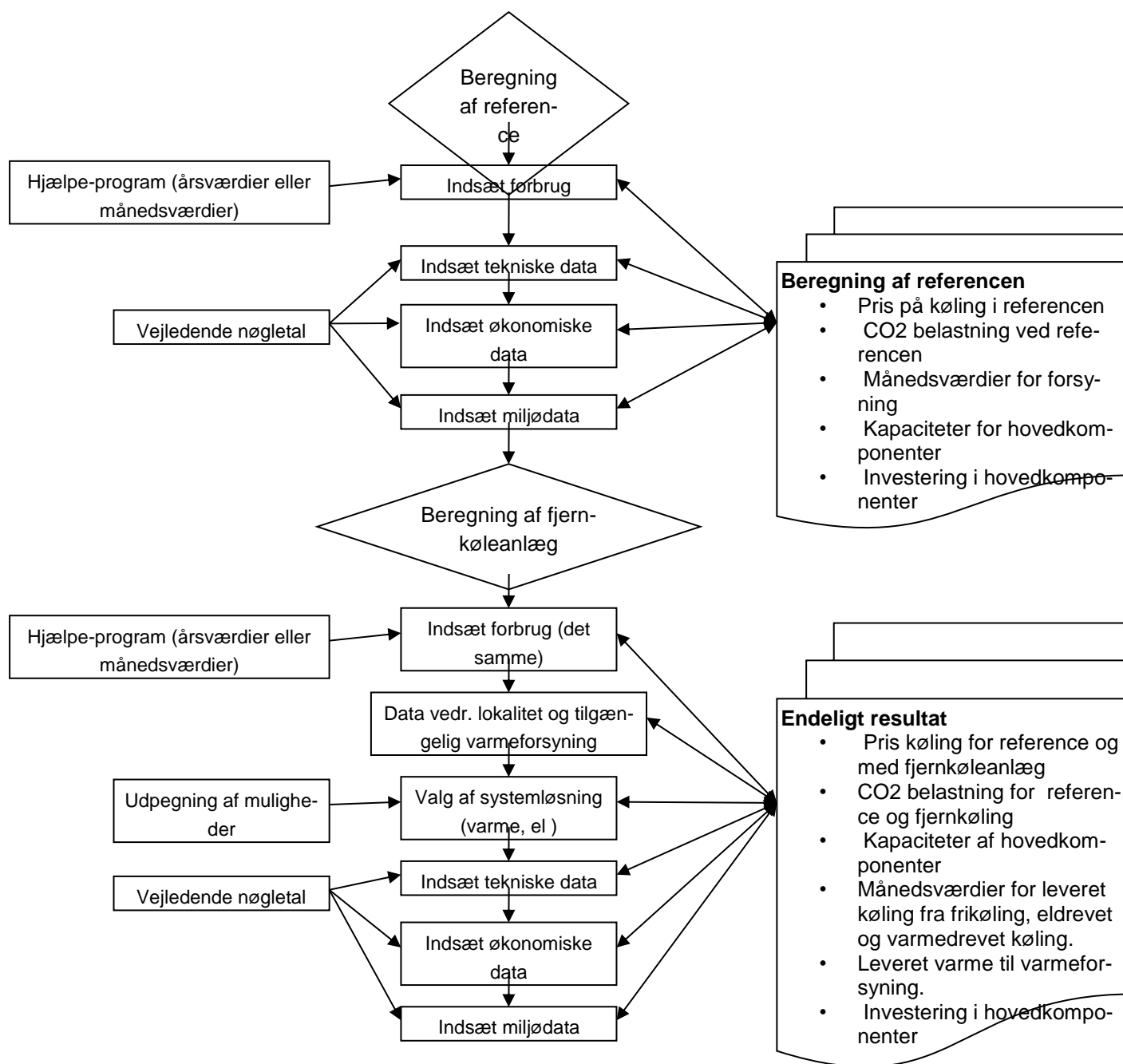
2.1 Opbygning af program/værktøj

Værktøjet er opbygget i Excel og beregningerne er baseret på en simulering med timeværdier på basis af data fra det danske referenceår. Beregningen foregår rimelig hurtigt på en almindelig hurtig PC med 2,4 GHz og det fylder ca. 30 MB. Med en langsom PC kan beregningstiden bliver lang og det kan anbefales at stille Excel til manuel beregning, man kan da udføre beregningen ved at trykke på F9.

Figur 1 viser opbygningen af værktøjet.

Kort fortalt beregnes der først en kølepris og CO₂ udledning for et referenceanlæg. Dernæst beregnes det samme for et fjernkøleanlæg med det samme forbrug. Værktøjet kan regne på en række sammensætninger af fjernkøleanlægget og man kan så variere på data og vælge systemsammensætninger til man når et fornuftigt resultatet eller må konkludere at det nok ikke er muligt. Resultatet af beregningen opdateres hver gang data ændres.

I det følgende gennemgås princippet mere detaljeret (se Figur 1).



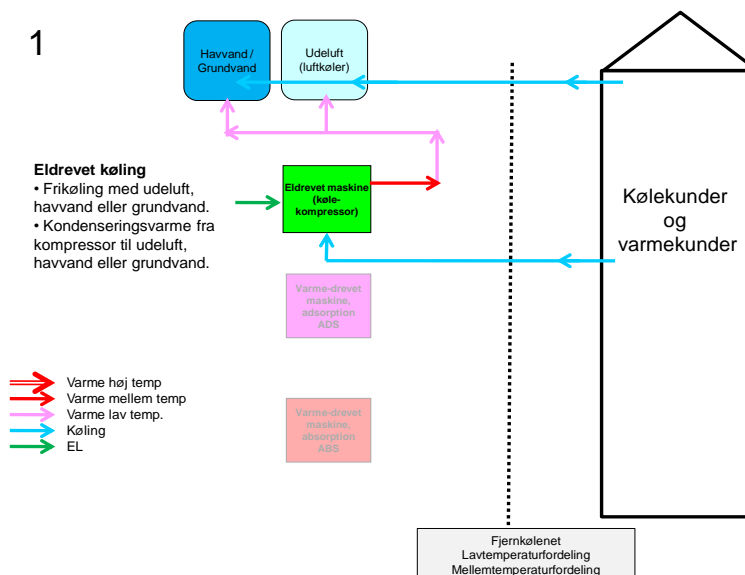
Figur 1- Opbygning af værktøjet som er skrevet i Excel.

Der foretages altså først beregninger på et referenceanlæg, som typisk vil svare til en situation hvor der er individuelle køleanlæg med almindelige kølekompressorer og luftkølere eller køletårne placeret ved de enkelte bygninger/anlæg. Dette beregnes på grundlag af indtastede data for forbrug samt tekniske, økonomiske og miljømæssige data. Resultatet af beregningen vil være en pris på køling og en tilhørende CO₂ udledning. Dertil en række andre data.

Beregning af anlægget med fjernkøling foretages typisk på det samme forbrug, men med et andet anlæg. Fjernkøleanlægget kan opbygges med el- og varmedrevet køling og med en række kilder til frikøling, luftkøler, køletårn, havvand

og grundvand. I værktøjet kan man med drop down menuer mv. vælge komponenter og komponentstørrelser samt prioritering af maskiner.

Der indgår i værktøjet 6 typer af fjernkøleanlæg, som gennemgås i næste kapitel, det simpleste er som Figur 2.



Figur 2- Det simpleste system for fjernkøling i værktøjet. Her er der frikøling enten med udeluft, havvand eller grundvand og køling produceres kun med eldrevet kølekompressor. Et fjernkølenet forbinder anlægget til forbrugerne.

Som det fremgår af Figur 1 indgår der i forbindelse med indtastning af forbruget et hjælpeværktøj. Forbruget kan indsættes som et årsforbrug i MWh til proceskøling og til komfortkøling og som månedsværdier. Værktøjet fordeler de indtastede forbrug på timeværdier efter forud beregnede fordelingsstal som er beregnet for forskellige bygningstyper med forskelligt kølebehov og vinduestyper. Disse er beregnet med Bsim. Man vælger altså et årsforbrug (eller månedsforgbrug) og en bygningstype.

De indtastede forbrug skal svare til det af køleanlægget leverede afkølede vand som energimængde (MW eller MWh pr. år).

Til indtastning af tekniske, økonomiske og miljømæssige data indgår der i værktøjet vejledende værdier. Disse skal opfattes som eksempler og det forventes at brugeren selv vælger og tager ansvar for data.

På basis af de genererede timeforbrug beregner programmet den nødvendige installerede køleeffekt, idet man kan vælge hvor mange timer med ikke dækket kølebehov der kan tillades. Dette udgør grundlaget for beregning af nødvendig kapacitet af kølemaskiner, luftkølere mv., idet man også kan vælge en samtidighedsfaktor der tager højde for at der ikke vil være maksimal kølebehov hos alle kølekunder samtidig. Der findes ikke rigtig gode erfaringsdata for hvilken samtidighedsfaktor mv. man skal vælge. Værktøjet kan da bruges til at analyse

betydningen af de valg man træffer. Man kan for eksempel se hvad det betyder for køleprisen at man installerer 20 % ekstra kapacitet, eller 20 % "for lidt". Herunder også et estimat af hvor meget udækket køling der vil være.

Der foretages ikke overføring af data fra referenceværktøjet til fjernkøleanlægget.

Det antages at tab fra fjernkølerør er af mindre betydning og der ses bort fra det. Det antages altså at temperaturen i jorden og kølevandet omtrent er den samme.

Der regnes med konstant COP for kølemaskiner. Denne indtastes af brugeren og den indtastede værdi skal være årsværdien af COPen som altså tager højde for det samlede elforbrug til kølecentralen, ikke kun kølemaskinen. Man skal også i valg af COP tage højde for om man for eksempel kondenserer med havvand eller med et køletårn, eller at man hæver temperaturen og sælger varmen til varmemeforbrugere, se afsnit 2.3.


Dækningen af det indtastede kølebehov beregnes således på timebasis. Frikøling har første prioritet, det ikke dækkede kølebehov dækkes så idet de valgte kølemaskiner indsættes i prioritet rækkefølge (el eller varme) op til den tilgængelige kapacitet. Til sidst opgøres ikke dækket kølebehov.

2.2 Brug af værktøjet

Det er lavet sådan at felter hvor der kan testes data skifter farve således at data i røde felter ikke bliver brugt, det er derfor uden betydning hvad der står. Data i gule felter bliver derimod brugt. Har man eksempelvis valgt en kombination af eldrebet køling og varmedrebet køling med aBsorptionsmaskine behøver man ikke indtaste en pris på aBsorptionsmaskinen. Se i øvrigt Figur 3.

2 Beregnet pris pr. kW ud fra detaljerede inddata	
Eldrebet maskine, kr. pr. kW installeret køleeffekt	2,000
aBsorptions maskine, kr. pr. kW installeret køleeff.	7,000
Absorptions maskine, kr. pr. kW installeret køleeff.	2,500
Grundvandsanlæg, kr. pr. kW installeret køleeffekt	5,000

Figur 3 - Billede fra værktøjet. I dette eksempel vil data for aBsorptionsmaskinen (rødt felt) ikke blive brugt, mens data for aBsorptionsmaskinen vil blive brugt. Ved at pege på det øverste delvist røde felt fås en hjælpe tekst.

Der er i mange celler indsat en kort hjælpe tekst som er markeret med en lille rød trekant (standard i Excel). Der er endvidere indsat lidt mere fyldig hjælpe tekst i felter markeret således: 

2.3 Salg af varme

Der indgår i værktøjet også en beregning af salg af varme fra kølecentralen til varmemeforbrugere i nærheden. Der indgår her ikke nogen lagring ligesom maski-

nerne ikke kan bruges som varmepumper hvor varmen sælges og omgivelserne (jord, vand, luft) køles. Der kan altså kun sælges varme hvis der er et varmebehov samtidig med et kølebehov.

Varmebehovet beregnes på grundlag af indtastede forbrug og fordeles over året ved hjælp af en graddagberegning. Der indgår to varmemforbrug, lavtemperatur (max 35 C) og mellemtemperatur (max ca. 50 C) som beregnes med forskellig basistemperatur i graddagberegningen. Grunden til dette valg er at lavtemperaturbehovet kan dækkes med varmen fra varmedrevet køling, mens mellemtemperaturbehovet kan dækkes med varmen fra eldrevet køling.

Hvis man vælger at levere varme vil der opnås en lavere COP idet man så typisk vil hæve kondenseringstemperaturen, dette bliver ikke beregnet af programmet, men må tages ind i valget af COP.

Det viser sig i praksis at forudsætningen om et varmebehov sammen med et kølebehov i almindelighed ikke forekommer så ofte, det skyldes først og fremmest at kølebehovet i størstedelen af varmesæsonen mest effektivt dækkes med frikøling.

En evt. senere udbygning af værktøjet kunne medtage varmepumpeidriften.

3 Gennemgang af værktøjets dele

I dette kapitel foretages en detaljeret præsentation af elementerne i værktøjet.

3.1 Opdeling i sheets

Værktøjet består af følgende sheets:

- 1 Vejledning - som indeholder en introducerende tekst.
- 2 Ref. - til beregning af referencen.
- 3 FK teknik - til tekniske data for fjernkøleløsningen.
- 4 FK Øko - til økonomiske data for fjernkøleløsningen.
- 5 Vejledende priser - med forslag til priser
- 6 FK miljø - til miljødata for fjernkøleløsningen.
- 7 Tabel - Viser månedsværdier af beregningsresultater
- 8 Grafer - med mere detaljerede grafer
- 9 Sys 1-6 - Viser de 6 systemløsninger.
- 10 Sys alle - Viser alle 6 systemløsninger samlet.

Resultatet af beregningen i form af kølepris og CO₂ udledning fremgår af ark 2 til 4. Detaljerede resultater for fjernkøleløsningen fremgår både af sheet 4 og 6 så man kan se resultatet løbende når data ændres.

Der indgår på flere sheets knapper til at springe fra sheet til sheet.

Selve beregningerne er skjult.

3.2 Systemløsninger

Der indgår 6 forskellige systemer for fjernkøling som følger. Principdiagrammer fremgår af Figur 5 til Figur 7.

- System 1-2 er med eldrevet kompressor alene.
- System 3-4 er med eldrevet og med aDSorptionsmaskine.
- System 5-6 er med eldrevet og med aBSorptionsmaskine.

System 1, 3, 5 er uden levering af varme, altså kun til fjernkøling.

System 2, 4 og 6 kan udnytte kondenseringsvarme til varmforsyning.

Der indgår i værktøjet et ikke særlig udbygget system til vejledning vedr. systemvalg. På grundlag af et par spørgsmål beregner værktøjet hvilke systemløsninger der er mulige (se Figur 4). Det væsentlige her er spørgsmålet om temperaturen på tilgængelig varm, idet aBSorptionsmaskinen kræver en højere driftstemperatur.

Hvis man vælger et system der ikke er muligt ud fra svaret på spørgsmål om temperaturer på varmforsyning kommer der blot en advarsel.

Valg af systemløsning

Spørgsmål relateret til mulighed for at udnytte varmedrevet køling og sæson

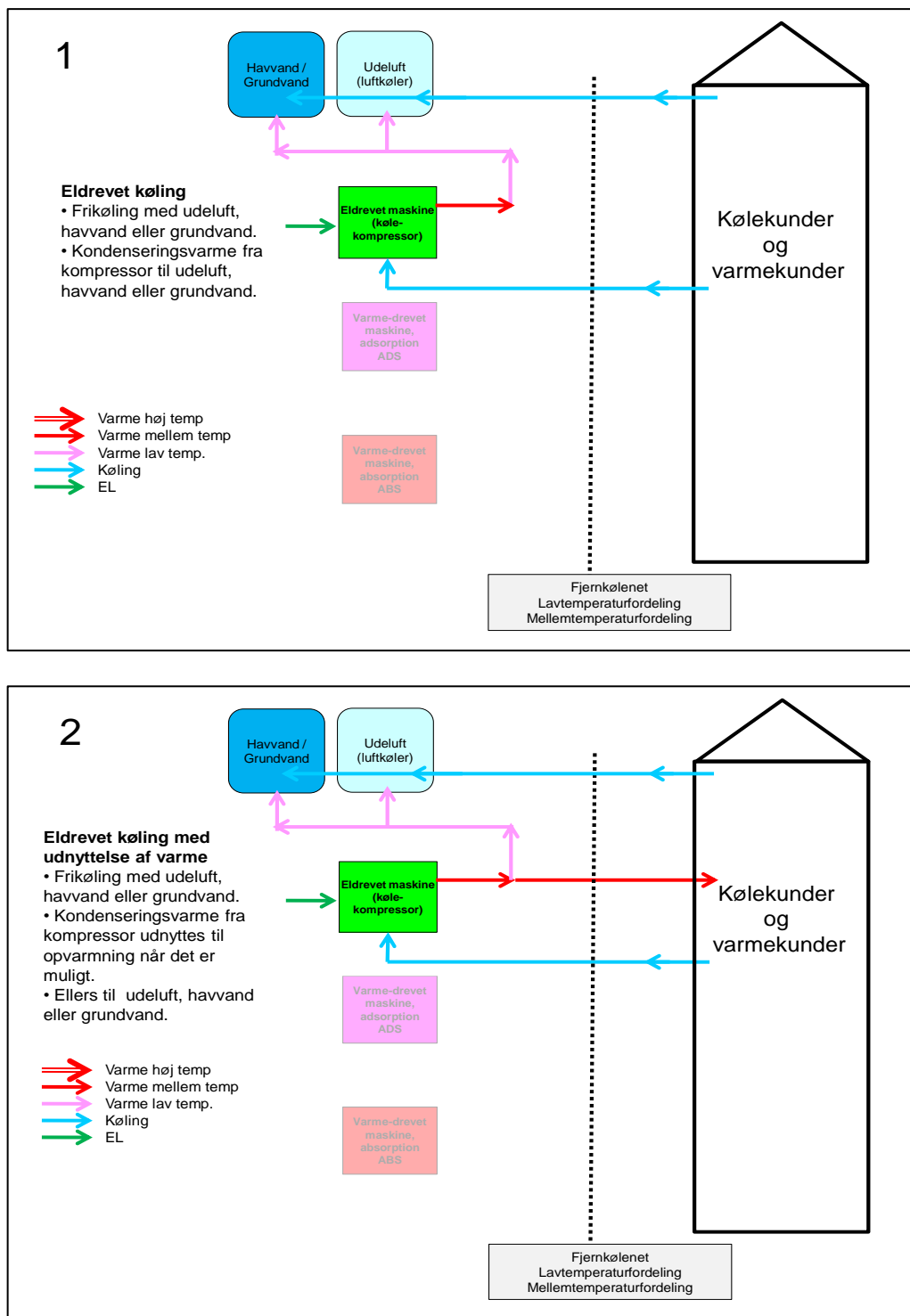
Er der fjernvarme eller anden varme ved 60-80 C til rådighed

Er der fjernvarme eller anden varme ved >80 C til rådighed

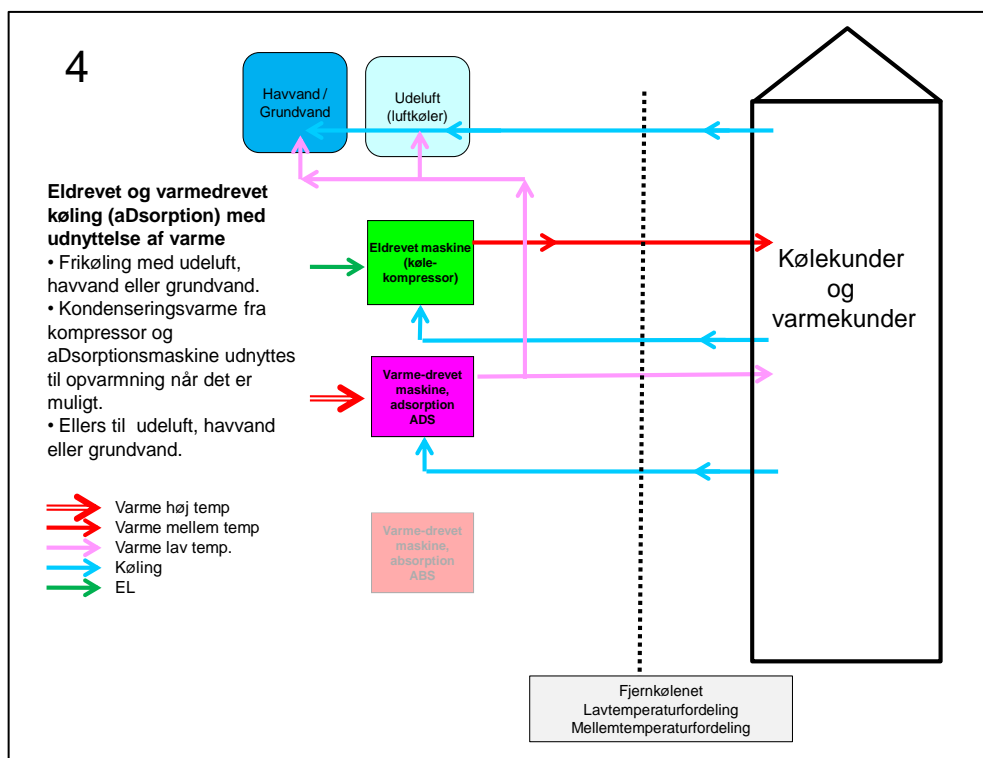
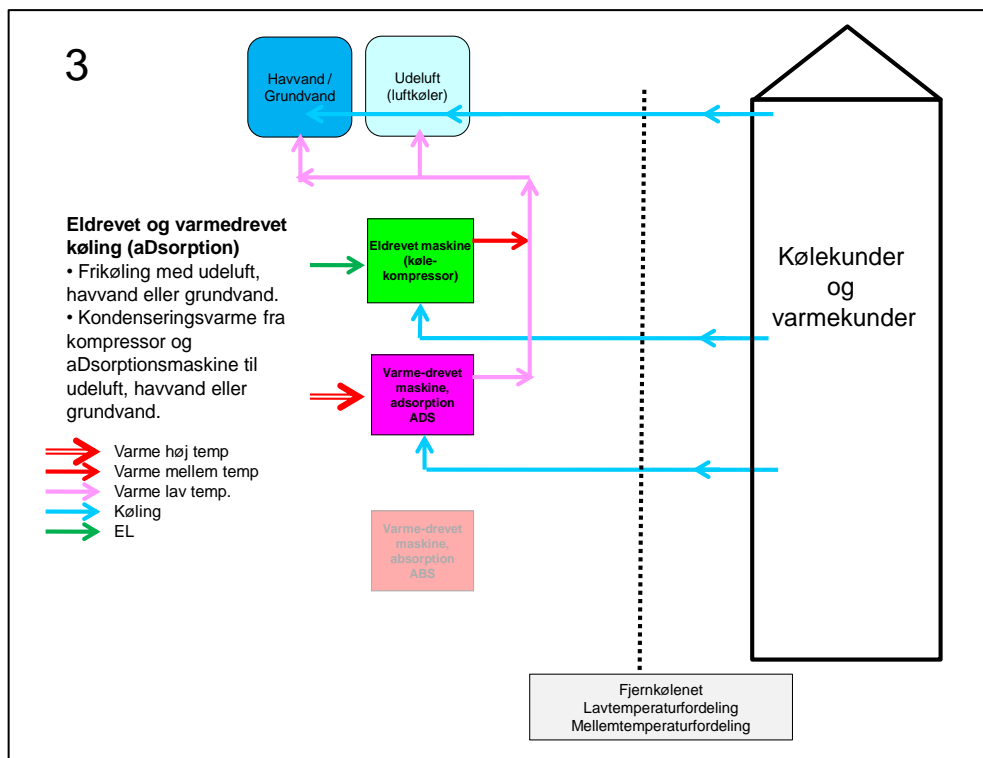
(blå - leverer køling, blå/rød leverer køling og varme)

System	EL	EL	EL+ADS	EL+ADS	EL+ABS	EL+ABS
Er systemet muligt	ja	ja	ja	ja	nej	nej
Vælg system	<input type="radio"/> S 1	<input type="radio"/> S 2	<input type="radio"/> S 3	<input checked="" type="radio"/> S 4	<input type="radio"/> S 5	<input type="radio"/> S 6
Se system	Sys 1	Sys 2	Sys 3	Sys 4	Sys 5	Sys 6
Se alle systemer	Sys 1-6					

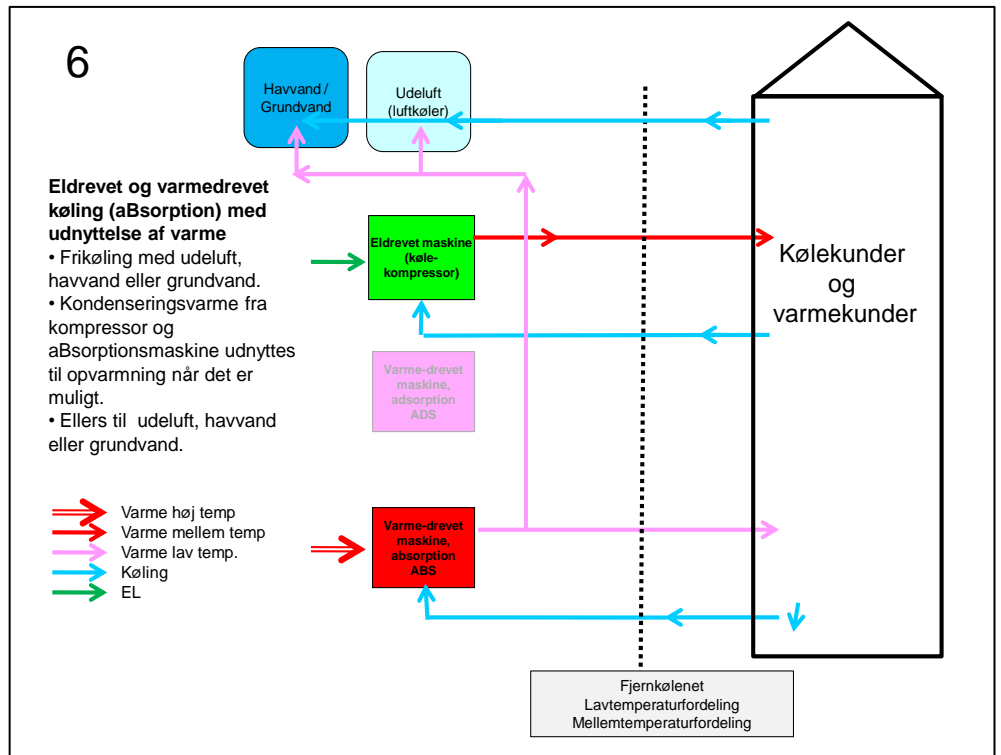
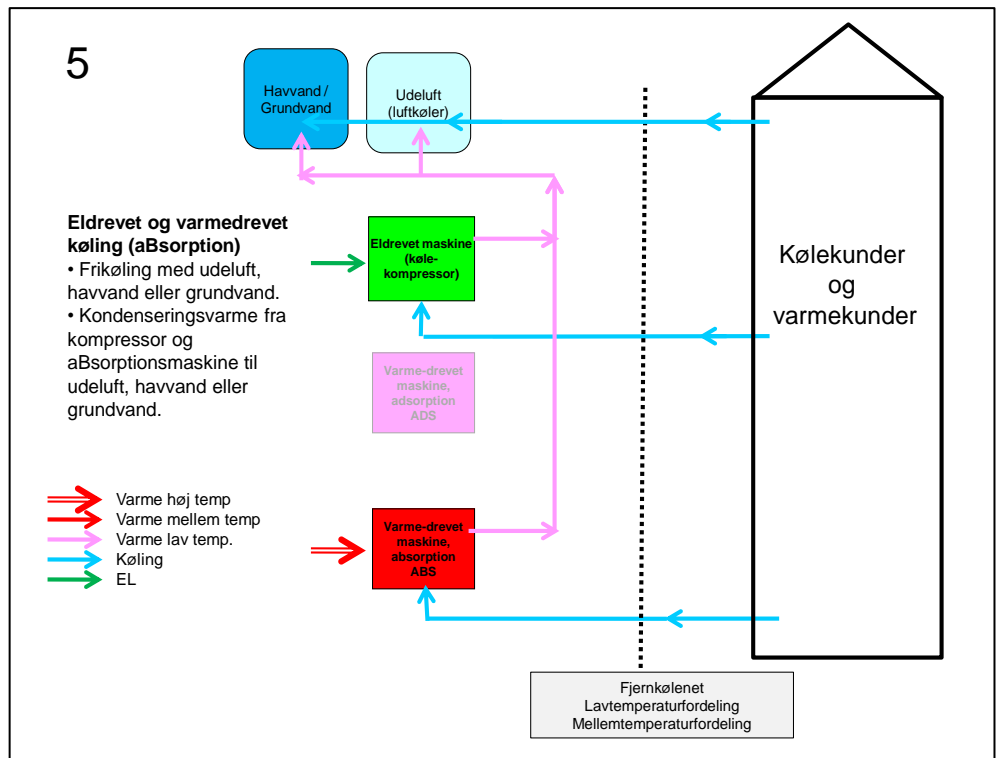
Figur 4- Segment i værktøjet hvor man vælger systemløsning. Her kan der kun vælges mellem system 1-4 som er gule.



Figur 5 - System nr. 1 og 2 til fjernkøling med kun eldrebet kølekompressor. System 1 leverer kun køling, mens system 2 også leverer varme ved mellemtemperatur, dvs. op til ca. 50 C.



Figur 6 - System nr. 2 og 3 til fjernkøling med eldrebet kølekompressor og aDsorptionsmaskine. System 2 leverer kun køling, mens system 3 også leverer varme ved lav temperatur, dvs. op til 35 C.



Figur 7- System nr. 5 og 6 til fjernkøling med eldrebet kølekompressor og aBsrptionsmaskine. System 5 leverer kun køling, mens system 6 også leverer varme ved lav temperatur, dvs. op til 35 C.

3.3 Indtastning af forbrugsdata

Nedenstående Figur 8 viser et udsnit af programmet til indtastning af forbrugsdata for fjernkøleværktøjet.

3.3.1 Køling

Forbrug til køling indsættes enten som månedsværdier i MW eller som årsværdier i MWh. Det indtastede skal svare til det af køleanlægget leverede afkølede vand som energimængde.

Der kan indtastes det antal timer hvor temperaturen overskrider komforttemperaturen idet kølebehovet ikke kan dækkes. Det bruges til beregning af installeret effekt. Skrives der 0 kan anlægget dække behovet i alle timer. Skrives der for eksempel 100 vil der være ca. 100 timer hvor behovet ikke kan dækkes. Bemærk at effekten også beregnes ud fra procenten indsat under tekniske data (samtidighedsfaktor). Sættes denne for eksempel til 80 % vil anlægget ikke dække hele behovet selv om der står 0 timer. Beregningen er omtrentlig og det beregnede antal timer (som vises i uddata) vil ikke være præcis som anført her, selv om der skrives 100 % under installeret køleeffekt.

I drop down menuen (Figur 8) vælges profil til at fordele det indtastede behov (måned eller år) på timeværdier. Disse er baseret på en beregning i Bsim af en termisk tung bygning med sydvendt vindue på 20 % af facaden.

Der er 9 typer idet der regnes med 3 typer vinduer og 3 forskellige interne varmebelastninger (personer + el + belysning):

- Profil 1 - Lav g-værdi og lav intern belastning
- Profil 2- Mellem g-værdi og lav intern belastning
- Profil 3 - Høj g-værdi og lav intern belastning
- Profil 4- Lav g-værdi og mellem intern belastning
- Profil 5 - Mellem g-værdi og mellem intern belastning
- Profil 6- Høj g-værdi og mellem intern belastning
- Profil 7 - Lav g-værdi og høj intern belastning
- Profil 8 - Mellem g-værdi og høj intern belastning
- Profil 9 - Høj g-værdi og høj intern belastning

For vinduer gælder at høj g-værdi svarer til 0,7, mellem til 0,55 og lav til 0,40.

Der er tre værdier for intern varmebelastning fra elforbrug og personbelastning, lav svarer til 10 W/m², mellem til 20 W/m² og høj til 40 W/m².

Det skal bemærkes at valg af en type med lav intern varmebelastning giver en væsentlig højere beregnet installeret effekt og en lav beregnet benyttelsestid (som fremgår af uddata). Den beregnede effekt kan nedsættes ved at øge antallet af timer hvor anlægget ikke dækker behovet, og ved at nedsætte procentsatsen for installeret effekt under tekniske data.

Endvidere skal det bemærkes at det giver urealistiske tal hvis der (ved brug af månedsværdier), indsættes et stort kølebehov i måneder hvor der i den brugte fordeling kun er et lille kølebehov (eller intet) da programmet så fordeler dette behov på nogle få timer med køling.

Det kan være vanskeligt at vælge profiltipe og ofte vil der i praksis være en blanding af bygningstyper. Det væsentlig bidrag til kølebehovet er for kontorer elforbruget, og et godt udgangspunkt vil være at få et tal for elforbrug pr. m², er dette i nærheden af 40 W/m² ligger valget mellem profil 7, 8 og 9. For stormagasiner må personbelastningen også medtages.

3.3.2 Varme

Fordeling af det indtastede varmebehov (år eller måned) sker ud fra graddage. Der vælges basistemperatur for graddage til fordeling af lavtemperaturvarme., dvs. varme op til max 35 C til gulvvarme og basistemperatur for graddage til fordeling af mellemtemperaturvarme, dvs. varme på op til omkring 50 C.

For bygningstype nr. 6-9 vil varmebehovet være lavt i forårs/efterårsperioden og der vælges en værdi på ca. 10-12 C for lavtemperaturvarme. For bygningstype 1-3 med mindre internt varmebidrag fra personer og elforbrug vælges en højere værdi, for eksempel 15 til 17.

Ved anvendelse af mellemtemperaturvarme til at forhindre koldt nedfald ved lave temperaturer kan der vælges en lav værdi, for eksempel 5 C. Behov for mellemtemperaturvarme vil da kun forekomme i vintermånederne.

Der kan naturligvis også være et varmebehov der ikke har noget med kølekunderne at gøre og som kan aftage varme, herunder svømmebade.

Det er som nævnt i denne udgave ikke muligt at regne på lagring af varmen, men kan medregne at varmen kan afsættes til en bestemt pris og se hvordan det kunne influere på den opnåede kølepris. Man kan da indsætte varmeforbruget

Tekniske inddata og beregning

Valg mellem års og månedsdata

Månedsværdier for forbrug

Årsværdier for forbrug

Antal timer hvor temperaturen overskrider komforttemperaturen
 100 (bruges til at finde installeret effekt)

Basistemperatur for beregning af varmeforbrug med graddage
 Lavtemperatur / mellemtemperaturvarme 15 4

Bygningstype, til fordeling af behov for komfortkøling på timeværdier
 Profil 7 - Lav g-værdi og høj intern belastning

Månedsværdier
 Indtastet månedsforbrug i MW

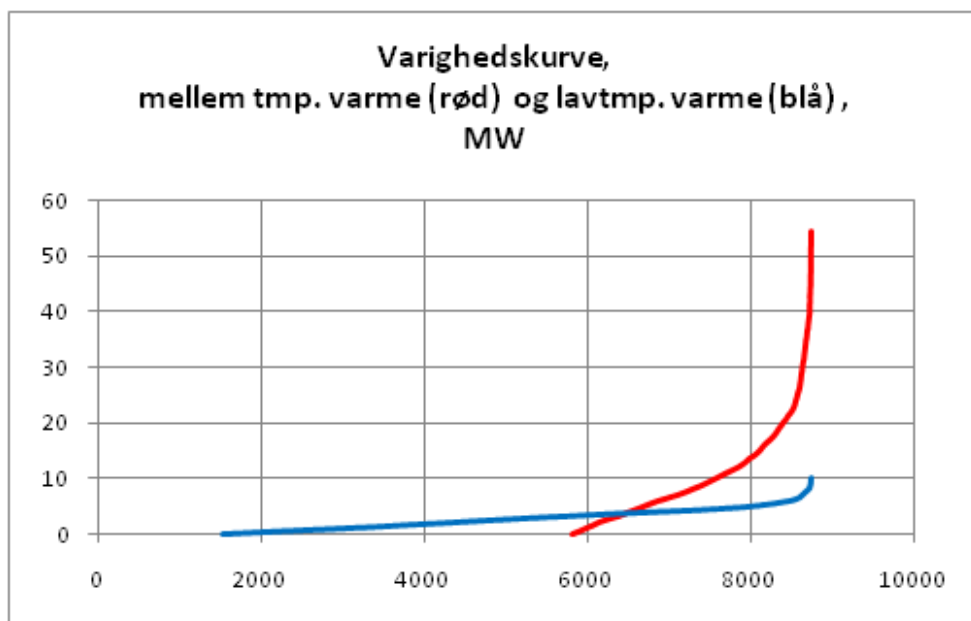
	Lav tmp. varme	Mellem tmp.	Proces køling	Komfort køling
Jan	20	20	6	
Feb	10	15	6	
Marts	10	10	6	
Apr	10		6	
Maj			6	6
Juni			6	6
Juli			6	7
Aug			6	
Sep			6	
Okt	10		6	
Nov	10	10	6	
Dec	20	20	6	
År	65,700	54,750	52,560	13,870

Årsværdier
 Indtastning af årsforbrug i MWh

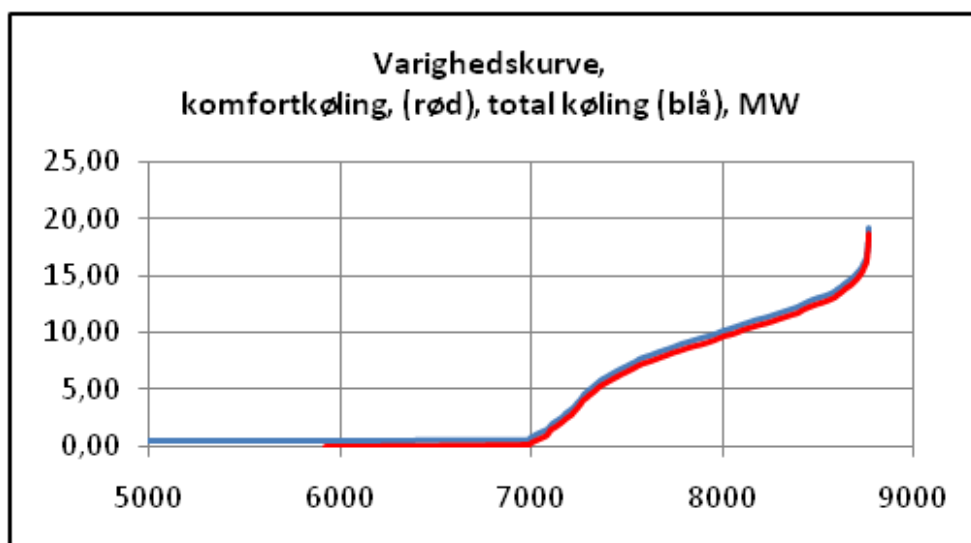
Lav tmp. varme	Mellem tmp.	Proces køling	Komfort køling
20000	30000	5000	15000

Figur 8- Til indtastning af forbrug for fjernkøleanlægget.

De beregnede timeværdier bruges i beregningen af fjernkøleanlægget og der beregnes varighedskurver som vises i værktøjet, se Figur 9 og Figur 10.



Figur 9- Beregnet varighedskurve for varmebehov, på x-aksen aflæses det antal timer hvor varmebehovet er mindre end svarende til aflæsningen på y-aksen. Den røde gælder for mellemtemperaturvarme og den blå for lavtemperaturvarme.



Figur 10- Beregnet varighedskurve for forbrug til køling. På x-aksen aflæses det antal timer hvor kølebehovet er mindre end aflæsningen på y-aksen. Den røde svarer til komfortkøling alene og den blå for den samlede køling. Komfortkølingen er nul i ca. 6000 timer.

3.4 Tekniske data for anlæg til fjernkøling

Se Figur 11. Den nødvendige effekt til køling, der er beregnet ud fra det antal timer hvor man tillader at køleeffekten ikke er tilstrækkelig, kan nedsættes med en samtidighedsfaktor (i procent) for at tage højde for at det maximale kølebehov ikke forekommer samtidig hos alle kunder. Faktoren vil måske typisk i re-

ferencesituationen være større end 100 %, men mindre end 100 % for fjernkøleanlægget. Det er klart at det kan blive et problem at garantere leverancen hvis den installerede effekt holdes lavt.

Fordeling af kapaciteten mellem el- og varmdrevet køling, defineres som vist i Figur 11. Det vil oftest være bedst at se varmedrevet køling som en grundlast med en relativ lille del af den samlede effekt.

COP værdier anføres efter bedste skøn. Der er tale om års COP også kaldet SPF (seasonal performance factor), altså den årlige køleydelse divideret med elforbrug der så for kompressoren også inkluderer øvrigt elforbrug til luftkøler, pumper, automatik mv. For varmedrevet køling skal den anførte COP også være beregnet under hensyntagen til elforbrug til pumper, luftkøler, automatik mv.

COP værdien skal vurderes ud fra det system hvor kølemaskinerne indgår. Bruges der for eksempel havvand til frikøling og til kondensering vil man have en højere COP end hvis man med det samme kølecentral bruger køletårne. Endvidere vil COP falde hvis man hæver kondenseringstemperaturen for at levere varme.

Data vedrørende samlet installeret effekt	
Installeret køleeffekt, procent af maksimal effektforbrug beregnet ud fra antal timer	80%
Kapacitet af eldrevet mask., % af samlet instal. effekt hvis kun eldrevet (for system 1 og 2)	100%
Kapacitet af eldrevet mask., % af samlet effektbehov hvis også varmedrevet (for system 1 og 2)	80%
Kapacitet af varmedrevet mask. (ADS eller ABS), % af samlet effektbehov (for system 1 og 2)	20%
Antaget COP for maskiner	
COP-k for eldrevet køling	4.0
COP-k ADS mask.	0.6
COP-k ABS mask.	0.9
Fjernkølerør til kunder	
Antal m dobbeltrør til fjernkølekunder m	3000

Figur 11- Udsnit af værktøjet hvor fordeling mellem kølemaskiner samt COP defineres. Programmet beregner den nødvendige samlede køleeffekt. I det her viste eksempel er den samlede effekt sat til 80 % af den beregnede for at tage højde for samtidighed i forbruget. Der er el- og varmedrevet køling med 80 % af den samlede kapacitet som eldrevet.

Der indsættes et estimat for længden af fjernkølerør, prisen pr m sættes in i sheet "FK Øko". Der skelnes ikke mellem dimensioner og der indgår heller ikke en pris på stikledninger mv. Brugeren må derfor sørge for at de indtastede værdier for længde og enhedspris pr. længdeenhed inkluderer det hele.

3.4.1 Frikøling

Figur 12 viser den del af værktøjet hvor frikøling og kondenseringskilde angives.

Der kan vælges imellem:

- 1 Grundvand, evt. suppleret med luftkøler
- 2 Grundvand, evt. suppleret med køletårn
- 3 Havvand (eller en sø)
- 4 Luftkøler
- 5 Køletårn

Grundvandskøling tillægges fuld kapacitet fordi den kan være til rådighed ved maksimal kølebelastning og fortrænger derfor kapacitet til el og varmedrevet køling. Frikøling med luft og med havvand tillægges ingen kapacitet da det normalt ikke er tilgængeligt ved maksimal kølebehov om sommeren.

Vælg system for frikøling og kondensering												
Vælg system		Havvand										
Frikøling med grundvand												
Kapacitet for grundvandsanlæg i procent af samlet installeret køleeffekt											100%	
Temperatur af grundvand , C											10	
Temperatursæt for frikøling med grundvand (alt kan dækkes / intet)											8	15
Faktisk maximal dækning (lavere end 100 hvis nedre temp. lav)											71%	
Frikøling med havvand / sø												
Vandtemperatur												
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1.0	4.0	5.0	7.0	10.0	13.0	14.0	15.0	11.0	7.0	4.0	3.0	
(hvis temp. for lav for praktisk udnyttelse (pga. is) skrives 99 i på gældende måned												
Temperatursæt for frikøling med hav / sø (alt kan dækkes / intet)											8	14
Havvandsledning, m til havet											5000	
Frikøling med luftkøler eller køletårn												
Temperatursæt for frikøling med luft (alt kan dækkes / intet)											10	15
Køletårn, vandforbrug, liter pr. MWh leveret køling											1,800	

Figur 12 - Udsnit af værktøj med inddata vedr. frikøling.

Der indgår i beregningen af frikøling for disse kilder et temperatursæt, for eksempel 8/14. Den øvre værdi svarer omtrent til returtemperaturen minus måske 2 C i en veksler. Den nedre temperatur svarer omtrent til den nødvendige koldt vandstemperatur minus 2 grader til veksler. Hvis eksempelvis den ønskede koldt vandstemperatur er 10 C er den højeste temperatur der kan dække hele behovet ca. 8 C. Hvis returtemperaturen til kølecentralen er 16 C er den højeste temperatur (af havvand) der kan dække noget overhovedet ca. 14 C. Ved 11 C kan kun halvdelen dækkes uanset hvor stor kapaciteten er.

Grundvandskøling

Anlæg til grundvandskøling installeres ofte som en grundlast der suppleres med maskiner. Dette angives som en procentdel af den samlede beregnede installerede effekt som dækkes af grundvandskøling.

Grundvandsanlægget vil således oftest ikke have tilstrækkelig kapacitet til kondensering. Værktøjet beregner derfor hvor meget der skal til derudover, der kan her vælges om der skal suppleres med luftkøler (option 1) eller med køletårn (option 2). Forskellen på de to i værktøjet ligger udelukkende i beregning af investeringen.

Det antages at grundvandsanlægget leverer den fulde kapacitet (som indsættes i procent af maksimalt behov) når grundvandtemperaturen er lavere end den nedre værdi i det anførte temperatursæt og intet når den øvre værdi nås. Derimellem kan en brøkdel dækkes. Tallet vil være konstant over året da grundvandstemperaturen regnes konstant. Det betyder at selv om man definerer grundvandsanlægget til at dække 100 % (normal urealistisk) så vil det eksempelvis kun kunne dække max. 71 % hvis temperaturen på grundvandet er 2 grader højere end den lave temperatur i temperatursættet - som svarer til kølevandstemperaturen. Der suppleres da med el- og/eller varmedrevet køling.

Havvand

Frikøling med havvand / sø tillægges ingen kapacitet da det normal ikke er tilgængeligt når der er størst behov for køling. Der skal derfor suppleres med el-drevet eller varmedrevet køling til den fulde kapacitet. Værktøjet beregner dette.

Det antages at et havvandsanlæg dimensioneres efter kondenseringsvarmen fra kølemaskinerne således at køletårne og luftkølere helt kan undgås. Der vil normal ikke være nogen ide at knibe rørdimensionen. Derfor vil der også altid være tilstrækkelig kapacitet til frikøling forudsat at temperaturen på havvandet er lav nok.

Havvandstemperaturen (eller søtemperaturen) indsættes som månedsværdi. Programmet beregner ud fra dette en blød kurve for temperaturen idet det anførte værdi forekommer midt i måneden.

Det antages at al køling kan dækkes med havvand når vandtemperaturen er lavere end den nedre værdi i det anførte temperatursæt og intet kan dækkes når vandtemperaturen er højere end den øvre værdi. Derimellem kan en brøkdel dækkes.

Luftkøler og køletårn

For frikøling med luft kan der vælges mellem luftkøler og køletårn. Disse dimensioneres af værktøjet efter kondenseringsvarmen. Der vil derfor være tilstrækkelig kapacitet til frikøling forudsat at lufttemperaturen er tilstrækkelig lav.

Beregningsmæssigt er den eneste forskel på luftkøler og køletårn beregning af investering og driftsomkostninger til vandforbrug til køletårn.

Det antages at al køling kan dækkes når udelufttemperaturen er lavere end den nedre værdi i det anførte temperatursæt og intet når udelufttemperaturen er højere end den øvre værdi. Derimellem kan en brøkdel dækkes.

3.4.2 Miljødata

I dette afsnit gennemgås miljødata. Data for miljø indsættes på et separat sheet som man klikker sit til på sheet for tekniske og økonomiske data.

Miljø omfatter kun beregning af CO₂ udledning relateret til de beregnede anlæg og der foretages en sammenligning mellem referencen og fjernkøleanlægget.

El

Man kan indtaste en værdi for CO₂ værdi af brugt el. I almindelighed bruges her værdien svarende til el fremstillet på kulfyrede kondens værker, idet denne betragtes som marginalt produceret el. Denne er af Energistyrelsen angiver til 862 g pr. kWh.

Varme

Sagen er mere kompliceret med varme og der indgår også her både køb og salg af varme.

Vedr. salg af varme antages det at CO₂ værdien af den solgte varme svarer til den købte og trækkes fra i regnskabet.

Beregning af CO₂ relateret til den brugte varme beregnes på månedsbasis som marginalbrændselsforbruget i perioder med ren kedeldrift og i perioder med varme fra kombineret el- og varmeproduktion.

Der indgår altså to anlæg, et med ren kedeldrift og et med kraft varme og brugeren definerer måned for måned i hvor stor en procentdel af tiden disse er i drift. Det svarer altså til et kraftvarmeværk, der i perioder med højt varmebrug eller ringe mulighed for at afsætte el, går over til ren kedeldrift.

CO₂ for kedeldrift beregnes på grundlag af valgt af brændsel, for eksempel naturgas.

CO₂ værdi for varme fra kraftvarme indtastes som en fast værdi. Denne afhænger af det enkelte værk. Man kan evt. bruge den "generelle" værdi for fjernvarme på 176 g CO₂ pr. kWh.

Kedeldrift

For ren kedeldrift bruges CO₂ udledningen ved det anvendte brændsel - typisk er naturgas. Det antages med denne størrelse anlæg, at CO₂ udledningen svarer til 100 % af indholdet i brændslet. Typisk er dog effektiviteten for større naturgaskedler over 100 %. Der ses bort fra tab i fjernvarmenettet da denne ikke påvirkes ved en marginal forøgelse af forbruget.

Hvis der anvendes biobrændsler i perioder med ren kedeldrift, kan der for de mest anvendte biobrændsler (halm, flis og træpiller) forudsættes en CO₂ værdi på 0. For biobrændsler som rapsolie skal der foretages en vurdering af markedsforholdene, ofte vil CO₂ værdien skulle ansættes til samme værdi som for naturgas.

Kraftvarme

Med kraft/varme produktion vil varmelieferancen i nogle perioder delvis udgøres af spildvarme fra elproduktion. Spildvarmen kan i nogle tilfælde regnes CO₂ neutral om sommeren, hvor der er overskud af varme, især hvis der samtidig er manglende kølemuligheder, som for eksempel ved Fynsværket. Et øget varme-forbrug vil give øget mulighed for elproduktion, der samtidig vil overflødiggøre en tilsvarende elproduktion med kul på et kondenskraftværk. I disse få situationer (som imidlertid er relevante for nogle aktuelle fjernkøleanlæg) vil varmen til fjernvarmen i nogle perioder kunne regnes CO₂-neutral.

Beregning af anlæg med fjernkøling

Gå til inddata for Anlæg Gå til inddata for Reference

CO₂ produktion relateret til elforbrug

Indtast værdi for CO₂ 862 g CO₂ pr. kWh el

Beregning af CO₂ for varme brugt

Anlæg 1 (ren kedeldrift)
Valg af brændsel til varmeproduktion Kul

Indsæt CO₂ produktion for brændsler for anlæg 1

Naturgas	205	g CO ₂ pr. kWh brændværdi
Olie	280	g CO ₂ pr. kWh brændværdi
Kul	342	g CO ₂ pr. kWh brændværdi
Biobrændsel	0	g CO ₂ pr. kWh brændværdi

Anlæg 2 (kraft varme anlæg)
Valg af CO₂ værdi af varme fra anlæg 2 176 g CO₂ pr. kWh varme

Valg af drift af anlæg 1 og 2.
Procentvis af tiden hvor anlæg 1 (ren kedeldrift) er i brug.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
100%	80%	70%	50%	30%	0%	0%	0%	30%	50%	80%	100%

Figur 13 - Inddata vedr. miljø.

3.5 Økonomidata

Der er naturligvis en vis usikkerhed på de tekniske data der indgår i værktøjet, men usikkerheden på priser og fremtidige omkostninger til vedligeholdelse, fremtidige energipriser, afgifter, renter mv., er langt større.

Usikkerheden på disse ting er et faktum der ikke kan omgås. Det er i denne sammenhæng er god ide at bruge værktøjet til at analysere betydningen af de indgående priser mv. og således finde frem til hvor det er vigtigst at fremskaffe bedre tal eller forhandle lavere priser eller evt. sætte en udvikling i gang.

3.5.1 Investering

Det har ikke været indeholdt i udviklingen af dette værktøj at fremkomme med et priskatalog til beregning af priser på fjernkøleanlæg. Dette er formodentlig ikke engang muligt da priserne ikke findes derude på markedet. Det ville især være interessant med gode tal for hvad en opskalering af anlægsstørrelsen betyder for prisen. Det er svært og det kan derfor igen anbefales at bruge værktøjet til at finde de følsomme priser og fokusere på dem.

Der er i værktøjet to måder hvorpå priser kan indsættes.

- Den ene er at vælge en pris pr. kW installeret køleeffekt (ekskl. fjernkølerør). Dette kendes måske fra andre projekter eller der findes en erfaring fra andre lande at bygge på.
- Den anden måde er at beregne prisen ud fra enhedspriser på komponenter som det fremgår af Figur 14. Her indgår der priser pr. kW eller pr. m mv., for hovedkomponenter.

Pris for elinstallationer beregnes ud fra følgende formel.

$$= 1,2 * (Q_{ref_el}/COP_{chiller_el} + Q_{ref_tot} * 0,019 + Q_{cond_tot} * 0,040)$$

hvor

Q_{ref_tot} Total installeret kølekapacitet

Q_{ref_el} Installeret kølekapacitet for eldrevne kølemaskiner

Q_{cond_tot} Total installeret kondensatorkapacitet

$COP_{chiller_el}$ Gennemsnitlig COP for eldrevne kølemaskiner

Øvrige omkostninger på koldvandssiden opgøres pr. kW samlet køleeffekt og der tillægges en procentdel til uforudsete udgifter, rådgivning mv. Desuden kan man indsætte et beløb til bygningsarbejder hvis dette er relevant.

Drift- vedligeholdelse og reinvesterings beregnes ud fra en procentsats. Denne er delt op i et beløb til kølecentralen og et beløb til andre anlæg og udgifter,

herunder havvandsledning, grundvandskøleanlæg, fjernkølerør samt øvrige omkostninger og uforudsete udgifter.

Administrationsomkostninger beregnes ved en procentdel af de samlede investeringer.

Det antages at investeringen skal betales over 20 år med den angivne kalkulationsrente, beregnet som en annuitet.

Inddataform	
2 Beregnet pris pr. kW ud fra detaljerede inddata	
1 Indsat samlet pris pr. kW køl	
Pris pr. kW samlet køleeffekt	10,000
2 Beregnet pris pr. kW ud fra detaljerede inddata	
Eldrevet maskine, kr. pr. kW installeret køleeffekt	3,000
ADsorption maskine, kr. pr. kW installeret køleeff.	7,000
ABSorption maskine, kr. pr. kW installeret køleeff.	2,500
Grundvandsanlæg, kr. pr. kW installeret køleeffekt	5,000
Fjernkølerør, kr. pr. m dobbeltrør	15,000
Luftkøler, kr. kW installeret effekt	2,000
Køletårn, invest. kr. pr. kW installeret effekt	1,500
Køletårn, vandpris, kr. pr. m ³	20
Havvandsledning, kr. pr. kW installeret effekt	500
Havvandsledning, kr. pr. m rør til havet	15000
Einstallationer	Beregnes
Øvrige omk. pr. kW installeret kølemaskinekap. (koldt vandssiden)	1,400
Bygningsarbejder, tkr i alt	0
Uforudsete rådgivning mv % af totalpris	20%
Samlet investering	
Kalkulationsrente (levetid = 20 år)	8.0%
Drift, vedl., reinvestering for kølecentral	2.0%
Drift, vedl., reinvestering for andre anlæg	2.0%
Administrationsomkostninger	3.0%

Figur 14 - Inddata til værktøjet vedr. priser, og drift og vedligeholdelse samt administrationsomkostninger.

3.5.2 Energipriser og afgifter

Der indtastes priser som månedsværdier.

Priserne bruges ikke til at vælge mellem (prioritere) varme- og eldrevet køling. Dette indtastes separat ved at anføre e eller v som vist i Figur 15. Man kan evt. vælge at bruge varmedrevet køling af hensyn til miljøfordele selvom det giver en højere pris.

Elpris afhænger af forsyning, for Københavns Energi for eksempel ca. 750 kr./MWh.

Varmepris afhænger af forsyning, for Københavns Energi for eksempel er prisen 382 kr./MWh ekskl. moms og afgifter.

Pris for salg af varme kan ikke angives generelt, vil aldrig være større end købspris ekskl. moms og afgifter.

Priser kan anføres for hver måned. Dette kan bruges hvis der for eksempel kan opnås lavere priser på varme om sommeren.

Energipriser, kr. pr. MWh ekskl. moms				
Afgift for el til køleanlæg, kr. pr. MWh			77	
Afgift varme til køleanlæg, kr. pr. MWh			135	
EL	Varme 1)		Prioritet	
	Køb	Salg		
Jan	750	0	300	e
Feb	750	0	300	e
Marts	750	0	300	e
Apr	750	0	300	e
Maj	750	0	300	e
Juni	750	0	300	e
Juli	750	0	300	e
Aug	750	0	300	e
Sep	750	0	300	e
Okt	750	0	300	e
Nov	750	0	300	e
Dec	750	0	300	e

1) inkl. køb af damp

Figur 15- Inddata vedr. energipriser.

Afgifter

Elafgift afhænger af forsyningen, for Københavns Energi er den for eksempel ca. 77 kr./MWh. Bemærk at der kun beregnes afgift af den del af elforbruget der bruges til komfortkøling, ikke til proceskøling (serverkøling).

Afgift på varme afhænger ligeledes af forsyningen, for Københavns Energi for eksempel ca. 135 kr./MWh. Også her beregnes der kun afgift af den del af elforbruget der bruges til komfortkøling, ikke til proceskøling (serverkøling).

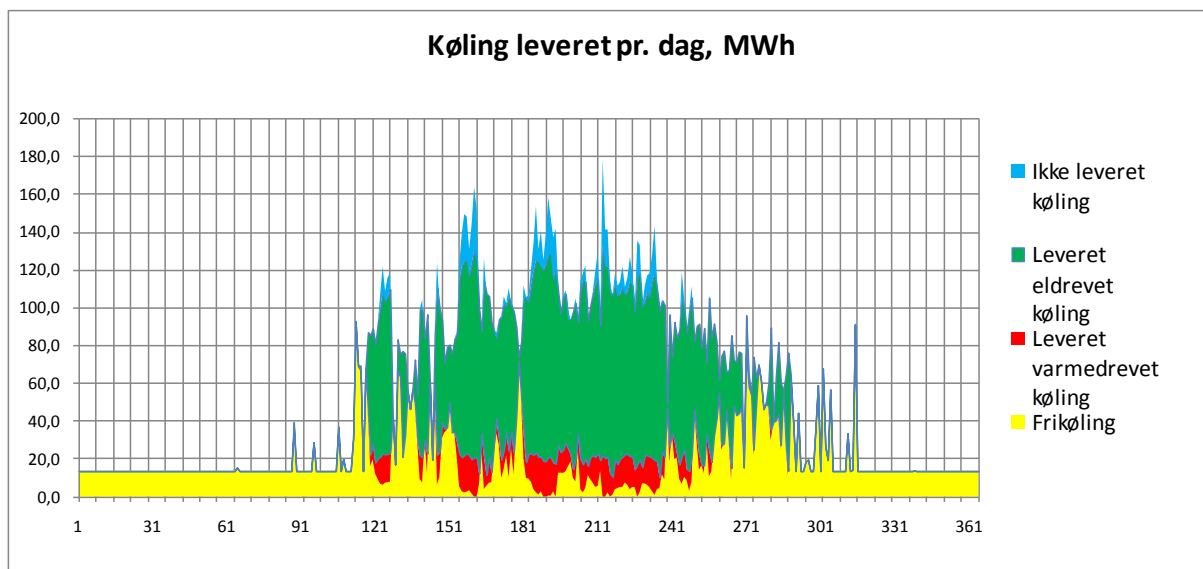
3.6 Resultat

Som nævnt opdateres beregningerne løbende og resultatet er synligt der hvor inddata skrives. Figur 16 til Figur 20 viser eksempler på output fra værktøjet.

Tabeller kan kopieres og overføres, grafer kan kopieres fra sheet "gafer" og "sys 1-6", men kun fanges med et print screen i de øvrige sheets.

Kølepris kr/kWh	Ex.	Inkl.
Reference	2.18	1.39
Anlæg	1.84	1.18
Prisreduktion		15%
Miljø , Tons CO2 pr. år		
Reference	3974	T pr. år
Anlæg	2529	T pr. år
CO2 reduktion	36%	

Figur 16 - Hovedresultatet er beregning af kølepris og CO₂ og sammenligning mellem referencen og fjernkøleanlægget. I almindelighed bruges tal hvor frikøling er medregnet (Inkl.).



Figur 17 - Resultat fra værktøjet. Viser beregnede værdier for levering af køling fra de indgående kølemaskiner og frikøling samt ikke leveret køling. Totalen svarer til kølebehøvet. Der er angives summerede værdier over et døgn.

Teknik

Samlet installeret køleeffekt	11.83 MW
Beregnet benyttelsestid (timer pr. år på fuldlast)	1690 Timer
Beregnet kapacitet til kondensering	17.67 MW
Beregnet kapacitet til luftkøler	17.67 MW
Beregnet kapacitet til køletårn	0.00 MW
Beregnet kapacitet til havvandskøler	0.00 MW
Beregnet kapacitet til grundvandskøling	0.00 MW
Eldrevet mask. kapacitet	9.47 MW
ADS mask. kap.	2.37 MW
ABS mask., kap	0.00 MW
Samlet kølebehov	20,001 MWh
Leveret eldrevet køling	10,824 MWh
Leveret varmedrevet køling	1,502 MWh
Leveret frikøling	6,863 MWh
Ikke leveret køling (udækket behov)	812 MWh
Leveret lavtemperatur varme	265.4 MWh
Leveret lavtmp. varme, procent	1%
Leveret mellemtemperatur varme	0.0 MWh
Leveret mellemtmp. varme, pct.	0%
Beregnet driftstimer, frikøling	7181 timer
Beregnet driftstimer, eldrevet køling	1904 timer
Beregnet driftstimer, varmedrevet køling	782 timer
Beregnet timer med udækket kølebehov	451 timer
Beregnet driftstimer med levering af lavtmp. varme	747 timer
Beregnet driftstimer med levering af mellemtmp. varme	0 timer

Figur 18 - Resultat tabel fra værktøjet vedr. tekniske beregninger på fjernkøleanlægget.

Økonomi

Beregnet som samlet installation pr. kW	kr/kW		
Investering, eldrevet maskine	2,000 kr/kW	18,930	t kr.
Investering, aDsorptions maskine	7,000 kr/kW	16,560	t kr.
Investering, aBsorptions maskine	2,500 kr/kW	-	t kr.
Investering, grundvandsanlæg	5,000 kr/kW	-	
Investering, luftkøler eller køletårn		35,340	t kr.
Investering, havvandskøler		-	t kr.
Investeringer fjernkølerør	15,000 kr/m	45,000	t kr.
Einstallationer		8,122	t kr.
Øvrige omk. pr. kW installeret	1,400 kr/kW	16,565	
Bygningsarbejder , tkr i alt		1,000	
Uforudsete rådgivning mv % af totalpris		28,303	
Samlet investering		169,820	t kr.
Samlet invest., kr. pr. kW installeret effekt		14,350	kr.

Udgift til el		1,749	t kr. /år
Udgift til varme til kølemaskiner		254	t kr. /år
Forrentning af investering	8%	17,297	t kr. /år
Drift, vedl. og reinvest.		2,810	t kr. /år
Administration	3%	5,095	t kr. /år
Vandforbrug, køletårn		-	t kr. /år
Udgifter i alt		27,204	t kr. /år
Indtægt, salg af varme		80	t kr. /år
Udgifter i alt , netto		27,124	t kr./år
Pris køling , ekskl. frikøling		2.20	kr/kWh
Pris køling - inkl. frikøling		1.41	kr/kWh

Figur 19 - Resultat tabel vedr. økonomi.

MWh	Kølebeh ov	Leveret eldrevet køling	Leveret varmedr evet køling	Frikøling	Ikke leveret køling	Behov, mellemt mp. varme	Leveret mellemt mp. varme	Ikke leveret mellemt mp. varme	Behov, lavtmp. varme	Leveret lavtmp. varme	Ikke leveret lavtmp. varme	Elforbrug til eldrevet maskine	Varme brugt til varmedr evet maskine
Jan	425	0	0	425	0	7,226	0	7,226	3,256	0	3,256	0	0
Feb	384	0	0	384	0	6,937	0	6,937	3,026	0	3,026	0	0
March	453	3	0	450	0	5,140	0	5,140	2,815	1	2,813	1	0
Apr	939	169	15	755	0	2,112	0	2,112	1,985	10	1,975	34	25
May	2,506	1,359	174	906	67	223	0	223	984	51	933	272	290
June	3,262	2,208	329	520	206	6	0	6	404	43	361	442	548
July	3,655	2,732	437	233	252	0	0	0	225	25	199	546	729
Aug	3,525	2,603	412	251	260	0	0	0	254	28	226	521	686
Sep	2,438	1,419	122	869	27	46	0	46	702	75	627	284	203
Oct	1,437	329	14	1,094	0	460	0	460	1,357	31	1,326	66	23
Nov	553	1	0	552	0	2,489	0	2,489	2,131	1	2,130	0	0
Dec	425	0	0	425	0	5,360	0	5,360	2,862	0	2,862	0	0
				0									
År	20,001	10,824	1,502	6,863	812	30,000	0	30,000	20,000	265	19,735	2,165	2,504

Figur 20 - Resultat tabel med beregnede månedsværdier for leveret køling og varme samt el- og varmeforbrug.

