



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Elforbrug i serverrum

Forprojekt



Køling i serverrum

Forprojekt

Søren Østergaard Jensen
Center for Energi i bygninger

Claus Schøn Poulsen
Lars Rasmussen
Center for Køle- og Varmepumpeteknik

Teknologisk Institut

april 2003

Forord

Nærværende rapport er resultatet af en forundersøgelse vedr. køling i serverrum finansieret af Elsparefonden og gennemført i perioden januar-april 2003.

Deltagere i projektet:

Søren Østergaard Jensen, Teknologisk Institut, Energi i Bygninger
Claus Schøn Poulsen, Teknologisk Institut, Køle- og Varmepumpeteknik
Lars Rasmussen, Teknologisk Institut, Køle- og Varmepumpeteknik
Nadeem Niwaz, Elsparefonden
Jan Viegand, Jan Viegand Analyse & Information

Der rettes en tak til de personer, som har afset tid til interview og fremvisning af serverrum fra:

Kolding Kommune
Miljødepartementet/-styrelsen
Forbrugerstyrelsen
Center for Informatik, Skov- og naturstyrelsen
Elsparefonden
Danmarks Miljøundersøgelser
HP & Compaq
SUN
IBM

Elforbrug i serverrum - forprojekt
1. udgave, 1. oplag, 2003
© Teknologisk Institut
Energidivisionen

ISBN: 87-7756-706-4
ISSN: 1600-3780

Indholdsfortegnelse

1.	Indledning	3
2.	Besigtigelse af serverum.....	4
2.1.	Kolding Kommune	5
2.2.	Miljødepartementet/-styrelsen	14
2.3.	Forbrugerstyrelsen	20
2.4.	Center for Informatik, Skov- og naturstyrelsen	26
2.5.	Elsparefonden	32
2.6.	Danmarks Miljøundersøgelser	39
2.7.	Sammenfatning	40
3.	Program til beregning af køleanlægs energiforbrug i serverrum	43
3.1.	Baggrund	43
3.2.	Model	43
3.3.	Hjælp til program	44
3.4.	Parametervariationer med modellen	47
3.5.	Sammenfatning	52
4.	Interviews med serverleverandører	54
4.1.	HP & Compaq	55
4.2.	SUN	57
4.3.	IBM	59
4.4.	Sammenfatning	60
5.	Schweiziske undersøgelse	61
5.1.	Fordeling af elforbrug	61
5.2.	Reduktion af elforbruget til serverrum	64
5.3.	Sammenfatning	66
6.	Besparelsespotentiale	67
7.	Konklusion	68
7.1.	Gode råd til serverrum	69

1. Indledning

Undersøgelser foretaget af Elsparefonden (Politiken, 10. april 2003) viser, at 30-35% af elforbruget i kontormiljøer sker om aftenen og om natten, hvor der er meget få eller ingen på arbejde. Dette store forbrug skyldes dels standby-forbrug af kopimaskiner, skærme, fax, modems, m.m. men også servere, der typisk aldrig bliver slukket. Servere bliver desuden ofte samlet i specielle rum, hvor varmelastningen er så høj, at det er nødvendigt med aktiv køling for, at serverne ikke skal gå ned på grund af for høje temperaturer.

Elsparefonden er i gang med at planlægge en kampagne for at reducere elforbruget i danske kontorer. Det er i den forbindelse nærliggende også at inddrage elforbruget i serverrum. Der er dog forholdsvis lidt viden om elforbruget i serverrum, og endnu mindre om, hvor stort elforbruget til aktiv køling er. For at kunne vurdere hvor stort besparelspotentiale er i forbindelse med serverrum, samt hvordan en kampagne bør gribes an, bad Elsparefonden i januar 2003 Teknologisk Institut om at gennemføre et forprojekt vedr. køling i serverrum.

Formålet med forprojektet var dels at tilvejebringe viden om, hvordan serverrum typisk er indrettet, hvad varmelastninger er, samt hvordan der køles, dels at tilvejebringe information og overblik, der kan danne grundlag for en estimering af el-besparelspotentialet i forbindelse med serverrum. Tilsammen skal dette danne grundlaget for en el-besparelser-kampagne rettet mod serverrum.

Projektet er grebet an på følgende måde:

- 6 serverrum blev udvalgt og besøgt. Så mange oplysninger som muligt – specielt om elforbrug til serverrum og køleanlæg blev indsamlet. Ved besøget blev der placeret små dataloggere til kontinuerlig måling af temperaturer og luftfugtighed over en kortere periode.
- en model af et køleanlæg til serverrum er blevet udviklet, og parametervariationer for to af de besøgte serverrum er blevet gennemført
- de største leverandører af servere er blevet interviewet med hensyn til anbefalede temperatur- og fugtforhold samt besparelsemuligheder i elforbrug og dermed varmelastning
- internationale kilder er blevet fremskaffet
- på baggrund af ovenstående undersøgelser er el-besparelspotentialet estimeret og tiltag til reduktion af elforbruget foreslået

2. Besigtigelse af serverrum

I undersøgelsen blev 6 serverrum udvalgt til besigtigelse. Alle 6 serverrum er ejet af offentlige institutioner – disse er måske ikke helt repræsentative for samtlige landets serverrum f.eks. i private virksomheder. Resultaterne formodes dog stadig at have så generel karakter, at de kan anvendes i et bredere perspektiv.

Ved besigtigelsen blev der lagt vægt på følgende områder:

- indsamling af informationer om elforbrug til servere, diske, UPS, m.m. og køleanlæg for at kunne fastlægge varmebelastningen i serverrummet samt køleanlæggets nyttevirkningsgrad. Det viste sig dog hurtigt at være vanskeligt at finde serverrum, hvor disse el-forbrug bliver målt.
- temperatur- og fugtforhold i serverrummet, idet temperaturen af luften til køleanlæggets fordampere har indflydelse på køleanlæggets effektivitet
- indretning af serverrummet – specielt hvordan den kolde luft fra køleanlægget tilføres serverne
- oplysninger om brugstid for serverne, antal brugere, mulighed for reduktion i elforbruget f.eks. ved slukning eller sleep-mode for serverne
- tekniske data for køleanlæggene

På baggrund af besigtigelserne blev forskellige nøgletal for serverrummene beregnet. På grund af manglende oplysninger – specielt om elforbrug – var det desværre ikke muligt at beregne disse nøgletal for alle serverrummene. Nøgletallene er:

- Elforbrug til køling pr. kWh varmebelastning
- Nytttevirkningsgraden af køleanlægget (det reciprokke af ovenstående nøgletal)
- Elforbrug til køling pr. bruger
- Elforbrug til servere pr. bruger
- Varmebelastning i forhold til rumstørrelse

I det følgende er resultatet af besigtigelserne beskrevet.

2.1. Kolding Kommune

Besøg d. 6/3-03 af:

Repræsentanter for Kolding Kommune:

Søren Østergaard Jensen og Nadeem Niwaz

Energiansvarlig Torben Chr. Andersen og IT-chef
Poul Ib Pedersen

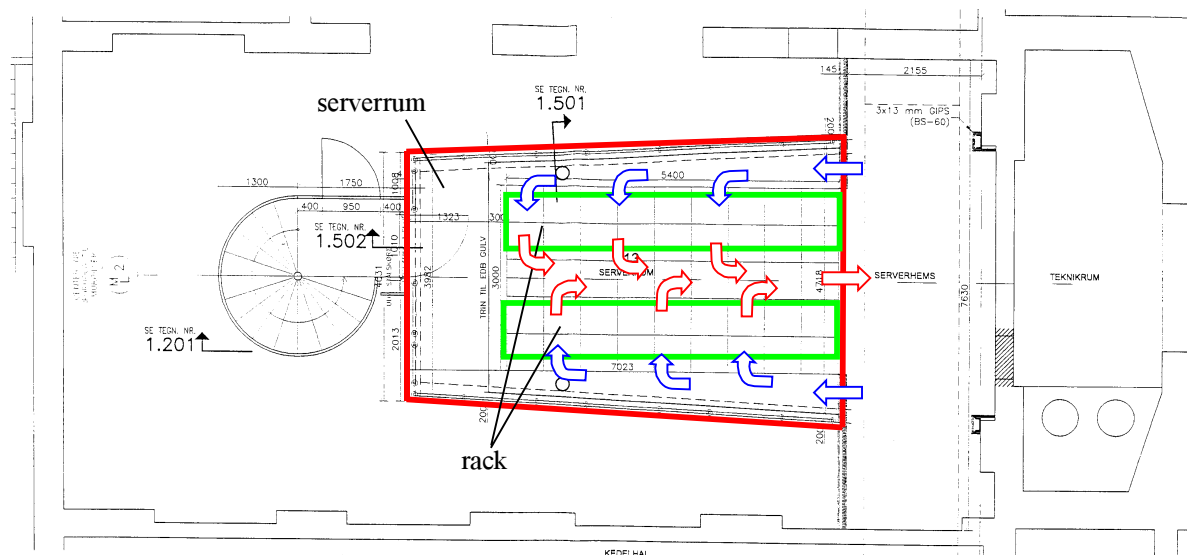
I forbindelse med mødet blev Kolding Kommunes serverrum besigtiget. Ligeledes blev rummet indeholdende serverrummets UPS samt et rum med Koldings Kommunes centrale telefonsystem og et lokalt krydsfelt besigtiget.

2.1.1. Serverrum

Kolding Kommunes IT-afdeling er beliggende i et tidligere elværk. Selve serverrummet er placeret "svævende" i første sals højde i en større hal med alle overfalder - undtagen én væg – direkte vendende mod luften i hallen. De tre vægge, der vender mod hallen består af 16 mm lamineret og tonet glas. Figur 2.1.1 viser et billede af serverrummet, mens figur 2.1.2 viser en plan over serverrummet med ca. placering af "rack'ne" med serverne samt ind- og udtag for kølesystemet og luftens vandring i serverrummet. Grundarealet af serverrummet er ca. 30 m², mens volumenet er ca. 75 m³.



Figur 2.1.1. Serverrummet.



Figur 2.1.2. Grundplan over serverrummet

Afkølet luft blæses ind langs rack og glasvægge i begge sider af serverrummet. Indblæsningen er vist i figur 2.1.3. Luften passerer gennem rack'ne og samles i midtergangen mellem rack'ne, hvorfra den suges tilbage til køleanlægget. Luften recirkuleres, fordi der som brandbeskyttelse anvendes et inergen-anlæg med indblæsning af N_2 , Ar og CO_2 for at kvæle ilden.



Figur 2.1.3. Den ene af køleanlæggenes indblæsning til serverrummet.

2.1.1.1. Køleanlæg

Køleanlægget er delt i to identiske anlæg – med indblæsning i hver side af serverrummet. Anlæggene styres med en termostat i hver afkastkanal. Sætpunktet for termostaterne er sat til 22°C, idet dette er den normalt anbefalede omgivelsestemperatur for servere. En alarm aktiveres, hvis temperaturen i afkastene overstiger 30°C.

Køleanlæggenes kondensatorer er placeret i et separat rum bag serverrummet. Rummet er udstyret med afkastventilation og kanalført udeluft til servernes kondensatorer (ikke til serverrummet). Figur 2.1.4 viser køleanlæggenes kondensatorside, men figur 2.1.5 viser kanalen med tilluften til kondensatorerne.



Figur 2.1.4. De to køleanlægs kondensatorer, der servicerer serverrummet.

Tekniske data for køleanlæggene: Max. kompressoreffekt: 9,4 kW pr. anlæg
Køleeffekt ved 27/35°C: 19,5 kW
Max. ventilatoreffekt i kondensatordelen: 2 x 0,24 kW pr. anlæg
Max. ventilatoreffekt i fordamperdelen: 1,25 kW pr. anlæg



Figur 2.1.5. Køleanlæggenes kondensatorer og kanalen, der leder udeluft til kondensatorerne.

2.1.1.2. Servere

Serverrummet indeholder ca. 80 servere plus diverse diske. Serverne anvendes både til filhåndtering/lagring og eksekvering af programmer. Stort set alle programmer anvendt af Kolding kommune eksekveres på serverne. Kun et fåtal køres på pc'er, som for øvrigt er ved at blive udskiftet med terminaler¹.

Serverne servicerer 1600-1700 brugere.

Serverne kører hele tiden, da de er udviklet til dette. Driftstop i perioder med lav eller ingen aktivitet vil medføre større fejlrate samt kortere levetid. Driftstop udenfor normal arbejdstid er desuden ikke mulig på grund af hjemmearbejdspladser samt enkelte kommunale døgninstitutioner.

Der er valgt at bruge mange små servere i stedet for få større, fordi serverne tjener forskellige formål samt på grund af hastighed og harddisk-plads.

2.1.1.3. Energiforbrug + temperatur- og fugtforhold

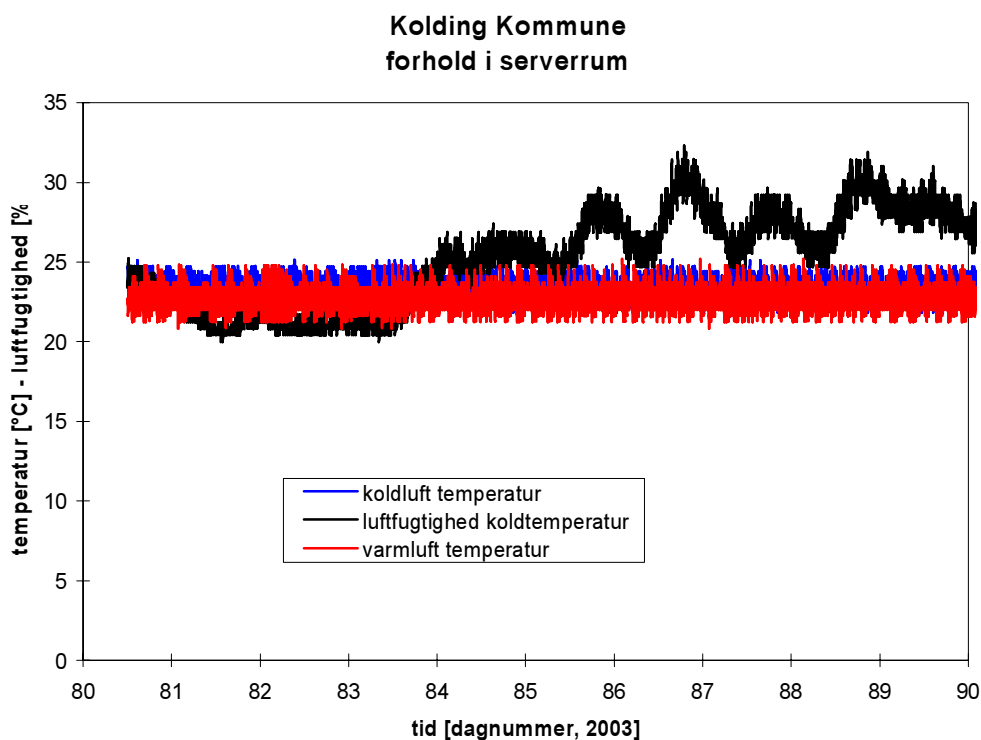
Energiforbruget i IT-afdelingen er målt til 278.000 kWh/år fordelt på følgende kategorier (ref):

- servere:	54% = 150.000 kWh
- køling af serverrum:	24% = 67.000 kWh
- ventilation – ikke serverrum:	13% = 36.000 kWh
- andet:	9% = 25.000 kWh

¹ En terminal sørger udelukkende for opkobling til en server. Den indeholder ikke regnekraft, harddisk, m.m.

Da serverne kører kontinuerlig er det gennemsnitlige effektforbrug (= varmebelastningen i serverrummet) $150.000/365/24 = 17 \text{ kW}$.

Figur 2.1.6-7 viser lufttemperaturen og den relative fugtighed til serverne (koldluft-temperatur) og lufttemperaturen til køleanlægget (varmluft-temperatur) samt lufttemperaturen og den relative fugtighed i hallen, serverrummet er placeret i målt i perioden 21-30 marts 2003.



Figur 2.1.6. Tempertur og relativ fugtighed af tilluften til serverne i perioden 21-30 marts 2003.

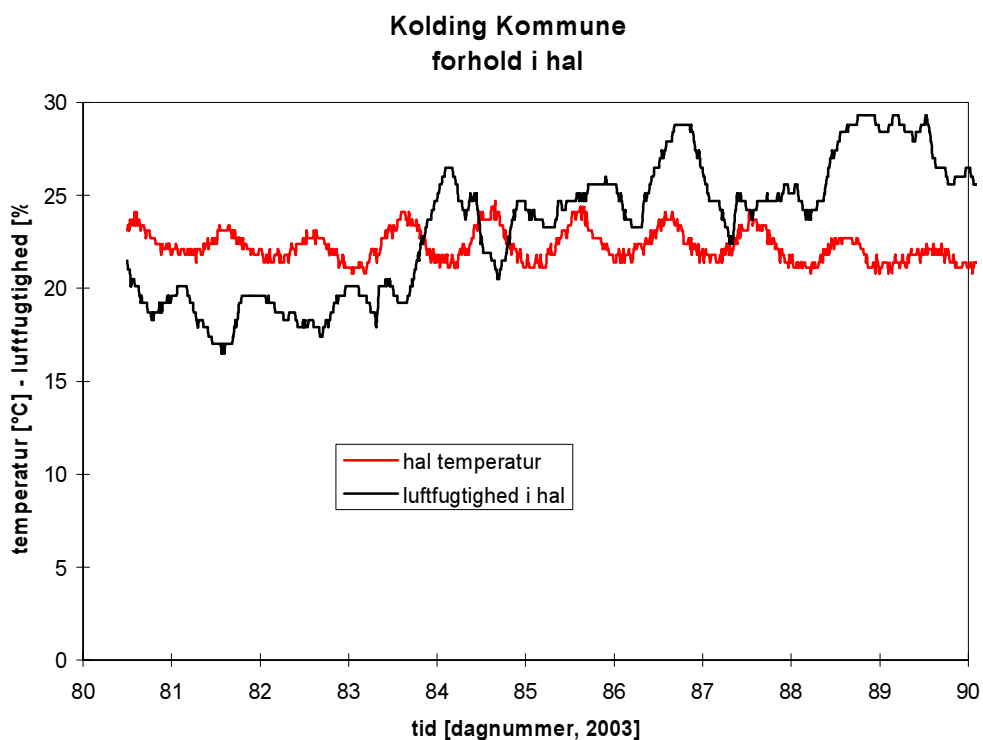
Figur 2.1.6 viser, at lufttemperaturen til køleanlægget faktisk er lavere end lufttemperaturen fra køleanlægget – i snit 0,7 K. Det kan selvfølgelig ikke passe og skyldes dels måleunøjagtighed dels, at dataloggeren til registrering af den kolde luft til serverne er placeret, så den nok ikke måler den rigtige middeltemperatur af den kolde luft til serverne. Men figur 2.1.6 indikerer, at der cirkuleres alt for meget luft i serverrummet, hvoraf kun en lille del passerer serverne. Dette giver en dårligere effektivitet for køleanlægget – se også næste kapitel.

Figur 2.1.6 viser, at luftfugtigheden er betydeligt lavere end de 50 % anbefalet af serverleverandørerne. Den relative luftfugtighed svinger mellem 20 og 32 %.

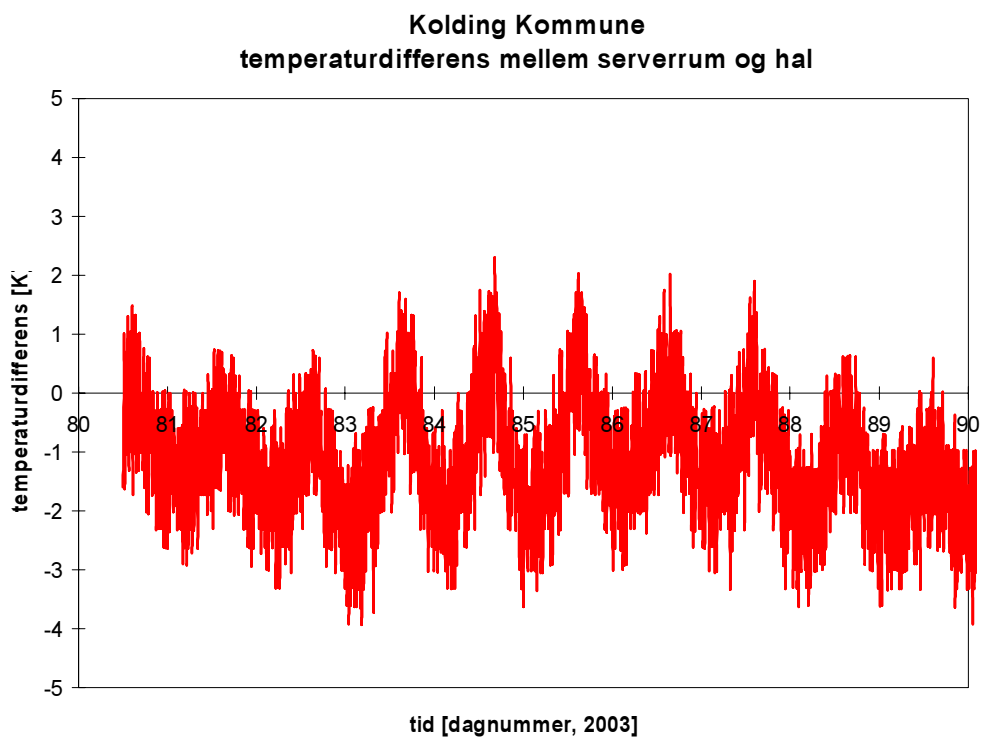
Figur 2.1.6 viser, at temperaturen af luften til serverne i perioden i gennemsnit var 23°C, mens hallens temperatur i gennemsnit var omkring 22,3°C dog noget svingende. Figur 2.1.8 viser temperaturforskellen mellem luften til serverne og hallens lufttemperatur.

Temperaturforskellen over serverrummets glasvægge var i gennemsnit omkring -0,7 K. U-værdien over et enkelt lag glas er i størrelsesordenen 5 W/Km^2 . Glasvæggene er i alt ca. 18 m – med en højde på 2,5 m giver det et areal på 45 m^2 . Det giver et varmetab fra serverrummet

på: $0,7 \text{ W/Km}^2 \times 5 \text{ K} \times 45 \text{ m}^2 = 0,15 \text{ kW}$ – eller i gennemsnit en reduktion af varmebelastningen på under 1 %. Temperaturforskellen mellem serverrum og hal svinger i følge figur 2.1.8 mellem 1,5 og -4 K. Varmebelastningen i rummet svinger derfor med -5% (nat) - +1% (dag).



Figur 2.1.7. Tempertur og relativ fugtighed af luften i hallen omkring serverrummet i perioden 21-30 marts 2003.



Figur 2.1.8. Temperaturdifferens mellem serverrum og hal i perioden 21-30 marts 2003.

Der regnes i det følgende med, at varmebelastningen i serverrummet er i størrelsesordenen 17 kW.

Nogletal

Elforbrug til køling pr. varmebelastning:	$67.000 / 150.000 =$	$0,45 \text{ kWh}_{\text{køl}}/\text{kWh}_{\text{belastning}}$
$\Rightarrow$ køleanlæggets nyttevirkningsgrad	$0,45^{-1} =$	2,24
Elforbrug til køling pr. bruger:	$67.000 / 1.650 =$	$40,6 \text{ kWh}_{\text{køl}}/\text{bruger}$
Elforbrug til servere pr. brugere:	$150.000 / 1.650 =$	$90,9 \text{ kWh}_{\text{server}}/\text{bruger}$
Varmebelastning pr. rumstørrelse:	$17 / 75 =$	$0,23 \text{ kW}_{\text{belastning}}/\text{m}^3_{\text{rum}}$

2.1.1.4. Forbedringer

Kolding Kommune undersøger i øjeblikket et skift fra mange små servere med hver sin funktion til få logiske servere² placeret på få store fysiske servere. Det antages at 30-40 af de eksisterende servere kan flyttes over til 2 store logiske servere, hvorved energiforbruget til serverne reduceres. Et serverfirma har anslået den årlige besparelse til 150.000 kWh, hvilket dog dårligt harmonerer med det i dag samlede årlige elforbrug til ca. 80 servere + diske på 150.000 kWh. Der arbejdes videre med disse planer, specielt fordi denne løsning på sigt er billigere både i anskaffelse og drift. Og vil givetvis også spare på elforbruget, idet der kræves færre strømforsyninger. Hvis lagerkapaciteten desuden skiftes fra mange små diske til få store diske, vil elforbruget yderligere falde.

Det vurderes, at der cirkuleres alt for meget luft i serverrum og køleanlæg. Der bruges derfor alt for meget energi til ventilatoren i køleanlæggets luftside, energi som forøger varmebelastningen i rummet og dermed forringer køleanlæggets nyttevirkningsgrad. Dette er behandlet mere detaljeret i næste kapitel.

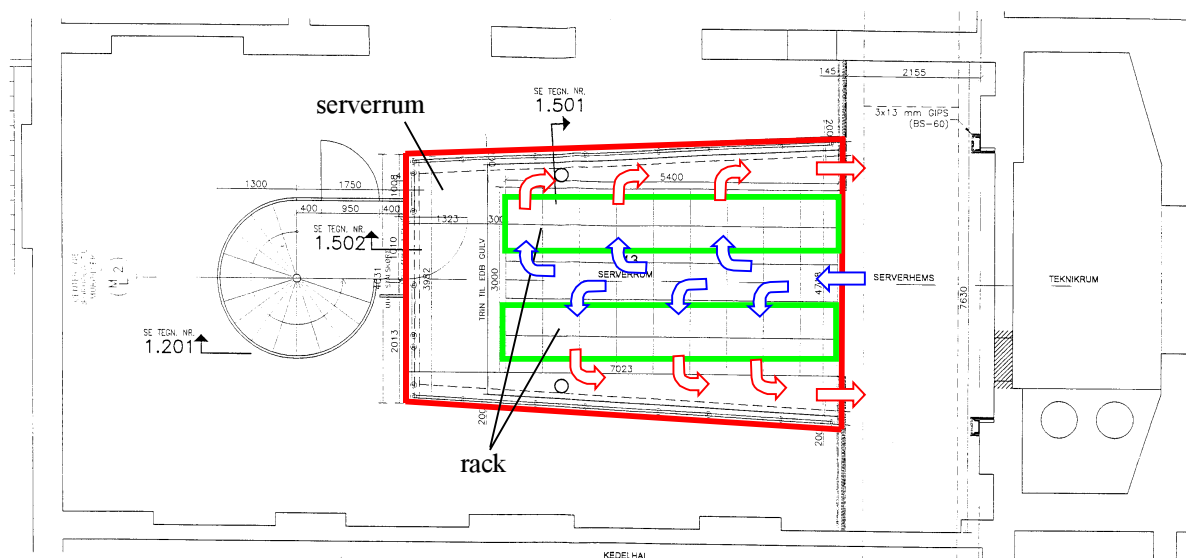
Rack'ne når desuden ikke helt op til loftet og heller ikke helt ned til væggen modsat indblæsningen af den kolde luft. Der er derfor risiko for, at ikke al den kolde luft passerer gennem serverne – hvis serverne suger mindre luft gennem sig end køleanlæggene cirkulerer. Noget af den afkølede luft vil derfor ikke blive "brugt" og resulterer i, at tilløbstemperaturen til køleanlæggenes fordampere er lavere end nødvendigt, hvilket vil resultere i en lavere effektivitet for køleanlæggene. Det formodes, at det er hvad der rent faktisk sker, på grund af den meget store volumenstrøm gennem køleanlægget. Dette problem kunne løses ved at opsætte plader mellem rack og loft samt indsætte en dør til mellemgangen mellem rack'ne – og desuden indregulere den cirkulerede luftmængde efter forholdene.

Supplerende direkte køling med udeluft: IT-afdelingens umiddelbart eneste bekymring er, at inergen-brandsluknings-anlægget ikke vil fungere, da ventilationsanlægget kontinuert vil til-

² På en logisk server (også kaldet virtuel server) er det muligt at køre flere forskellige styresystemer og afvikle forskellige applikationer med meget forskellige krav til server-specifikationer på samme server. Der allokeres områder til de enkelte styresystemer og applikationer, mens CPU-kapaciteten er "flydende" – dvs. der kan over tid tilføres mere eller mindre regnekraft til de enkelte applikationer afhængig af prioritering, og hvor hårdt belastet serveren er. På grund af samtidighedsfaktoren er der samlet behov for mindre CPU-kapacitet ved en stor logisk server end ved mange små servere med hver deres formål.

føre ilt. Dette kan dog hindres ved at montere brandspjæld koblet til samme sensorer, der aktiverer inergen-anlægget.

Der er i Kolding Kommunes serverrum ingen ekstra varmebelastning som følge af "kuldatabet" til hallen, da hallen er koldere end serverrummet. Men hvis Kolding Kommune mere strikt ville følge serverleverandørenes anbefalinger med en lufttemperatur til serverne på 20°C, ville varmebelastningen i serverrummet blive forøget. Denne forøgelse i varmebelastningen kan undgås, hvis serverne og dermed luftstrømmene blev vendt som vist i figur 2.1.9, idet den opvarmede luft efter serverne da vil bestrøge glasvæggene.



Figur 2.1.9. Vendt luftstrømning i serverrummet med mindre kuldatab til omgivelserne.

Køleanlæggenes kondensatorer sidder ikke direkte i udeluft. Udeluften tilføres via en lang kanal (hvor udeluften opvarmes lidt) inde i rummet med køleanlæggenes kondensatorer, og luften "afleveres" før kondensatorerne, som det ses af figur 2.1.5 – dvs. der kan forekomme en kortslutning, hvor også rumluft suges gennem kondensatorerne. Tilførslen af udeluft drives desuden af afkastventilatorer – en del af udeluften kommer derfor givetvis også gennem revner og sprækker, hvilket yderligere forøger fornævnte kortslutning. Kondensatoren til køleanlægget i rummet med serverrummets UPS er også placeret i rummet, dog uden direkte tilførsel af udeluft - men derimod luft forvarmet gennem serverrummets kondensatorer, hvilket reducerer effektiviteten af dette køleanlæg.

2.1.1.5. Overvejelser ved nyanskaffelser

Energiforbrug til servere og dermed kølebehov spiller ingen eller meget lille rolle ved valg af servere. Det er funktion, stabilitet og pris, der bestemmer valget.

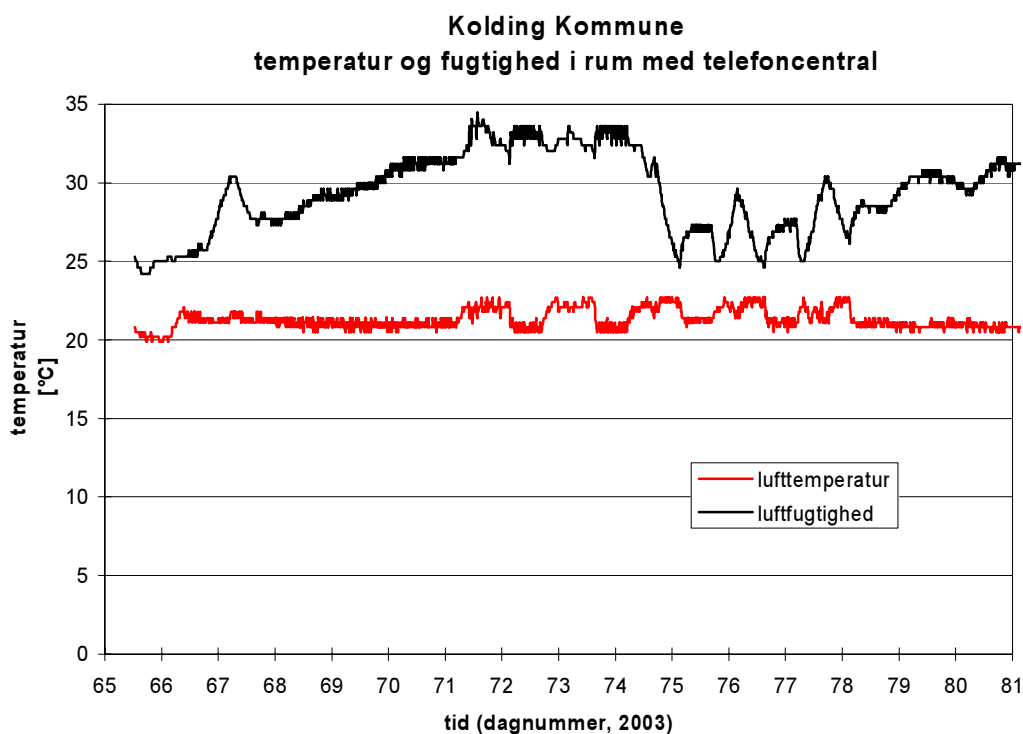
2.1.2. Andre kølekrævende rum

Ud over serverrummet blev som nævnt rummet indeholdende serverrummets UPS samt et rum med Kolding Kommunes centrale telefonsystem og et lokalt krydsfelt besigtiget – begge med køleanlæg. Af denne besigtigelse fremgik det, at denne type rum rent kølemæssige kan sidestilles med serverrum – dvs. der er her også brug for køling, med mindre et lokalt kryds-

felt er lille. Temperaturkravne er dog nok lidt anderledes i disse rum end i serverrum. De bør principielt medtages i en dybere undersøgelse af besparelspotentialt for køling i serverum/edb-rum.

Kolding Kommunes Tekniske Forvaltning så sig nødsaget til at installere køling i deres lokale krydsfelt på grund af to nedbrud i sommeren 2003. Nedbrudene formodes at skyldes overophedning.

Figur 2.1.9 viser lufttemperatur og relativ luftfugtighed i rummet med det centrale telefonsystem og et lokalt krydsfelt målt i perioden 6-21 marts 2003. Temperaturen svinger mellem 20 og 23°C, mens den relative luftfugtighed er mellem 24 og 34%.



Figur 2.1.9. Temperatur og relativ fugtighed af i rummet Koldings Kommunes centrale telefonsystem og et lokalt krydsfelt i perioden 6-21 marts 2003.

2.2. Miljødepartementet/-styrelsen

Besøg d. 13/3-03 af:

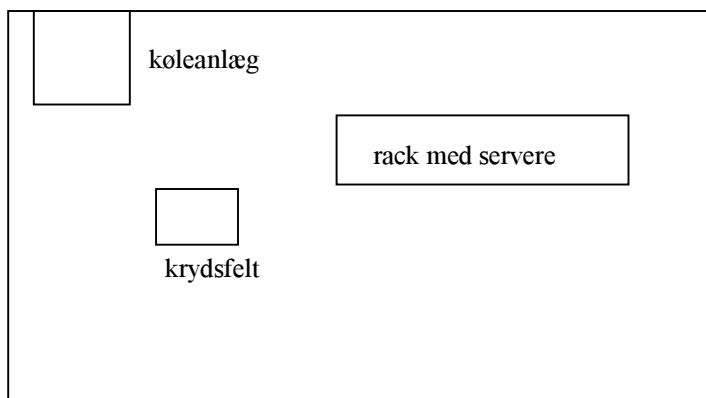
Søren Østergaard Jensen, Nadeem Niwaz og Jan Viemand

Repræsentant for Miljødepartementet: Specialkonsulent Søren Jensen

I forbindelse med mødet blev serverrummet i departementet og styrelsen samt rummet indeholdende departementets centrale telefonsystem besigtiget.

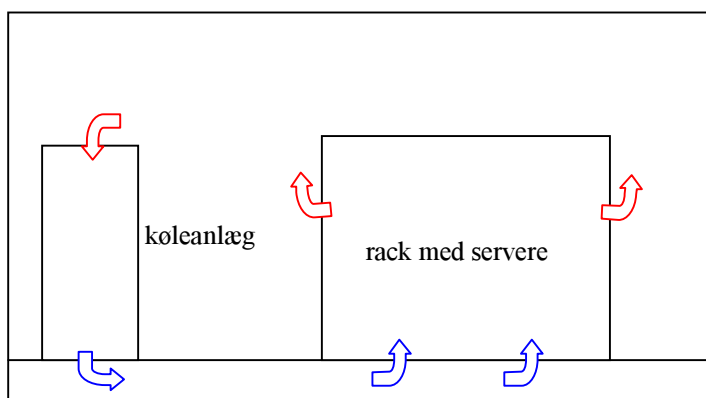
2.2.1. Serverrum i departementet

Departementets serverrum er beliggende i kælderen og er uden vinduer. Rummet har et grundareal på ca. 23 m² og et volumen på 59 m³. Figur 2.2.1 viser en skitse af indretningen i rummet. Serverrummets UPS er placeret i en cykelkælder ved siden af – dette rum har ikke køling.



Figur 2.2.1. Skitse af indretningen af serverrummet.

Figur 2.2.2 viser en skitse af luftens bevægelse mellem køleanlæg og rack. Luften suges ind igennem toppen af køleanlægget og blæses ned under et hævet gulv. Den kolde luft kommer ind i bunden af rack'ne med serverne og blæses ud gennem de to lange sider i figur 2.2.1. Luften recirkuleres. Som brandbeskyttelse anvendes et inergen-anlæg med indblæsning af N₂, Ar og CO₂ for at kvæle ilden.



Figur 2.2.2. Luftstrømning mellem køleanlæg og rack.

2.2.1.1. Køleanlæg

Køleanlægget er fra Hiross type spot 60. Køleanlæggets kondensator er anbragt på bygnings tag i det fri.

Det var desværre ikke muligt at fremskaffe tekniske data for køleanlægget.

2.2.1.2. Servere

Det var heller ikke muligt at fremskaffe oplysninger om serverne, som dog formodes at være både fil- og applikations-servere.

Serverne kører hele døgnet på grund af natlig back-up og hjemmearbejdspladser.

Serverne servicerer ca. 150 brugere.

2.2.1.3. Energiforbrug + temperatur- og fugtforhold

Energimålere bliver løbende aflæst for elforbruget i serverrummet minus køleanlæg og elforbruget til køleanlægget. Elforbruget er opgjort for perioden 1/2-2002 – 6/1-2003 (dvs. næsten et år). Elforbruget de resterende 23 dage er fundet ved at antage samme daglige elforbrug som for den sidste aflæsningsperiode (2/12-02 – 6/1-2003). Det årlige elforbrug er således ca.:

- servere: 39.000 kWh
- køling af serverrum: 23.400 kWh

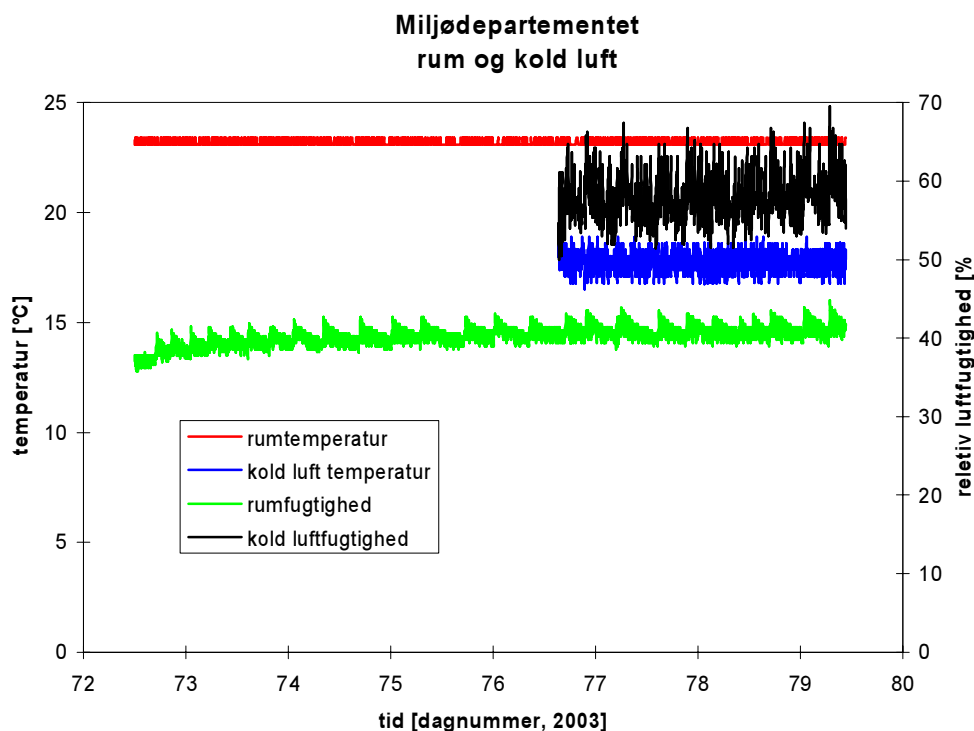
Da serverne kører kontinuerlig er det gennemsnitlige effektforbrug (= varmelastningen i serverrummet) $39.000/365/24 = 3,3$ kW.

Ved besøget blev forskellige temperature målt:

Lufttemperaturen i serverrummet: 21,9°C
Tilluft til bunden af rack'ne: 16,6°C
Fraluft fra to servere: 23,6 og 23,9°C
Luftfugtighed aflæst på køleanlæg: 41,9%

Figur 2.2.3 viser lufttemperaturen og den relative fugtighed i serverrummet målt i perioden 13-20 marts 2003. Fra d. 17. marts blev dataloggeren i styrelsens serverrum (se senere) flyttet til departementets serverrum, hvor den blev placeret under gulvet under server-rack'ne for at måle på tilluften til rack'ne fra køleanlægget.

Figur 2.2.3 viser, at temperaturen af luften i serverrummet i perioden var meget stabil med et gennemsnit på 23,2°C, mens temperaturen af tilluften til server-rack'ne svingede lidt mere med en middelværdi på 17,7°C. Den relativ luftfugtighed var i rummet svagt stigende over perioden med en middelværdi på 40,3%, mens den relative luftfugtighed af tilluften fra køleanlægget svingede omkring 57,7%.



Figur 2.2.3. Tempertur og relativ fugtighed i serverrummet i perioden 13-20 marts 2003.

En tilluft på 17,7°C er lavere end anbefalet af serverfabrikanterne, men da luften kommer ind forneden i rack'ne, betyder det, at de øverste servere kan arve opvarmet luft fra de lavere placerede servere. Den lave tilløbstemperatur kan derfor være nødvendigt i dette tilfælde, men kunne være hævet ved en mere hensigtsmæssig placering af tilførslen af kold luft i forhold til indsugningen til de enkelte servere. Den relative luftfugtighed i tilluften til serverne er indenfor anbefalingerne fra serverfabrikanterne.

Nøgletal

Elforbrug til køling pr. varmebelastning: $23.400 / 39.000 = 0,6 \text{ kWh}_{\text{køl}}/\text{kWh}_{\text{belastning}}$

$\Rightarrow$ køleanlæggets nyttevirkningsgrad $0,6^{-1} = 1,67$

Elforbrug til køling pr. bruger: $23.400 / 150 = 156 \text{ kWh}_{\text{køl}}/\text{bruger}$

Elforbrug til servere pr. brugere: $39.000 / 150 = 260 \text{ kWh}_{\text{server}}/\text{bruger}$

Varmebelastning pr. rumstørrelse: $3,3 / 59 = 0,06 \text{ kW}_{\text{belastning}}/\text{m}^3_{\text{rum}}$

2.2.1.4. Forbedringer

Køleanlægget har en lavere nyttevirkningsgrad end i Kolding Kommunes Serverrum: 1,67 mod 2,24 i Kolding. Der bruges mere køling pr. bruger end i Kolding Kommune: 156 kWh mod 41 kWh i Kolding, hvilket skyldes det større elforbrug til serverne pr. bruger: 260 kWh mod 91 kWh i Kolding. Det bør overvejes, om elforbruget til serverne kan reduceres, desuden

kan tilløbstemperaturen til serverne måske hæves. Denne temperatur kan ifølge leverandører af servere hæves til 20°C, medmindre luften til serverne øverst i rack'ne opvarmes for meget at de lavere siddende servere.

Ved besigtigelsen af serverrummet blev det desuden konstateret, at der var flere huller i det hævede gulv end de under serverne. Dvs. ikke al den kolde luft passerer gennem serverne. Noget af den afkølede luft bliver derfor ikke "brugt" og resulterer i, at tilløbstemperaturen til køleanlæggets fordampere er lavere end nødvendigt, hvilket vil resultere i en lavere effektivitet for køleanlæggene.

Supplerende direkte køling med udeluft.

2.2.2. Rum med telefoncentral

Telefoncentralen er ligeledes placeret i kælderen, men tæt på et varmerum. Rummet foran havde ved besøget en temperatur på 24°C.

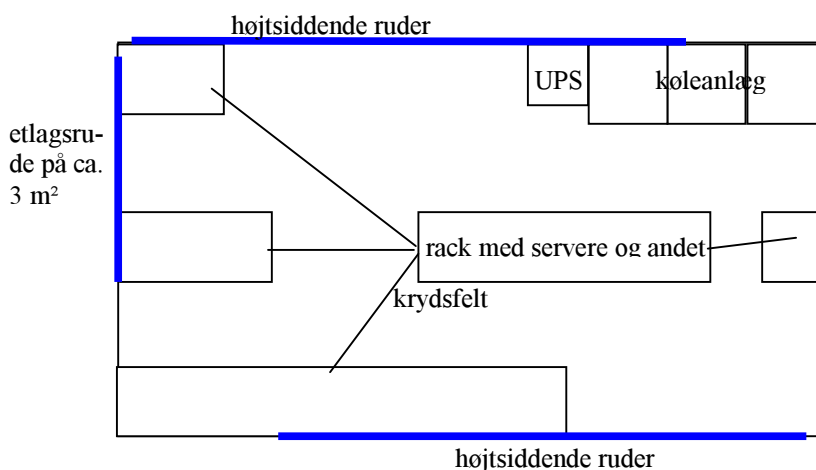
Rummet er udstyret med et lille split køleanlæg fra Daikin. Anlæggets kondensator er placeret i en garage uden meget udluftning. Ved besøget var lufttemperaturen i garagen 27,2°C, mens udeluften var omkring 8°C. Rumtemperaturen blev målt til 22,7.

Elforbruget til køling er i samme periode som for departementets serverrum målt til 5.200 kWh/år.

Hvis kondensatoren i stedet blev fødet med udeluft, ville elforbruget til køling af rummet med telefoncentralen helt givet blive reduceret drastisk.

2.2.3. Serverrum i styrelsen

Styrelsens serverrum er beliggende på første sal med vinduer til tilstødende rum. Rummet har et grundareal på ca. 32 m² og et volumen på ca. 85 m³. Figur 2.2.4 viser en skitse af indretningen i rummet.



Figur 2.2.4. Skitse af indretningen af serverrummet.

Kølingen foregår i princippet som vist i figur 2.2.2. Men her af tre stk. køleanlæg fra Hiross. Kondensatorerne er også her placeret på taget i det fri. Som brandbeskyttelse anvendes også her et inergen-anlæg med indblæsning af N₂, Ar og CO₂ for at kvæle ilden.

Der er ca. 360 brugere til serverne.

2.2.3.3. Energiforbrug + temperatur- og fugtforhold

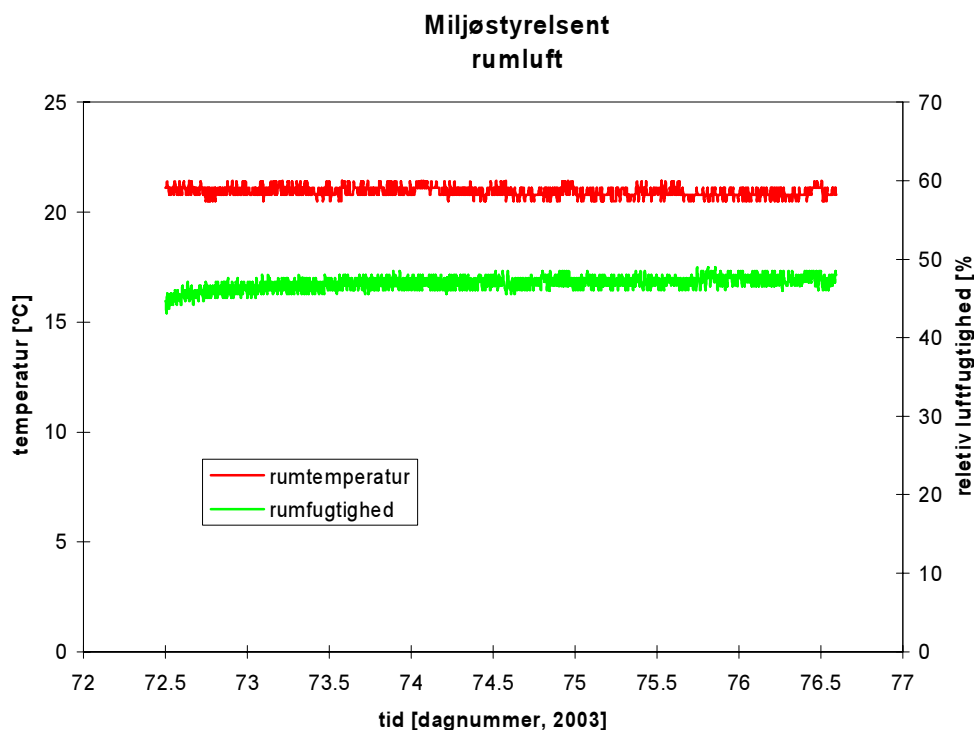
Der er ikke blevet målt differentieret på elforbruget i serverrummet. Nedenfor er angivet elforbrug for servere m.m. og køleanlæg.

- 2002: 213.335 kWh
- 2001: 193.531 kWh

Ved besøget blev forskellige temperature målt:

Lufttemperaturen i serverrummet: 21,5°C
Tilluft til bunden af rack'ne: 19,1°C
Fraluft fra to servere: 23,4 og 23,8°C
Luftfugtighed aflæst på køleanlæg: 48,5%
Lufttemperatur i rum på den anden side af ruden på 3 m² (figur 2.5): 22,2°C – dvs. kun et lille kuldetab til dette rum

Figur 2.2.5 viser lufttemperaturen og den relative fugtighed i serverrummet målt i perioden 13-17 marts 2003 (hvor dataloggeren blev flyttet til departementets serverrum).



Figur 2.2.5. Tempertur og relativ fugtighed i serverrummet i perioden 13-17 marts 2003.

Figur 2.2.5 viser, at temperaturen af luften i serverrummet i perioden var meget stabil med et gennemsnit på 20,9°C. Den relativ luftfugtighed var i rummet svagt stigende over perioden med en middelværdi på 46,7%.

Rumtemperaturen er her lavere end i departementets serverrum, ligesom spotmålingerne ved besøget viser en højere koldlufttemperatur end i departementets serverrum. Der er derfor mulighed for, at køleanlægget har en højere nyttevirkningsgrad end i departementets serverrum. Der findes dog ingen opsplittede målinger, der kan verificere dette.

Det samlede effektforbrug (servere m.m. plus køling) var i departementets serverrum 62.400 kWh/år til 150 brugere – dvs:

Samlet elforbrug i serverum pr. bruger i departementet:	$62.400 / 150 = 416 \text{ kWh/bruger}$
Samlet elforbrug i serverum pr. bruger i styrelsen:	$213.335 / 360 = 592 \text{ kWh/bruger}$

Energiforbruget pr. bruger i styrelsens serverrum er omkring 40% højere end i departementets serverrum. Dette kan dog skyldes, at styrelsen har brug for mere regnekraft end departementet.

2.3. Forbrugerstyrelsen

Besøg d. 21/3-03 af:

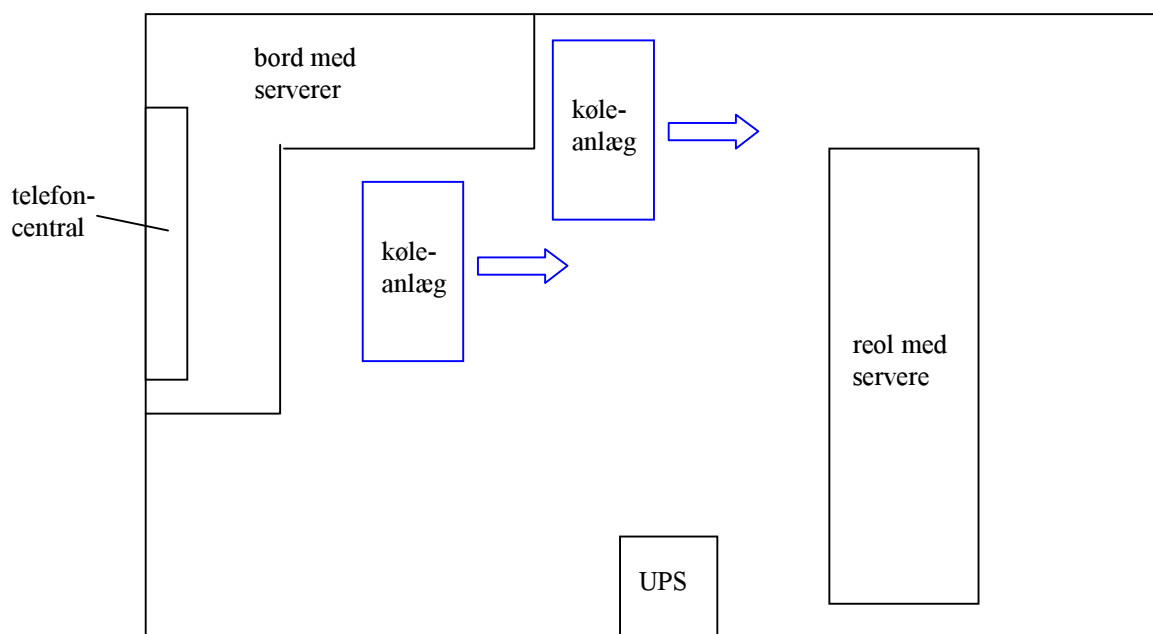
Søren Østergaard Jensen, Nadeem Niwaz og Jan Viegand

Repræsentanter fra Forbrugerstyrelsen: Fra IT-afdelingen: Mladen Cipek og Bjarne Fischer

I forbindelse med besøget hos Forbrugerstyrelsen blev styrelsens serverrum besigtiget.

2.3.1. Forbrugerstyrelsens serverrum

Forbrugerstyrelsens serverrum er beliggende i kælderen og er uden vinduer. Rummet har et grundareal på ca. 24 m² og et volumen på ca. 56 m³. Figur 2.3.1 viser en skitse af indretningen i rummet. Ud over serverer er serverrummets UPS samt styrelsens telefoncentral placeret i rummet. Telefoncentralen er også tilsluttet UPS'en.



Figur 2.3.1. Skitse af indretningen af serverrummet. Pilene viser retningen på den kolde luft fra køleanlæggene.

2.3.1.1. Køleanlæg

Som indikeret i figur 2.3.1. findes der to køleanlæg i serverrummet. Begge er monteret under loftet – se figur 2.3.2. Begge køleanlæg er mindre split-anlæg fra firmaet Mitsubishi Electric og af typen Mr. Slim. Anlæggene er af forskellig dato. Anlægget til højre i figur 2.3.1 er sandsynligvis opsat i 1989, mens det andet er opsat senere (hvornår vides ikke). Det ældste anlæg er type PU-2VG5, mens det nye anlæg er type PUH-4YKSA. Anlæggenes kondensatorer er opsat udenfor på hver side af bygningen – kondensatorerne er vist i figur 2.3.3.

Anlæggene har forskellig størrelse. Max. kompressor-effekt i det ældste anlæg er 1,7 kW, mens den i det nyeste anlæg er 2,7 kW.



Figur 2.3.2. De to køleanlæg i serverrummet. Vedr. pilene – se senere.



Figur 2.3.3. Køleanlæggenes udedel med kompressor, kondensatorer, m.m.

Som det indikeres i figur 2.3.1 og ses i figur 2.3.2, er der en risiko for at kold luft fra det ældste anlæg suges ind i det nyeste anlæg, når begge anlæg er i drift. Dette vil forringe kølekapaciteten og effektiviteten af det nyeste anlæg. Om vinteren benyttes primært det nyeste anlæg. Dog ikke ved besigtigelsen. Ventilatoren på det ældste anlæg kørte og opvarmede luften fra 23,1 til 24,3°C. Det ældste anlæg gav således ved besigtigelsen en unødvendig forøgelse af varmebelastningen i rummet. I løbet af weekenden (dag 82 i figur 2.3.6-7) gik det ældste anlæg i gang, hvorved luften til det nyeste anlæg blev så lav, at dennes termostat slog anlægget fra, hvorved temperaturen i rummet steg, som det ses i figur 2.3.6-7. Om mandagen (dag 83) blev dette opdaget og lamellerne i udblæsningen fra det ældste anlæg blev peget mere nedad mod gulvet, hvorefter de nyeste anlæg gik i gang igen.

Termostaten for køleanlæggene var sat til 23°C.

2.3.1.2. Servere

Serverne i serverrummet er meget forskellige - fra egentlige servere til traditionelle pc'ere. Typisk bliver der indkøbt en ny server for hvert nyt produkt, idet dette letter installering og servicering. Det formodes derfor, at der er en del overkapacitet af regnekraft, hvilket medfører en højere varmebelastning. Serverne er både fil- og applikationsservere. Programmer for tekstbehandling, regneark, m.v. findes på brugernes pc'er.



Figur 2.3.4. Serverne i reolen vist i figur 2.3.1. Andre servere er vist i figur 2.3.2.

Serverne kører i døgndrift på grund af natlig backup og hjemmearbejdspladser, samt fordi serverne ikke har godt af at blive lukket ned. Der anvendes ingen form for neddrøsling af serverne i lavlastperioder. Leverandøren af servere er kontraktlig forpligtet til at levere "grønne" produkter. Dette betyder sandsynligvis, at delene i serverne kan genbruges, ikke at serverne har et specielt lavt energiforbrug.

Levetiden for servere er som regel mindst dobbelt så lang som for pc'ere.

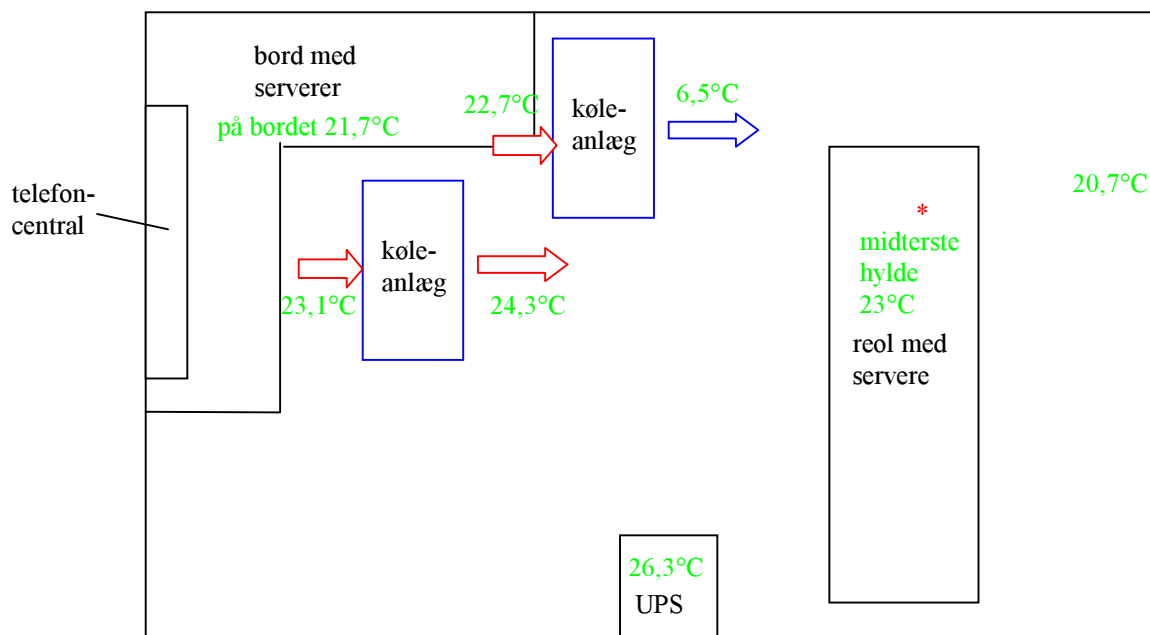
Serverne servicerer ca. 120 brugere.

2.3.1.3. Energiforbrug + temperatur- og fugtforhold

Energiforbruget i serverrummet og til køleanlægget registreres ikke. Ved besigtigelsen blev UPS'ens amperemeter aflæst til 10 A. Hvis det antages, at spændingen til UPS'en var 230 V, var det øjeblikkelige effektforbrug og dermed varmebelastning 2,3 kW. Hvis det ydermere

antages, at 2,3 kW er det gennemsnitlige effektforbrug, så er den årlige varmebelastning (andre mindre bidrag ikke medregnet) i rummet $2,3 \cdot 24 \cdot 365 = 20.000$ kWh.

Ved besøget blev der målt forskellige temperaturer i serverrummet. Disse er vist i figur 2.3.5. Udelufttemperaturen blev målt til $10,3^{\circ}\text{C}$. Figur 2.3.5 viser stor spredning i lufttemperaturen i rummet – de viste temperaturer varierede yderligere en del under besigtigelsen. Der er desuden forskel på lufttemperaturen på de forskellige hylder i reolen med serverne – flere graders forskel mellem top og bund – lavest i bunden. Lufttemperaturen bag serverne i reolen var lavere end foran, hvor luftindtaget typisk sidder – dette er u hensigtsmæssig, da det betyder en dårlig udnyttelse af den kolde luft.

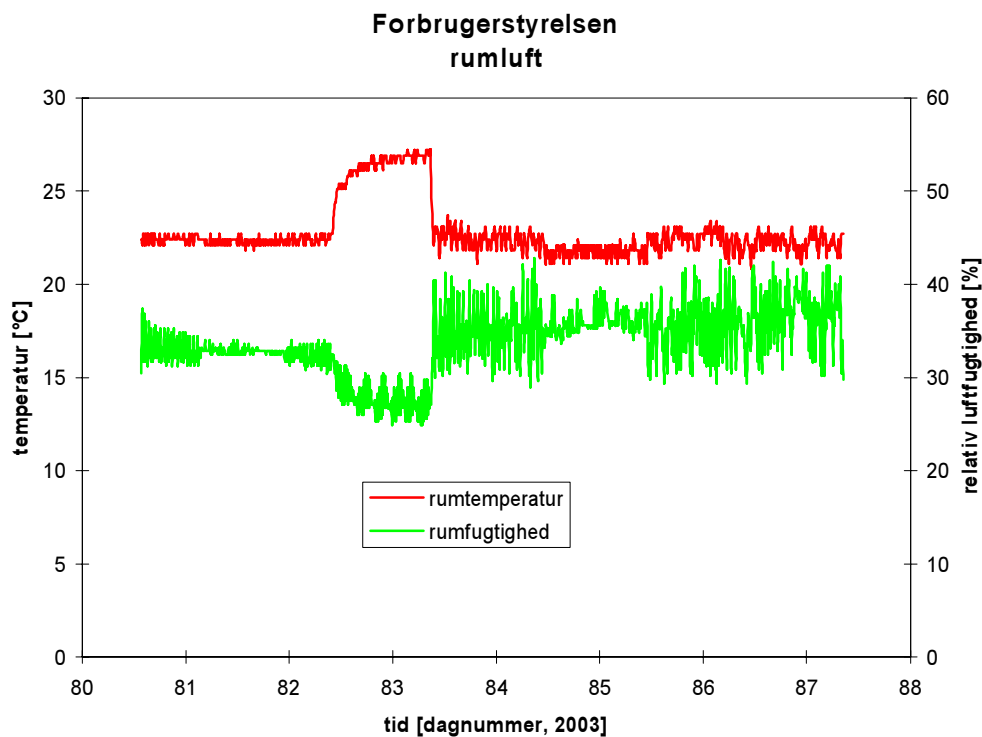


Figur 2.3.5. Lufttemperaturer målt ved besigtigelsen

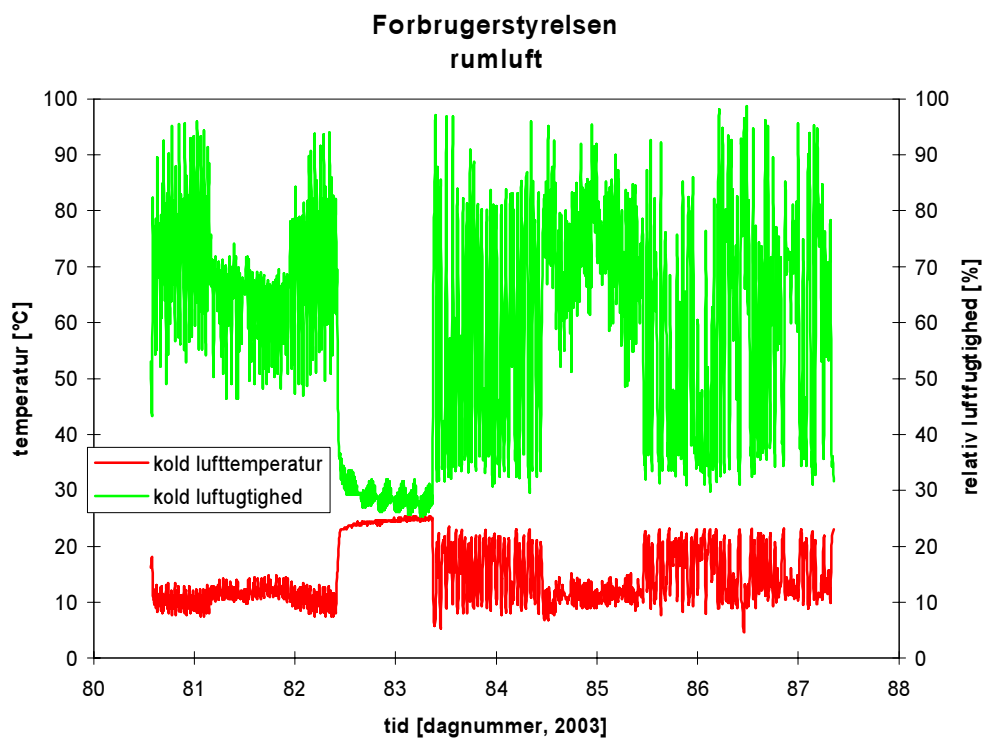
Oprindeligt var der flere skærme i rummet. Da disse blev fjernet faldt varmebelastningen betragteligt.

Ved besigtigelsen blev der udlagt to små dataloggere for registrering af lufttemperatur og luftfugtighed. Den ene datalogger blev placeret på den midterste hylde i reolen med servere ved *'en i figur 2.3.5. Den anden i koldluft-afgangen fra det nyeste køleanlæg. Resultatet af disse målinger er vist i figur 2.3.6-7.

Før det ældste køleanlæg gik i gang lå rumtemperaturen på omkring $22,5^{\circ}\text{C}$. I perioden søndag-mandag, hvor det ældste anlæg alene kørte steg temperaturen til 27°C . Luftfugtigheden i rummet var i hele perioden under 40% og dermed lavere end anbefalet af serverleverandørerne. Fra figur 2.6.7 vurderes det, at det ældste køleanlæg har været i gang i to perioder 82-84 og 85-87, hvor koldluft-temperaturen fra det nyeste køleanlæg i perioderne 83-84 og 85-87 fluktuere væsentlig mere end, når det ældste anlæg ikke er i gang, hvilket skyldes, at kompressoren stopper længere tid. Den kolde luft fra det nyeste anlæg var $8-10^{\circ}\text{C}$.



Figur 2.3.6. Temperatur og relativ fugtighed i serverrummet i perioden 21-28 marts 2003.



Figur 2.3.7. Temperatur og relativ fugtighed i den kolde luft fra det nyeste køleanlæg i perioden 21-28 marts 2003.

Nøgletal

Da elforbruget til køling ikke kendes, kan kun enkelte af nøgletallene udledes:

Elforbrug til servere pr. brugere: $20.000 / 120 = 167 \text{ kWh}_{\text{server}}/\text{bruger}$

Varmebelastning pr. rumstørrelse: $2,3 / 56 = 0,04 \text{ kW}_{\text{belastning}}/\text{m}^3_{\text{rum}}$

2.3.1.4. Forbedringer

Ved besigtigelsen kørte blæseren i det ældste anlæg, men anlægget kølede ikke – tværtimod. Det bør undersøges, om anlæggenes blæsere kan stoppes, når de ikke køler. Det bør desuden sikres, at anlæggene har samme driftopsætning – f.eks. samme sætpunkter for start stop. Alternativt kunne det ene anlæg have et lidt højere sætpunkt, således at dette kun bliver koblet ind, når kølebehovet overstiger det andet anlægs kølekapacitet.

Figur 2.3.2 og 2.3.4 viser, at flere skærme var tændt uden at blive anvendt. Skærme, der ikke anvendes, bør slukkes, da dette øger varmebelastningen.

Det ville være hensigtsmæssigt at ændre placeringen af køleanlæggene, så de sad på linie, så det ene køleanlæg ikke kan suge kold luft ind fra det andet anlæg.

Figur 2.3.5 viser, at det er forskelligt, hvilken lufttemperatur serverne suger ind. Den kolde luft bliver derfor ikke udnyttet godt nok – en del af køleeffekten bliver ikke udnyttet af serverne, men bruges til at reducere lufttemperaturen til køleanlæggene, hvilket reducerer disses effektivitet. At ændre dette kræver dog en radikal ændring i opbygningen af serverrummet, således at den kolde luft leveret mere direkte til serverne.

Supplerende direkte køling med udeluft.

2.3.2. Rum med krydsfelt og switches

Afslutningsvis blev et rum med et krydsfelt og switches besigtiget. Disse befinder sig i et mindre rum med to kopimaskiner samt et vindue. Der er ikke køling i rummet, hvilket ikke har været nødvendigt. Kopimaskinerne slukkes helt om natten.

2.4. Center for informatik, Skov- og naturstyrelsen

Besøg d. 26/3-03 af:

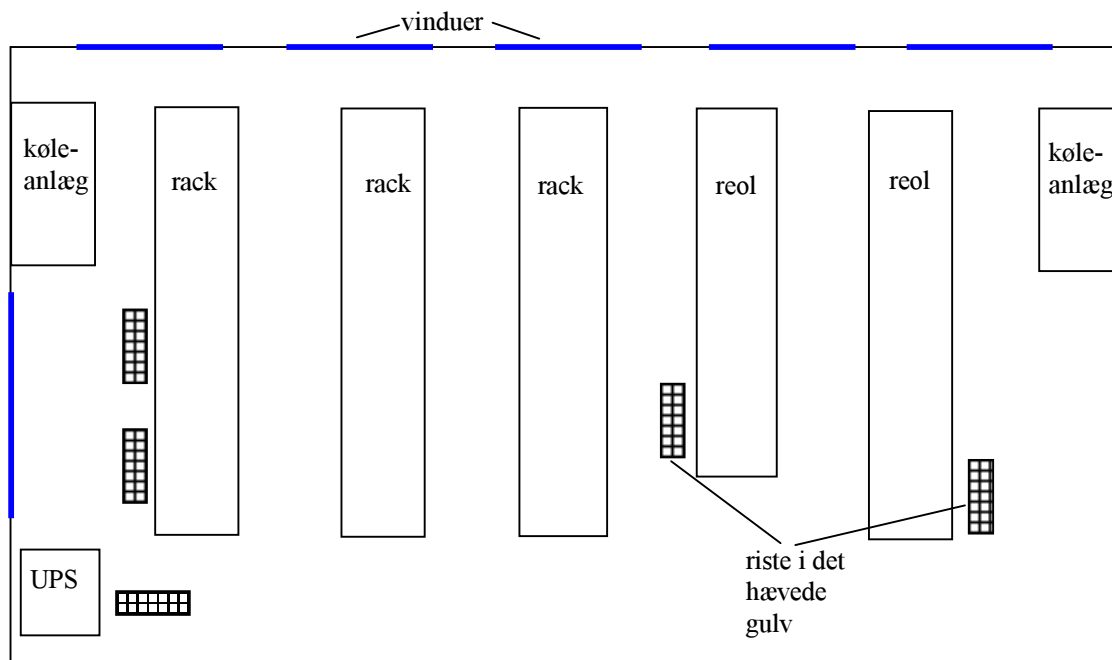
Søren Østergaard Jensen og Jan Viegand

Repræsentanter fra Center for informatik: Erik Beck samt Søren Jensen fra Miljødepartementet

I forbindelse med besøget hos Skov- og naturstyrelsen blev serverrummet, som Center for informatik er ansvarlig for, besøgt.

2.4.1. Serverrum

Serverrummet, der servicerer ikke blot Skov- og naturstyrelsen, men også klagenævn, Miljødepartementet og Miljøstyrelsen, er beliggende i en kælder med østvendte vinduer. Der er dog kun undtagelsesvis direkte solindfald og kun i korte perioder. Der er også vinduer til et tilstødende rum med terminaler. Rummet har et grundareal på ca. 82 m² og et volumen på ca. 218 m³. Figur 2.4.1 viser en skitse af indretningen i rummet, mens figur 2.4.2 viser et billede fra rummet. Ud over servere er serverrummets UPS placeret i rummet.



Figur 2.4.1. Skitse af indretningen af serverrummet.

Køleanlæggene suger luften ind ca. en meter under loftet og blæser den afkølede luft ud under det hævede gulv. Der er huller i gulvet under rack'ne med servere. For at øge luftcirkulationen i rummet og tilføre kølig luft til reoler og UPS er der desuden riste i gulvet som vist i figur 2.4.1 for direkte indblæsning af kold luft til rummet. Som brandbeskyttelse anvendes et inergen-anlæg med indblæsning af N₂, Ar og CO₂ for at kvæle ilden.

UPS'en er af ældre dato og har et stort strømforbrug. Det planlægges at installere en ny UPS med dobbelt kapacitet og mindre elforbrug. Denne UPS vil blive placeret i rummet ved siden af og have sit eget mindre køleanlæg.



Figur 2.4.2. De tre rack med servere.

2.4.1.1. Køleanlæg

Der er installeret to ens køleanlæg i serverrummet. Anlæggene er fra RC Group med en max. kompressor effekt på hver 5,7 kW, en ventilator i indedelen på 1,28 kW og en nominal volumenstrøm af luft på 1.680 l/s pr. anlæg. Anlæggene er med frikøling, hvilket betyder, at anlæggenes kondensatorer køles med kølevæske, som cirkuleres mellem kondensatorer og varmevekslere placeret udendørs. Anlægget styres således, at kompressorerne kun kører, når temperaturdifferencen mellem luften i serverrummet og udeluften er mindre end 9 K. Dette burde lede til en stor reduktion i elforbruget til køling i vinterhalvåret. På grund af den ekstra varmeveksling mellem udeluften og anlæggenes kondensatorer, reduceres anlæggenes effektivitet lidt. Denne anlægstype har dog den fordel, at der skal fyldes mindre kølemiddel på anlæggene, da det længste stræk er en vand-kreds.

Figur 2.4.3 viser det ene køleanlæg og varmevekslerne udenfor bygningen.

Oprindeligt kunne et køleanlæg klare behovet, således at der var back-up i tilfælde af nedbrud af det ene køleanlæg. Det er ikke muligt mere. Det planlægges derfor at installere endnu et køleanlæg i rummet ved siden af med samme køleeffekt som de to eksisterende tilsammen.

Der er problemer med at opnå en god luftfordeling i rummet – derfor kører begge køleanlæg – også ved lave kølebehov.

2.4.1.2. Servere

Der findes mange forskellige typer servere i serverrummet. Der er både fil- og applikations-servere. Stort set alle servere er Windows-baserede. Typisk køres kun en applikation pr. ser-

ver. Serverrummet er under udvidelse – på sigt er det desuden meningen, at serverrummene i Miljødepartementet og –styrelsen (se kapitel 2.2) skal nedlægges og overgå til dette serverrum.



Figur 2.4.3. Det ene køleanlæg i serverrum og varmevekslerne udenfor bygningen.

Serverne kører altid – bl.a. på grund af natlig back-up og hjemmearbejdspladser. Der er ingen mulighed for at drosle serverne ned ved lav belastning.

Der indkøbes primært grønne servere (dvs. delene kan genbruges). Der tænkes ikke så meget i elforbrug. Levetiden for servere er 3-5 år.

Luftfugtigheden i serverrummet anses ikke for at være en kritisk parameter.

Serverrummet servicerer ca. 800 i Skov- og naturstyrelsen, 150 i klagenævnene, 170 i Miljødepartementet og 350 i Miljøstyrelsen – dvs. i alt ca. 1470 personer.

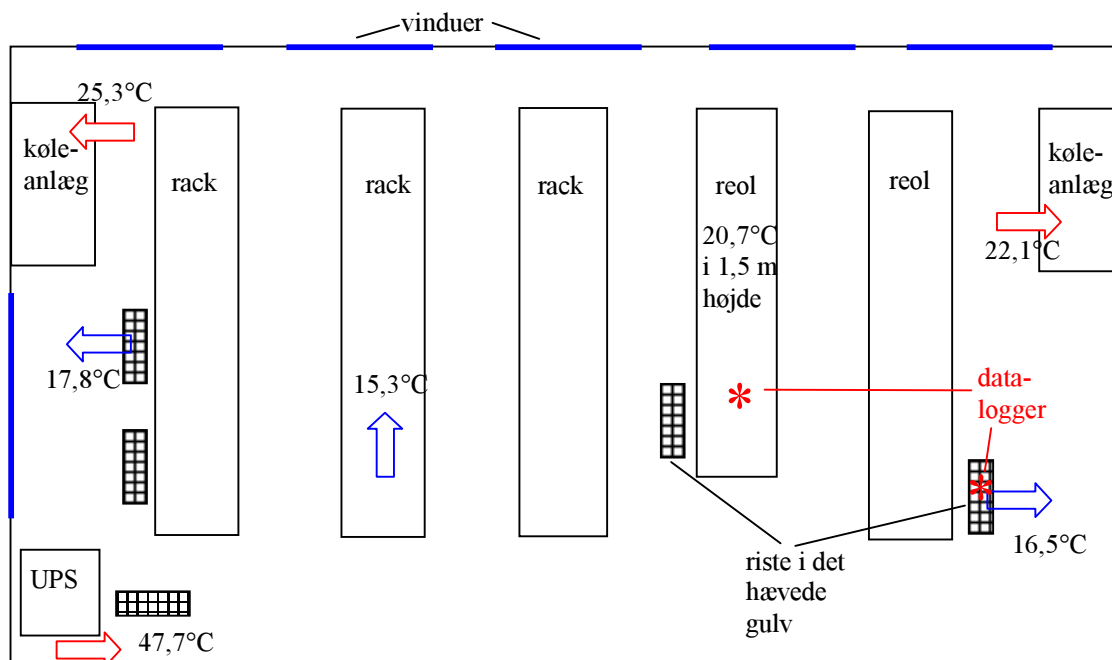
2.4.1.3. Energiforbrug + temperatur- og fugtforhold.

På UPS'ens display blev følgende effektforsøg aflæst for de tre faser: 31·233, 26·230 og 29·232 VA = 19,9 kW. Hvis det antages, at dette er det gennemsnitlige effektforsøg, så er den årlige varmebelastning (ikke medregnet solindfald, varmetab og andre mindre betydende bidrag til varmebelastningen) i rummet $19,9 \cdot 24 \cdot 365 = 174.000$ kWh.

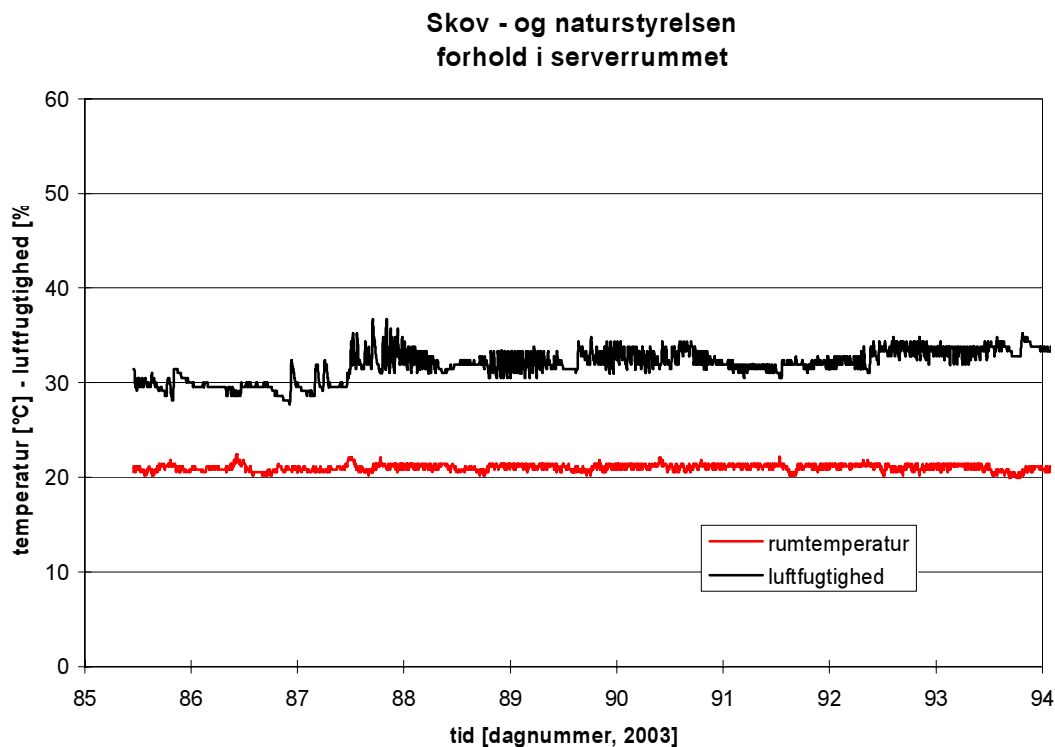
Serverrummets elforbrug (inkl. køleanlæggenes elforbrug) er målt over en årrække med en bimåler. Indtil d. 14/8, 2002 blev den manuelt aflæst – efter 12/9, 2002 automatisk aflæst og tilgængelig for Skov- og naturstyrelsen via KeepFocus' hjemmeside (www.keepfocus.dk). På grund af skiftet i aflæsningsform mangler der elforbrug for en måned. Dette hul er fyldt ud med samme elforbrug som for måneden før. Herved fremkommer et årligt totalt elforbrug for serverrummet inkl. køling på 249.000 kWh. Elforbruget til køling er derfor i størrelsesordenen $249.000 - 174.000 = 75.000$ kWh/år.

Ved besøget blev der målt forskellige temperaturer i serverrummet. Disse er vist i figur 2.4.4. Figuren viser en del forskel i lufttemperatur og indblæsningsstemperatur. Specielt er udblæsningsluften fra UPS'en meget varm (47,4°C). Den højere lufttemperaturen til køleanlægget til højre i figur 2.4.4 skyldes derfor sandsynligvis UPS'en.

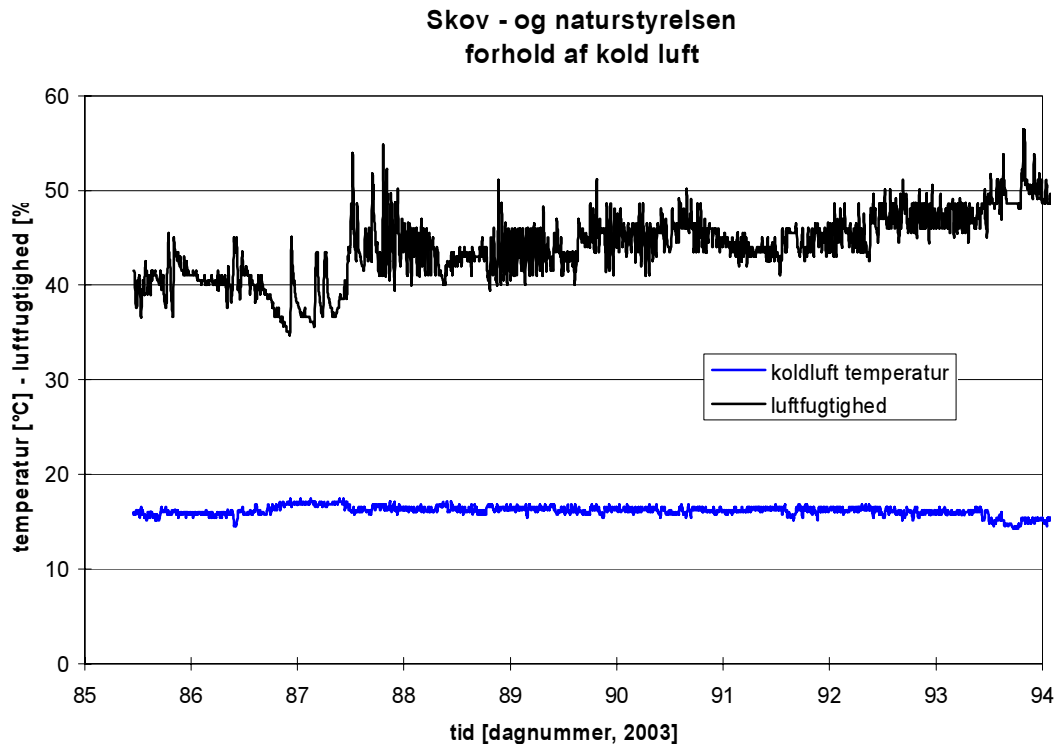
Ved besigtigelsen blev der udlagt to små dataloggere for registrering af lufttemperatur og luftfugtighed. Den ene datalogger blev placeret på en hylde i den ene reol i en højde på ca. 1,5 m ved *'en i figur 2.3.4. Den anden på en af ristene i det hævede gulv - ved det andet * i figur 2.3.4. Resultatet af disse målinger er vist i figur 2.3.5-6.



Figur 2.4.4. Lufttemperaturer målt ved besigtigelsen.



Figur 2.4.5. Temperatur og relativ fugtighed i serverrummet i perioden 26. marts-3 april, 2003.



Figur 2.4.6. Temperatur og relativ fugtighed i den kolde luft fra det nyeste køleanlæg i perioden 26. marts-3. april, 2003.

Figur 2.4.5-6 viser at lufttemperaturen i serverrummet, hvor dataloggeren var placeret, lå meget stabilt omkring 21°C, mens den målte indblæsningstemperatur lå ret stabilt omkring 16°C. Luftfugtigheden i rummet var lav – mellem 27 og 37 %, dvs. lavere end anbefalet af serverleverandørerne.

Nøgletal

Elforbrug til køling pr. varmebelastning: $75.000 / 174.000 = 0,43 \text{ kWh}_{\text{køl}}/\text{kWh}_{\text{belastning}}$

$\Rightarrow$ køleanlæggets nyttevirkningsgrad $0,43^{-1} = 2,32$

Elforbrug til køling pr. bruger: $75.000 / 1.470 = 51,0 \text{ kWh}_{\text{køl}}/\text{bruger}$

Elforbrug til servere pr. brugere: $174.000 / 1.470 = 118 \text{ kWh}_{\text{server}}/\text{bruger}$

Varmebelastning pr. rumstørrelse: $19,9 / 218 = 0,09 \text{ kW}_{\text{belastning}}/\text{m}^3_{\text{rum}}$

2.4.1.4. Forbedringer

UPS'en betyder en stor varmebelastning i rummet. Der er allerede planer om at indkøbe en større og mere effektiv UPS. Men hvis den gamle UPS ikke bliver fjernet, men kører som back-up, vil dette ikke reducere elforbruget – tværtimod.

Den kolde luft skal fødes så direkte til serverne som muligt. Reoler der derfor ikke hensigtsmæssig. Disse vil dog løbende blive skiftet ud med rack, hvor den kolde luft ledes ind i bunden. Rack med koldluftindgang i bunden har dog det problem, at lufttemperaturen fra køleanlægget skal være lavere end krævet af serverne for at sikre, at den øverste server også modtager rimelig afkølet luft – da denne luft opvarmes af serverne placeret længere nede i rack'et. At ændre dette kræver dog en radikal ændring i opbygningen af serverrummet, således at den kolde luft leveret mere direkte til serverne. Men et serverrum er sjældent statisk, så det kan være svært at fastholde en godt køleprincip over tid.

Overgang til udelukkende at have racks og UPS'en i et andet rum kan måske medføre, at ristene i gulvet kan lukkes. Den kolde luft, der kommer op af ristene udnyttes ikke godt nok – en del af køleeffekten bliver ikke udnyttet af serverne, men bruges til at reducere lufttemperaturen til køleanlæggene, hvilket reducerer disses effektivitet.

Det oplyses, at der i kølestrategien indgår frikøling. Det kan derfor undre, at nyttevirkningsgraden for køleanlæggene kun er 2,32 mod en nyttevirkningsgrad på 2,24 i Kolding Kommunes serverrum, hvor frikøling ikke benyttes, og hvor køleanlæggenes kondensatorer ydermere er uhensigtsmæssige placeret – ikke direkte køling med udeluft. Det bør derfor undersøges, om køleanlæggene hos Skov- og naturstyrelsen er korrekt indreguleret. En anden mulig forklaring er de store ventilatorer i indedelene som sandsynligvis kører hele tiden – også ved frikøling.

2.5. Elsparefonden

Besøg to gange i Januar 2003:

Søren Østergaard Jensen

Repræsentanter fra Elsparefonden:

Nadeem Niwaz og Göran Wilke

I forbindelse med besøget hos Elsparefonden blev styrelsens serverrum besigtiget og flere dataloggere installeret.

2.5.1. Elsparefondens serverrum

Elsparefondens serverrum er beliggende på første sal i et lille kontor på samme gang som Elsparefondens andre kontorer og mødelokale. Rummet har et grundareal på ca. 8 m² og et volumen på ca. 25 m³. Figur 2.51 viser et billede fra serverrummet. Rummet indeholder ud over Elsparefondens server og harddiske en UPS, krydsfelt og Elsparefondens telefoncentral. Der er desuden et vindue med et transparent areal på ca. 3 m². Vinduet er vestvendt (ca. 25° fra vest mod nord) og vender ud mod en gård med ringe solindfald.



Figur 2.5.1. Elsparefondens serverrum.

2.5.1.1. Køleanlæg

Køleanlægget i serverrummet er et lille split-anlæg fra Sanyo type SAP KRV 91EH med en max. køleeffekt på 2,8 kW. Køleanlæggets kondensator er monteret udenfor på facaden vendende mod gården. Placeringen af køleanlæggets fordampere er vist på figur 2.5.1.

2.5.1.2. Servere

Serveren i rummet er en traditionel pc samt et rack med hard-diske som vist i figur 2.5.2.



Figur 2.5.2. Elsparefondens server – pc + rack med hard-diske.

Serveren kører hele døgnet uden sleep-mode eller andre elbesparende tiltag. Brugere af serveren har egne pc'er til afvikling af tekstbehandling, regneark, m.m.

Serveren servicerer 7 brugere.

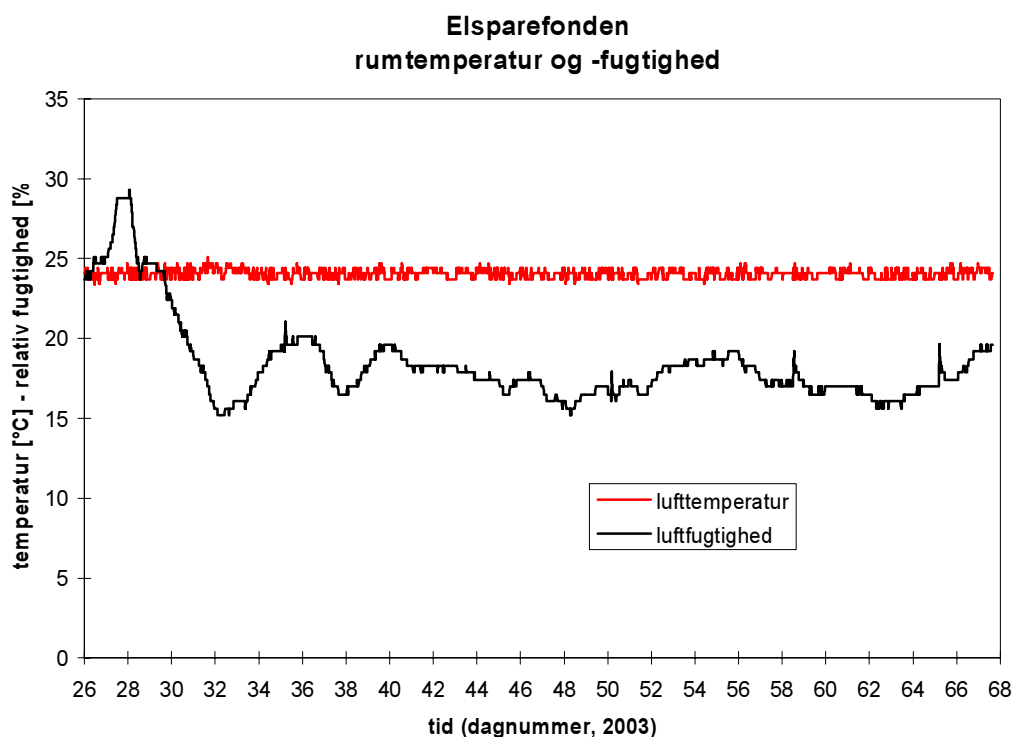
2.5.1.3. Energiforbrug + temperatur- og fugtforhold

Energiforbruget i serverrummet og til køleanlægget registreres ikke. Elforbruget til alt edb-relateret udstyr registreres (serverrum inkl. køling, UPS, krydsfelt, telefoncentral og bruger-pc'er). Ved at slukke for køleanlægget en dag uden tændte bruger-pc'er er serverrummets effektforbrug registreret til ca. 460 W. Hvis det antages, at 460 W er det gennemsnitlige effektforbrug, så er den årlige varmebelastning (andre mindre bidrag ikke medregnet) i rummet $0,46 \cdot 24 \cdot 365 = 4.000$ kWh.

Der blev ved et af besøgene i serverrummet opsat flere små dataloggere til registrering af temperaturer, luftfugtighed og solindfald. Følgende målinger blev gennemført:

- temperatur og luftfugtighed i rummet i ca. 1,5 m højde modsat væg i forhold til køle-anlægget
- temperatur og luftfugtighed ved serveren – indikeret ved * i figur 2.5.2
- temperaturen inde i serveren lige før strømforsyningen – dvs. temperaturen er ikke direkte påvirket af varmeudviklingen fra strømforsyningen
- udelufttemperatur og fugtigheden af udeluften
- solindfaldet gennem vinduet

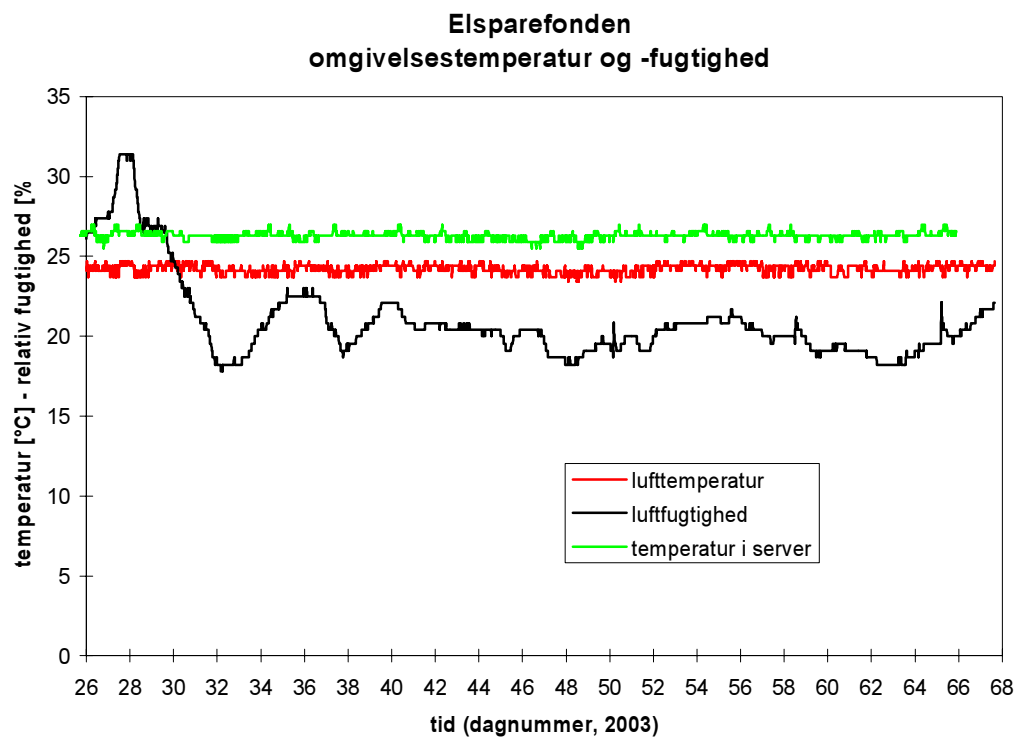
Målingerne blev gennemført i perioden 26. januar-9. marts, 2003. Figur 2.5.3-6 viser resultatet af disse målinger. Figur 2.5.3 viser rumtemperaturen og fugtigheden i rummet i 1,5 m højde, mens figur 2.5.4 viser disse værdier ved serveren samt temperaturen inde i serveren. Figur 2.5.5 viser udelufttemperaturen samt fugtigheden i udeluften, mens figur 2.5.6 viser solindfaldet gennem vinduet.



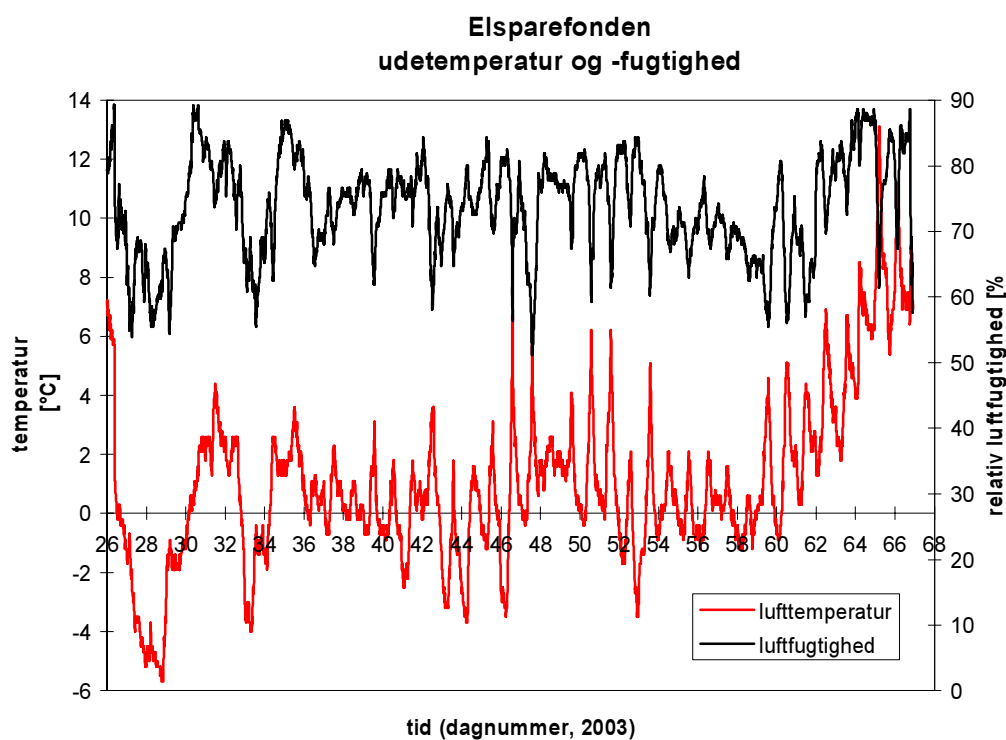
Figur 2.5.3. Lufttemperatur og fugtighed i rummet i 1,5 m højde i perioden 26. januar-9. marts, 2003.

I figur 2.5.7 er lufttemperaturen i rummet ved 1,5 m højde sammenlignet med lufttemperaturen ved serveren og inde i serveren. De to lufttemperaturer i rummet er næsten identiske og svinger omkring 24°C – dvs. der er ingen temperatur-stratifikation i rummet op til 1,5 m. Temperaturen inde i serveren svinger omkring 26,5°C. Det er en beskedent temperaturstigning, der skyldes, at temperaturen er målt før strømforsyningen. Efter strømforsyningen vil temperaturen af luften være nogle grader højere.

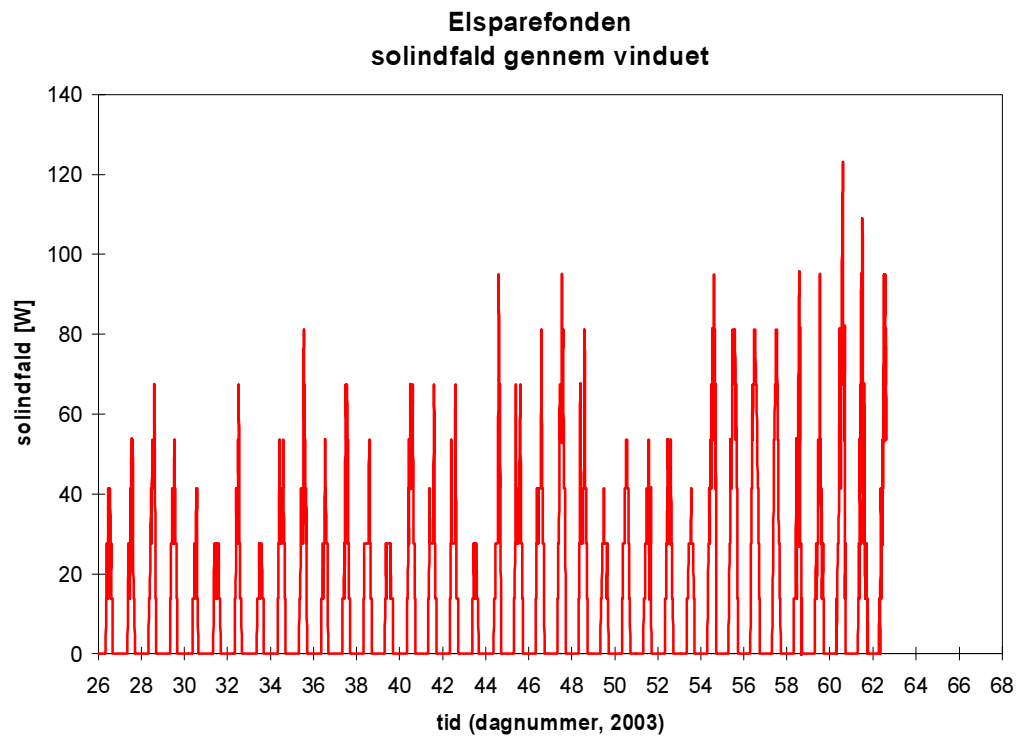
Den relative luftfugtighed i rummet lå det meste af tiden omkring 20%, hvilket er meget lavt.



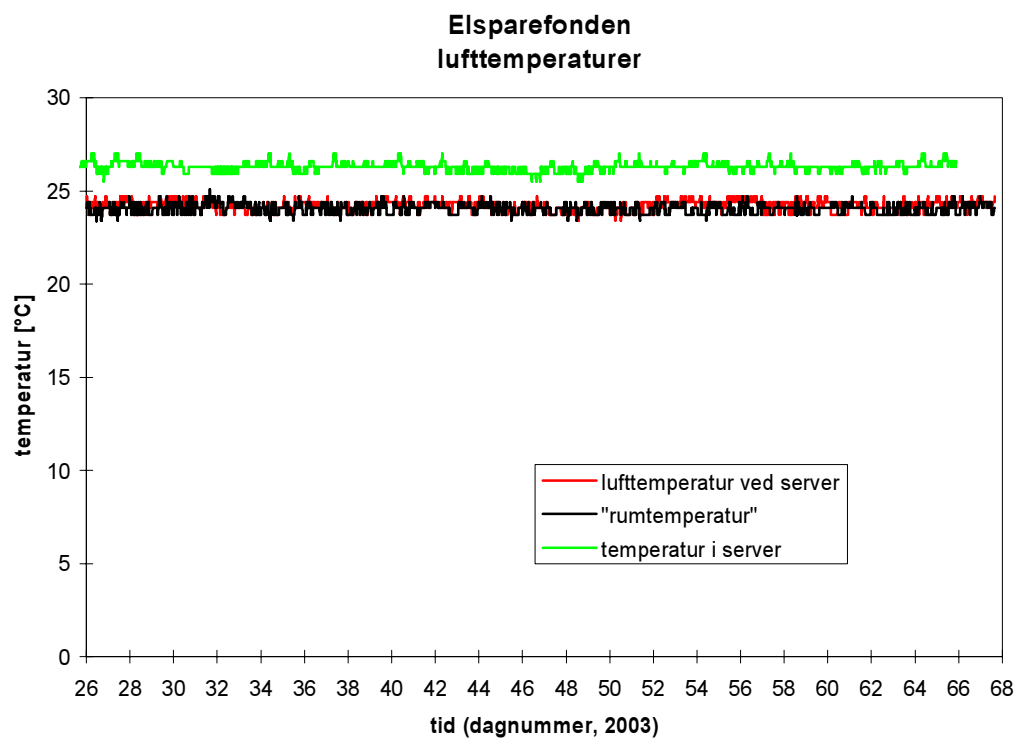
Figur 2.5.4. Lufttemperatur og fugtighed ved serveren samt lufttemperaturen inde i serveren før strømforsyningen – dvs. efter CPU'en i perioden 26. januar-9. marts, 2003.



Figur 2.5.5. Udelufttemperatur og -fugtighed i perioden 26. januar-9. marts, 2003.

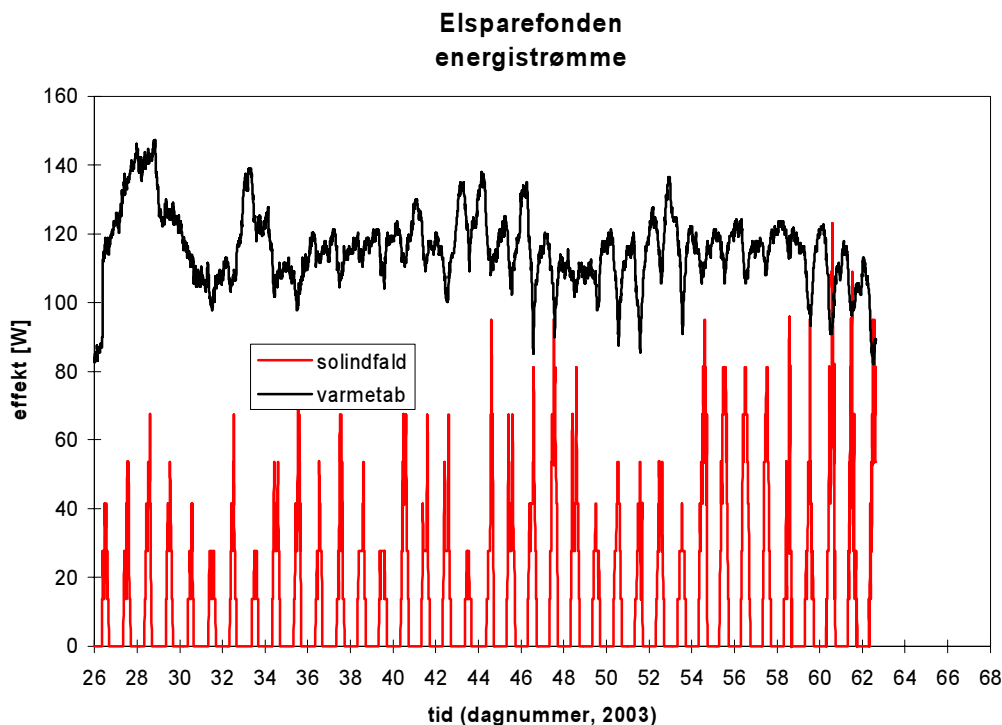


Figur 2.5.6. Solindfaldet gennem vinduet i perioden 26. januar-9. marts, 2003.



Figur 2.5.7. Rumtemperaturen i 1,5 m højde, ved serveren og inde i serveren i perioden 26. januar-9. marts, 2003.

Figur 2.5.6 viser, at solindfaldet gennem vinduet i den undersøgte periode var op til en fjerdedel af den interne varmebelastning i rummet på 460 W. Fordelt over hele døgnet udgør solindfaldet dog kun ca. 12 W. Desuden er der et varmetab gennem vinduet. Dette varmetab er vist i figur 2.5.8 sammen med solindfaldet. Der er regnet med en U-værdi for vinduet på 1,5 W/m²K, da forsatsruden har lavenergibelægning, og et samlet hulmål for vinduet på 3,26 m².



Figur 2.5.8. Solindfald og varmetab gennem vinduet i perioden 26. januar-9. marts, 2003.

Figur 2.5.8 viser, at varmetabet gennem vinduet for den undersøgte periode er større end solindfaldet gennem vinduet. Varmetabet var i perioden omkring en fjerdedel af den interne varmebelastning i rummet.

Nøgletal

Da elforbruget til køling ikke kendes, kan kun enkelte af nøgletallene udledes:

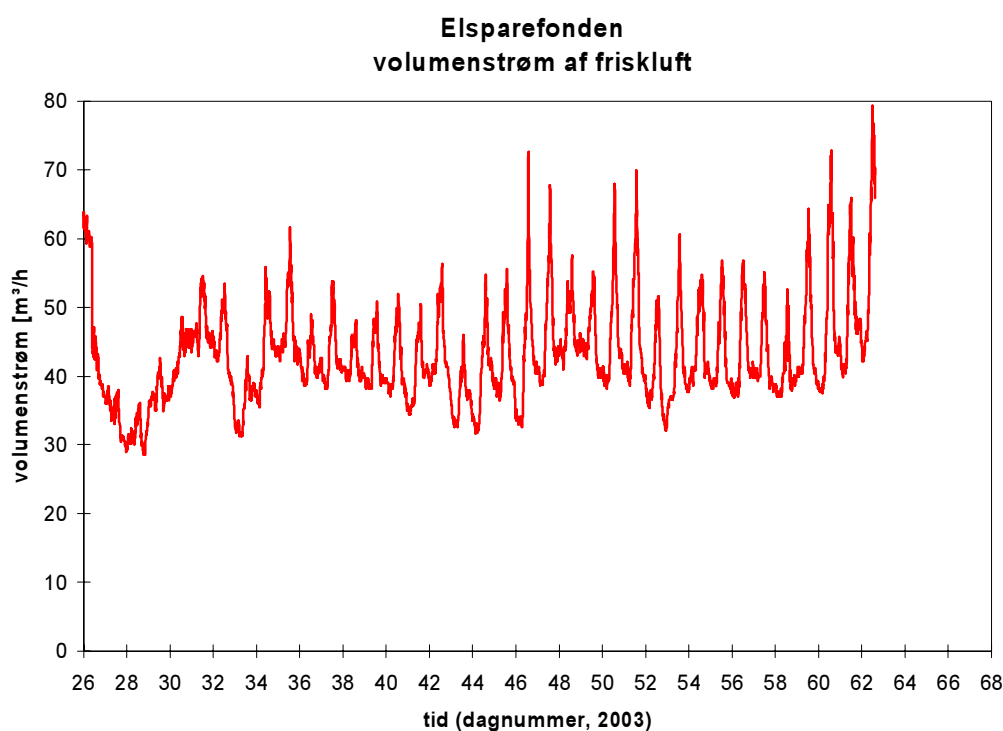
Elforbrug til servere pr. brugere: $4.000 / 7 = 570 \text{ kWh}_{\text{server}}/\text{bruger}$

Varmebelastning pr. rumstørrelse: $0,46 / 25 = 0,02 \text{ kW}_{\text{belastning}}/\text{m}^3_{\text{rum}}$

2.5.1.4. Forbedringer

I forhold til de andre besøgte serverrum er varmebelastningen pr. bruger stor – 2-6 gange højere end i de andre serverrum. Det skyldes det lave antal brugere, idet der altid vil være et relativt stort "start-effektforbrug", som bliver mindre pr. bruger, jo flere brugere, der er tilknyttet serverrummet. Dette er illustreret i figur 2.7.1, hvor elforbruget pr. bruger er vist for de fem undersøgte serverrum. Det bør dog overvejes, om effektbehovet kan reduceres.

Da der er gennemført detaljerede målinger, kan muligheden for frikøling ved hjælp af udeluft undersøges. Resultatet er vist i figur 2.5.9, hvor den nødvendige volumenstrøm af luft - under ideelle forhold (ingen mixing mellem friskluft og luft i rummet) - at kunne fjerne varmebelastningen på 460 W + solindfald minus varmetab er beregnet ved hjælp af udelufttemperaturen fra figur 2.5.5. Der er brug for en volumenstrøm af udeluft på mellem 30 og 75 m³/h eller et luftskifte på 1,2-3 h⁻¹, for at kunne køle udelukkende med udeluft i den undersøgte periode. Jo varmere det bliver udenfor, jo større luftmængde er nødvendig for udelukkende at køle med udeluft. Frikøling med udeluft kan dog dække en stor del af kølebehovet – specielt om vinteren. Om sommeren vil der forekomme perioder, hvor det hverken helt eller delvist er muligt at køle med udeluft. Køleanlægget skal derfor dimensioneres til at kunne dække hele kølebehovet ved høje udelufttemperaturer.



Figur 2.5.9. Beregnet volumenstrøm af udeluft for at køle serverrummet i perioden 26. januar-9. marts, 2003.

Figur 2.5.7 viser, at luften i rummet ikke er stratificeret. Dette betyder, at den kolde luft fra køleanlægget bliver blandet op med opvarmet luft, før den "kolde" luft når serveren. Den kolde luft fra køleanlægget udnyttes derfor ikke effektivt, hvilket betyder, at den varme luft til køleanlægget er koldere end nødvendigt, idet en stor del af den kolde luft fra varmeanlægget går til at køle rumluften til køleanlægget og ikke til at køle serveren. Dette reducerer køleanlæggets effektivitet.

2.6. Danmarks Miljøundersøgelser

Interview d. 27/3-03 gennemført af:

Søren Østergaard Jensen

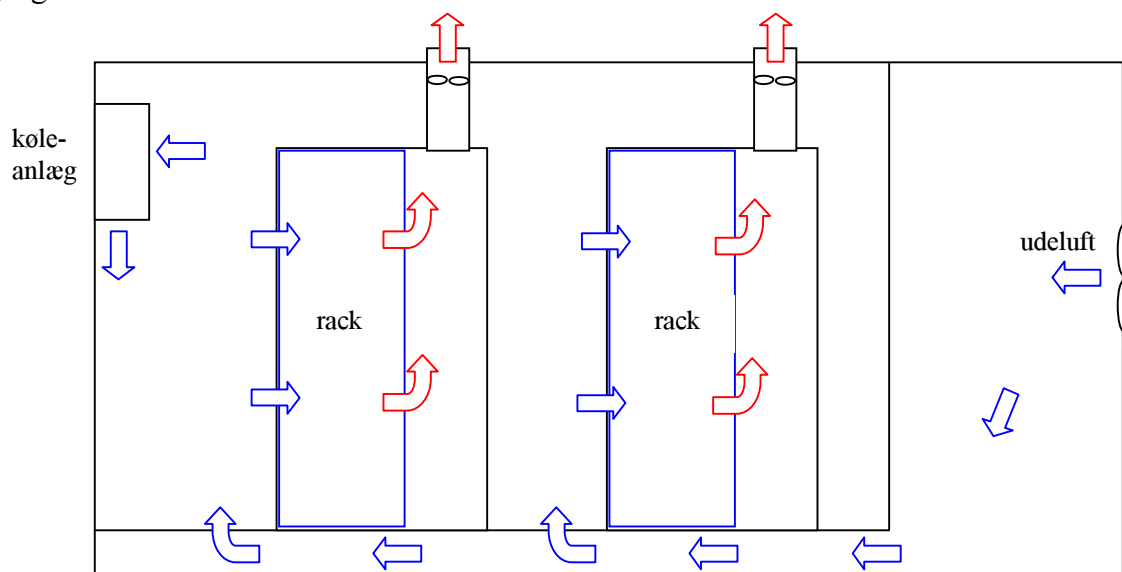
Repræsentant fra Danmarks Miljøundersøgelser: Søren Damgaard

Serverrummet hos Danmarks Miljøundersøgelser blev ikke besøgt, da det er under ombygning, og da der ikke findes målinger for elforbruget i serverrummet og for serverrummets køleanlæg. Men da der er gjort meget ud af at nedbringe elforbruget til køling, beskrives konceptet for disse tiltag kort i det følgende.

Serverne er placeret i rack. Rack'ne er som vist i figur 2.6.1 indkapslede, så kun forsiden er åben mod den afkølede luft. Den opvarmede luft suges ud fra det indkapslede rum bag rack'ne. Dvs. kold og opvarmet luft bliver ikke blandet. Forsiden af rack'ne er dog kun åben, hvor der er servere i rack'ne for at hindre, at kold luft kan slippe igennem rack'ne uden at køle serverne.

Den kolde luft er primært udeluft, som ledes ind i en ingeniørgang langs serverrummet. Den kolde udeluft blæses ind under det hævede gulv og op gennem riste foran rack'ne med servere. Den opvarmede luft suges som allerede nævnt ud bag serverne. Før afkast til det fri ledes luften gennem et varmegenvindingsanlæg.

Den kolde luft holdes på omkring 22°C, mens den opvarmede luft bag serverne er 28-29°C. Hvis udeluften alene ikke kan tilvejebringe en koldlufttemperatur på 22°C, går et køleanlæg i gang.



Figur 2.6.1. Principskitse af kølekonceptet i serverrummet hos Danmarks Miljøundersøgelser.

Det formodes, at dette køleprincip vil have et lavere elforbrug end anlæg uden frikøling. Det er derfor ønskeligt, at der bliver målt elforbrug til serverrummet og køling af serverrummet hos Danmarks Miljøundersøgelser, for at kunne dokumentere dette.

2.7. Sammenfatning

2.7.1. Indretning

Besøget i de seks serverrum samt oplysninger om et syvende viste, at der findes tre indretningstyper for serverrum:

- typisk mindre serverrum, hvor serverne står på reoler eller borde uden direkte tilførsel af kold luft fra køleanlægget: Forbrugerstyrelsen, Elsparefonden og delvist Skov- og Naturstyrelsen
- serverrum med hævet gulv hvor den kolde luft fra køleanlægget tilføres under gulvet til bunden af rack med servere: Miljødepartementet/-styrelsen og Skov- og Naturstyrelsen
- serverrum hvor den kolde luft tilføres jævnt til alle servere gennem forsiden af rack: Kolding Kommune og Danmarks Miljøundersøgelser

Ovenstående indretningstyper er listet efter stigende køleeffektivitet af serverne. Køleeffektiviteten stiger jo mindre afkølet luft, der ikke går direkte gennem serverne. Køleanlæggets effektivitet stiger med stigende køleeffektivitet. Serverrummet hos Danmarks Miljøundersøgelser har den højeste køleeffektivitet – og desuden frikøling med udeluft.

2.7.2. Temperatur- og fugtforhold

Tabel 2.7.1 viser en sammenfatning af de målte temperatur- og fugtforhold i de besøgtede serverrum. Bemærk at specielt den relative luftfugtighed afhænger meget af årstiden – tørt om vinteren og fugtigt om sommeren

Indretning	Serverrum	Temperaturer til servere °C	Relativ luftfugtighed af luft til servere %
Reoler	Forbrugerstyrelsen	22,5	30-40
	Elsparefonden	24	15-30
	Skov- og Naturstyrelsen	21	35-55
Rack	Kolding kommune	23	20-32
	Miljødepartementet	18	55-70
	Miljøstyrelsen	19*	-
	Skov- og Naturstyrelsen	16	27-37
	Danmarks Miljøundersøgelser	22**	-

Tabel 2.7.1. Målte temperatur- og fugtforhold i perioden 26. januar – 9. marts.

* spotmåling ved besigtigelsen.

** oplyst af Danmarks Miljøundersøgelser.

Tabel 2.7.1 viser, med undtagelse af serverrum med luftførsel i bunden af rack'ne en lidt højere tillufttemperatur til serverne end anbefalet af serverleverandørerne – 20-24°C (se kapitel 4). Og specielt en ofte meget lavere luftfugtighed end anbefalet af serverleverandørerne – >50% (se kapitel 4).

Tillufttemperaturen til bunden af rack'ne er lavere end anbefalet af serverleverandørerne (derfor er luftfugtigheden højere her), fordi serverne højere oppe i rack'ne arver forvarmet luft fra de lavesiddende servere.

Ved rack med tilluften jævnt fordelt gennem forsiden af rack'ne kan en højere lufttemperatur tillades. Dog skal der være noget buffer op til den maksimale temperatur på 35°C, for at forhindre serverne lukker ned ved den mindste uregelmæssighed i køletilførslen.

2.7.3. Nøgletal

Serverrum	Antal brugere	Elforbrug til køling pr. kWh varmebelastning kWh/kWh	Nyttevirkningsgrad af køleanlæg	Elforbrug til køling pr. bruger kWh/bruger	Elforbrug til servere pr. bruger kWh/bruger	Varmebelastning i forhold til rumstørrelse kWh/m ³
Kolding kommune	1.650	0,45	2,24	40,6	90,9	0,23
Miljødepartementet	150	0,6	1,67	156	260	0,06
Forbrugerstyrelsen	120	-	-	-	167	0,04
Skov- og Naturstyrelsen	1.470	0,43	2,32	51	118	0,09
Elsparefonden	7	-	-	-	570	0,02

Tabel 2.7.2. De fundne nøgletal for serverrummene.

2.7.4. Nytevirkningsgrad

Desværre har det kun været muligt at beregne nyttevirkningsgraden for 3 køleanlæg: Kolding Kommune, Miljødepartementet og Skov- og Naturstyrelsen. Der er ydermere en stor usikkerhed på disse værdier, da der er nogen usikkerhed om, hvilke elforbrug der egentlig er målt for mindst de to sidste steder. De beregnede nyttevirkningsgrader er 2,24, 1,67 og 2,32, hvilket ikke er specielt højt.

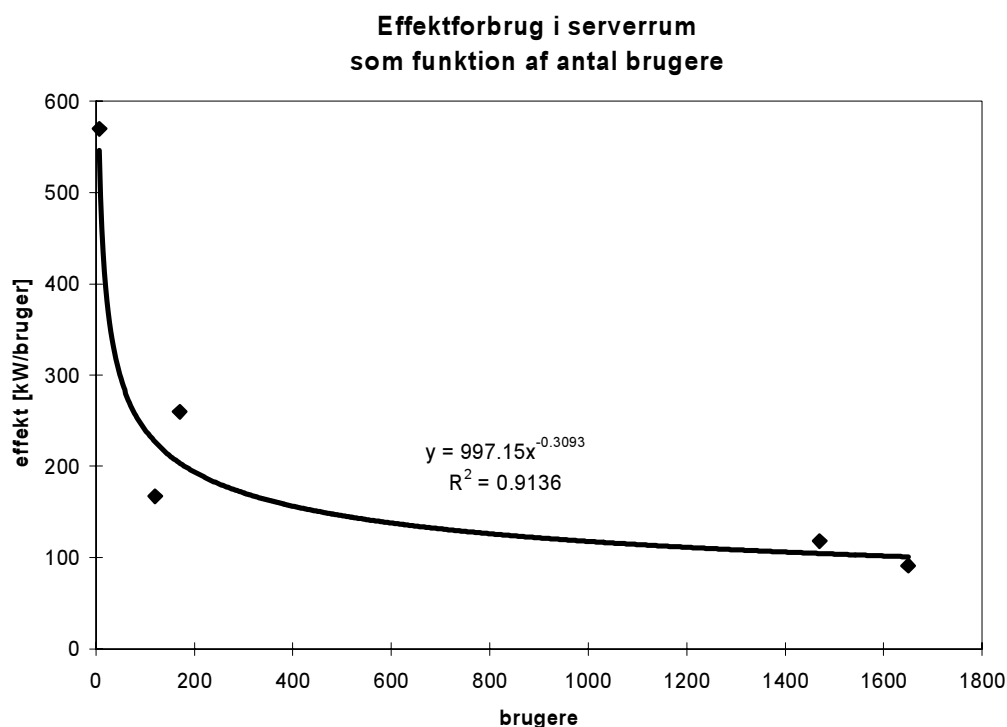
Det formodes derfor, at flere eller alle besigtigede anlæg enten ikke er særligt effektive i deres udformning eller ikke er indreguleret optimalt. Der kan derfor ligge en besparelse i at checke de enkelte køleanlæg.

2.7.5. Varmebelastning

Figur 2.7.1 viser den målte varmebelastning som funktion af antallet af brugere til det enkelte serverrum. På trods af det lille antal målinger formodes, at varmebelastningen pr. bruger falder jo flere brugere serverrummet servicerer – hvilket virker logisk. Det er derfor en fordel at samle serverne i større enheder. Dette vil også blive gjort for flere af de besigtigede serverrum. Serverne hos Miljødepartementet/-styrelsen overflyttes efterhånden til Skov- og Naturstyrelsen, mens Elsparefonden snart flytter ind hos Forbrugerstyrelsen.

Samstemmende lyder det for alle de besigtigede serverrum, at det ikke er muligt at slukke serverne om natten eller drosle dem ned ved lave belastninger. Der er heller ikke planer om at gøre dette. "Oppe-tid" er vigtigere end lavt elforbrug.

Varmebelastningen i forhold til volumen af serverrummet er for alle serverrum undtagen serverrummet i Kolding Kommune under 0,1 kWh/m³. Belastningen i Kolding Kommunes serverrum er 2,5-11,5 gange højere end i de andre besøgtede serverrum.



Figur 2.7.1. Elforbruget i serverrum pr. bruger vist som funktion af antallet af brugere tilknyttet serverrummet.

2.7.6. Frikøling

Frikøling med udeluft er en mulighed for at opnå en reduktion i elforbruget til køling – specielt da lave luftfugtigheder i serverrummene ikke vækker bekymringer. Desværre er der ikke måledata for denne form for frikøling. Men der er regnet på det i næste kapitel.

I to serverrum anvendes frikøling – via en vandkreds (Skov- og Naturstyrelsen) eller direkte med udeluft (Danmarks Miljøundersøgelser). Nyttevirkningsgraden for køleanlæggene hos Skov- og Naturstyrelsen er dog relativt lav (ikke meget højere end i Kolding Kommunes serverrum, der oven i købet har en uhensigtsmæssig placering af kondensatorerne) – det bør derfor undersøges, om anlægget er rigtigt indreguleret.

Der bliver i dag desværre ikke målt på elforbrug til serverrum og køling hos Danmarks Miljøundersøgelser. Det er ønskeligt at få dokumenteret nyttevirkningsgraden for kølingen her, da det formodes, at netop dette serverrum er optimalt opbygget.

3. Program til beregning af køleanlægs energiforbrug i serverrum

3.1. Baggrund

Programmet er udarbejdet på baggrund af ønske om at kunne estimere køleanlægs energiforbrug i serverrum. Det ønskes desuden at kunne foretage parametervariationer (eksempelvis hæve indetemperaturen, sænke belastningen, ændre på vekslernes effektivitet, anvende frikøling etc.) og se hvilken indflydelse, disse parametre har på anlæggenes energiforbrug.

I det følgende gennemgås de vigtigste forhold i programmet og der gennemregnes to eksempler for køleanlæggene i serverrummet hos henholdsvis Kolding Kommune og Elsparafonden.

3.2. Model

Den opbyggede model til beregning af energiforbrug tager udgangspunkt i et splitanlæg bestående af en udedel (indeholdende kompressor, kondensator og ventilator) samt en indedel (indeholdende en fordamper og ventilator). Denne type anlæg er meget anvendt i mindre serverrum, hvorimod det i større serverrum er normalt at anvende bygningens centrale A/C anlæg til køling eller opbygge et indirekte system med vandkreds til køling af serverrummet.

For beregning af varmeindfald til serverrummet, beregning af udedelens ydelse samt effekten af frikøling anvendes det danske referenceår (TRY).

Selve kølemodellen er opbygget af

1. Fordamper med ventilator (indedel)
2. Kompressor med motor
3. Kondensator med ventilator (udedel)

ad 1) Det aktuelle kuldebehov for at opretholde rumtemperaturen beregnes time og time, og fordampermodellen beregner den nødvendige fordampningstemperatur og ventilator-driftstid.

ad 2) Kondensatormodellen beregner den nødvendig kondenseringstemperatur og ventilator-driftstid, der skal til for at komme af med rum- og kompressorvarmen.

ad 3) Kompressormodellen beregner hvor meget motoreffekt, der skal bruges for det aktuelle kuldebehov ved den givne fordampnings- og kondenseringstemperatur.

Brugeren af programmet kan via. input ændre karakteristika for komponenterne, belastningsprofiler og temperaturniveauer.

Beregningsresultatet er et energiforbrug til køleanlægget (kompressor og ventilatorer) for et standard år.

Programmet er endnu ikke blevet valideret, idet det kræver detaljerede måledata fra et - helst flere af de besigtigede anlæg.

Programmet skal anvendes med forsigtighed og helst af en bruger med erfaring indenfor køleanlæg, idet det er muligt at gennemføre urealistiske simuleringer med programmet. F.eks. falder elforbruget ved at reducerer størrelsen af ventilatorer i anlæggene, men ved for små ventilatorer falder ydelsen for anlægget, fordi varmeoverførslen i varmevekslerne reduceres på grund af en for lav volumenstrøm af luft. Denne kobling er ikke medtaget i programmet, så det kræver en kyndig bruger, at optimere ventilatorstørrelsen. Den uerfarne bruger kan i stedet anvende de ventilatorstørrelser, programmet foreslår.

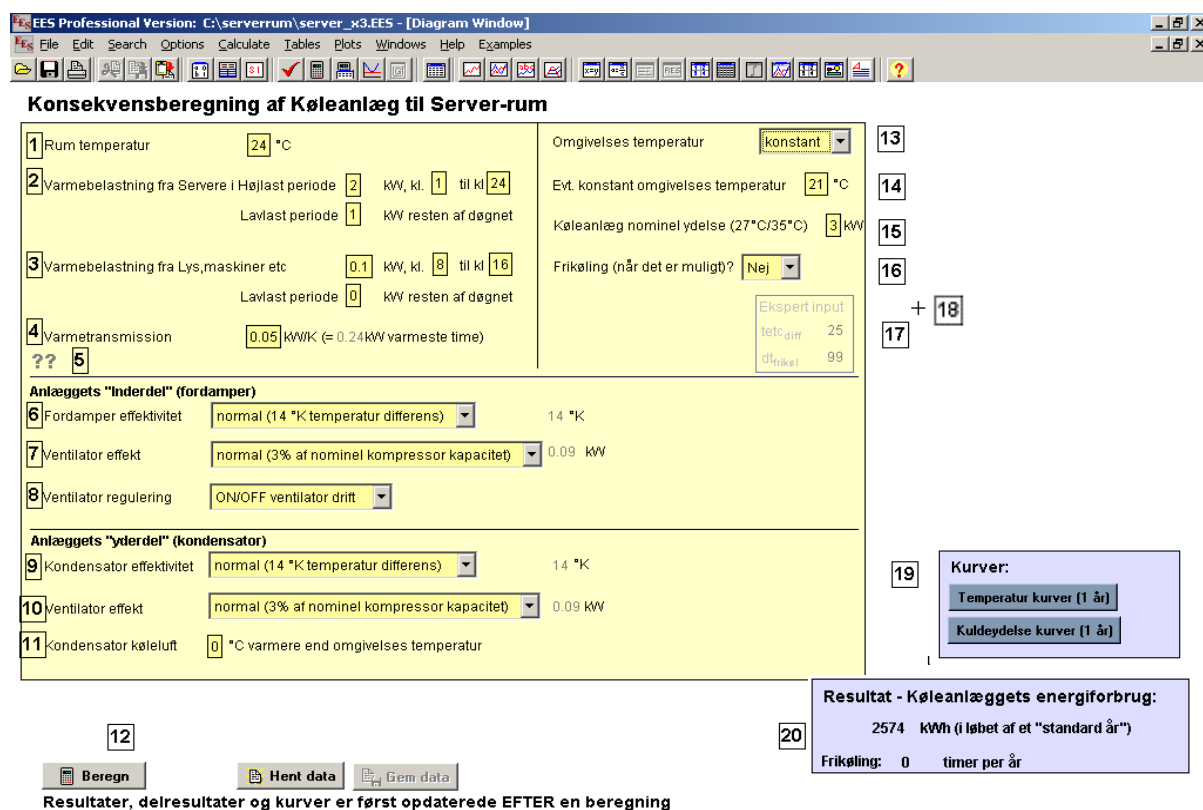
Programmet er ikke udviklet til at gennemføre egentlig optimering af køleanlæg til serverrum.

3.3. Hjælp til program

Programmet er opbygget i Engineering Equation Solver (EES), som er et program, der er hyppigt anvendt i køleindustrien. I programmet er det muligt at lave en version, der frit kan distribueres uden yderligere licensaftale med programmets ophavsmænd. Det er en sådan version, der her er udviklet. Selve kildekoden til programmet opbevares naturligvis af Teknologisk Institut.

Det er ikke muligt at gemme programmet i denne version, men de enkelte inputs kan gemmes på inputvariable fil (se bemærkning 12).

I det følgende gennemgås de enkelte output- og inputparametre.



Figur 3.3.1. Skærbillede ved anvendelse af beregningsprogram, med angivelse af kommentarer (se nedenfor).

- Bemærkning 1: Her indtastes den ønskede rumtemperatur i serverrummet som er lig lufttemperaturen til køleanlæggets fordamper.
- Bemærkning 2: Her indtastes servernes effektforbrug og dermed deres varmebelastning til serverrummet. Der kan indtastes en værdi for højlastperiode (eksempel dagtimerne) og en anden værdi for lavlastperiode (eksempelvis nattetimerne). Fx. Høj last 2 kW klokken 6 til 22. Lav last 1 kW resten af tiden.
- Bemærkning 3: Her indtastes de øvrige elforbrugene apparaters bidrag til rummet (fx lys og andre maskiner), og her kan ligeledes opereres med to niveauer af belastning.
- Bemærkning 4: Her indtastes rummets isoleringsgrad mod omgivelserne angivet i kW/K. Ved beregning kan her aflæses hvad varmeindfaldet til rummet er i årets varmeste time.
- Bemærkning 5: Her melder programmet, hvis indetemperaturen stiger over setpunktet som følge af at anlægget kølekapacitet er for lille.
- Bemærkning 6: Her indtastes data for fordamperfladen (effektivitet) som angives med en forskel mellem luft- og fordampningstemperatur. Der kan i rullemenu vælges mellem tre niveauer (god, normal eller dårlig) eller der kan angives en specifik delta T for fordamperen (hvis den kendes).
- Bemærkning 7: Her indtastes data for fordamperens ventilator (effekt) som angives som en procentdel af kompressorens nominelle kuldeydelse. Der kan i rullemenu vælges mellem tre niveauer (god, normal eller dårlig) eller der kan angives et specifik effektoptag (kW) for ventilatoren (hvis den kendes). Den aktuelle ventilator effekt fremgår til højre for rullemenuen efter endt beregning (tast "Beregn").
- Bemærkning 8: Her angives med rullemenu hvorvidt fordamperventilatoren kører konstant eller synkront med kompressoren (on/off).
- Bemærkning 9: Her indtastes data for kondensatorfladen (effektivitet) som angives med en forskel mellem luft- og kondenseringstemperatur. Der kan i rullemenu vælges mellem tre niveauer (god, normal eller dårlig) eller der kan angives en specifik delta T for kondensatoren (hvis den kendes).
- Bemærkning 10: Her indtastes data for kondensatorens ventilator (effekt) som angives som en procentdel af kompressorens nominelle kuldeydelse. Der kan i rullemenu vælges mellem tre niveauer (god, normal eller dårlig) eller der kan angives et specifik effektoptag (kW) for ventilatoren (hvis den kendes). Den aktuelle ventilator effekt fremgår til højre for rullemenuen efter endt beregning (tast "Beregn")

- Bemærkning 11: Her angives om kondensatoren eventuelt er tilsluttet et kanalsystem eller er placeret i et rum, som altid er en fast ΔT varmere end omgivelserne. Dette angives ved at hæve temperaturen et antal grader over udetemperaturen eller over den konstante omgivelsestemperatur (se [12,13]).
- Bemærkning 12: Der **skal** trykkes BEREGN efter indtastning af nye data - EES foretager ingen beregning, før der klikkes på denne knap eller alternativt tastes F2.
- På de øvrige knapper i dette område kan der hentes input variable fra fil, og de sidst indtastede inputvariable kan gemmes i separat fil.
- Bemærkning 13: Her angives om kondensatoren er monteret i udeluft eller indendørs eksempelvis i større byggeri, hvor kondensatorvarmen udnyttes til opvarmning af andre rum. I sidstnævnte tilfælde skal så angives en omgivelsestemperatur, som i dette tilfælde vil træde frem som et input felt (se [14]).
- Bemærkning 14: Her angives den konstante omgivelsestemperatur (se [13]). Temperaturen er gældende for kondensatorens køleluft, og for omgivelserne ovennævnte.
- Bemærkning 15: Her angives køleanlæggets nominelle ydelse ved 27/35°C (i henhold til EN814). Denne størrelse fremgår af anlæggets tekniske dokumentation.
- Bemærkning 16: Her angives om det er muligt at benytte sig af frikøling, der i denne sammenhæng betyder køling med friskluft i perioder, hvor udetemperaturen er et antal grader under serverrumstemperaturen (angives i [17] af den kyndige bruger). I tilfælde af frikøling antages det, at ventilatoren i køleanlæggets indedel anvendes til at skabe frikølingen. Elforbruget til denne ventilator medtages derfor ved frikøling.
- Bemærkning 17: Disse inputvariable er for den kyndige bruger - her indtastes den minimale temperaturforskelle mellem fordampnings- og kondenseringstemperatur samt niveauet for frikøling, altså den temperatur-differens der skal være til stede før frikølingen er aktiv [$dt_{frikøl}$].
- Bemærkning 18: Her ses fordelingen af energiforbruget angivet som kondensator-ventilatorens, fordamperventilatorens og kompressorens energiforbrug – også kun for den kyndige bruger.
- Bemærkning 19: Ved klik på disse fire knapper fremkommer fire plot, hvor beregningsresultaterne vises på illustrativ form.
- Bemærkning 20: Det samlede resultat af beregningerne angivet som det samlede energiforbrug over en et års periode. Desuden angives i hvor man-

ge timer om året, det er muligt at anvende frikøling med de givne forudsætninger.

3.4. Parametervariationer med modellen

Der er i det følgende gennemført parametervariationer med modellem for to køleanlæg. Det er forsøgt at tilpasse modellen til køleanlæggene i serverrummene hos henholdsvis Kolding Kommune og Elsparefonden, idet disse køleanlæg størrelsesmæssigt ligger i hver sin ende af spektret af de besigtigede anlæg.

3.4.1. Kolding Kommune

På baggrund af oplysninger fra Kolding Kommune og det kølefirma, der i 2000 installerede køleanlægget, er modellen tilrettet som vist i figur 3.4.1.

EES Distributable Q:\koel\server ver1.EXE 1. server ver1.0 - [Diagram Window]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

Konsekvensberegning af Køleanlæg til Server-rum

Rum temperatur	23 °C	Omgivelses temperatur	udeluft
Varmebelastning fra Servere i Højlast periode	17 kW, kl. 1 til kl. 24	Køleanlæg nominal ydelse (27°C/35°C)	39 kW
Lavlast periode	17 kW resten af døgnet	Frikøling (når det er muligt)?	Nej
Varmebelastning fra Lys,maskiner etc	0 kW, kl. 8 til kl. 16	Eksport input	tet _{diff} 10 d _{trikel} 99
Lavlast periode	0 kW resten af døgnet		
Varmetransmission	0 kW/K (-3.5°C varmeste time)		

Anlæggets "Inderdel" (fordamper)

Fordamper effektivitet	dårlig (18 °K temperatur differens)	18 °K
Ventilator effekt	bruger defineret	2.50 kW
Ventilator regulering	Konstant ventilator drift	

Anlæggets "Yterdel" (kondensator)

Kondensator effektivitet	dårlig (18 °K temperatur differens)	18 °K
Ventilator effekt	bruger defineret	0.96 kW
Kondensator køleluft	15 °C varmere end omgivelses temperatur	

Kurver:

Temperatur kurver (1 år)

Kuldeydelse kurver (1 år)

Resultat - Køleanlæggets energiforbrug:

52043 kWh (i løbet af et "standard år")

Frikøling: 0 timer per år

Beregn Hent data Gem data

Resultater, delresultater og kurver er først opdaterede EFTER en beregning

Figur 3.4.1. Model for køleanlægget i Kolding Kommunes serverrum.

Hovedinputparametrene er:

Lufttemperatur til servere:	23°C
Varmebelastning:	17 kW
Indedels ventilator:	2,6 kW
Udedels ventilator:	0,96 kW
Køleeffekt ved 27/35°C:	39 kW
Ingen frikøling	

Det er desuden antaget, at der er en stor temperaturforskel mellem luft og henholdsvis fordampere og kondensator ved nominel drifttilstand: 18 K. Det antages her, at rummet, hvor kondensatorerne er placeret, er 15 K varmere end udeluften.

På trods af dårlige fordampere og kondensatorer, samt en høj lufttemperatur til kondensatorerne beregnes det årlige elforbrug til 52 MWh mod målt 67 MWh. Bedre overensstemmelse mellem model og målinger kan ikke opnås uden mere detaljerede målinger. Alligevel anvendes modellen i figur 3.4.1 som udgangspunkt for parametervariationerne.

Følgende er varieret:

- Kondensatorerne placeres udenfor
- Indedelens ventilator kører hele tiden. Det betyder at denne ventilators elforbrug udgør 38% af køleanlæggets elforbrug. Ventilatoren sættes derfor til at starte og stoppe med kompressoren
- Frikøling med udeluft når udelufttemperaturen er under 15°C
- Lufttemperaturen til køleanlæggets fordampere er varieret
- Varmebelastningen er varieret

Kørsel	årligt elforbrug MWh	besparelse i forhold til ud- gangspunkt %	antal timer med frikøling
Udgangspunkt	52,0	-	
Kondensatorer udenfor	40,7	22	
On/off-styring af indedelens ventilator	44,2	15	
Frikøling	30,0 ¹	42	7120

Tabel 3.4.1. Resultatet af nogle parametervariationer med modellen for køleanlægget i Kol-ding Kommunes serverrum.

¹ Ventilatoren i køleanlæggets indedel anvendes til at skabe frikølingen.

Lufttemperatur til servere °C	årligt elforbrug MWh	besparelse i for- hold til ud- gangspunkt %
20	55,3	-6,3
23 (udgangspunkt)	52,0	0
25	50,1	3,7
28	47,7	8,3

Tabel 3.4.2. Resultatet af ændring af lufttemperaturen til køleanlæggets fordampere.

Varmebelastningen i serverrummet kW	årligt elforbrug MWh	besparelse i forhold til udgangspunkt %
17 (udgangspunkt)	52,0	0
15,3 (10% lavere end 17)	49,4	5,0
13,6 (20% lavere end 17)	46,8	10,0
11,9 (30% lavere end 17)	44,1	15,2
10,2 (40% lavere end 17)	41,5	20,2

Tabel 3.4.3. Resultatet af reduktion af varmebelastningen i serverrummet.

Ovenstående parametervariationer viser, at der er en sandsynligvis let besparelse ved at overgå fra konstant kørende ventilatorer i køleanlæggenes indedel til on/off-styret afhængig af kompressoren. Her skal der dog tages hensyn til luftfordelingen i serverrummet ved slukket ventilatorer, ligesom termostaten i anlægget skal flyttes fra kanalen til rummet.

At flytte kondensatorerne udenfor kan måske give en besparelse på 22% - hvis det er korrekt, at disse ellers oplever en omgivelsestemperatur, der er 15 K højere end udeluften.

Besparelsen ved frikøling med udeluft er meget afhængig af, hvor stor en ventilator, der er nødvendig for at drive frikølingen samt, om den er modulerende. Ved at bruge indedelens ventilator til at skabe frikølingen kan der opnås en besparelse på 42%, selvom der er mulighed for frikøling i mere end 80% af tiden. Det skyldes, at frikøling substituerer køleanlægget, når det er koldt udenfor, hvor køleanlægget er mest effektivt og dermed har lavest elforbrug. Køleanlægget kører stadig hovedparten af sommeren, hvor det er mindst effektivt, og hvor elforbruget derfor er højt. Mindre og modulerende ventilator til frikøling vil øge besparelsen.

Hvis den kolde luft fra køleanlæggene og den varme luft fra serverne - som foreslået i afsnit 2.1.1.4 - separeres, og volumenstrømmen i anlægget sænkes, vil lufttemperaturen til køleanlæggene kunne hæves til måske 28°C. Det kan betyde en besparelse på 8% af elforbruget til køleanlæggene.

Reduktion i elforbruget til serverne vil slå igennem som en ca. 50% reduktion i elforbruget til køling. En reduktion i servernes elforbrug på 30% vil således lede til 15% besparelsen i elforbruget til køleanlæggene.

Der er således gode muligheder for at reducere elforbruget til køleanlæggene i serverrummet hos Kolding Kommune. Det skal dog erindres, at ovenstående besparelser ikke er additive – dvs. to tiltag vil føre til en besparelse, der er mindre end summen af de to tiltags besparelser.

Til sidst er der lavet en parametervariation, hvor effektiviteten af fordamper og kondensator er forbedret væsentlig: lille temperaturforskel mellem luft og henholdsvis fordamper og kondensator ved nominel drifttilstand: 10 K. Samt mindre ventilatorer: 1% af nominel kompressor kapacitet: 0,39 kW – men stadig konstant kørende fordamper-ventilator. Alle andre parametre er bibeholdt som vist i figur 3.4.1. Dette giver et årligt elforbrug på 21.2 MWh/år, hvilket er en reduktion på 59%. Et sådant mere effektivt køleanlæg skal bygges på stedet og vil være dyrere end anlægget, som i dag findes i forbindelse med serverrummet hos Kolding Kommune.

Hvis lufttemperaturen til fordamperen øges til 28°C, indedelens ventilator on/off-styres og kondensatorerne flyttes udenfor, vil elforbruget til køling yderligere reduceres til 14,6 MWh/år. Frikøling med udeluft under 20°C vil herefter yderligere reducere elforbruget til 3,9 MWh/år.

3.4.2. Elsparefonden

På baggrund af oplysninger fra Elsparefonden og datablad for køleanlægget er modellen tilrettet som vist i figur 3.4.2.

EES Distributable Q:\koel\server ver1.EXE 1. server ver1.0 - [Diagram Window]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

Konsekvensberegning af Køleanlæg til Server-rum

Rum temperatur	24 °C	Omgivelses temperatur	udeluft
Varmebelastning fra Servere i Højlast periode	0.46 kW, kl. 1 til kl 24	Køleanlæg nominal ydelse (27°C/35°C)	2.8 kW
Lavlast periode	0.46 kW resten af døgnet	Frikøling (når det er muligt)?	Nej
Varmebelastning fra Lys,maskiner etc	0.05 kW, kl. 8 til kl 16	Ekspert input	tet _{diff} 10 dt _{køle} 99
Lavlast periode	0 kW resten af døgnet		
Varmetransmission	0.01 kW/K (= 0.048 kW varmeste time)		

Anlæggets "Inderdel" (fordamper)

Fordamper effektivitet	dårlig (18 °K temperatur differens)	18 °K
Ventilator effekt	normal (3% af nominal kompressor kapacitet)	0.08 kW
Ventilator regulering	Konstant ventilator drift	

Anlæggets "Yderdel" (kondensator)

Kondensator effektivitet	dårlig (18 °K temperatur differens)	18 °K
Ventilator effekt	normal (3% af nominal kompressor kapacitet)	0.08 kW
Kondensator køleluft	0 °C varmere end omgivelses temperatur	

Kurver:

Temperatur kurver [1 år]

Kuldeydelse kurver [1 år]

Resultat - Køleanlæggets energiforbrug:

1156 kWh (i løbet af et "standard år")

Frikøling: 0 timer per år

Beregn Hent data Gem data

Resultater, delresultater og kurver er først opdaterede EFTER en beregning

Figur 3.4.2. Model for køleanlægget i Elsparefondens serverrum.

Hovedinputparametrene er:

- Lufttemperatur til servere: 24°C
- Varmebelastning: 0,46 kW
- Indedels ventilator: 0,084 kW
- Udedels ventilator: 0,084 kW
- Køleeffekt ved 27/35°C: 2,8 kW
- Ingen frikøling
- Solindfald og lys: 0,05 kW mellem kl. 8 og 16
- Varmetab fra rummet: 0,01 kW

Med de to sidste bidrag/tab bliver den årlige varmebelastning ca. 3.000 kWh, på grund af et relativt stort varmetab gennem vinduet.

Der er ikke målt årligt elforbrug for køleanlægget, så dette kan ikke sammenlignes med modellens 1.156 kWh. Et elforbrug på 1.156 kWh giver en nyttevirkningsgrad på 2.6.

Følgende er varieret:

- Indedelens ventilator kører hele tiden. Det betyder at denne ventilators elforbrug udgør 64% af køleanlæggets elforbrug. Ventilatoren sættes derfor til at starte og stoppe med kompressoren
- Frikøling med udeluft når udelufttemperaturen er under 15°C
- Lufttemperaturen til køleanlæggets fordampere er varieret
- Varmebelastningen er varieret

Kørsel	årligt elforbrug kWh	besparelse i forhold til udgangspunkt %	antal timer med frikøling
Udgangspunkt	1.156	-	
On/off-styring af indedelens ventilator	484	58	
Frikøling	856 ¹	26	7120

Tabel 3.4.4. Resultatet af nogle parametervariationer med modellen for køleanlægget i Elsparfondens serverrum.

¹ En ventilator af samme størrelse som ventilatoren i køleanlæggets indedel anvendes til at skabe frikølingen.

Lufttemperatur til servere °C	årligt elforbrug kWh	besparelse i forhold til udgangspunkt %
20	1.239	-7,2
22	1.195	-3,4
24 (udgangspunkt)	1.156	0
26	1.122	2,9
28	1.092	4,5

Tabel 3.4.5. Resultatet af ændring af lufttemperaturen til køleanlæggets fordampere.

Varmebelastningen i serverrummet kW	årligt elforbrug kWh	besparelse i forhold til udgangspunkt %
0,46 (udgangspunkt)	1.220	0
0,42	1.160	4,9
0,38	1.110	9,0
0,34	1.055	13,5
0,30	1.000	18,0

Tabel 3.4.6. Resultatet af reduktion af varmebelastningen i serverrummet.

Ovenstående parametervariationer viser, at der er en sandsynligvis let og stor besparelse ved at overgå fra konstant kørende ventilator i køleanlæggets indedel til on/off-styret afhængig af kompressoren. Der er her kun regnet med et trin for ventilatoren. Hvis den har flere trin og de i dag udnyttes, vil besparelsen være mindre. Besparelsen på 58% er i samme størrelsesorden som elforbruget til indedelens ventilator i reference-tilfældet – 64%. Det skyldes, at anlægget og dermed ventilatoren er overdimensioneret i forhold til behovet. Ventilatorens effektforbrug bidrager derfor væsentligt til varmebelastningen i rummet. Ved on/off styring af ventilatoren reduceres kompressorens elforbrug med 17%.

Besparelsen ved frikøling med udeluft er meget afhængig af, hvor stor en ventilator, der er nødvendig for at drive frikølingen samt, om den er modulerende. Ved at bruge indedelens ventilator til at skabe frikølingen kan der opnås en besparelse på 26%, selvom der er mulighed for frikøling i mere end 80% af tiden. Det skyldes, at frikøling substituerer køleanlægget, når det er koldt udenfor, hvor køleanlægget er mest effektivt og dermed har lavest elforbrug. Køleanlægget kører stadig hovedparten af sommeren, hvor det er mindst effektivt, og hvor elforbruget derfor er højt. Desuden er en ventilator på 85 W sandsynligvis større end nødvendig for at drive frikølingen.

Hvis den kolde luft fra køleanlæggene og den varme luft fra serverne separeres, vil lufttemperaturen til køleanlæggene kunne hæves til måske 28°C, kan der spares 4,5% af elforbruget til køleanlæggene.

Reduktion i elforbruget til serverne vil slå igennem som en ca. 40% reduktion i elforbruget til køling. En reduktion i servernes elforbrug på 30% vil således lede til 12% besparelsen i elforbruget til køleanlæggene.

Der er således gode muligheder for at reducere elforbruget til køleanlæggene i serverrummet hos Elsparefonden. Det skal dog erindres, at ovenstående besparelser ikke er additive – dvs. to tiltag vil føre til en besparelse, der er mindre end summen af de to tiltags besparelser.

Til sidst er der lavet en parametervariation, hvor effektiviteten af fordamper og kondensator er forbedret væsentlig: lille temperaturforskel mellem luft og henholdsvis fordamper og kondensator ved nominel drifttilstand: 10 K. Samt mindre ventilatorer: 1% af nominel kompressor kapacitet: 0,03 kW – men stadig konstant kørende fordamper-ventilator. Alle andre parametre er bibeholdt som vist i figur 3.4.2. Dette giver et årligt elforbrug på 515 kWh, hvilket er en reduktion på 55%. Det er dog måske ikke muligt at finde et lille køleanlæg, der er så effektivt.

Hvis lufttemperaturen til fordamperen øges til 28°C og indedelens ventilator on/off-styres, vil elforbruget til køling yderligere reduceres til 244 kWh/år. Frikøling med udeluft under 20°C vil herefter forøge elforbruget lidt til 254 kWh/år. Hvis der anvendes en mindre og modulerende ventilator til frikølingen, kan elforbruget til køling måske komme ned på 150 kWh. Dette er derfor meget vigtigt at reducere elforbruget til ventilatoren i forbindelse med frikøling med udeluft.

3.5. Sammenfatning

Beregninger med det udviklede program til beregning af elforbruget til køleanlæg i serverrum viser for de beregnede eksempler – bemærk at de følgende besparelser ikke er af generel karakter (andre udgangspunkter for beregningerne vil sandsynligvis give andre størrelser):

- en forøgelse af lufttemperaturen til køleanlæggets fordampere vil resultere i en besparelse på 1-2%.
- en reduktion i varmebelastningen 1 kWh giver en reduktion i elforbruget til køling på 0,2-0,25 kWh.
- frikøling kan lede til en besparelse på 25-40%.
- on/off styring af inddelens ventilator frem for altid kørende kan give en besparelse på 15-60% afhængig af, hvor stor ventilatoren er i forhold til varmebelastningen i serverrummet.
- placering af køleanlæggets kondensator ved en højere lufttemperatur end udeluften forøger elforbruget til køling – i det givne eksempel ved en 15 K højere lufttemperatur: 22%.

Ovenstående forbedringer skal dog sammenholdes med udgiften til at gennemføre forbedringerne.

Det var ikke mulig at opnå samme elforbrug til køling som målt af Kolding Kommune. For at kunne det, er der behov for detaljerede målinger på køleanlægget. Det målte elforbrug er 15% højere end det beregnede, selv om det i beregningerne er antaget en "dårlig" fordampere og kondensator. Dette antyder, at der måske også er en ikke uvæsentlig besparelse i at undersøge, om køleanlæggene i serverrum er indreguleret korrekt.

4. Interviews med serverleverandører

Forrige kapitel viser, at det er muligt at opnå ikke uvæsentlige besparelser ved at øge lufttemperaturen til køleanlægs fordamper samt ved at sænke varmebelastningen i serverrum. De tre største serverleverandører Hewlett-Packard, SUN og IBM blev derfor kontaktet for at fastlægge, dels hvilke forhold servere bør operere under, og dels hvilket besparelspotentiale der er i servernes elforbrug og dermed varmebelastningen i serverrum.

De følgende afsnit beskriver resultatet af kontakten til de tre serverleverandører.

4.1. Hewlett-Packard

Interview med Kim Iversen.

4.1.1. Omgivelsesforhold for servere

Temperatur og luftfugtighed i serverrum: Omgivelsestemperaturen skal ligge mellem 10 og 35°C. HP anbefaler 20°C, fordi en høj temperatur hurtigt kan lede til problemer, hvis køleanlægget stopper. HP's eget serverrum har en temperatur på 24°C (målepunktet kendes ikke). Luftfugtigheden skal ligge mellem 10 og 90% og være "non condensing". HP anbefaler 60-70%. Ved for lav luftfugtighed (ca. omkring 50% og ned efter) opstår der nemt statisk elektricitet, der kan beskadige elektronisk udstyr f.eks. ved servicering.

Temperatur og luftfugtighed til CPU: Har de ingen besluttet viden om, da det er afhængigt af omgivelses temp etc. Normalt vil en CPU have en overflade temperatur på ca. 70 grader. I en HP server er der følere indvendigt i serveren der konstant måler på temperaturen omkring vitale dele i en server. Hvis temperaturen stiger vil blæsernes hastighed stige tilsvarende, og derved holde temperaturen konstant. Hvis temperaturen alligevel skulle stige til for høje temperaturer inde i servere, evt på grund af et defekt køleanlæg, vil serveren på et tidspunkt selv lukke ned, og på den måde beskytte data.

Hvis ovenstående anbefalinger overholdes vil der ikke opstå problemer.

Må omgivelsesforholdene varierer: Variationer indenfor ovenstående er tilladte. De bør ikke ske for hurtigt – specielt må overflader ikke blive så kolde, at kondensation opstår.

Er garantien afhængig af omgivelsesforhold: Garantien er afhængig af, at omgivelserne opfylder de ovenfor givne krav. Kim Iversen har dog aldrig hørt om, at garantien ikke har dækket på grund af det, men dermed ikke sagt at det ikke er sket.

4.1.2. Energiforbrug

CPU

HP's servere kan ikke gå i sleep-mode eller variere clock-frekvensen afhængig af belastningen. I stedet leverer HP en servertype, der kaldes Blade-servere, hvor samme type CPU som i bærbare pc'er anvendes – dvs. med lavt elforbrug. Blade-servere kan måske give en besparelse i elforbruget på 50%. Men Blade-servere er kun beregnet, til at kunne afvikle mindre applikationer, så som små web servere, firewalls etc. MicroSoft kan ikke køre klynger, hvor regnekraften fra de enkelte servers CPU'er deles. Det kan gøres med Linux og Unix. De små E-blades er kun supporteret af Microsoft og Linux.

Virtuelle servere som omtalt i forbindelse med besøget hos Kolding Kommune, vil også kunne spare elforbrug. Man skal dog være opmærksom på at licensen til en Virtuel server er ekstremt dyr, så resultatet nemt over en længere periode viser at licens udgift overstiger strømforbruget. Licensen til en 2 CPU-maskine starter et sted omkring 25.000 kroner.

Eksempel: En fysisk server i den ende bruger ca. 300 W. Ganger vi det op på et år, bliver det $300 \times 24 \text{ timer} \times 365 \text{ dage} = 2.628 \text{ kWh}$. Ifølge Nesa svarer det til ca. 5.000 kr. pr. år incl. moms og afgifter. Så rent økonomisk kan der købes flere servere til licensprisen.

Udviklingen har indtil videre været sådan, at regnekapaciteten vokser hurtigere end elforbruget.

Harddisk

Kim Iversen havde ikke viden om harddiskes elforbrug, da han bestiller fra leverandører, der kan levere en disk af god standard. Det er det fra IBM

Strømforsyning

Effektiviteten af strømforsyningerne i HP's servere ligger mellem 50 og 70%, selv om det er switch mode strømforsyninger. For nyere servere vil den typisk ligge på 70%. Serverne vil blive for dyre, hvis de skal leveres med mere effektive strømforsyninger. Et øget brugerpris vil dog helt sikkert sænke prisen på mere effektive strømforsyninger, men køberne er IT-afdelinger, der udelukkende tænker på den datamæssige performance. Elforbruget vedrører typisk en anden kasse.

4.1.3. Krydsfelter

Krydsfelter har intet varmeproblem, med mindre der er switches, som har samme krav til omgivelserne som servere. Hvis krydsfeltet er placeret i et vel-ventileret rum eller i rack med god ventilation til et større rum (ikke kosteskab) er der ikke behov for køling.

4.2. SUN

Interview med Peter Lange.

Peter Lange fortalte, at SUN i Danmark kun er en handelsorganisation - de deltager ikke i design af computere, de sælger kun computere. Peter Lange henviste i stedet til relevante links på deres hjemmeside, hvor det følgende er taget fra

4.2.1. Omgivelsesforhold for servere

Datablade anbefaler følgende forhold for forskellige størrelser af servere – størrelsen er angivet ved deres max. effektforbrug.

navn	størrelse	effektforbrug	temperatur	luftfugtighed
SUN V 120	lille kompakt server	98 W	5-40°C	5-85%
SUN Fire V880	medium	3.000 W	5-35°C	20-80%
SUN Fire 15K	meget stor server	13.917 W	21-23°C	45-50%

Kravene til omgivelsesforhold stiger med serverstørrelsen.

Men i et andet dokument vedr. indretning af serverrum for mindre servere står:

An ambient temperature range of 21 to 23 °C (70 to 74 °F) is optimal for system reliability and operator comfort. While most computer equipment can operate within a rather broad range, a temperature level near 22 °C (72 °F) is desirable because it is easier to maintain safe associated relative humidity levels at this temperature. Further, this recommended temperature provides an acceptably wide operational buffer in case of downtime from environmental support systems.

Note that the operating temperature for all of the systems is 5 to 35 °C (41 to 95 °F). These temperatures apply to the air taken in by each server *at the point where the air enters the server*. It is important to ensure that the temperature is within 5 to 35 °C at approximately 10 cm (4 inches) from the front of the server. This is because temperatures in the data center are different depending on where in the room the measurements are taken.

Ambient relative humidity levels between 45% and 50% are most suitable for safe server operations. This optimal range helps protect the systems from corrosivity problems associated with high humidity levels. It also provides the greatest operating time buffer in the event of an environmental control system failure.

Further, maintaining a relative humidity level between 45% and 50% helps avoid system failures or temporary malfunctions caused by intermittent interference from electrostatic discharge (ESD) that occur when relative humidity is too low. Electrostatic discharge is easily generated and less easily dissipated in areas where the relative humidity is below 35%, and becomes critical when relative humidity drops below 30%.

4.2.2. Energiforbrug

Peter Lange fortæller, at SUN også arbejder med blade-teknologi. De anvender f.eks. tilsvarende Amd CPU, som anvendes i bærbare computere. Disse CPU kan reguleres, så clock-frekvensen tilpasses belastningen, hvorved elforbruget reduceres. Ifølge Peter Lange udnytter SUN dog ikke denne facilitet.

4.3. IBM

Besvaret af Kim Mortensen.

IBM eServer xSeries

**Omgivelsesforhold for udvalgt repræsentativ rack server,
IBM xSeries 345, model 8670-51X, Dual 2,67GHz Intel XeonDP processor, op til 8GB
DDR hukommelse, 6 hot-swap Ultra320 SCSI harddiske:**

Temperatur i rum: 10-35 C

Luftfugtighed i rum: 8-80%

(I en specifikation for computer rum anbefaler IBM en lufttemperatur til serverne på 22°C $\pm 2^\circ\text{C}$ og en luftfugtighed på 45% $\pm 5\%$ og at ændringer indenfor en time på $\pm 3^\circ\text{C}$ og for luftfugtigheden på $\pm 10\%$ er uacceptabelt (ed)).

Temperatur til CPU: ingen individuelle krav, se krav til temperatur i rum

Luftfugtighed til CPU: ingen individuelle krav, se krav til luftfugtighed i rum

Er garantien afhængig af omgivelsesforhold: ja

Energiforbrug

CPU:

Effektforbrug pr. MHz: kan ikke oplyses

Mulighed for reduktion af effektforbrug ved lille belastning: nej

Harddisk

Effektforbrug pr. Gbyte: kan ikke oplyses

Mulighed for reduktion af effektforbrug ved lille belastning uden af forøge access-tiden; nej

Strømforsyning

Effektivitet af strømforsyning; Single eller Dual (redundant) 350 W strømforsyning

Muligheder for forbedring, nej

Krydsfelter – ikke denne afdelings område

4.4. Sammenfatning

Resultatet af kontakten til de tre største serverleverandører i Danmark bærer præg af, at disse firmaer i Danmark primær er salgsorganisationer. Det har været svært at få svar på konkrete spørgsmål om specielt muligheder for reduktion af elforbruget i forbindelse med servere.

Formålet med kontakterne var at fastlægge, om temperaturen af luften til serverne kan øges mere end typisk anvendt i dag og om varmebelastningen fra servere, m.m. kan reduceres, da både en forøgelse af temperaturniveauet og en reduktion af varmebelastningen vil reducere elforbruget til køling.

Samstemmende oplyser serverfabrikanterne at temperaturen af luften til serverne må ligge i intervallet 10-35°C, mens luftfugtigheden må være i området 10-80%. Dvs. ikke særligt strenge krav, men i deres anbefalinger er kravene skærpet meget: Der anbefales således afhængig af firma mellem 20 og 24°C og en luftfugtighed på ikke under 50%.

Besigtigelsen af serverrum viste, at man de fleste steder prøver at leve op til de anbefalede temperaturer, mens man typisk ingen bekymringer har vedrørende luftfugtigheden. Indkøbere af servere er typisk ikke interesseret i servernes elforbrug, men i sikkerhed mod at miste data og hindring af nede perioder for serverne. Derfor går man ret strikt efter at opretholde de anbefalede temperaturforhold for serverne.

Det har været svært at opnå informationer vedr. besparelspotentialt i serveres elforbrug. Det formodes dog stadig, at servernes elforsyninger ikke er effektive nok. Ligeledes kan det formodes, at effektiviteten af de anvendte ventilatorer i servere kunne være bedre.

For at få bedre styr på kravet til omgivelserne og el-besparelspotentialt for servere er det nødvendigt at kontakte serverleverandørernes moder-firmaer. Dette har ikke været muligt i nærværende projekt.

5. Schweiziske undersøgelse

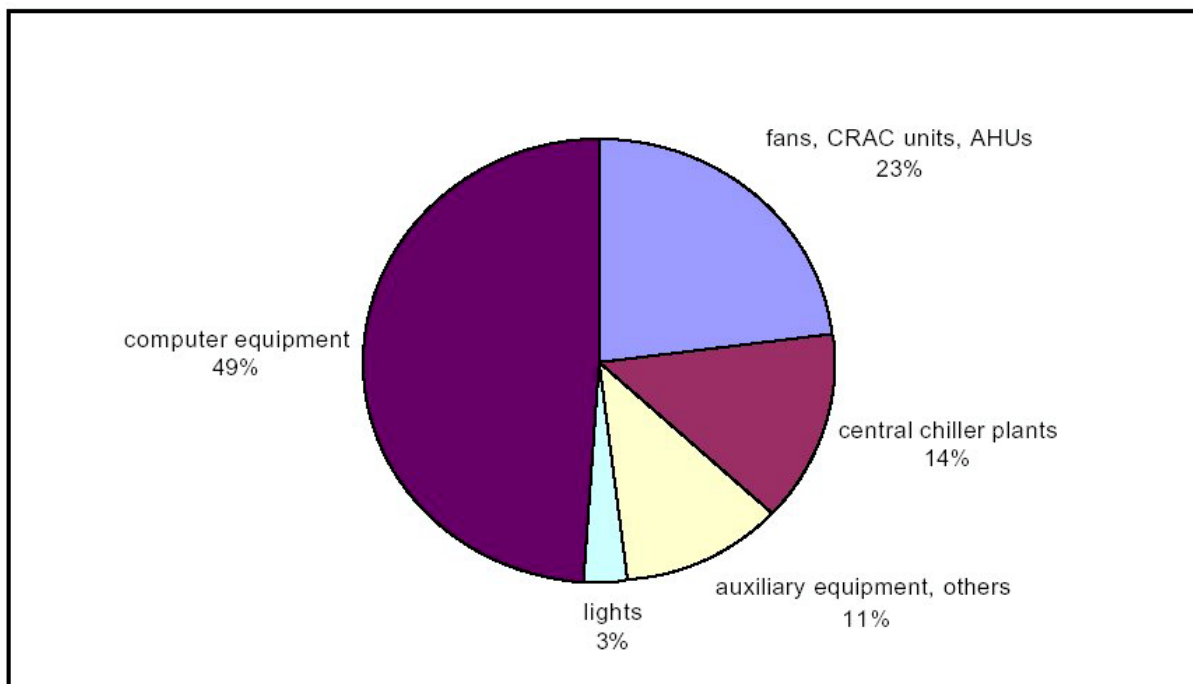
En schweizisk rapport (Energy- and Eco-Efficiency of Data Centres, Aebischer et al, 2003, Geneve) behandler med refererer fra flere forskellige kilder energiforbruget i serverrum. Interessante detaljer fra denne rapport er i det følgende uddraget.

5.1. Fordeling af elforbrug

I rapporten bliver det årlige elforbrug i serverrum opsplittet på følgende måde:

- 45-65 % bruges i serverne (inkl. strømforsyning)
- 20-30 % anvendes til køling
- 10 % til UPS
- lys og andet: få %

En refereret kilde (Mitchell-Jackson, 2001) angiver følgende opsplitning:



Figur 5.1.1. Opsplitning af elforbrug i serverrum (Aebischer et al, 2003).

Figur 5.1.1 er for serverrum med centralt placerede køleanlæg og sandsynligvis køling fremført via en vandkreds. Elforbruget til køling er både de 23 % til fans, m.m. og de 14 % til central chiller plants.

Elforbruget til køling udgør således omkring en tredjedel af serverrums energiforbrug, hvilket svarer til en nyttevirkningsgrad på 2 for køleanlægget, hvilket er i samme størrelsesorden som fundet ved inspektionen af de danske serverrum: nyttevirkningsgrad mellem 1,7 og 2,3.

5.1.1. Serveres effektivitet

(Aebischer et al, 2003) viser følgende tabel for effektiviteten af strømforsyningen målt for 14 servere med en nominal effekt på 300 W. Tabel 5.1.1 viser en meget stor spredning mellem serverne og som funktion af, hvor hård de er belastede.

Power output [W]	efficiency min. [%]	efficiency max. [%]	efficiency average value [%]
2,5 W (0,8 % load)	27	53	38
185 W (62 % load)	70	77	72,5

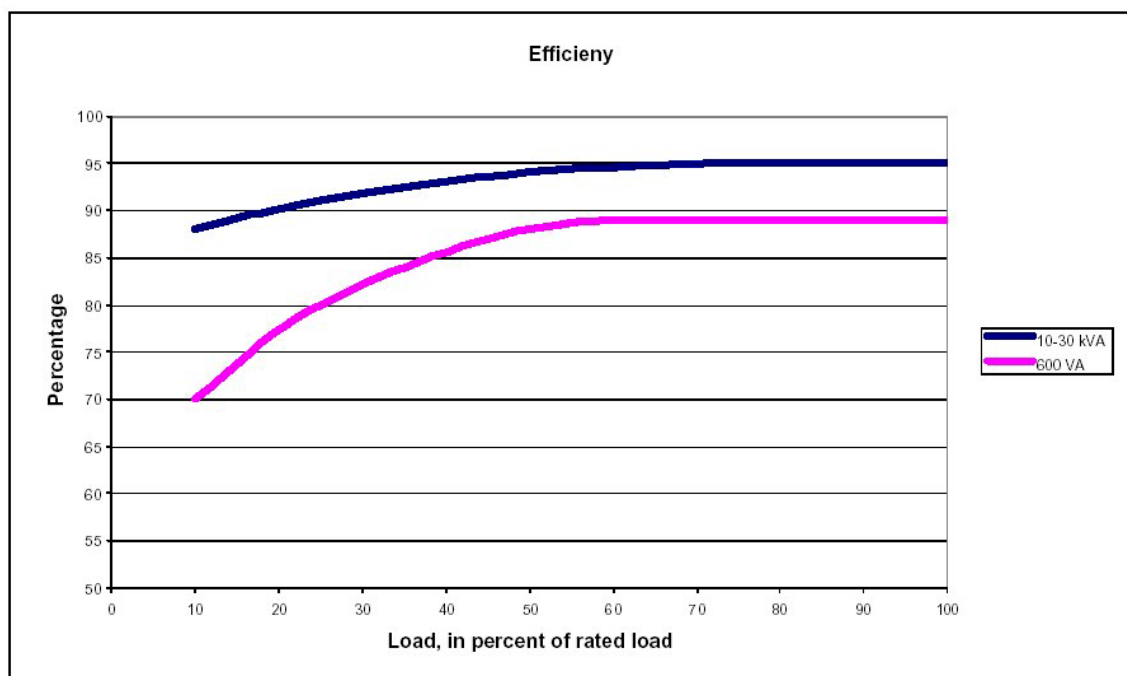
Tabel 5.1.1. Effektiviteten af strømforsyninger i servere (Aebischer et al, 2003).

Strømforsyningen i servere bygger på switch mode teknologi, hvor det er muligt at opnå en effektivitet på 96 % (ed).

Elforbruget i selve CPU'en som udgør det største forbrug kan reduceres til en tiendedel af de i dag anvendte processorer. Disse CPU'er er ifølge (Aebischer et al, 2003) ikke udbredte på markedet i dag.

5.1.2. Effektiviteten af UPS

Figur 5.1.2 viser effektiviteten af en lille og en stor UPS afhængig af belastningen.



Figur 5.1.2. Effektiviteten af to UPS afhængig af belastningen (Aebischer et al, 2003).

Forhandlere angiver max. effektiviteten af batteri-UPS til 93-94,5 % og for roterende UPS til 95-97,5 %.

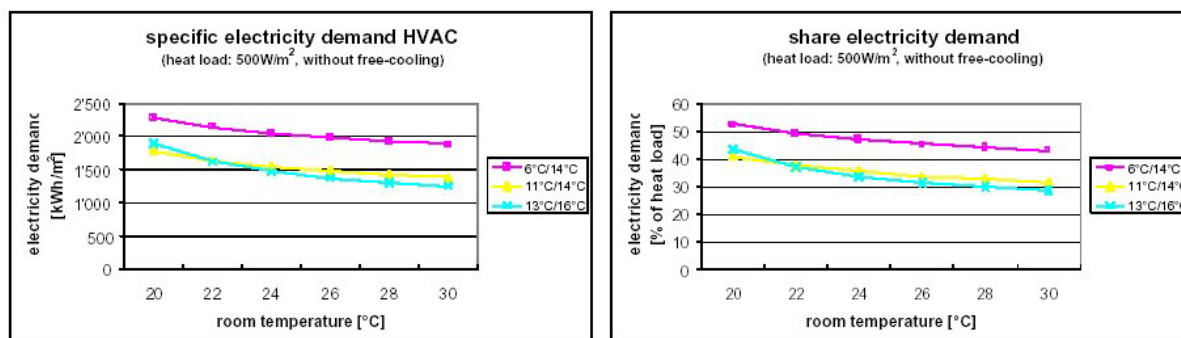
5.1.3. Energiforbrug til køling

(Aebischer et al, 2003) fremhæver, at det er vanskeligt at sige noget generelt om energiforbruget til køling af serverrum, da dette forbrug er meget afhængig af de aktuelle forhold – herunder vejrforhold og systemopbygning.

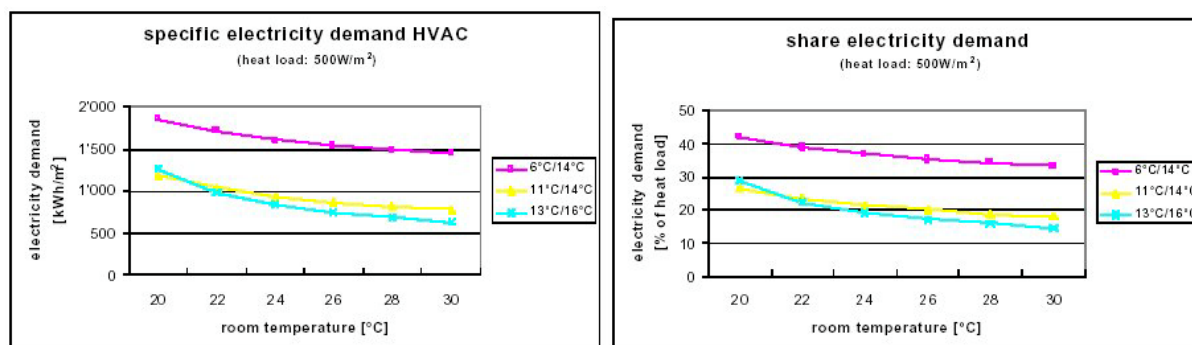
(Aebischer et al, 2003) viser resultatet af nogle simuleringer for et centralt køleanlæg med fremførsel af køling via en vandkreds. I simuleringer er følgende parametre varieret:

- koldt vandstemperaturen til og fra kølefladen (xx/yy°C)
- lufttemperaturen i serverrummet
- lufthastigheden gennem kølefladen og ventilatoreffektivitet
- frikøling via vandkredsen

I figur 5.1.3 er energiforbruget til køling inkl. ventilator vist som funktion af lufttemperaturen i serverrummet og vandtemperaturen i kølekredsen. Figur 5.1.4 viser det samme som figur 5.1.3 men med frikøling, når dette er muligt.



Figur 5.1.3. Det specifikke årlige elforbrug til køling (kWh pr. m² serverrum) og % af varmebelastningen i serverrummet som funktion af lufttemperatur i serverrummet og vandtemperaturen i kølekredsen (Aebischer et al, 2003).

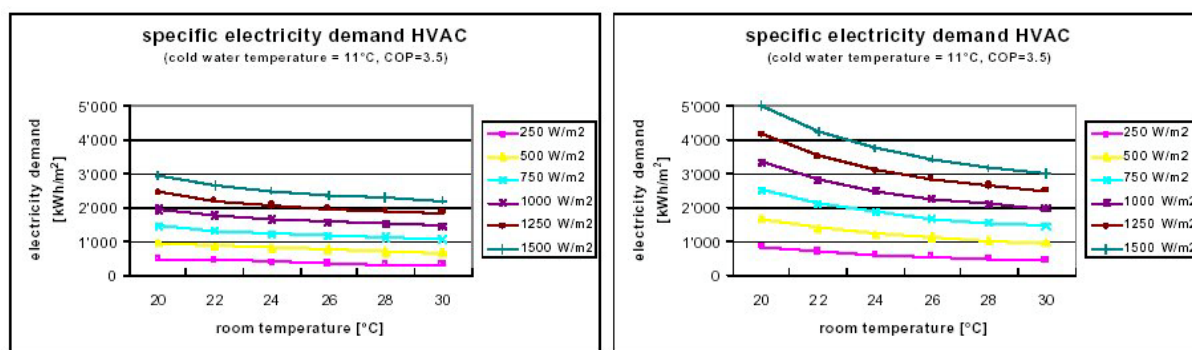


Figur 5.1.4. Det specifikke årlige elforbrug til køling (kWh pr. m² serverrum) og % af varmebelastningen i serverrummet som funktion af lufttemperatur i serverrummet og vandtemperaturen i kølekredsen – med frikøling (Aebischer et al, 2003).

Figur 5.1.3-4 viser, at frikøling afhængig af lufttemperaturen i serverrummet og temperaturen i vandkredsen kan reducere elforbruget til køling med mellem 20 og mere end 50%.

Figur 5.1.4 viser en lav ønsket lufttemperatur i serverrummet og lave temperaturer i kølekredsen forøger elforbruget til køling. En forskel mellem bedst og værst på ca. en faktor 3. Denne faktor er noget lavere, når der ikke er frikøling – figur 5.1.3.

Figur 5.1.5 viser indflydelsen af luft hastigheden gennem kølefladen og ventilatorens effektivitet. Jo større luft hastighed og jo lavere effektivitet for ventilatoren jo større er elforbruget til luftcirkulation samtidigt med at varmebelastningen i kølerummet stiger. Det leder til øget elforbrug til køling.



Figur 5.1.5. Det specifikke årlige elforbrug til køling (kWh pr. m² serverrum) som funktion af lufttemperatur i serverrummet og luft hastighed gennem kølefladen og ventilatorens effektivitet (Aebischer et al, 2003). Til højre 1,5 m/s og ventilatoreffektivitet på 65 %, til venstre 3 m/s og ventilatoreffektivitet på 55 %

Ovenstående figurer viser, at en forøgelse af lufttemperaturen i serverrum, en forøgelse af temperaturerne i kølekredsen, frikøling samt effektive ventilatorer kan lede til en betydelig reduktion i energiforbruget til køling i serverrum.

5.2. Reduktion af elforbruget i serverrum

(Aebischer et al, 2003) giver nogle eksempler på reduktion af elforbruget i serverrum.

5.2.1. Reduktion i varmebelastningen

Tabel 5.2.1 viser et eksempel, hvor elforbruget i strømforsyning, ventilatorer, UPS og andre tab er reduceret. Der er i eksemplet ikke taget hensyn til, at CPU'ens elforbrug også kan reduceres samt at effektiviteten af strømforsyningen kan forøges yderligere. Alligevel når de frem til en besparelse på 25 %.

(Harddiske behandles ikke i (Aebischer et al, 2003). Her kan strømforsyningen også forbedres ligesom flydende ophæng af disken frem for mekanisk ophæng vil reducere elforbruget. (ed))

	before optimisation %	before optimisation W	after optimisation W	after optimisation %
processors, storage devices, input/output	(20-30)%	40-60.	40-60.	(30-40)%
power supply, including power factor correction	(30-60)%	60-120.	60.	40%
fans: heat evacuation by fans	(10-30)%	20-60.	20.	13%
uninterruptible power supply, UPS	(5-20)%	10-40.	10.	6%
other losses	(0-10)%	0-20.	10.	6%
total	100%	200	140-160.	100%

Tabel 5.2.1. Reduktion af serveres elforbrug (Aebischer et al, 2003).

5.2.2. Forbedring af kølingen i serverrummet

Tabel 5.2..2 giver et eksempel på primært forbedring af kølingen af et serverrum.

Table 4-5: Infrastructure electricity consumption in relation to the total yearly electricity consumption for an optimised, a conventional and an inefficient data centre.
¹⁾: 13.6% for central chiller plant, 23.3% for fans, CRAC (computer room air conditioning) units, AHUs (air handling units).
²⁾: Included in "Others".
³⁾: Equipment running at 30 to 40% of capacity.
⁴⁾: (Mitchell-Jackson, 2002); this data centre is described in section 3.3.1
⁵⁾: Simulations by Altenburger (2001)

	optimised infrastructure ⁵⁾	conventional infrastructure ⁵⁾	inefficient infrastructure ⁵⁾	(Mitchell- Jackson, 2001) ³⁾
shares based on:	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kW
free-cooling	yes	yes	no	no ⁴⁾
computer room temperature	26°C	22°C	20°C	20-21°C ⁴⁾
cold water temperature	11/17°C	6/12°C	6/12°C	7-10°C ⁴⁾
COP chillers	4.0	2.5	2.5	unknown
supply air temperature	14°C	12°C	12°C	unknown
pressure loss in CRAC	350Pa	500Pa	900Pa	unknown
fan efficiency	65%	60%	55%	unknown
Computers	75.7%	59.2%	47.6%	48.5%
HVAC	13.3%	24.8%	30.4%	36.9% ¹⁾
Light	2.0%	3.0%	4.0%	3.4%
Power distribution unit	2.0%	4.0%	5.0%	²⁾
UPS	5.0%	7.0%	10.0%	²⁾
Others	2.0%	2.0%	3.0%	11.2%
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tabel 5.2.2. Forbedring af kølingen i et serverrum.

Eksemplet i tabel 5.2.2 viser en reduktion i elforbruget til køling på op mod 67 % fra det værste til det bedste tilfælde.

5.3. Sammenfatning

Selv om konklusionerne fra den schweiziske undersøgelse måske ikke direkte kan anvendes på danske serverrum på grund af forskelle i klima og systemopbygning, giver de alligevel et fingerpeg om, hvor der kan sættes ind. Den schweiziske undersøgelse foreslår følgende indsatsområder:

reduktion af varmebelastningen

- forbedring af CPU'ens virkningsgrad samt mulighed for slukning fremfor standby af ikke belastede CPU'er (samt reduktion af clock-frekvens ved lave belastninger (ed))
- reduktion af tab i andre elforbrugende komponenter i serverne – strømforsyning og ventilatorer
- (- den schweiziske undersøgelse omhandler ikke harddiske. Tilsvarende reduktion i elforbruget kan opnås her (ed))
- mere effektive UPS

reduktion af elforbruget til køling

- forbedret køling – bedre optimering af køleanlæggene, frikøling, m.m.

På baggrund af den schweiziske undersøgelse vurderes det, at elforbruget og dermed varmebelastningen i serverum burde kunne reduceres med minimum 30%.

Reduktionen i CPU'ernes elforbrug kommer sandsynligvis af sig selv, idet chip-fabrikanten hele tiden prøver at optimere deres produkter hen imod øget regnekraft. Dette kan kun lade sig gøre ved at reducere elforbruget i chip'ne, da de ellers bliver for varme og sætter ud.

Mere energieffektive strømforsyninger, harddiske, UPS'er, m.m. kræver sandsynligvis et øget forbrugerkrav, idet serverleverandører eller indkøbere typisk ikke tænker i energiforbrug, men i pris og regnekraft.

Hvis køleanlægget er indreguleret korrekt, vil en reduktion i varmebelastningen føre til en lavere reduktion i elforbruget til køleanlægget, idet køleanlæggets nyttevirkningsgrad er over 1. Højere temperatur i køleanlægget samt frikøling kan også føre til en betragtelig reduktion i køleanlæggets elforbrug.

6. Besparelspotentiale

For at kunne fastlægge det overordnede besparelspotentiale i forbindelse med serverrum i Danmark er det nødvendigt at fastlægge det totale elforbrug i serverrummene. Det kendes ikke, og er vanskeligt at fastslå på baggrund af den beskudne undersøgelse, der er foretaget i dette projekt. Men udfra figur 2.5.9 gættes det forsigtigt, at det årlige elforbrug i serverrum (ekskl. køling) er omkring 150 kWh pr. bruger. Hvis det desuden antages, at ca. 1 mio. personer i Danmark servicerer af servere (hvilket nok også er et forsigtigt gæt), giver det et elforbrug på ca. 150 GWh.

En anden mulighed for at bestemme elforbruget i serverrum er at tage udgangspunkt i en schweizisk undersøgelse (Potential for reducing electricity consumption by switching off servers, Alois Huser, Encontrol GmbH, Niederrohrdorf, Schweiz, 2002). Denne ansøgning angiver at elforbruget i serverrum (inkl. køling) i mindre og middelstore schweiziske firmaer (<250 ansatte) er 212 GWh pr. år. Halvdelen af serverrummene har køling med en nyttevirkningsgrad på i gennemsnit 1. Dvs. elforbruget og dermed varmebelastningen er i størrelsesordenen 140 GWh. Det antages, at Schweiz og Danmark kan sammenlignes på dette punkt. Schweiz har dog 7,2 mio. indbyggere mod 5,3 i Danmark – det reducerer elforbruget fra 140 til 100 GWh. I de 100 GWh er dog ikke inkluderet elforbruget fra større virksomheder og industrien.

På baggrund af ovenstående antages det i det følgende, at det årlige elforbrug i danske serverrum ekskl. køling er mellem 100 og 150 kWh. Men en nyttevirkningsgrad for køleanlæggene på i gennemsnit 2 giver det et elforbrug til køling på mellem 50 og 75 GWh pr. år.

På baggrund af de foretagne undersøgelser vurderes det, at det er muligt at reducere elforbruget i serverrummene med 30% udelukkende ved at skifte til mere energieffektive servere (specielt strømforsyning og ventilatorer – slukning af servere, sleep-mode, reduktion af clock frekvens, bedre chip vil yderligere øge denne besparelse) og harddiske. Dette alene giver en besparelse i elforbruget til køling på omkring 15%. Bedre indretning af serverrummen = højere lufttemperatur til køleanlæggenes fordampere og bedre indregulering af køleanlæggene vurderes yderligere give en besparelse på mindst 15%. Hvis der også etableres fornuftig friskøling, vurderes det, at besparelsen i elforbruget til køling i alt kan blive mindst 50%.

Dette gælder for eksisterende køleanlæg. Besigtigelsen afslørede at mindst tre køleanlæg havde en lille nyttevirkningsgrad. Ved installation af nye effektive køleanlæg vurderes det, at elforbruget til køling også kan reduceres med mere end 50% i forhold til i dag.

Hvis vi således antager, at elforbruget/varmebelastningen i serverrum kan reduceres med 30%, giver det en direkte besparelse på 40 GWh og en indirekte besparelse til køling på omkring 10 GWh. Med andre tiltag for at øge effektiviteten for køleanlæggene, vurderes det, at elforbruget til køling yderligere kan reduceres med 25 GWh.

Elbesparelspotentiale i serverrum er således i størrelsesordenen:	40 GWh til servere, m.m 35 GWh til køling
I alt	75 GWh

En mere dybdegående undersøgelse er dog nødvendig for at verificere ovenstående tal som meget vel kan være væsentlig højere.

7. Konklusion

Den beskudne undersøgelse, der er foretaget ved besigtigelsen af 6 serverrum, viste, at servernes energiforbrug ikke har høj prioritet. Besigtigelserne og kontakt til andre serverrum viste desuden, at det er meget få steder, elforbruget til servere, m.m. og til køling af serverrummene måles.

Det første vigtige skridt for at reducere elforbruget til serverrum er at kende elforbruget. Derfor er Elsparefonden allerede i gang med at sætte måleudstyr op i 10 serverrum. Herved kan der opbygges vigtig viden om ikke blot det årlige elforbrug, men også fluktuationerne over året som funktion af inde- og udetemperatur.

Besigtigelsen af serverrummen viste, at de fleste serverrum havde en uhensigtsmæssige indretning, hvor kold luft fra køleanlægget bliver blandet med varm luft fra serverne. Dette resulterer i mindre effektiv køling – i størrelsesordenen 10% reduktion af køleanlæggenes nyttevirkningsgrad.

Lufttemperaturen var i alle tilfælde indenfor serverleverandørernes anbefalinger – i nogle tilfælde lavere. Serverrummene med de laveste lufttemperaturer til serverne var med rack, hvor luften bliver tilført i bunden. Den lave koldlufttemperatur kan her være nødvendig, idet de øverste servere i rack'et arver opvarmet luft fra serverne placeret længere nede i rack'et. Med optimal tilførsel af luft til serverne – direkte til serverne gennem siden af rack'ne og kun gennem serverne samt ingen mixing mellem kold og varm luft, er en tillufttemperatur på 24°C sandsynligvis i orden – en tysk undersøgelse angiver 26°C.

Den relative luftfugtighed af luften til serverne var i de fleste tilfælde lavere end anbefalet af serverleverandørerne, men stadig indenfor de meget brede krav fra fabrikanterne. De ansvarlige for driften af serverrummene anser ikke de lave luftfugtigheder for at være et problem, hvilket er godt rent energimæssigt, idet befugtning er energikrævende.

Kun i et af de besigtigede serverrum anvendes frikøling (via en vandkreds). Nyttevirkningsgraden for dette anlæg er dog ikke specielt høj. Nyttevirkningsgraden for de køleanlæg, hvor elforbruget er målt ligger mellem 1,7 og 2,3, hvilket ikke er imponerende. Det vidner om, at der ikke er blevet tænkt i elforbrug ved anskaffelsen af køleanlæggene, og måske at de ikke er indreguleret korrekt.

Ved hjælp af en model af køleanlæg til serverrum udviklet i projektet er der gennemført parametervariationer for køleanlæggene i to af de besigtigede serverrum: Kolding Kommunes og Elsparefondens. Resultatet af disse parametervariationer – som dog ikke er generelle - er, at en forøgelse af lufttemperaturen på 1 K til køleanlæggets fordamper vil resultere i en besparelse på 1-2%, en reduktion i varmebelastningen 1 kWh giver en reduktion i elforbruget til køling på 0,2-0,25 kWh, frikøling kan lede til en besparelse på 25-40%, on/off styring af indedelens ventilator frem for altid kørende kan give en besparelse på 15-60% afhængig af, hvor stor ventilatoren er i forhold til varmebelastningen i serverrummet.

Kontakt til de tre største serverleverandører i Danmark: HP, SUN og IBM gav ikke mange brugbare informationen. Grunden til dette er, at disse firmaer næsten udelukkende er salgsorganisationer. Tilgængæld var der mange nyttige informationer at finde i en schweizisk undersøgelse. Den schweiziske undersøgelse angiver mange muligheder for besparelse i serveres, m.m. elforbrug: mere effektive CPU'er, bedre strømforsyninger og ventilatorer samt mere

effektive UPS. På baggrund af dette konkluderet det her, at det bør være muligt at reducere elforbruget og dermed varmelastningen i serverrum med mindst 30%.

En reduktion i varmelastningen på 30% vil alene give anledning til en reduktion i elforbruget til køling på omkring 15%. Sammen med bedre design af serverrummene, god indregulering og frikøling vurderes det, at det er muligt at reducere elforbruget til køling med i alt 50%.

Det vurderes, at det samlede elforbrug i danske serverrum er 150-225 GWh inkl. køling. Ovenstående besparelser giver da et besparelspotentiale på i størrelsesordenen:

Til servere, m.m	40 GWh
Til køling	35 GWh
I alt	75 GWh

En mere dybdegående undersøgelse er dog nødvendig for at verificere disse besparelser som meget vel kan være væsentlig højere.

7.1. Gode råd til serverrum

På baggrund af undersøgelserne af serverrum i dette projekt kan følgende råd til serverrum opstilles:

1. Reducer varmelastningen i serverrummet så meget som muligt: uvedkommende udstyr, der ikke kræver køling eller kan køles på anden måde, fjernes, anvendelse af servere, harddiske m.m. med lille elforbrug.
2. Placer serverrummet hensigtsmæssigt: ikke mod syd med direkte solindfald gennem vinduer. Bedst med stort varmetab til omgivelserne f.eks. en stor nordvendt ydervæg samt store rum med stor termisk masse for temperaturudjævning om sommeren.
3. Hvis køling er nødvendig: start med køling med udeluft. Ventilationen skal dimensioneres med mindst muligt tryktab og dermed mindst muligt effektforbrug til ventilatorerne
4. Aktiv køling hvis køling med udeluft ikke er tilstrækkeligt – typisk i sommermånederne. Vælg et køleanlæg med høj nyttevirkningsgrad f.eks. 4. Indret serverrummet så den kølige luft til serverne ikke blandes med den opvarmede luft fra serverne.
5. Sørg for en god og kombineret styring af ventilation og køleanlæg. Styringen skal baseres på måling af lufttemperatur til serverne og lufttemperatur til køleanlæggets fordamper – f.eks. 24°C til serverne og 28-29°C til køleanlæggets fordamper. Køling med udeluft skal have førsteprioritet.