

Smart Building Indeklimaregulering

Slutrapport

Elforsk ref. 344-020

18-12-2014

v.7

Sammenfatning

CTS-anlæg forventes at have en kommende rolle i fremtidens elnet, som leverandører af fleksibelt elforbrug. Ved valg af en passende anlægsstrategi kan man udnytte de termiske tidskonstanter i en bygning og planlægge driften og dermed elforbruget af bygningers ventilation-, køl- og varmesystemer m.m.

Formålet med dette projekt er at udvikle og demonstrere et intelligent styringsmodul til CTS anlæg. Styringen baseres på en algoritme udviklet ud fra en strategi, der fremmer energieffektivitet og udnytter energilagring i bygningens indeklima, samt andre muligheder for forskydning af energiforbruget i større bygninger.

Med afsæt i EiSE-strategien udviklet i ELFORSK-projekterne 339-032 og 340-004 blev et styringsmodul udviklet. Styringsmodulet benytter intelligent styring af anlæggets setpunkter til at opnå energibesparelser, samtidig med forbedring af den oplevede indeklimakomfort. Desuden blev driftsstrategier implementeret, således at elforbruget i perioder kunne forskubbes ved modtagelse af et driftssignal.

En planlagt prognosemodel, som skulle sætte *PowerHub* eller anden part i stand til at forudsige styringsmodulets fremtidige driftsmønster, blev ikke udviklet på grund af mangel på længere tidsserier af baseline data bestående af flere sæsoner end der kunne indhentes indenfor projektet tidsbegrænsning. Prognosemodul var en forudsætning for *PowerHubs* direkte styring af styringsmodul og derfor kunne *PowerHub* ikke direkte integreres. Der blev i stedet gennemført en manuel påvirkning af det implementerede styringsmoduls indgang for *PowerHub*-signaler. Der blev på anlæggets driftsperioder bedømmes klare tegn på fleksibilitet.

Anlægsstrategien med blev formuleret i en generel funktionsbeskrivelse vedhæftet slutrapporten til offentlig udgivelse. Funktionsbeskrivelsen blev implementeret i Siemens CTS-produkt *Desigo* og der blev desuden udviklet et interface, som tillader signaludveksling mellem Siemens *Desigo* og DONG Energys *PowerHub*. Systemet blev idriftsat og demonstreret i en bygning i sommeren 2014. Den manglende prognosemodel betød, at en prognose over bygningens fremtidige energiforbrug ikke kunne levere af/til *PowerHub*.

I demonstrationsperioden forsvandt alle klager over indeklima fuldstændigt og dette på trods af, at der samtidigt blev gennemført manuel aktivering af fleksibilitetsmodul. Det blev konkluderet, at det er muligt at udnytte fleksibilitetspotentialer i bygninger med CTS-anlæg uden at gå på kompromis med indeklimakomforten.

Kvantificeringen af fleksibilitetspotentialer var ikke mulig, som følge af udfordringer vedrørende indhentning af de korrekte målerdata. Ved vurdering af anlæggets drift i demonstrationsperioden er fleksibiliteten i elforbrug derfor kvalitativt argumenteret for.

Projektgruppen konkluderer endeligt, at erfaringerne med at finde egnede bygninger viser at fleksibilitet i elforbruget skal tænkes ind i projekteringsfasen af nybyggeri, da det her er lettest og billigst at få indført nødvendige målinger og automation. Specifikt bør der være bimålere med øjebliksværdier på hvert enkelt anlæg.

EiSE-modellens besparelsespotentialer blev ligeledes eftervist, idet DONG Energy rapporterer om større besparelser på udgifter til drift af køl og ventilation. Dette haves dokumentation for.

Indholdsfortegnelse

Sammenfatning	2
Indholdsfortegnelse	3
Forord	4
Figurliste	5
1. Indledning	6
2. Flexibilitet i Bygningsventilation	9
2.1 Flexibilitet i ventilation og indeklima	9
2.2 Indeklima	9
2.3 CTS strategien skal understøtte projekteringen	11
2.4 Anlægsregulering med EiSE-strategien	13
3. Styring fra en aggregator	21
3.1 Definition af en aggregator	21
3.2 Interface imellem bygningsautomation og en Aggregator	21
3.3 Flexibilitetens værdi set i forhold til el markederne	25
4. Nyudvikling i Smart Buildings-projektet	26
4.1 Udvikling af styringsmodul	26
5. Implementering og Demonstration	32
5.1 Valg af bygninger	32
5.2 Fortolkning og implementering af funktionsbeskrivelsen i DESIGO	33
5.3 Implementering af signaludveksling med DONG PowerHub	37
5.4 Test og klargøring til demonstration	37
6. Erfaringer fra demonstrationen på Nesa Allé	38
6.1 Testarbejde	39
6.2 Fremtidig benyttelse	40
7. Konklusion	41
8. Perspektivering	43
9. Bilag	44
9.1 Bilag 1: Funktionsbeskrivelse	44
9.2 Bilag 2: Funktionsbeskrivelse, anlægsspecifik (Siemens)	52
9.3 Bilag 3: Beskrivelse af den tekniske løsning	53

Forord

Dette ELFORSK-projekt blev gennemført i perioden juni 2012 – september 2014. Projektet omhandler udvikling af en ny styringsalgoritme til bygningsautomationssystemer, integrering af denne med en tertiær regulator – PowerHub, implementering på en bygningsautomationsplatform (DESIGO) og endeligt demonstration af løsningen.

Projektet har haft fire partnere, hvoraf tre har haft kritiske opgaver: Teknologisk Institut som konceptudvikler og hovedaktør, DONG Energy som PowerHub-udvikler og demonstrationsvært og Siemens som bygningsautomationsudvikler og projektansvarlig.

Teknologisk Institut har leveret brødtekst til kapitel 2 "Fleksibilitet i Bygningsventilation", kapitel 4 "Nyudvikling i Smart Buildings-projektet" og kapitel 6 "Erfaringer fra demonstrationen på Nesa Allé". DONG Energy har brødtekst leveret kapitel 3 "Styring fra en aggregator". Siemens har leveret kapitel 5 "Implementering og Demonstration", samt konkluderet og samlet rapporten.

Projektet er gennemført med støtte fra ELFORSK under sagsnr. 344-020. Projektgruppen ønsker at takke ELFORSK for den økonomiske støtte, samt gode inputs i løbet af projektet.

Figurliste

Figur 2.1 Kølekurve	14
Figur 2.2 Kølekurver med setpunkter med kontant stigning af springende værdier hhv.....	15
Figur 2.3 Kurve for styretryk.....	16
Figur 2.4 Kølekurve med dynamisk setpunkt for indblæsningstemperatur.....	18
Figur 3.1 Overordnet arkitektur	21
Figur 5.1 DONGs bygninger på Nesa Allé.....	32
Figur 5.2 Anlægsbillede	33
Figur 5.3 Flow diagram	35
Figur 5.4 Kølekurve	36
Figur 5.5 Screenshot af kommunikation mellem DONGs servermiljø og Siemens DESIGO	37

1. Indledning

Moderne bygningers indeklima styres af såkaldte CTS-anlæg (Central Tilstandskontrol og Styring). Disse er anlæg, som ved hjælp af sensorer og aktuatorer og IT konstant overvåger indeklimaet og styrer de varme-, ventilations- og køleanlæg, som sørger for at holde klimaet indenfor komfortable niveauer. Udviklingen på CTS-anlæg er i løbet af de seneste årtier gået stærkt. Med et øget fokus på energibesparelser har CTS-anlæg skulle levere ikke blot komfort, men også sænkning af energiforbrug i bygningerne.

Det fremtidige elsystem kræver mere end blot besparelser. Med introduktion af mere vedvarende energi får elselskaber behov for at kunne regulere forbrug i takt med at den elektriciteten produceret fra eksempelvis vindmøller flukturerer. Muligheden for at kunne levere fleksibilitet i sit elforbrug anslås at få større og større betydning. Fra elsektorernes side forventes det over de kommende 10-20 år at skabe et såkaldt Smart Grid. I et smart grid kommunikerer automation i elnettet med automation fra forbrugere og dermed skabes muligheden for en automatiseret levering af fleksibelt elforbrug.

CTS-anlæg kan få en central rolle i dette, da bygningsautomation er velkendt teknologi, som allerede er udrullet til større bygninger. CTS-anlæg giver mulighed for centraliseret styring og regulering og dermed er det foreslået at benytte netop disse anlæg til levering af fleksibilitet i elforbrug.

Formålet for projektet er at udvikle og demonstrere et intelligent styringsmodul til CTS anlæg. Styringen baseres på en algoritme udviklet ud fra en strategi, der fremmer energieffektivitet og udnytter energilagring i bygningens indeklima, samt andre muligheder for forskydning af energiforbruget i større bygninger.

Projektet tager udgangspunkt i resultaterne fra 2 gennemførte PSO-projekter:

- Projekt 339-032 "Karakterisering og optimering af styring ved hjælp af multiparameter-controllere" viser væsentligheden af tidsserier som redskab til vurdering af bygningens performance med hensyn til varme, køl, fugtighed, temperaturer, el-forbrug, varmekonsum.
- Projekt 340-004 "Energirigtig bygningsautomation" viser at temperaturglid åbner op for mulighed for dynamiske setpunkter og flytning af og reduktion af elforbrug

Resultaterne af de to projekter har åbnet mulighederne for at videreudvikle nuværende CTS-systemer med analyser og manuelle indstillinger til en intelligent styring – at udnytte historiske data (tidsserier) til opbygning af intelligente algoritmer.

I dette projekt udnyttes bygningens CTS-anlæg til at levere fleksibelt energiforbrug gennem benyttelse af EiSE-modellens styring. Dette åbner mulighed for at koble EiSE-modellen med aggregator-virksomheder, som opererer på et smart grid.

I projektet deltager tre virksomheder, som primære partnere: Teknologisk Institut, DONG Energy og Siemens.

Teknologisk Institut

Teknologisk Institut er et innovativt forsknings- og rådgivende GTS institut. Institutet udvikler, forædler og indarbejder teknologiske løsninger og viden, der giver virksomheder og samfund værdi i form af forbedrede produkter, materialer, processer og metoder til gavn for konkurrenceevne, bæredygtig ressourceanvendelse og beskæftigelse.

Teknologisk Institut initierer og deltager i F&U projekter, som effektiviserer samspillet mellem videnskabelige erkendelser og resultater, og praktisk erhvervsmæssig anvendelse og nyttiggørelse, i samarbejde med danske og udenlandske forskningsinstitutioner, universiteter og virksomheder.

Energi og Klima's aktiviteter fokuserer på innovation omkring energieffektivisering, fra konstruktioner til installationer og drift, fra helhedsvurdering til teknologiudvikling, fra F&U via demonstration til dokumentation, produktion og formidling. I denne sammenhæng udbyder smart grid området en lang række udfordringer og muligheder for danske virksomheder og dermed for divisionens indsats og udvikling af relateret teknologiskservice.

Institutet deltager i en række smart grid relaterede projekter som:

- iPower - Strategic platform for innovation and research in intelligent electricity (Det Strategiske Forskningsråd)
- Varmepumpers samspil med elforsyningssystemet – fra vind til varme (ForskEI)
- Erstatning af el med varme til vask, opvask og tørring (Forsknings- og innovationsstyrelsen)

I projektet fungerer Teknologisk Institut som teknisk projektleder og bidrager med udvikling af de algoritmer, som styrer CTS-anlægget.

DONG

DONG Energy er Danmarks største, integrerede energiselskab og er repræsenteret i alle led af energiforsyningen. DONG Energy har deltaget og deltager i adskillige projekter inden for Smart Grids og fremtidens intelligente energisystemer. Ét initiativ er projektet 'Power Hub', der i 2010 - 2013 bygger et kommercialt VPP ('Virtual Power Plant').

DONG Energy har udviklet platform til mobilisering af kundeejede produktions- og forbrugs enheder (Power Hub). DONG Energy arbejder aktivt med variable / dynamiske nettariffer, påvirkning af kunders elforbrug gennem tariffer og direkte styring, samt optimering af driften og udbygningen af distributionsnettet.

DONG Energy udfører energi rådgivning.

I projektet bidrager DONG Energy med PowerHub platformen.

Siemens

Siemens har gennem flere år haft fokus på udvikling af energieffektive løsninger til bygninger. Udviklingscenteret har i den sammenhæng udarbejdet et helt katalog med koncepter og speciel software der minimerer energiforbruget i bygninger.

I Danmark har Siemens bidraget med et DPDG-tool, hvor det er muligt at automatisere konfigurationen af et CTS-anlæg samtidig med, at der gives forslag til energibesparende foranstaltninger i henhold til normen EN50232.

DPDG er et hurtigt og effektivt værktøj til opnåelse af den bedst mulige energiklasse.

I projektet bidrager Siemens med viden om CTS-anlæg, samt implementering af de nyudviklede moduler.

2. Fleksibilitet i Bygningsventilation

Følgende kapitel analyserer fleksibilitet i bygningsventilation, samt de indvirkninger på indeklimaet, der kan forventes.

2.1 Fleksibilitet i ventilation og indeklima

Alle kontorbygninger er projekteret efter at rumtemperaturen varierer. Dimensionerende køleydelse er mindre end dimensionerende varmebelastning ude i lokalerne. Der akkumuleres varme i dagtimerne, som efterfølgende skal fjernes frem mod næste arbejdsdag. I fyringssæsonen sker det naturligt ved transmissionstab gennem klimaskærmen, i sommerperioden sker det ved køling.

Det er dyrt at transportere luft, specielt når ventilationsanlæg kører på højeste ydelse. Transportenergien falder drastisk, når luftmængden reduceres - det samme gør bivirkninger som træk og støj. Hvis bygningen hver morgen har den samme lave tilladelige temperatur, så kan køleydelsen sænkes i arbejdstiden. Det er billigere og giver færre bivirkninger. Efter arbejdstiden er der mere end 12 timer, hvor frikøl kan sænke temperaturen til ønsket morgentemperatur. Denne strategi giver store driftsbesparelser og større brugertilfredshed.

EiSE-strategien indeholder alle ovenstående parametre. Det er en anlægsstrategi, som er i overensstemmelse med projekteringen forud for bygningsopførelsen. Alle fordele kommer når akkumuleringseffekten udnyttes. I dette projekt er EiSE-strategien justeret, så den forskyder energiforbruget men bibeholder samme høje indeklimakvalitet ved et on/off styresignal.

2.2 Indeklima

Indeklima og brugertilfredshed

Indeklima er et begreb, som indeholder rigtig mange parametre. Brugernes forventninger stiger hvis en bygning er velholdt, de arkitektoniske løsninger er vellykkede og indretningen og rengøringsstandarden er god. En velfungerende afdeling har betydning for oplevelsen af indeklimaet. De fysiske parametre vedrørende termisk- og atmosfærisk indeklima samt god belysning har betydning. Hvis en af disse mange parametre afviger fra hensigten, så øges utilfredsheden med indeklimaet. Mennesker er large og tåler variationer, det er sjældent vi stiller krav om det perfekte. Sådan er det også med indeklima – hvis bare alle de ovenstående parametre er nogenlunde i orden, så er tilfredsheden med indeklimaet stor. Men er bare en af parametrene ved siden af hensigten, så kommer utilfredsheden.

Arbejds miljøet og termisk indeklima er de to parametre, som oftest overskrider hensigten i danske kontormiljøer.

Dårligt indeklima er dyrt

Energiforbrug til indeklima er enormt. Hvis indeklimatilfredsheden er stor, er udgiften givet godt ud, men virksomhedens omkostninger stiger, når indeklimaet er utilfredsstillende. Der er store tab når utilfredsheden er høj, men tabene er fordelt på mange poster. Posterne er fx mindre effektivitet, mere sygefravær, internt bøvl i organisationen, stress i driftsafdelingen, intern skjult kritik af virksomheden og stort energiforbrug. Dårligt indeklima giver slitage i organisationen og tærer på bundlinjen.

Der ses mange spildte ressourcer fordi tiltag ikke efterfølgende opfylder indeklimaforventningerne. Det bør i princippet være uacceptabelt at foreslå nye tiltag, hvor der slækkes på indeklimakvaliteten. Taberen er hver gang virksomheden (lejereren). Den bedste løsning i sådanne tilfælde, er ofte at undlade at anvende tiltaget.

Projekteringen fastlåser fremtidige løsninger

De danske erhvervsbygninger er indeklimamæssigt ens, da alle er opført efter samme projekteringskrav. Projektaftalen er: Brugere har ens adfærd og højst 10 % af brugerne må være utilfredse. Herved tillades temperaturen at stige 3-4 °C. Konsekvensen er, at den dimensionerende køleydelse bliver mindre end dimensionerende varmebelastning. Køleydelse skal afsættes i lokalerne uden bivirkninger som fx træk og støj. Valgene er afhængige af hinanden, man kan ikke efterfølgende opnå den aftalte indeklima kvalitet, fx mindre end 10 % utilfredse, uden at efterligne forudsætningerne under projekteringen.

Hvorfor er temperaturstigninger et problem?

Det er meget ufleksibelt for bruger når temperaturen stiger 3-4 °C i arbejdstiden på kritiske dage. Kun én brugeradfærd kan tilfredsstillende, men heller ikke det kan lade sig gøre, hvis morgentemperaturen ikke er korrekt. På danske kontorarbejdspladser ses forskellig brugeradfærd. En gruppe går i varm beklædning, fx jakkesæt, den anden gruppe går i let beklædning. Den første gruppe ønsker typisk 20-24 °C, den anden gruppe ønsker 23-26 °C når kravet er mindre end 10 % utilfredse. Fællesnævneren for de to grupper er en temperatur på 23,0-24,0 °C. Hvis morgentemperaturen er 23 °C så er begge grupper tilfredse om morgenen. På en kritisk dag vil temperaturen stige fra 23 til 26 °C, det tilfredsstillende den ene gruppen, mens den anden gruppe synes indeklimaet er ulideligt. Hvis man sænker morgentemperaturen til 21 °C, så synes gruppen i let beklædning, at der er uacceptabelt koldt hver morgen. Kølige morgener giver mange klager hver dag.

Hyppigheden med høje temperaturer er hver tredje dag, set over et år, klagefrekvensen er noget lavere. Alle driftsafdelingens kører efter lavest klagefrekvens, derfor er morgentemperaturen ofte 23 °C i fyringssæsonen. Der styres i princippet efter målgruppen, som går i let beklædning hele året. "Den fornuftige mand i varm beklædning er ofret".

Der er ikke mange lejere og udlejere, som er klar over, at deres bygning kun kan tilfredsstillende en brugergruppe. Hvis man vil tilfredsstillende dem i let beklædning, så skal morgentemperaturen være 23 °C. Hvis man vil tilfredsstillende dem i jakkesæt, så skal morgentemperaturen sænkes 20-21 °C. Kompromiset er en morgentemperatur på 22 °C, men så har lejer givet køb på kvaliteten og kan aldrig opnå bedre indeklima kvalitet end 15 % utilfredse. Men det er formodentlig det bedste indeklimakompromis i kontorbyggeri, hvor temperaturen stiger 3-4 °C på kritiske dage. I dette projekt er varme setpunktet 22 °C og køle setpunktet 23 °C om morgenen.

Konstant temperatur i storrør

Kan man opnå stor tilfredshed, når der er to grupper med forskellig adfærd? Ja, hvis der kan holdes en konstant temperatur. Det kræver at køleydelsen er ligeså stor som den dimensionerende varmebelastning ude i lokalerne. I det tilfælde er kølesetpunktet 24 °C i storrør. Hvis varmesetpunktet er 23 °C er kvalitetskravet, mindre end 10 % utilfredse, opfyldt for begge bruger grupper i fx storrør.

Konstant temperatur i cellekontor

I cellekontor bør brugerne individuelt kunne sætte deres setpunkt, tilførslen af køleenergi er jo opført efter kravet om minimale bivirkninger som fx træk og støj. Når lokalet ikke anvendes, bør ønskeværdien tilbageføres til storrørsværdier. "Reset" setpunktsværdier, når lokalet ikke anvendes. Det er energimord, hvis det individuelle ønske fortsætter, når cellekontoret står tomt. Luftoverføring og derved energitransport mellem to rum, gennem en åben kontordør er 120 W når temperaturforskellen er 1 °C, det stiger til 600 W ved $\Delta T=3$ °C. Desuden giver det træk ved gulvet omkring døråbningen i det rum med højest temperatur, når døren står åben og $\Delta T > 1$ °C.

2.3 CTS strategien skal understøtte projekteringen

Den konventionelle CTS strategi

Den mest almindelige CTS strategi i kontorbyggeri bygger på følgende: Der er en zoneregulering med et køle- og varmesetpunkt. Energien tilføres fra anlæg, som styres af ur eller sommerstop. Zonerne og anlæg kører adskilt, der er typisk ingen

behovssignaler fra zoner til anlæg. Det giver følgende udfordringer: Bygningen opvarmes og afkøles samtidig, kølingen kører ofte på højeste ydelse. Energifråset er stort, temperaturen er høj, der er støj- og trækgener fra ventilationsanlæggene.

Den gamle CTS strategi understøtter ikke det projekterede indeklima. Sommerstop er en strategi, som prioriterer zonereguleringen. Varmeanlægget stoppes først, når man er sikker på at alle individuelle varmebehov er opfyldt. Ventilationsanlæg derimod styres af et ur, som stopper på et fastlagt tidspunkt uanset kølebehov. Ur prioriterer ikke zonestylingen. Når kølebehovet styres af et ur, så er bygningen enten for kold eller for varm om morgenen i sommerperioden. Begge situationer giver stor utilfredshed. Den gamle CTS strategi er for "simpel" til at bygningen kan opfylde de indeklimakrav, som er aftalt under projekteringen.

Zonesetpunkter sættes af bruger

Zonesetpunkter er ikke pålidelige, de styres af brugerne og værdierne opfylder ikke projekteringen med ens brugeradfærd og temperaturstigninger på 3-4°C. Der er i princippet bruger anarki ude i zonerne i forhold til projekteringen. Zonesystemet kan ikke anvendes som en global strategi for bygninger, når projektforudsætningen er ens adfærd blandt brugerne og temperaturen er projekteret til at stige 3-4°C.

Hvis bygningen derimod var projekteret til at holde en konstant temperatur, så kunne brugerne sætte deres egne ønsketemperatur og få ønsket opfyldt. I det tilfælde ville system tilbagemeldinger fra ventiler og spjæld afspejle behovet i zonerne. I den situation vil zonesignaler kunne anvendes til anlægsregulering, fordi anlægget er projekteret til at opfylde de individuelle behov hele tiden og hele året.

CO₂-styring på en skole er et eksempel, hvor ventilationsanlæg kan være projekteret til at opfylde brugerønsker. Her kan zonesystemet regulere anlægsdrift og opfylde projekterede CO₂-målsætning. Rumtemperaturen er kompliceret ved, at der er en øvre og nedre grænse. Hvis bare en af de to værdier ikke altid kan opfylde brugerønsker, så er zonesystemet uegnet til at regulere anlæggene. Varmeanlægget er projekteret til altid at opfylde individuelle ønsker, men det er køleanlægget ikke.

Temperatur tilbagemelding viser kølebehovet

Den største indeklimaudfordring er temperaturen og bivirkninger fra kølingen vil automatisk mindskes, når der kommer mere styr på de kritiske temperaturer i bygningen. Temperatursensorerne ude i zonerne, viser bygningens tilstand. De kan anvendes til andet end zonestylingen. I EiSE-strategien opgør CTS-anlægget hele tiden hvor mange af sensorerne, som ikke opfylder et globalt køle- henholdsvis varme setpunkt. Parameteren, som opgør kølebehovet, kaldes $E(DK)$, som er et tal mellem 0 til 100 %. Hvis tallet overstiger setpunkt, startes pågældende anlæg. Tallet

$E(DK)$ anvendes desuden til at regulere anlægs setpunkter, som alle er dynamiske værdier i EiSE-strategien.

Kvaliteten måles og indeklima reguleres på anlægsniveau

Der er en klar prioritering mellem anlæg og zonestyling i EiSE-strategien. Anlæg kører kun hvis tilstrækkelig mange sensorer viser et behov i forhold til et globalt setpunkt. Det er en regulering, den mest simple opgørelse i forhold til bygningens tilstand.

Global setpunkt følger projekteringen

Det globale setpunkt er i overensstemmelse med det projekterede indeklima. Det globale setpunkt er målsætningen for bygningen, og må ikke forveksles med zonesetpunkterne. Det globale setpunkt i EiSE-strategien har større prioritet end zonesetpunkterne.

2.4 Anlægsregulering med EiSE-strategien

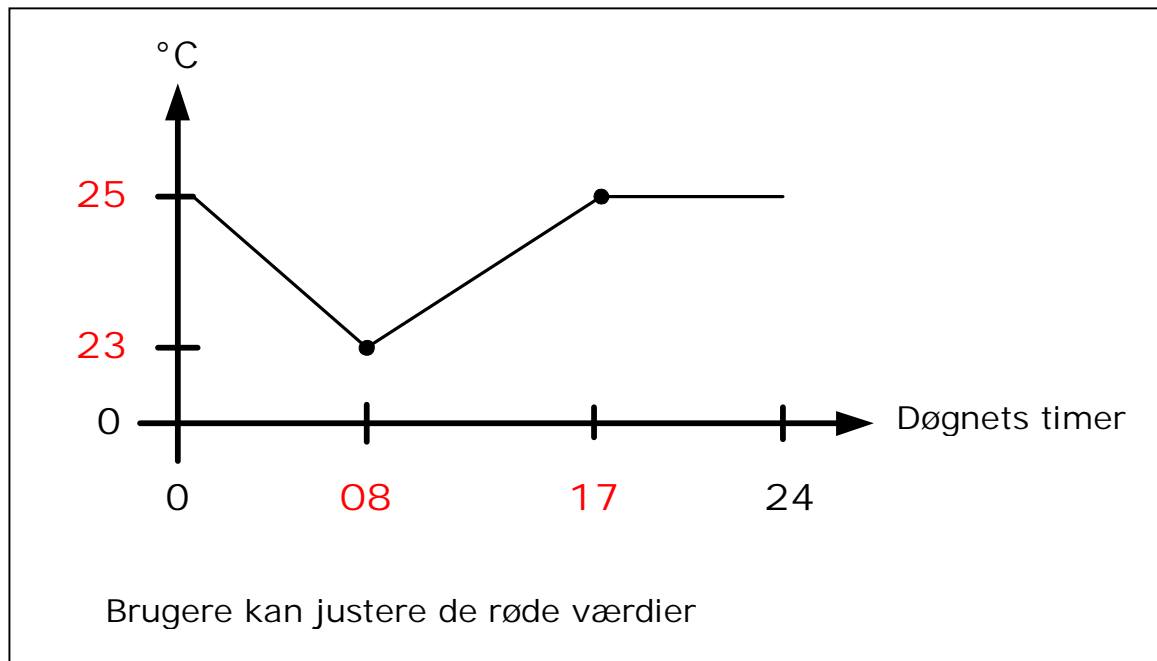
EiSE-strategien er implementeret i mange bygninger. Hver gang bringes indeklimaet i overensstemmelse med projektering, brugertilfredsheden stiger og energiforbruget falder.

Køle drift er ikke urstyret

Ventilationsanlæg startes hvis kølebehovet $E(DK)$ overstiger setpunkt. Det gamle ursignal bibeholdes, men urtiden sættes kun til drift i den periode, hvor det forventes at der måles høje CO_2 værdier ude i bygningen. For de fleste kontorarbejdspladser svarer det til en driftstid på 08-17 på hverdage. Om vinteren starter anlægget typisk kun i urtiden. Om foråret begynder kølebehovet $E(DK)$ at starte ventilationsanlæg udenfor urtiden.

Kølekurven $T(DK)$

Projekteringen definerer to sæsoner, en for sommeren og en i fyringssæsonen. Der står direkte i standarden, DS 474, at øvre temperaturgrænse ikke må overskrides om vinteren. Den øvre grænse er 24 °C i fyringssæsonen. Denne værdi er det øvre kølesetpunkt ved arbejdsophør omkring kl. 17 i EiSE-strategien. Det nedre kølesetpunkt er 23 °C ved arbejdsstart omkring kl. 08. Disse to koordinater, (08,23) og (17,24) sættes af driftsafdelingen. Programmet beregner selv kølesetpunktet $T(DK)$ for resten af døgnet.



Figur 2.1 Kølekurve

Der er også et kølekurve for sommerdriften, som er fra juni til og med september måned. Koordinatværdierne er typisk (08,23) og (17,25). Værdien 25 kunne sættes til 26 °C i forhold til projekteringen, men de 25 °C er et kompromis, som tager hensyn til personalet med jakkesæt. Denne kølekurve vises på Figur 2.1.

Kølekurven består af tre punkter, som forbindes lineært. Det tredje punkt i programmet er kl. 00, punktets y værdi er øvre kølesetpunkt. Kølekurven dannes automatisk, driftsafdelingen skal blot indtaste nedre og øvre værdi for henholdsvis fyringssæson og sommer. Øvre værdi er 24 i fyringssæsonen og 25 i sommerperioden.

Styresignal grøn eller sort

Det eksterne styresignal afsender grønt eller sort signal. Når styresignalet er grønt ønskes forbrug, når det er sort ønskes begrænsning.

2.4.1 Sikkerhedsvalg ved styresignal – kølekurven, $T(DK)$

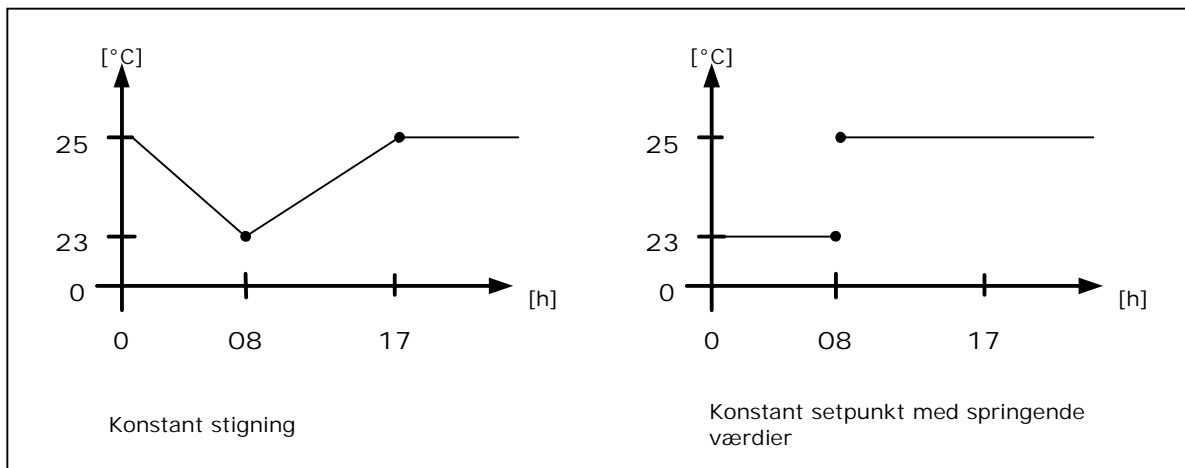
Styresignalet forskyder y-værdien i det tredje punkt på kurven. Justeringen påvirker ikke beregnet kølesetpunkt i arbejdstiden fra kl. 08 til 17. Det er et sikkerhedsvalg i EiSE-strategien ved forskydning af energiforbrug.

Kølebehovet, $E(DK)$

Kølebehovet $E(DK)$ er et tal som varierer fra 0 til 100%. Procenttallet beregnes hele tiden ud fra kølekurve, tidspunkt og tilbagemeldingen fra temperatursensorerne. Når procenttallet overskrider setpunkt starter kølingen. $E(DK)$ regulerer desuden køleenergien.

Optimal kølekurve og energiforbrug

Der er typisk mekanisk køl i arbejdstiden og frikøl uden for arbejdstiden. Transportenergien stiger eksponentielt når luftydelse øges, peaks er dyrt. Det laveste energiforbrug til transport og til kompressordrift ved køling forekommer, når kølesetpunktet ændres jævnt hele tiden. Trappediagram med konstant setpunkt, som pludselig springer i værdier, er en alternativ strategi. Men energiforbruget til køling stiger voldsomt, grundet transportenergien i perioden med konstant setpunkt. Dette kan ikke opvejes af spring i kølesetpunkt, som sænker køleydelsen. De to typer af styring vises på Figur 2.2.



Figur 2.2 Kølekurver med setpunkter med konstant stigning og springende værdier hhv.

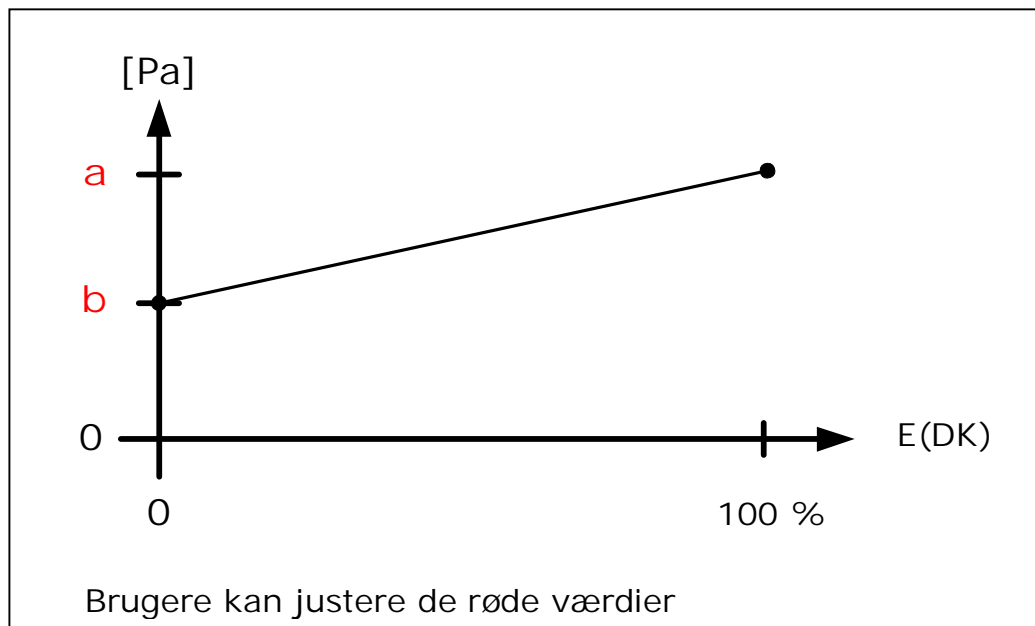
Både energiforbrug og bivirkninger som træk/støj fra ventilationsanlæg, har et optimum når kølesetpunktet stiger jævnt i arbejdstiden. Efter arbejdstiden sænkes luftydelse til lavest mulige værdi, da der er mere end ½ døgn før den nye arbejdsdag starter. Der er masser af tid til at nedkøle bygningen med frikøl.

Køleydelsen reguleres gennem styretrykket P_s

Luftydelsen påvirker direkte køleydelsen, energiforbrug samt bivirkninger som træk/støj. Når kølebehovet er nul, kan anlægget køre på laveste luftydelse. Når kølebehovet $E(DK)=100\%$, kører anlægget på maksimal ydelse. Driftsafdelingen indtaster max. og min. værdi for styretrykket, som nu er dynamisk. Projekterende styretryk er maksimalværdien a . Minimumsværdien b sættes ofte til 50 % af max-værdien. Aktuelle styretryk er givet ved:

$$P_s = b + (a - b) * E(DK)$$

Styretrykket p_s er nu reguleret i forhold til kølebehovet.



Figur 2.3 Kurve for styretryk

Altid lav ydelse uden for arbejdstiden

Konstanten $U_r = 1$ i urtiden, ellers nul. Herved kører anlægget altid på laveste ydelse uden for urtiden, når udtrykket er følgende:

$$P_s = b + (a - b) * E(DK) * U_r$$

2.4.2 Sikkerhedsvalg ved styresignal – reduktion i arbejdstiden

Der indføres en ny konstant S_{signal} som har værdien 1, når styresignalet er grønt. Ved sort styresignal sættes $S_{signal} = E(DK)$. Fx er $E(DK)=0$ når kølebehovet er nul og $E(DK)=100\%$ på en dag kritisk dag med kølebehov. Styretrykket ændres til:

$$P_s = b + (a - b) * E(DK) * U_r * S_{signal}$$

Hvor $S_{signal} = E(DK)$ når styresignalet er sort, ellers værdien 1.

Når styresignalet er sort, sænkes styretrykket P_s i urtiden, når $E(DK)$ har en værdi mellem 0 til 100%. Det sænker køleydelsen, herved vil temperaturstigningen i lokalerne forceres. Det påvirker direkte $E(DK)$, som vil begynde at stige. Resultatet er, at forbruget sænkes af styresignalet, men det udlignes langsomt igen, hvis

temperaturstigningen forceres. På en kritisk varm dag, hvor $E(DK)$ nærmer sig værdien 100% ændres styretrykket minimalt.

Køleventilen bør ikke være 100 % åben

Der kan ikke leveres mere køl, når aggregat køleventilen er 100 % åben. Hvis luftydelse forceres, overføres den ekstra varmeproduktionen fra motor til luften. Resultatet er, at energiforbruget øges uden at køleydelse øges. Det er energispild. Der er indført en tredje konstant, $K_{\phi l}$, som er en funktion af køleventilens åbningsgrad. Konstanten $K_{\phi l}$ er defineret af tre punkter, som forbindes lineært, (0%;1), (90%;1) og (100%;0,7).

Herved får styretrykket det endelige udtryk:

$$P_s = b + (a - b) * E(DK) * U_r * S_{ignal} * K_{\phi l}$$

2.4.3 Sikkerhed ved styresignal - stop udenfor arbejdstiden

I programmet er indlagt en grænsekurve, som er gældende når der ikke er urtid. Hvis kølebehovet $E(DK)$ er mindre end grænsekurven, så driftsstop. Grænsekurven er en funktion af tiden. Kurven er en række punkter, (tidspunkt, tal), som er lineært forbundet. Y-værdien er givet i procent i intervallet fra 0 til 100%. Når styresignalet er grønt ændres y-værdierne til 0%.

Der er to perioder uden for arbejdstiden hvor indeklima har 1. prioritet. Den første periode er lige efter arbejdsophør sidst på dagen. Der er medarbejdere, som bliver og yder en ekstra indsats for virksomheden. Lave værdier i grænsekurven forhindrer stop, når kølebehovet er for stort de første timer efter kl. 17. Den anden periode er om natten forud for arbejdsstart, temperaturen ved arbejdsstart skal opfyldes. Lave værdier i grænsekurven forhindrer stop når kølebehovet er for stort tidligt om morgenen.

Dynamisk styretryk og dæmpning

Når styresignalet ændres, giver det anledning til nyt setpunkt for styretrykket P_s . En momentan ændring kan mærkes af brugerne og det er ikke acceptabelt. I programmet kan setpunktet P_s ikke ændres mere end 20 Pa pr. minut. Det vil tage fx 5 minutter før en ændring på 100 Pa er gennemført.

Indblæsningstemperaturen

Setpunktet er dynamisk. Værdien er givet ved kølekurven $T(DK)$ minus en konstant ΔT . Udtrykket er følgende:

$$T_{ind} = T(DK) - \Delta T$$

Større afkøling på kritiske dage

Ved kølebehov følger rumtemperaturen kølekurven $T(DK)$. Trækgenerne er konstant gennem arbejdstiden, hvis luftydelse ikke varierer. På kritiske dage, hvor rumtemperaturen er høj, ønsker brugerne større luftbevægelser, som virker afkølede. Denne effekt sikres ved addere følgende led:

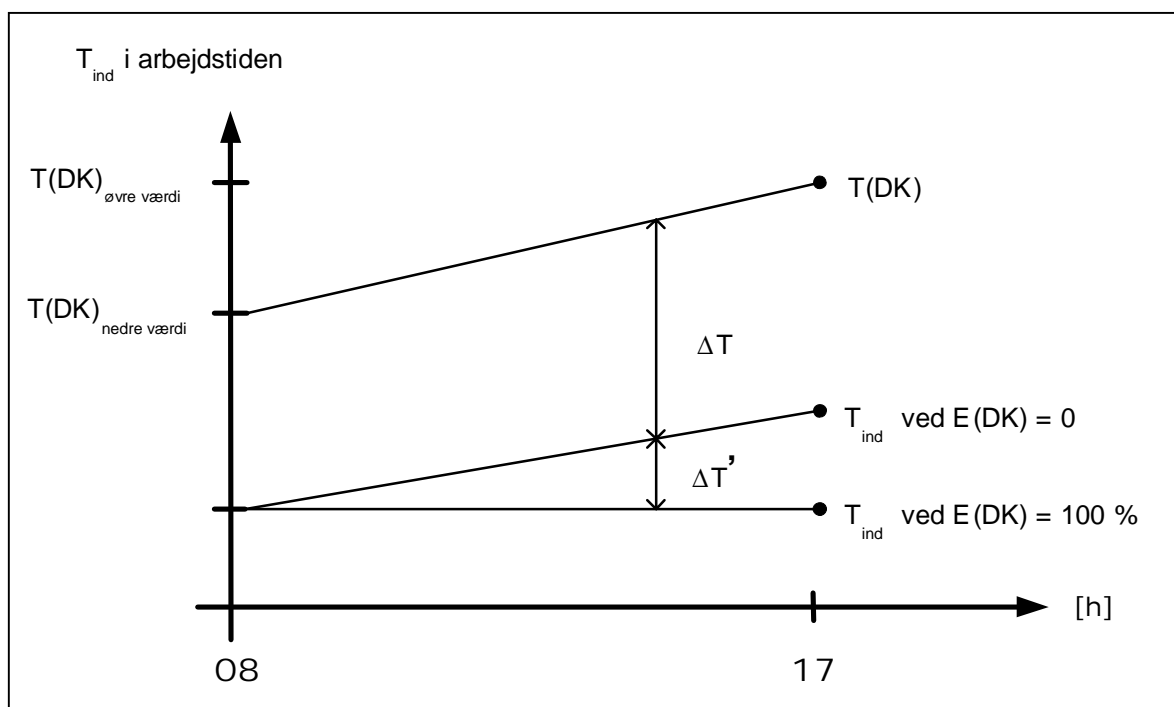
$$\Delta T' = [T(DK) - T(DK)_{min}] * E(DK)$$

Under afsnittet kølekurven er det beskrevet, at nedre og øvre værdi indtastes af driftsafdelingen, for sommerkurven er værdierne ofte 23°C henholdsvis 25°C. $T(DK)_{nedre\ værdi}$ er da værdien 23°C. Om morgenen kl. 08 er kølesetpunktet $T(DK) = 23^\circ\text{C}$, herved er parentesens værdien 0. Op ad dagen stiger værdien i parentes fra nul til $25-23=2$. Når kølebehovet er stort og $E(DK) = 1$ stiger $\Delta T'$ til værdien 2 sidst på dagen. På en kølig gråvejrsdag reduceres kølebehovet $E(DK) = 0$ og $\Delta T'$ får værdien 0. Køleydelsen stiger lige præcis på de tidspunkter, hvor det er kritisk.

Det endelige udtryk for indblæsningstemperaturen er

$$T_{ind} = T(DK) - \Delta T - \Delta T' = T(DK) - \Delta T - [T(DK) - T(DK)_{nedre\ værdi}] * E(DK)$$

Kølekurven med det dynamiske setpunkt for indblæsningstemperatur er vist på Figur 2.4.



Figur 2.4 Kølekurve med dynamisk setpunkt for indblæsningstemperatur

Indblæsningstemperatur om natten

Indblæsningstemperaturen er som udetemperaturen uden for urtiden, dog skal følgende være opfyldt:

$T(DK)-10 < T_{ude} < T(DK)-6$. Køleventilen nulstilles når $T_{ude} < T(DK)-6$. Mekanisk køling tillades lige efter arbejdstiden, når udetemperaturen er høj. De fleste sommernætter er udetemperaturen under 15 °C. På tropenætter kan der være behov for mekanisk køl for at opfylde morgentemperaturen, det er sikret i EiSE-strategien.

EiSE strategi for varmeanlæg

I EiSE-strategien sænkes sommerstop til 3 °C. Det fjerner en masse frås forår og efterår. Hvis fx 10 % af temperatursensorer ude i lokalerne er under globalt varme setpunkt, startes blandesløjfen. For at modvirke kuldenedfald hæves sommerstop til 10 °C i arbejdstiden fra 08-17 på hverdage. Denne strategi fjerner en masse energifrås.

Varmekurven forskydes med ΔT_v . Jo flere temperatursensorer som er under globalt varme setpunkt, des større er ΔT_v . $\Delta T_v = -15$ °C, når alle sensorer er over globalt varme setpunkt.

Kølebehovet nulstilles når der er et varmebehov. I det tilfælde kører ventilationen kun i urtiden.

EiSE kan også køre som konventionel CTS strategi

Den konventionelle CTS strategi er et grænsetilfælde i EiSE-strategien. Følgende setpunktsjusteringer giver en konventionel CTS strategi:

1. Globalt kølesetpunkt er konstant hele døgnet, øvre og nedre værdi er begge fx 23 °C.
2. Styretrykket p_s . Værdien $a=b$, værdien a er det maksimale tryk og b er minimumsværdien.
3. Sommerstop, setpunktet for udetemperaturen hæves fx til 17 °C.

I EiSE-strategien sænkes klagefrekvensen og behovet for setpunkts justering reduceres kraftigt. Driftsafdelingen har dog alligevel behov for indgreb, fx ved fejl, men værdierne sættes efterfølgende ikke tilbage i konventionelle CTS strategier. I EiSE-strategien sker der en "reset" af de setpunkter, som ofte justeres. Der forekommer korrektioner, men indgrebet nulstilles ved månedsskift. Der er desuden en "reset" knap, som nulstiller alle indgreb her og nu.

I EiSE-strategien er der timetæller på cirkulationspumper (alle blandesløjfer) og på ventilatorerne (alle aggregater). Ved månedsskift beregnes driftstiderne for den passerede måned. Alle pumper henholdsvis ventilatorer sammenlignes på skærmbillede. Herved afsløres utilsigtet drift og driftsafdelingen kan igangsætte en målrettet fejlsøgning.

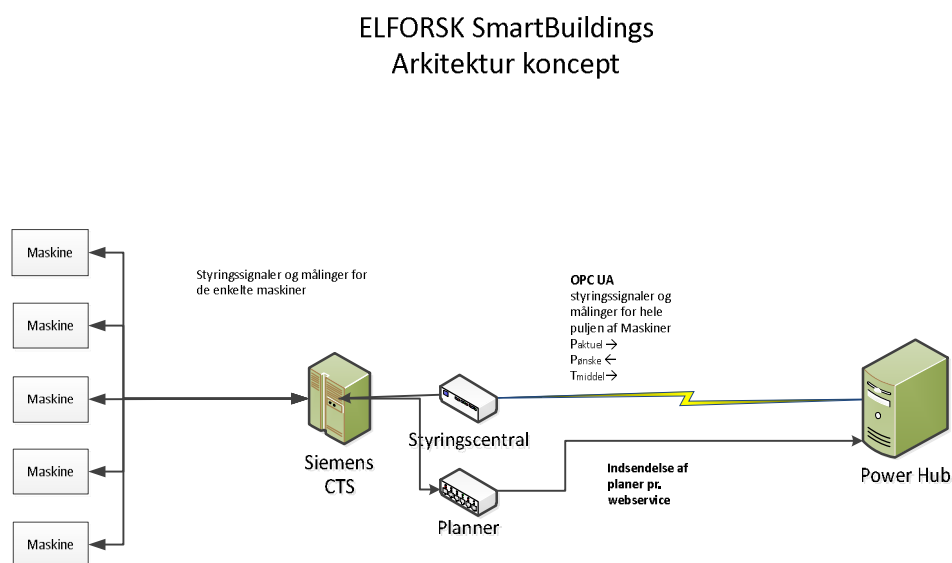
3. Styling fra en aggregator

3.1 Definition af en aggregator

En aggregator er en kommerciel aktør på energimarkedene. Aggregatoren samler "aggregerer" en række decentralt placerede ressourcer og udstiller disse ressourcers behov og fleksibilitet op imod de forskellige energimarkeder. Aggregatorens forretningsmodel baserer sig på dennes evne til at udnytte stordriftsfordelen ved at have mange anlæg i en eller flere puljer hvis drift optimeres op imod et eller flere markeder. Formålet er at det enkelte anlæg opnår en økonomisk fordel ved at være med, mens der også er økonomisk gevinst for aggregatoren.

Denne økonomiske fordel opnås ved en mere præcis handel på el markederne og ved at en pulje af anlæg kan have adgang til markeder hvor det enkelte anlæg ikke kan overkomme indtrædningsbarrierer. Et eksempel på sådanne markeder kunne være Energinet.dk's systemydelsesmarkeder hvor bl.a. min budstørrelser forhindrer mindre anlæg i at være enkeltsående deltagere.

3.2 Interface imellem bygningsautomation og en Aggregator



Figur 3.1 Overordnet arkitektur

For at en aggregator kan udnytte et anlægs fleksibilitet skal dennes fleksibilitet udstilles på en for aggregatoren forståelig måde og aggregatoren skal kunne aktivere eller manipulere anlæggets drift. I projektet har det været målsætningen at Siemens' bygningsautomationsanlæg skulle udstille sin fleksibilitet op imod DONG Energys aggregator Power Hub.

Det der kendetegner Power Hub er, at Power Hub er en agnostisk aggregator, dette vil sige at Power Hub ikke skelner imellem forskellige teknologier men behandler alle anlæg ud fra de samme principper. Herved benyttes et åbent signalinterface og et generisk sæt af informationer til at beskrive og udnytte et vilkårligt anlægs fleksibilitet. Denne tilgang gør mange forskellige teknologier tilgængelige for Power Hub hvorved en bred og mangfoldig anlægssortefølge kan opnås. Ulempen ved denne tilgang er at det samme signalinterface skal benyttes til at beskrive alle typer af anlæg. Det er således ikke skræddersyet til specialiserede teknologier og kan ikke direkte tilsluttes disse uden opdatering eller ændringer. Som eksempel på problemstillingen vil en indeklimastyring have et sæt af målesignaler og styringsprincipper mens en grundvandspumpestation vil have et andre.

Et af projektmålene været at implementere Power Hubs informationsnitfalde i Siemens' indeklimastyringsmodul. Formålet er at demonstrerer at dette er muligt og det er projektets forventninger at en fremtidig standard indenfor disse informationsnitflader vil have ligheder med Power Hubs interface.

I de næste afsnit vil denne snitflade blive beskrevet i detaljer.

Grundlæggende kan informationsudvekslingen imellem Power Hub og en fleksibilitets kilde deles op i to kategorier. Den ene er den aktive styring, hvilket er en kontinueret signaludveksling af setpunkter, målesignaler og meldinger der alle gælder i øjeblikket. Den anden er udstillingen af fleksibilitet og processens behov, dette sker ved at der sendes tidsserier der beskriver disse til Power Hub via standardiserede webservices.

3.2.1 Aktiv Styring

Den aktive styring muliggøres af det der i skitsen på side 21 kaldes styringscentralen. Det er denne enhed som er del af CTS-anlægget som kommunikerer med Power Hub, live i real tid. Styringscentralen samler alle de underliggende anlæg for det pågældende CTS-anlæg og udstiller disse som en samlet enhed overfor Power Hub. Power Hub styrer således ikke de enkelte maskiner der er forbundet til CTS'en dette ansvar overlades til bygningsautomationen.

Power Hub sender en forespørgsel til styringscentralen på hvad det samlede elforbrug skal være, hvorefter styringscentralen sørger for, at det samlede el forbrug for alle maskiner kommer så tæt som muligt på det ønskede forbrug. Beskrivelsen af hvordan styringscentralen effektuerer dette kan læses i kapitel 4.

For at Power Hub kan planlægge elforbruget og samtidig sikre at anlægget får tilført den nødvendige mængde energi er det nødvendigt for Power Hub at kende systemets energitilstand. Energitilstanden udtrykkes af styringscentralen som et enkelt målesignal der kan skaleres lineært til at angive et energiekvivalent skaleret i kWh.

3.2.2 Udstilling af fleksibilitet

For at en aggregator som Power Hub kan udnytte fleksibiliteten optimalt er det nødvendigt for Power Hub at have viden om den forventede fleksibilitet og den forventede belastning på processen frem i tid. Dette er nødvendigt da alle eksisterende energimarkeder handles frem i tid.

Til udstillingen af fleksibilitet benyttes følgende tre tidsserier af Power Hub, disse kaldes i det følgende også prognoser:

1. En belastningsprognose udtrykt i kW. Denne vil for en indeklimastyring være et udtryk for den mængde energi som der skal fjernes fra bygningen.
2. En effektrådigheds prognose udtrykt som en minimal og en maksimal effekt, P_{\min} og P_{\max} . Dette er den elektriske effekt der er til rådighed for Power Hubs styring.
3. Komfortgrænser for processens energiindhold udtrykt i kWh. Dette er et sæt grænser E_{\min} og E_{\max} som beskriver hvilket udfaldsrum for systemets energiindhold der er acceptabelt for processen på et givent tidspunkt.

På Figur 3.1 på side 21 kaldes det modul som genererer disse tre tidsserier for Planneren. Tidsserierne beregnes på baggrund af historiske forbrugs- og vejrdato.

De tre prognoser som Power Hub benytter kan opdateres hver for sig, uafhængigt af hinanden. Informations udvekslingen foregår via webservice interfaces. En prognose består af en fast værdi eller et værdisæt for hver time. Herved forstås at prognoseplanerne vil være konstante time for time. En prognose skal som minimum gælde fra kl. 10:00 til kl. 23:59 dagen efter, dvs. 38 timer.

Prognoserne opdateres automatisk når randbetingelserne for prognosen har ændret sig væsentligt. Som minimum sendes der nye prognoser i en af følgende situationer:

- kl: 09:30 hver dag. Denne prognose vil i en virkelig implementering danne grundlag for energiindkøb på SPOT markedet for det kommende døgn.
- Der er kommet ny prognose fra DMI hvorved belastningsprognosen ændrer sig
- Styringscentralen kan ikke længere opfylde det ønskede setpunkt fra Power Hub, på trods af at setpunktet ligger indenfor grænserne givet ved Effektrådigheds prognosen. Herved er prognoserne ikke længere gyldige og planneren må beregne en ny og gyldig prognose.

3.2.3 Belastningsprognosen

Belastningsprognosen fortæller Power Hub hvordan varmebelastningen, på bygningen, forventes at være, for den kommende periode. Denne prognose laves ud fra kendskab til det historiske forbrug, vejrdata m.m.

Enheden for denne prognose er valgfri så længe den lineært kan konverteres til en el-effekt svarende til elforbruget på ventilationsmaskinerne. Det er vigtigt at understøtte at der ikke er tale om en prognose på elforbruget, men en prognose for den totale ukontrollerede varmebelastning af bygningen. Med den totale varmebelastning menes alle de varmebelastninger på bygningen der ikke styres af Power Hub. Dette vil bl.a. være tab igennem klimaskærme, naturlig tilgang af energi og interne temperaturbelastninger så som computere og mennesker. Denne prognose kan således godt blive negativ. Prognosen vil blive negativ i perioder hvor varmetabet igennem klimaskærmen er større end den interne varmebelastningen. For at sikre at temperaturen ikke kommer under den laveste komfortgrænse om morgenen er det vigtigt at have dette aspekt med.

Ved udarbejdelsen af en belastningsprognose som bygger på løbende indsamling af data er det vigtigt at der tages højde for, hvor vidt de historiske el-forbrugsdata der evt. indgår i prognosen, er optimerede data (dvs. data baseret på en forgangen Power hub styring) eller uforstyrrede data (dvs. data hvor Power Hub styringen ikke har været aktiveret).

3.2.4 Effektrådigheds prognose

Effekt rådigheds prognosen fortæller Power Hub, hvordan effektgrænserne for den kommende periode vil være. Uanset hvad de tekniske mærkeeffekter er vil Power Hub til hver en tid overholde den P_{\min} og P_{\max} der er angivet i Effekt rådigheds prognosen. Power Hub vil ligeledes forvente at de angivende effektgrænser også kan opnås af anlægget, det er således vigtigt at disse grænser afspejler hvad den samlede pulje af ventilationsmaskiner er i stand til under de givne driftsbetingelser. I Perioder med indeklimakrav vil P_{\min} således være større end 0 da kravene til luftskifte vil forhindre CTS'en i at slukke alle maskiner helt. I perioder uden indeklimakrav, fx midt om natten kunne P_{\min} derimod godt være lig 0 da der ikke vil være indeklimakrav der tvinger CTS'en til at køre maskinerne på det specifikke tidspunkt.

I ufleksible perioder hvor CTS'en ikke kan udstille fleksibilitet til Power Hub er $P_{\min} = P_{\max} =$ en given værdi. Herved sikres korrekt indkøb af el på det givne tidspunkt og den prognosticerede effektmængde medregnes i Power Hubs optimering.

3.2.5 Komfortgrænser

Komfortgrænserne er et sæt minimum og maksimum grænser, som kunden fastsætter for energiindholdet af sit system. Power Hub vil sikre at energiindholdet af systemet altid ligger indenfor de grænser som der er angivet af kunden.

For bedre at kunne forstå begrebet energiindhold og komfortgrænser gives her et lille mere intuitivt eksempel. Forvalteren af en drikkevandsforsyning har en stor vandbeholder. I dette tilfælde kan vandniveauet i denne beholder betragtes som et energilager da det koster energi hhv. at fylde det op og tømme det igen. Komfortgrænserne i denne situation er det minimale og maksimale vandniveau i beholderen som kunden er tilfreds med.

Komfortgrænserne er således kundens udtryk for hvilket spænd en given procesparameter skal ligge indenfor for at denne er tilfreds.

Da det er meget svært at angive en bygnings energiindhold i en absolut mængde af kWh er det i projektet vedtaget at T_{middel} er den bedste af de tilgængelige procesparametre for en bygningen. Komfortgrænserne vil således ikke blive udtrykt som E_{min} og E_{maks} som beskrevet i afsnit 3.2.2 men i stedet som grænserne T_{max} og T_{min} .

3.3 Flexibilitetens værdi set i forhold til el markederne

Ved projektafslutningen har det desværre ikke været muligt at modtage de tre ovennævnte prognoser fra planlægningsmodulnet. Der er således ikke indhentet praktiske erfaring med disse prognosers præcision ligesom der heller ikke er gjort erfaringer med anlæggenes evne til at følge af Power Hub beregnet set punkt. Selv om ventilationens elforbrug kendes vides det ikke i hvor stor grad dette forbrug er flytbart i tid. Der kan således ikke siges noget konkret om værdien af indeklimastyringens elektriske fleksibilitet.

Som konsekvens af EiSE styringens oplagring af varme i bygningen i løbet af urtiden vil der være en god mulighed for at lægge langt størstedelen af det elektriske energiforbrug i de billigste timer som typisk ligger om natten. Dette vil give en basal spotoptimering af elforbruget.

Som beskrevet i kapitel 2 er der mulighed for relativt hurtige, kortvarige forskydninger af det aktuelle effektforbrug. Dette kunne muligvis være et aktiv på systemydelsesmarkederne som led i en aggregeret levering af sekundærreserve. Det afgørende for om dette er muligt er hvilken sikkerhed en effektreserve kan leveres med, dette kan kun praktiske erfaringer afdække.

4. Nyudvikling i Smart Buildings-projektet

Følgende kapitel beskriver projektets arbejde med udvikling af styringsmodulet.

4.1 Udvikling af styringsmodul

Kontrol med forbruget

Projektet har arbejdet med et mål om at kontrollere el effekten i de kontorbygninger, som forskyder energiforbrug.

Der er tre parter i Power Hub: Kunden, CTS firma og aggregator. Den enkelte kunde stiller sit energiforbrug til rådighed for CTS firmaet, som sender styresignal til sine kunder. Når der er behov for forskydning ændres signal til kunden.

Målet er at opfylde ønske effekten

CTS firma modtager, fra sine kunder, hovedmåler effektværdien samt signaler, som viser om kunden kan forskyde energiforbrug. Tanken er, at CTS firma udarbejder en effektprognose til energiselskabet. Prognosen viser en samlet minimums henholdsvis maksimum effekt hos de kunder, som kan forskyde energiforbruget. Prognosen afsendes til aggregator, som returnerer ønsket effektforbrug, som ligger indenfor prognosen. Det ønske forsøger CTS firmaet at opfylde ved at justere styresignalerne til deres kunder.

Forskydningspotentiale

Der kan være behov for yderligere forcering af effekten hos kunderne. I EiSE-strategien kan det gøres ved at sende et ursignal, det øger elforbruget udenfor arbejdstiden. Der kan desuden afsendes et stop signal, som stopper anlæg udenfor arbejdstiden. Udfordringen er, at kundens samlede energiforbrug stiger. En anden udfordring er, at brugere, som yder en ekstra indsats efter arbejdstid, oplever at anlæg stoppes selvom kølebehovet er stort. Modydelsen for denne omkostning afregnes mellem kunden og aggregator. Projektet diskuterer ikke om der er et markedsbehov/værdi for dette segment, men kun om det kan lade sig gøre.

Kunden afgiver suverænitet

I det tilfælde får CTS firmaet ret til at øge kundens energiforbrug og forringe indeklimaet udenfor arbejdstiden på foranledning af aggregator. Dog vil kunden kun tillade at forskyde energi, hvis der reelt er et kølebehov. Modydelsen til kunden, for at leverer denne ydelse, diskuteres ikke i denne rapport. Det tages dog som en selvfølge, at der skal være en økonomisk gevinst for kunden.

EiSE strategi med suverænitetssafgivelse

Projektet har udviklet en EiSE strategi med suverænitetssafgivelse, som håndterer problemstillingen. Denne strategi anvender to signaler, som afsendes til kunden. Der er kommet et ekstra ursignal og anlægget kan desuden stoppes udenfor arbejdstiden. Ved ursignal kører anlægget med lufttydelser, som var driften i arbejdstiden.

Signaler fra centralen og effekt

Centralen kan afsende følgende signaler til kunden:

Grøn signal Indeklima har 1. prioritet i EiSE-strategien. Der er ingen begrænsning, forbrug ønskes. EiSE-strategien kører uden indgreb.

Sort signal Indeklima har 1. prioritet i EiSE-strategien. Hvis kølebehovet er stort fortsætter driften uden nævneværdige forskel.

Ved lille kølebehov reduceres driften, men indeklimamålsætningen er opfyldt i arbejdstiden og de første timer efter arbejdstiden.

Der er anlægsstop ved et lille kølebehov udenfor arbejdstiden.

Stop signal Indeklima har lavere prioritet udenfor arbejdstiden i EiSE-strategien. Stopsignalet stopper køledrift udenfor arbejdstiden uanset kølebehov.

Indeklima har altid 1. prioritet i arbejdstiden. Derfor ændrer EiSE-strategien stop til sort signal i tidsrummet fra kl. 00 til 08, det gælder alle dage. Herved opfyldes morgentemperaturen hver dag. I tidsrummet fra kl. 00 til 04 er der sjældent begrænsning på el nettet, men det kan forekomme i tidsrummet fra kl. 04 til 08.

I arbejdstiden annullerer EiSE-strategien stopsignalet. Indeklima har altid 1. prioritet i arbejdstiden.

Ur signal Når der er urdrift reguleres køleydelsen efter behovet. Køleydelsen pr. tilført watt til anlæg er væsentlig lavere i urtiden. Forbruget stiger når ur signalet er aktivt, det er ineffektivt køling i forhold til frikøl. Men der kan være en gevinst for aggregator, som er større end den ekstra udgift hos kunden.

Effektforskellen kan være op til 20 kW for ét mellemstort ventilationsanlæg med køleflade i aggregat. Forskydningspotentialet er stort i Danmark i kølesæsonen, specielt udenfor arbejdstiden.

Kundegrupper i centralen

Der er en klar opdeling mellem CTS og centralen. Kundesikkerhed er programmeret i CTS anlægget. Kunden skal kun tage stilling til suverænitetssafgivelse. CTS firma har to kundeaftaler og dermed to kundegrupper. Centralen vil køre med to grupper, som kører uafhængig af hinanden.

Centralens skal kun løfte opgaven at forskyde energiforbruget. Der er følgende signaler for de to kundegrupper:

	Med Suverænitetssafgivelse	Uden suverænitetssafgivelse
1.signal, ur	1 eller 0	Kun 0
2.signal, grøn/sort/stop	Enten grøn/sort/stop	Enten grøn/sort

Centralen

Centralen, som administreres af CTS firmaet, grupperer alle anlæg i grupperne 1 til 4. Grupperne 2 og 4 har kølebehov. Grupperne 1 og 2 er urstyret. Det giver følgende opdeling:

- Gruppe 1, anlæg har ingen kølebehov og kalender urtid.
- Gruppe 2, anlæg har kølebehov og kalender urtid.
- Gruppe 3, anlæg har ingen kølebehov og ingen kalender urtid (efter arbejdstid).
- Gruppe 4, anlæg har kølebehov og ingen kalender urtid (efter arbejdstid).

Der er en klar sammenhæng mellem forskydningspotentialet og antallet af anlæg i hver af de 4 grupper. Forskydningspotentialet er stort hvis der er mange anlæg i gruppe 4. Potentialet er lille hvis der er mange anlæg i gruppe 1 & 3. Vægtningen af de 4 grupper ændres hele tiden, signalet grøn/sort/stop flytter anlæg fra en gruppe til en anden. I EiSE-strategien ændres Å-værdien når signalet skifter, det ændrer kølesetpunkt og derved kølebehovet. Herved kan anlæg flyttes fra gruppe 1 til 2 og fra 3 til 4, eller omvendt.

Maksimal effekt ønskes

I det tilfælde udsender centralen et grønt signal og $U=1$ for kundegruppen med suverænitetssafgivelse. Herved kører alle anlæg med maksimal ydelse, på nær dem som er i tilstand 3 (ingen kølebehov).

Vægtningen af gruppe 3 øges ved at ændre grøn til sort signal. Det giver mulighed for 2 forskellige høj effekt niveauer.

Minimal effekt ønskes

I det tilfælde udsender centralen et stop signal og $U=0$ for kundegruppen med suverænitetssafgivelse. Herved stopper alle anlæg, på nær dem i gruppe 1 & 2.

Der er anlæg i gruppen 4, som har et stort kølebehov. De vil starte ved at ændre stop signal til sort signal. Det øger effektforbruget. Gruppe 4 kan gøres endnu større og alle disse anlæg starter ved at ændre sort til grøn signal. Det øger igen forbruget.

10 forskellige effekt niveauer

Der er 5 hastighedsniveauer for kundegruppen med suverænitetssafgivelse når der udsendes to signaler. Selv om alle kunder i en kundegruppe modtager de samme to signaler.

De kunder, som ikke ønsker suverænitetssafgivelse, kører efter grøn/sort styringssignal, U er altid nul. Der kan derved køre 10 forskellige effekt niveauer, når signalerne til de to kundegrupper er uafhængig af hinanden. Den ene kundegruppe kan fx køre med grønt signal, selvom den anden kundegruppe fx kører sort signal.

CTS data danner baggrund for prognosen

For hvert ventilationsanlæg, som forskyder energiforbrug, afsendes værdier til centralen hver hele og halve time. Data anvendes til effekt prognosen, parametrene er følgende:

- $E(DK)$. Hvor mange procent af bygningen har et kølebehov.
- $T(DK)_{\text{nedre}}$. Den ønskede morgen temperatur kl. 08. Det er minimumstemperaturen.
- $T(DK)$. Aktuelle køle setpunkt.
- $T_{\text{gennemsnit}}$. Bygningens aktuelle gennemsnits temperatur.
- $FS_{\text{køl}}$, værdien 1 eller 0. Ved værdien 1 er der et kølebehov, behovet overstiger setpunkt.
- Gruppe 1, 2, 3 eller 4. Et anlæg kan kun optræde i én gruppe.
- CTS anlægget afsender desuden hovedmåler effekten, hvis styresignalet har indflydelse på målerens forbrug.

Grænsetilfældet, minimale signal justeringer

Hvis man kortvarigt ændrer signaler hver halve og hele time, fx i 10 minutter, ville det ikke forstyrre den daglige rytme. Fx maksimal ydelse hver hele time og minimal ydelse hver halve time. Ved at forbinde punkterne med hele timer fås maksimum kurven. Ved at forbinde de andre punkter fås minimum kurven.

For kundegruppen med suverænitetetsafgivelse er max. signalet $U=1$ og grønt signal. Minimumssignalet er $U=0$ og stop signal. Resterende tid er signalet grønt og $U=0$.

For kundegrupper uden suverænitetetsafgivelse er min. signalet sort og $U=0$. Resterende tid er signalet grønt og $U=0$.

Udfordringen er, at forskydning kan lade sig gøre, men på sigt stabilisere forbruget sig mod midten af prognosen ved langvarig ensidigt ønske. Jo længere tid ønske effekten ligger på grænseværdien, des mindre forskel er der mellem min og max kurven. Den effekt skal aggregator indregne i sin prognose for ønske værdien.

Der udarbejdes en prognose for hver kundegruppe. De kan efterfølgende lægges sammen til en prognose.

Sent i projektføreløbet blev endvidere indført en korrektionsværdi til det dynamiske setpunkt for køl \dot{A} og for varme $\dot{\emptyset}$. Denne korrektionsværdi justerer setpunktet kl. 24.00 med plus eller minus én grad.

Prognose status

Projektgruppen har ikke besiddet aktuelle data til at udvikle prognoseværktøjet. For at kunne gennemføre dette, er der behov for længere tidsserier, end der kunne indhentes indenfor projektets tidsbegrænsning. Der er behov for mere end én enkelt sæsons lokal vejr- og forbrugsdata fra samme bygning, hvortil prognosen udvikles. Projektgruppen anbefaler en fremtidig fokusering på dette område, da viden om en bygnings fremtidige, kortsigtede, elforbrug vil være af stor værdi for aggregatorer.

Implementering af anlægsstrategien

Anlægsstrategien med afsæt i EiSE blev formuleret i en såkaldt funktionsbeskrivelse, som er beskrevet i bilag 1. Funktionsbeskrivelsen blev implementeret i Siemens CTS-produkt *Desigo* og skulle dernæst demonstreres i en bygning, som overholdt en række kriterier, således at modellen kunne eftervises med tilkobling af PowerHub.

Følgende kapitler beskriver projektets valg af bygninger, samt de erfaringer, der blev opnået i projektet under demonstrationsaktiviteterne.

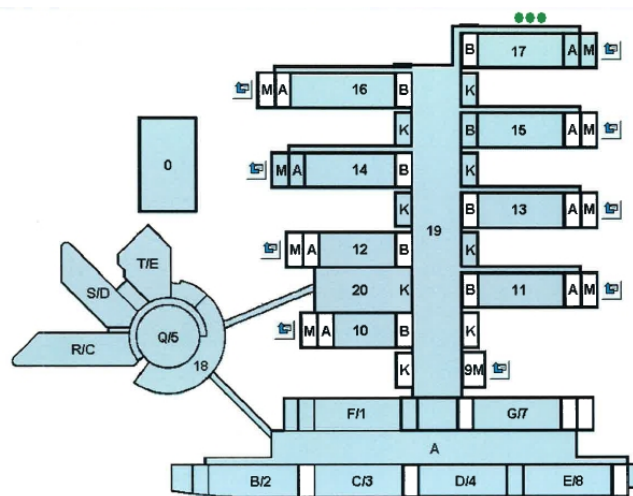
5. Implementering og Demonstration

Efter udarbejdelse af funktionsbeskrivelse for det nye styringsmodul kunne Siemens påbegynde implementering i CTS-anlæg i den valgte bygning. Dette arbejde, samt selve valget af bygninger redegøres for i dette kapitel.

5.1 Valg af bygninger

Kriteriet for valg af bygninger til projektet var, at de skulle være af en teknisk kvalitet, hvor EiSE modellen kunne eftervises i forhold til Power Hub.

Bygningerne, der skulle benyttes i dette projekt, skulle indeholde ventilation, varme og køling for at sikre et tilpas stort energiniveau, som var et krav for at eftervise de opstillede modeller. Samtidig var det vigtigt at bygning blev overvåget af Siemens CTS anlæg af typen Desigo PX. CTS styringen skulle samtidig kunne arbejde med indeklimaet individuelt i bygningen i forhold til sol- og vindpåvirkning.



Figur 5.1 DONGs bygninger på Nesa Allé

På baggrund af de opstillede krav fra projektet, har Siemens udarbejdet en liste over generelle forudsætninger for at kunne gennemføre projekter med fleksibelt elforbrug på en bygning:

- Aktiv og engageret driftsafdeling
- Mekanisk ventileret bygning med overkapacitet på køleanlæg.
- Bimålere med øjebliksmålinger på anlæg
- Bygningsautomation – gerne med zonemålinger el. lign.
- Servermiljø til CTS-anlæg med ekstern adgang fra internet
- Opbakning fra ledelse og IT-afdeling.
- Adgang til vejrdata – gerne målt lokalt af bygnings egen vejrstation.

Det viste sig at være en større udfordring at finde bygninger der var egnet til projektet og som minimum overholde kravene til klimaskærm og teknik. Specifikt er der behov for tilsluttede bimålere på de anlæg, som skal indgå i PowerHubs styring. Bimålerne kræves, da systemet kræver aflæste øjebliksværdier.

Der blev udvalgt to bygninger, en hos DONG i Gentofte og en hos Københavns Lufthavne i Kastrup.

Oversigt ses på Figur 5.1.

Bygningen hos DONG skulle klargøres til projektet, da det var meget vigtigt at bygningen blev separeret fra de øvrige bygninger. Der blev etableret el og energimåler i bygningen for at sikre at projektet kunne beregne forbruget samt opstille prognoser for det fremtidige forbrug.

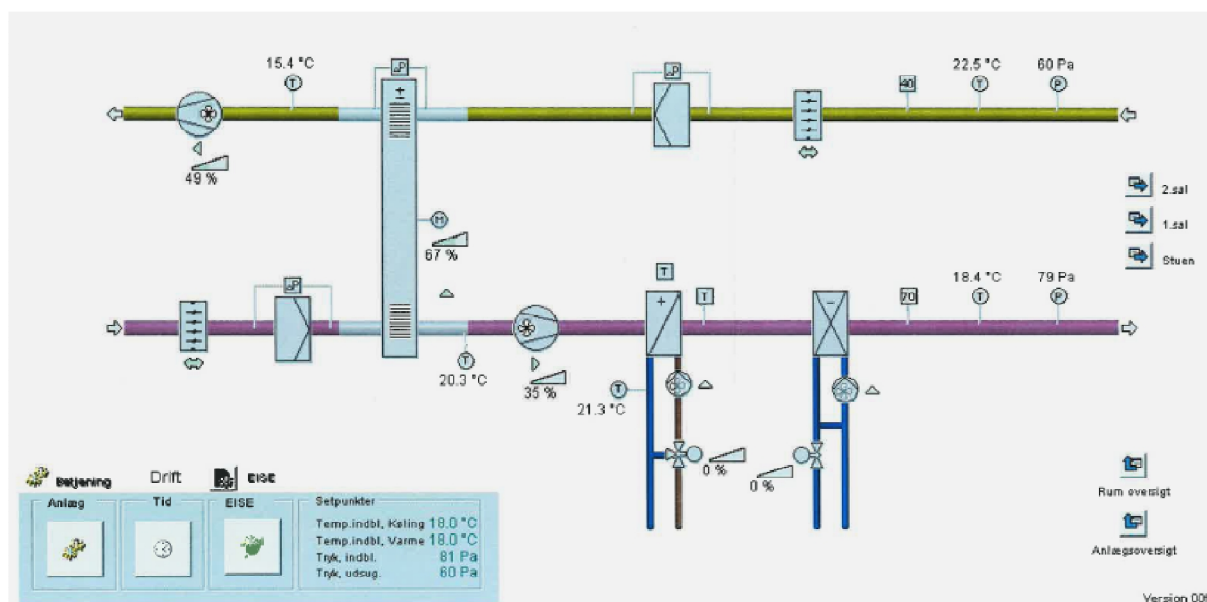
Efterfølgende valgte DONG at tilkøbe EiSE konceptet til alle bygninger i Gentofte.

Bygningen hos CPH viste sig at kræve en større ombygning af det tekniske anlæg, hvilke ikke var muligt inde for projektets tidsramme.

Det blev besluttet i sommeren 2013, at bygningen ikke var egnet til projektet og at fokus skulle holdes på bygningen ved Nesa Allé.

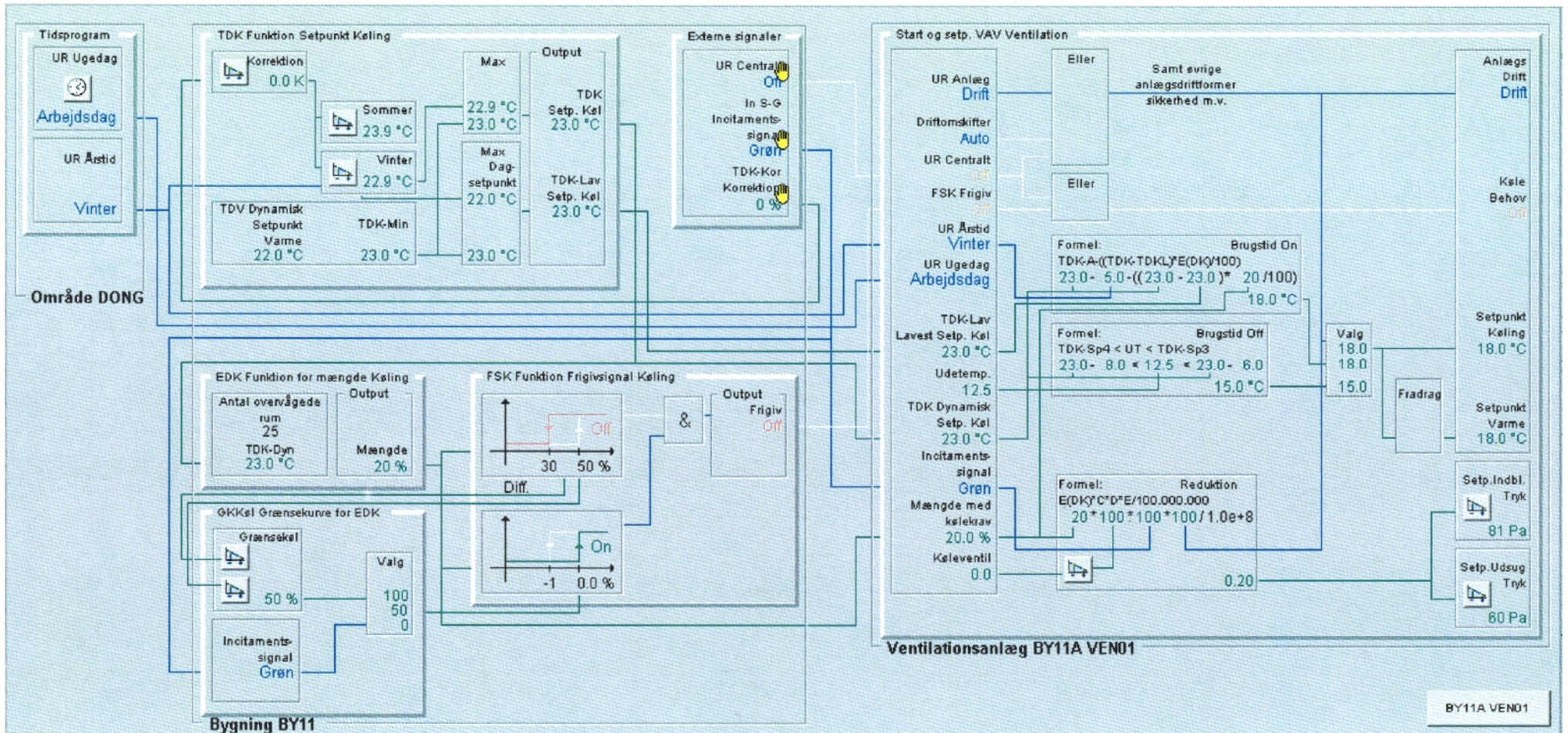
5.2 Fortolkning og implementering af funktionsbeskrivelsen i DESIGO

Det udviklede styringsmodul inklusive PowerHub-tilslutning blev implementeret i DONG Energys Siemens DESIGO-system. Anlægsdiagrammer blev gennemgået og ændringer blev foretaget, således at de understøttede drift med det nye styringsmodul. Et eksempel på et anlægsbillede er vist på Figur 5.2.



Figur 5.2 Anlægsbillede

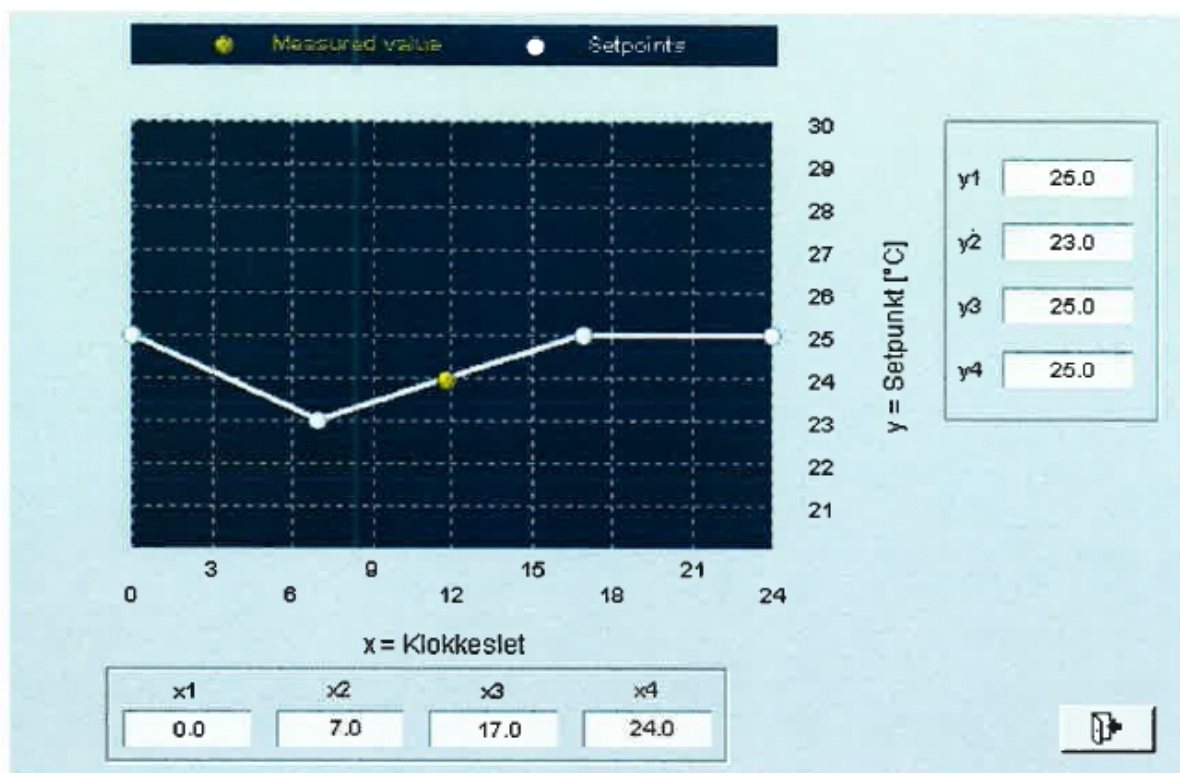
Flowdiagram for styringen vises på Figur 5.3 på side 35. Flowdiagrammet giver et overordnet billede af implementeringen af funktionsbeskrivelsen, som er beskrevet i bilag 1. Særligt er at bemærke blokken "Externe signaler", markeret med gule ikoner. I denne vises aktiveringen af fleksibilitet udefra under punkter "Incitamentssignal" – det er dette signal, som PowerHub har indflydelse på. Yderligere teknisk forklaring er at finde i bilag 1.



Figur 5.3 Flow diagram

Kølekurve for sommerdrift er vist på Figur 5.4. Kl. 07.00 er setpunktet 23,0 °C, mens det ved arbejdstidsophør kl. 17.00 er 25,0 °C. Ud fra kurven kan det forklares, hvorledes fleksibilitetspotentialet i bygningen udnyttes:

Korrektionsværdi Å flytter setpunktet kl. 24.00 -1°C ved grønt signal og +1°C ved sort signal. Derved kan der kl. 24.00 – indflydelse på komforten, da det er uden for arbejdstiden – gennemtvinges et elforbrug til afkøling, da setpunktet pludseligt sænkes med 1°C.



Figur 5.4 Kølekurve

Ved grønt signal tillades endvidere færre rum/zoner at afvige fra setpunktet, hvilket resulterer i at elforbruget stiger for at sikre afkøling af de rum, som afviger. Ved sort signal tillades afvigelser fra et større antal rum og derved falder elforbruget.

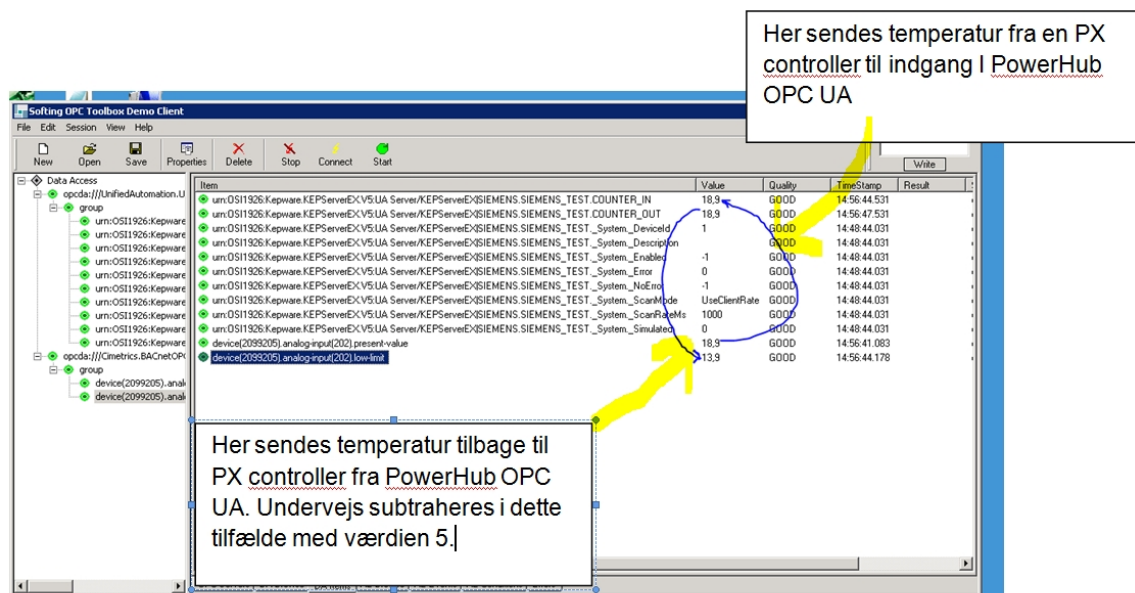
Tilsvarende er gældende for varmestyringen, således at der i fremtiden let kan implementeres en styring, som giver mulighed for udnyttelse af fleksibilitet i varmeforbruget også.

5.3 Implementering af signaludveksling med DONG PowerHub

Valg af interfaces og udarbejdelse af signallister til udveksling af prissignaler mellem DONGs PowerHub og Siemens DESIGO-plattform blev gennemført. Arbejdet blev dokumenteret i arbejdsdokument vist i bilag 3, kapitel 9.3.

Den tekniske løsning blev implementeret i DONGs servermiljø og signalerne blev testet. På Figur 5.5 ses screenshot af signaludveksling mellem systemerne. Specifikt viser dette screenshot udveksling af temperatur til benyttelse i prognosticeringsmodulet, ikke blev udviklet i projektet, som også redegjort for i kapitel 4. Samme interface blev også benyttet til udveksling af incitamentssignalet "Sort/Grøn", som kan ses på flowdiagrammet på Figur 5.3 på side 35.

Det kan derfor konkluderes, at kommunikationen kan etableres udelukkende ved benyttelse af standardprotokoller.



Figur 5.5 Screenshot af kommunikation mellem DONGs servermiljø og Siemens DESIGO

5.4 Test og klargøring til demonstration

Efter Siemens fortolkning og implementering af funktionsbeskrivelsen gennemførtes funktionsafprøvning og almindelig anlægsdokumentation. Bygningens CTS-anlæg var derefter klar til at indgå i projektets demonstrationsforløb.

6. Erfaringer fra demonstrationen på Nesa Allé

Siemens havde på forhånd programmeret EiSE justeringerne og de blev installeret i det eksisterende CTS anlæg. Kvalitetskontrollen blev udført kort efter, det gav anledning til en lille justering. Herfra kørte anlægget automatisk uden indgreb fra driftsafdelingen. Det skete forår 2013.

I sensommeren 2013 mødte projektdeltagerne igen bygningens driftsafdeling i forbindelse med installeringen af bimålerne. Driftsafdelingen fortalte, at bygningen med EiSE-strategien var uden klager over sommeren. I de andre bygninger var der de sædvanlige klager. Driftsafdelingens egen konklusion var, at en sænkning af køleydelse var den primære årsag til færre klager. Den anden var, at sænkningen kun kunne lade sig gøre, fordi EiSE-strategien hver nat fik afkølet bygningen ned til ønsket morgentemperatur.

Siden foråret 2013 har der været signalændringer hver hele og halve time i testbygningen. Der har ikke været klager over mærkbare forandringer fra brugerne. I maj/juni 2014 er der foretaget en ny test og her er temperaturen logget; disse målinger har ikke vist væsentlige udsving, som kunne påvirke brugerne.

I efteråret 2013 udarbejdede bygningens driftsafdeling en indeklimatemålsætning for alle deres bygninger. Heri blev det fastlagt, at temperaturmålsætningen er 22-25 °C i arbejdstiden i kontorområder med tilhørende køleanlæg. Det betød, at varme setpunktet på Nesa Allé kunne sænkes fra i gennemsnit 23½ til 22 °C i fyringssæsonen. Frem mod årsskiftet 2013/14 blev EiSE-strategien installeret i alle bygninger på Nesa Allé 1. Der har været to formål med indeklimatemålsætningen og CTS justeringen: At skabe et bedre indeklima og at reducere energjudgiften væsentligt. Det kan oplyses, at medarbejderstaben i bygningerne er vokset fra 1300 til 2200 medarbejdere i 2013.

DONGs anlæg er overdimensioneret under projekteringen, da man på projekteringstidspunktet ikke vidste om der i fremtiden kom en ekstra etage på bygningerne. DONG kan i princippet holde en konstant temperatur i bygningen, hvis man ser bort fra udfordringerne med træk.

DMI data viser, at sommeren 2013 var en meget varm sommer. De to forrige år var der områder i Danmark, som ikke havde en eneste sommerdag i hele sommerperioden. I testperioden 2014 oplevede Danmark det næst varmeste forår i DMI's historie.

6.1 Testarbejde

Projektgruppen valgte at teste i en situation, hvor kunden ikke afgav suverænit. Herved er styringssignalet $U=0$.

Den første måleperiode blev igangsat den torsdag den 22. maj 2014. Døgnet blev opdelt i to tidsperioder, den første fra kl. 03-22, den anden fra 22-03. I den første måleperiode var der grønt signal for begge tidsperioder i døgnet. \dot{A} -værdien blev sat til nul. Målet var at se forbruget over døgnet med neutrale styringssignaler (uden indgriben).

Den anden måleperiode blev igangsat mandag den 2. juni 2014. I den første tidsperiode fra kl. 03-22 var signalet sort, herved er $\dot{A}=+1$. I den anden tidsperiode fra kl. 22 til 03 var signalet grønt, herved er $\dot{A}=-1$. Signalerne ville starte anlæg i tidspunktet fra 22-03 ved kølebehov. Det sorte signal i resten af døgnet vil sænke forbruget en smule i arbejdstiden og sandsynligvis få anlægget til at stoppe om aftenen frem til kl. 22.

Første testperiode viste at rumtemperaturen hele tiden lå mellem 23 til 25 °C. Inden temperaturen blev logget i anden periode testede Teknologisk Institut lufthastighederne i test bygningen. Hastighederne var under $0,15 \pm 0,07$ m/s og opfyldte projekteringsværdierne ved givne driftsparametre, men der var klager over trækgener. For at imødegå brugerønsker blev ΔT sænket fra værdien 6 til 4 °C. Det projekterede tryk, værdien a blev sænket med 50%. Det fjernede trækgener. Temperaturen lå efterfølgende stadig mellem 23-25 °C hele døgnet, på nær den 18. juni som var en sommerdag med sol hele dagen. Denne dag oversteg rumtemperaturen 25,5 °C, men oversteg aldrig 26 °C. Efterfølgende er $\Delta T=4$ bibeholdt, men a værdien er justeret op til 75 % af projekterede værdi for at imødegå dage med spidsbelastninger.

Projektgruppen loggede timetællerne på ventilatorerne, da gruppen blev bekendt med at bimålerne ikke loggede værdier pga. fejl i den trådløse datakommunikation. Dette kunne være undgået ved, at bimålerne havde været integreret i CTS-systemet og derved ville fejlen være opdaget meget tidligere. Da de loggede værdier for timetællerne blev gennemgået, viste tallene drift hele døgnet selvom der var sort signal. CTS-systemet blev testet og fejlen med $U=1$ blev fundet. Det havde været en dyr fejl, hvis det havde pågået i måneder i fyringssæsonen. Denne opdagelse har betydet, at vedlagte funktionsbeskrivelse i projektet er justeret lige før projektets deadline.

Projektgruppen har tidligt i projektet vurderet, at kunden ikke vil investere i bimålere for samtlige bygninger og der, hvor de var installeret, fejlede datakommunikationen som tidligere beskrevet. Ventilationsdrift og køling står for 20-30 % af hovedmålerens forbrug, men det er ikke muligt at se på hovedmåleren, hvilket af de i alt 35 anlæg, der starter/stopper. Derved kunne hovedmålerens data ikke benyttes i projektet.

6.2 Fremtidig benyttelse

DONG har i projektperioden installeret EiSE-strategien overalt på Nesa Alle i Gentofte. Der er i alt omtrent 35 ventilationsanlæg, som kan forskyde forbruget ved eksterne styringssignaler. Hvis signalet U er sat til 1 kører alle anlæg på høj ydelse. Ved stopsignal stopper alle anlæg. De 35 bygninger kan i dag levere fleksibelt forbrug, såfremt nødvendigt. Dog er funktionen inaktiveret.

Projektgruppen har ikke haft fokus på test, hvor alle anlæg og hovedmåleren indgik. Det er muligt i fremtiden at gennemføre test, som involverer alle anlæg og hovedmåleren.

7. Konklusion

EiSE-strategien blev videreudviklet til at fremme energieffektivitet og udnytte energilagring i bygningens indeklima, samt andre muligheder for forskydning af energiforbruget i større bygninger. Strategien blev formuleret i et styringsmodul beskrevet ved funktionsbeskrivelsen vist i *Bilag 1: Funktionsbeskrivelse*. Endvidere blev styringsmodul implementeret i Siemens DESIGO og der blev klargjort til demonstration hos DONG Energys bygninger på Nesa Allé.

Prognosemodul blev ikke udviklet i projektet, da der blev fundet behov for længere tidsserier af baseline data end der kunne indhentes indenfor projektet tidsbegrænsning. Der er behov for mere end én enkelt sæsons lokal vejr- og forbrugsdata fra samme bygning, hvortil prognosen udvikles. Prognosemodul var en forudsætning for PowerHubs direkte styring af styringsmodul og derfor kunne PowerHub ikke direkte integreres. Der blev i stedet gennemført en manuel påvirkning af det implementerede styringsmoduls indgang for PowerHub-signaler. Der kan på anlæggets driftsperioder bedømmes klare tegn på fleksibilitet i anlæggets elforbrug.

Indeklimaet er i perioden blevet væsentligt blevet forbedret. Af samme grund valgte DONG Energy at implementere styringen i samtlige bygninger. Dermed er der skabt grundlag for, at DONGs bygninger i fremtiden kan levere fleksibelt elforbrug.

I demonstrationsperioden forsvandt alle klager over indeklima fuldstændigt og dette på trods af, at der samtidigt blev gennemført manuel aktivering af fleksibilitetsmodul. Derfor kan projektet klart konkludere, at det er muligt at udnytte fleksibilitetspotentiale i bygninger med CTS-anlæg uden at gå på kompromis med indeklimakomforten.

Kvantificeringen af fleksibilitetspotentialet var ikke mulig, da projektgruppen blev bekendt med, at bimålerne ikke loggede værdier pga. fejl i den trådløse datakommunikation. Dette kunne være undgået ved, at bimålerne havde været integreret i CTS-systemet og derved ville fejlen være opdaget meget tidligere. Ved vurdering af anlæggets drift i demonstrationsperioden er fleksibiliteten i elforbrug derfor kvalitativt argumenteret for.

EiSE-modellens besparelsespotentiale blev ligeledes eftervist, idet DONG Energy rapporterer om større besparelser på energiudgifter. Specifikt var der en besparelse set i forhold til året før på 7,4% til energiudgifter i bygningerne. Derved er det vist at EiSE-modellen har en væsentligt reducerende effekt på energiforbruget og samtidigt stiller anlæggene til rådighed som fleksibelt forbrug.

Projektgruppen konkluderer endeligt, at erfaringerne med at finde egnede bygninger viser at fleksibilitet i elforbruget skal tænkes ind i projekteringsfasen af nybyggeri, da det her er lettest og billigst at få indført nødvendige målinger og automation. På baggrund af de opstillede krav fra projektet, har Siemens udarbejdet en liste over

generelle forudsætninger for at kunne gennemføre projekter med fleksibelt elforbrug i en bygning:

- Aktiv og engageret driftsafdeling
- Mekanisk ventileret bygning med overkapacitet på køleanlæg.
- Bimålere med øjebliksmålinger på anlæg
- Bygningsautomation – gerne med zonomålinger el. lign.
- Servermiljø til CTS-anlæg med ekstern adgang fra internet
- Opbakning fra ledelse og IT-afdeling.
- Adgang til vejrdata – gerne målt lokalt af bygnings egen vejrstation.

En stor del af projektets udfordringer har netop været at sørge for, at bygningerne, der skulle inkluderes i projektet, var bestykket med de nødvendige målere. Bimålere, både på elektricitet, varme og køl bør installeres som en naturlig del af nybyggeri, således at bygninger er forberedt til fremtidig levering af fleksibilitet til understøttelse af elnet med forøget grad af vedvarende energi.

8. Perspektivering

I projektet er det vist teknisk, at benyttelsen af moderne CTS-anlæg til aktivering af fleksibelt elforbrug er muligt. Projektet har dog også vist udfordringer med at finde egnede bygninger, hvilket tyder på at bygningsmassen generelt ikke er specielt moden nok til en udrulning af sådanne løsninger. Problemet kan løses ved at sikre en forøget udrulning/opgradering af intelligente bygningsautomationssystemer ved benyttelse af passende regulatoriske instrumenter, såsom bygningsreglementet.

Dette projekt har vist endnu en metode til aktivering af forbrugsfleksibilitet og bevist det tekniske koncepts duelighed. Dog kan det udviklede tekniske koncept på nuværende tidspunkt ikke benyttes kommercielt, da de energipolitiske regulatoriske rammer ikke understøtter en god case for sådanne investeringer for bygningsejere.

Benyttelsen af bygningsautomation til levering af fleksibelt energiforbrug understøtter elnettet i integration af vedvarende energi. Derved har det udviklede tekniske koncept også fordele for klima og miljø, såfremt det kunne udrulles til en større bygningsmasse. I fremtidens energipolitik bør forbrugsfleksibilitet indtænkes som naturlig del af energimarkedene, således at bygningsejere og andre forbrugere incentiveres til at aktivere deres forbrug fleksibelt ved benyttelse af automation.

Teknologien er på nuværende tidspunkt moden til udrulning og der er således ikke behov for flere rent tekniske udviklingsprojekter.

Siemens foreslår derfor, at fremtidige projekter undersøger markedskoncepter, der understøtter benyttelse af fleksible forbrug. Disse projekter bør have involvering af offentlige myndigheder, som er tæt på relevant lovgivning og regulering.

9. Bilag

9.1 Bilag 1: Funktionsbeskrivelse

Funktionsbeskrivelsen

Med og uden suverænitetssafgivelse

Der er få steder i funktionsbeskrivelsen, hvor styresignalet skaber ændringer. Her står teksten med *skrå og fed grøn skrift* i funktionsbeskrivelsen.

Urtider og global kalender

Der er to ur kalendere, en for arbejdsdage og en for "ikke arbejdsdage". Der er desuden en global helligdagskalender, hvor en markeret dag defineres som en "ikke arbejdsdag". Hvis den aktuelle dag er markeret som en "ikke arbejdsdag", så kører ventilations alle balancerede anlæg efter tiden i uret for "ikke arbejdsdage". (Uret for ikke arbejdsdage er typisk uden driftstider).

Global varme setpunkt, T(DV)

Kurven forbindes lineær mellem punkterne.

I CTS er der en dynamisk setpunkt T(DV,0) for blandesløjfen, fx:

- (00,21), (04,21), (04,22), (17,22), (17,21) og (00,21) for arbejdsdage. Driftsafdelingen indtaster nedre og øvre værdi og de to tidspunkter på døgnet, hvor værdien skifter.
- (00,19), (04,19)(04,20), (17,20), (17,19) og (00,19) for "ikke arbejdsdage". Driftsafdelingen indtaster nedre og øvre værdi og de to tidspunkter på døgnet, hvor værdien skifter.

$T(DV) = T(DV,0) + \emptyset$. (Hvis der i fremtiden kommer en behov forskydning af varmeforbrug).

Global køle setpunkt, kølekurven T(DK)

I CTS er der en dynamisk kølekurve T(DK) for sommer (juni-september) og vinter (oktober-maj). For henholdsvis sommer- og vinterkurven er der to y-værdier, som skal vælges, en nedre værdi fx 23 og en øvre værdi fx 25 om sommeren. Om vinteren fx 23 for nedre værdi og 24 for øvre værdi. X-aksen går fra klokken fra 00 til 24. Første punkt er $x_1=00$ og sidste punkt $x_4=24$ kan ikke justeres. Punkt 2 og punkt 3 vælges af driftsafdelingen, fx $x_2=08$ og $x_3=17$.

- Sommer: $(00, T(DK)_{\text{øvre}} + \dot{A})$, $(\text{fx } 08, T(DK)_{\text{nedre}})$, $(\text{fx } 17, T(DK)_{\text{øvre}})$, $(24, T(DK)_{\text{øvre}} + \dot{A})$
- Vinter: $(00, 24 + \dot{A})$, $(08, 23)$, $(17, 24)$ og $(24, 24 + \dot{A})$. Vist med tal.
- Krav: $\Delta T = T(DK)_{\text{nedre}} - T(DV, 0)_{\text{øvre}} > 1$.

Ved grøn styresignal er $\dot{A}=-1$. Ved sort styresignal er $\dot{A}=+1$. Ved stop styresignal er $\dot{A}=+1$.

CTS får tilbagemelding om rumtemperaturen. CTS beregner gennemsnitstemperaturen, $T_{\text{gennemsnit}}$. CTS opgør hvor mange målepunkter, som afviger fra målsætningen for pågældende blandesløjfe. E(DV) opgøres i procent. CTS opgør hvor mange målepunkter, som afviger fra målsætningen for pågældende ventilationsaggregatet. E(DK) opgøres i procent.

Eksempel, en vinter lørdag kl. 18 i en bygning, $\dot{\Theta}=0$. Sort signal og $\dot{A}=+1$:

- $T_{\text{gennemsnit}} = 20,7 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Hvor mange procent af målepunkterne i bygningen er under varmeset punktet, som da er $19 \text{ } ^\circ\text{C}$: $E(DV) = 0 \text{ } \%$ (ingen, et eksempel)
- Hvor mange procent af målepunkterne er over kølesetpunktet, som da er $24+1=25 \text{ } ^\circ\text{C}$: $E(DK) = 0 \text{ } \%$
- E(DV) og E(DK) for hver anlæg opgøres hele tiden og anvendes i nedenstående signalafsendelse og i tabellerne.

Frigivelsessignaler $FS_{\text{køl}}$ og FS_{varme}

$FS_{\text{køl}}$: Frigivelsessignal, for bygningen, når fx $E(DK) > 30\%$. Hysterese er differensværdien fx 15 %. Differensværdien (de 15 %) er minde end eller lig med grænseværdien (de 30 %). ($FS_{\text{køl}}$ har enten værdien 1 eller 0).

$FS_{\text{køl}}$ nulstilles, ved manuel stopknap, så opgørelse til central er korrekt.

FS_{varme} : Frigivelsessignal, for bygningen, når fx $E(DV) > 10\%$. Hysterese er differensværdien fx 10 %. Differensværdien (de 10 %) er minde end eller lig med grænseværdien (de 10 %). (FS_{varme} har enten værdien 1 eller 0).

Når $FS_{\text{varme}}=1$ så sættes $FS_{\text{køl}}=0$. (Varmedrift er vigtigere end køledrift uden for arbejdstiden. Køling og opvarmning samtidig elimineres).

Tilstanden for ventilationsanlæg i_a , enten gruppe 1, 2, 3 eller 4.

- 1. Urtid i kalender & $FS_{køl}=0$**
- 2. Urtid i kalender & $FS_{køl}=1$**
- 3. Ingen urtid & $FS_{køl}=0$**
- 4. Ingen urtid & $FS_{køl}=1$**

Modtag styringssignaler fra central

CTS anlæg modtager følgende signaler fra den central, som CTS anlægget er koblet op til.

- U, værdien 1 eller 0.**
- Stop, sort eller grøn.**

Afsending fra CTS til central

For hvert ventilationsanlæg afsendes værdien til central

- $E(DK)$**
- $T(DK)_{nedre}$**
- $T(DK)$ (aktuelle kølesetpunkt)**
- $FS_{køl}$**
- Tilstanden 1, 2, 3 eller 4**
- Lukket varmeventil (ja/nej)**
- Lukket køleventil (ja/nej)**
- Hovedmåler effekten**

For hver blandesløjfe afsendes værdien til central

- $T_{gennemsnit}$**
- $E(DV)$**
- $T(DV)$ (aktuelle varmesetpunkt)**
- FS_{varme}**

Afsending til søgested

Der er timetæller for cirkulationspumper i blandesløjfer og for ventilatorer i balancerede aggregater. Hvert månedsskift opgøres driftstimer for passeret måned. Værdierne for ventilatorerne sammenlignes på skærmbillede. Værdierne for blandesløjferne sammenlignes på skærmbillede.

Indledende forklaring til tabeller på følgende sider

Indeklima- og anlægsstrategien kan nedfældes på skemaform, så det er lettere at få overblikket, når CTS justeringerne skal foretages. De viste tabeller omhandler ventilations og varmeanlæg. Kolonnerne præsenterer komponenter, som har eller forårsager et energiforbrug.

Hver komponent reguleres, men kan overstyres af enten tvangsdrift, nulstil, manuel drift eller sikkerhedsdrift. Disse fem driftsformer er prioriteret som følger:

1. Sikkerhedsdrift
2. Manuel drift
3. Nulstil
4. Tvangsdrift
5. Regulering

Drift med høj prioritering overstyres drift med lavere rangering. Hvis fx nulstil indtræffer, overstyres tvangsdrift og regulering. Hvis sikkerhedsdrift indtræffer, overstyres de øvrige fire driftsformer.

I tabellen står reguleringen øverst og sikkerheden i nederste række.

	a Ventilator ind	b Ventilator ud	c Roterende veksler	d Varmeventil	e Køleventil
1 Regulering	<p>Frigives ved urtid</p> <p>eller</p> <p>$FS_{køl} = 1$</p> <p>Luftmængden reguleres af $p_{s,ind}$, som er givet ved *</p>	<p>Luftmængden reguleres af $p_{s,ud}$ (samme princip som ind)</p>	<p>Enten urtid, $U=1$ eller startknap</p> <p>$T_{ind} = T(DK) - \Delta T - \Delta T'$</p> <p>$\Delta T$ har værdien fx 6 i månederne juni til aug, ellers 4 resten af året. Reset værdierne 4 henholdsvis 6 ved månedskift.</p> <p>$\Delta T' = (T(DK) - T(DK)_{nedre}) E(DK)$</p> <p>Ingen urtid og $U=0$ og ingen startknap</p> <p>$T_{ind} = T_{ude}$, dog</p> <p>$TDK-10 < T_{ind} < TDK-6$</p>	<p>Ventil frigives når roterende kører 100 % (som en kaskaderegulering)</p> <p>Temperaturregulering som roterende veksler.</p>	<p>Temperaturregulering som roterende veksler.</p>
2 Tvang					
3 Nulstil	<p>$E(DK) <$ grænsekurven og ingen urtid og $U=0$</p>		<p>Når ventilator er i stop</p>	<p>Når ventilator er i stop</p>	<p>Når ventilator er i stop</p>
4 Manuel	<p>Auto/stop/start knap.</p>				

5 Sikkerhed	Eksisterende faciliteter bibeholdes		Eksisterende faciliteter bibeholdes	Eksisterende faciliteter bibeholdes	Eksisterende faciliteter bibeholdes
----------------	---	--	--	---	---

$$1a \quad *P_s = b + (a-b)*E(DK)*U_r * S_{signal} * K_{\emptyset l}$$

$S_{signal}=E(DK)$ ved stop eller sort signal fra central, $S_{signal}=1$ ved grøn signal fra central

$K_{\emptyset l}$ er en funktion af køleventilens åbningsgrad på aggregatet. Kurve består af punkter, som lineært forbindes, fx: (0,0;1,0), (0,9;1,0) og (1,0;0,7). x-aksen er åbningsgraden for køleventilen.

Ved urtid, $U=1$ eller manuelt startknap er $U_r=1$, ellers $U_r=0$.

Der er en hastighedsbegrænsning for P_s , fx 0,3 [Pa/s] i urtiden, når værdien overskrider a.

*Ved sort signal er grænsekurven er givet ved punkterne, som forbindes:
(0;100%), (5;15%), (8;15%), (8⁰¹;100%), (16;100%), (16⁰¹;30%), (19;30%),
(19⁰¹;100%) og (24;100%)*

Ved grøn signal udskiftes y-værdierne i grænsekurven til værdien 0%.

Ved stop signal udskiftes y-værdierne i grænsekurven til 100 % når tidsrummet er fra kl. 08 til 24. I tidsrummet fra kl. 00 til 08 anvendes værdierne for sort signal.

Blandesløjfe i_b for bygning x

	a	b
	Blandesløjfe og pumpe til Bygning x	Vandtemperatur til radiatorer
1 Regulering	$FS_{\text{varme}} = 1$	<p>Varmekurve $+\Delta T_v$</p> <p>Hvor $\Delta T_v = \text{fx } -15 \text{ }^\circ\text{C}$ når $FS_{\text{varme}}=0$.</p> <p>Ved $FS_{\text{varme}} = 1$ så er ΔT_v en funktion af $E(DV)$ givet ved at forbinde punkterne $(E(DV); \Delta T_v)$, fx: $(0\% ; 0), (10\% ; 0), (60\% ; 10), (100\% ; 10)$</p>
2 Tvang	<p>Når $T_{\text{ude}} > \text{fx } 3 \text{ }^\circ\text{C}$ (hysterese: Differens 2 K)</p> <p>Værdien 3 ændres fx 10 i tidsrummet fra 8-17 på arbejdsdage.</p>	
3 Nulstil		
4 Manuel	Auto/stop/ start knap.	
5 Sikkerhed		

Fremtid

Stop alle pumper vedrørende fjernvarmen når:

- $\sum FS_{\text{varme}} = 0$ og alle varmeventiler til ventilationsvarmeblader er lukket

Varmt brugsvand. Frigiv fx elpatroner når:

- $\sum FS_{\text{varme}} = 0$ og alle varmeventiler til ventilationsvarmeblader er lukket

Cirkulationspumpe til komfort køl kører når:

- Når mere end 10 % af ventilationsanlæggene kører i stilstand 1 eller 2.
- Når fx mere end 3 køleventiler til ventilationskøleblader er åbne

9.2 Bilag 2: Funktionsbeskrivelse, anlægsspecifik (Siemens)

Bilaget er en anlægsspecifik funktionsbeskrivelse for DESIGO CTS-anlægget hos DONG Energy på Nesa Allé.

Bilaget er fjernet grundet ophavsret

9.3 Bilag 3: Beskrivelse af den tekniske løsning

Bilaget er et arbejdsdokument udarbejdet under projektarbejdet vedr. integrationen af DONG Energys PowerHub og Siemens DESIGO-plattform. Dokumentet indeholder fortrolige oplysninger og er derfor fjernet.