



INTEGRATION AF VEDVARENDE ENERGI I KOMPLEKSE BYGNINGER

En undersøgelse af energieffektivitet og
energifleksibilitet på Bornholms Hospital



Region
Hovedstaden

Projektleder



PORTEN TIL GRØN VÆKST



Projektet er støttet af



Projektet støttes af den Europæiske Regionaludviklingsfond og Interreg ÖKS samt Region Hovedstaden, Region Sjælland og Region Skåne.

Forfattere

Flemming Jørgensen, Gate 21, Per Nørgaard, DTU, Julie Strandesen Hooge, Region Hovedstaden

Publiceret af

FUTURE

Layout forside og bagside

Kasper Laulund Kjeldsmark (Gate 21)

2021

FUTURE

FREMTIDENS INTELLIGENTE ENERGI- OG RESSOURCESYSTEM

FUTURE-projektet består af syv visionære casesamarbejder på tværs af de tre regioner i Greater Copenhagen. De syv cases tester og demonstrerer forskellige teknologier, værktøjer eller forretningsmodeller indenfor vedvarende energi eller udnyttelse af ressourcer:

- Case 1: Fleksibel energilagring i individuelle bygninger
- **Case 2: Integration af vedvarende energi i komplekse bygninger**
- Case 3: Forbedret energihusholdning gennem balanceret varme og køling i sygehusbygninger
- Case 4: Energioptimering gennem smarte grids i bygninger
- Case 5: Cirkulære løsninger, der integrerer energi, ressourcer og affald
- Case 6: Resttekstiler som en del af fremtidens byggeri
- Case 7: Intelligent brug af produktdata, der forbedrer og fremmer genbrug i cirkulære samfund

Vedvarende energi

Projektet vil:

- Udnytte, integrere og lagre vedvarende energi bedre, så vi får et mere fleksibelt energisystem
- Fremme energieffektive løsninger i bygninger

Derfor skal vi designe løsninger og infrastruktur, der kan bygge bro mellem behovet for forsyningssikkerhed på den ene side, og det faktum at vedvarende energikilder ofte fluktuerer.

Ressourceudnyttelse

Projektet vil:

- Øge ressourceeffektiviteten og skabe en cirkulær omstilling af samfundet. Vi skal forlænge levetiden af materialer, genanvende affald og rester så de indgår i nye kredsløb.
- Begrænse produktionen af jomfruelige materialer og dermed også energiforbruget

Derfor demonstrerer projektet, hvordan man lokalt kan styre produkt- og materialestrømme, så man fremmer en mere intelligent materialeanvendelse

Læs mere her:

<https://www.gate21.dk/future/>



INDHOLD

- 5 Baggrund**
- 6 Metodebeskrivelse**
- 9 Resultater fra casen**
- 15 Refleksioner**
- 18 Konklusioner og anbefalinger**
- 19 Bilag**

BAGGRUND

I denne rapport beskrives læring og resultater fra FUTURE-projektets case 2. Casen handler om, hvordan smarte løsninger og energifleksibilitet i komplekse bygninger kan bidrage til at integrere vedvarende energi fra fluktuerende energikilder som vindkraft og solenergi i energisystemet.

Hospitaler er komplekse bygninger – også energimæssigt - og det kan derfor være svært at få overblik over det detaljerede forbrug - og dermed også potentialerne for energioptimering - og for at få den indsigt, der skal til, for at bygningen bidrager til fleksibilitet i energisystemet.

Komplekse bygninger med mange funktioner har generelt et højt energiforbrug. Udover energi til opvarmning, belysning og ventilation bruges der ofte meget energi til køling, udstyr og processer. Skal der ske en større integration af vedvarende energi i bygninger, er man også nødt til at se på mulighederne i komplekse bygninger med højt energiforbrug. Blandt offentligt ejede bygninger er hospitaler de mest komplekse. Denne case tager derfor udgangspunkt i et konkret hospital (Bornholms Hospital) for at undersøge og demonstrere mulighederne for, at bygningen kan reagere på forsyningens signaler om at tilpasse forbruget til en produktion, der i højere grad baseres på fluktuerende kilder.

Hospitaler er meget energiforbrugende. Alene det årlige strømforbrug fra Region Hovedstadens hospitaler svarer til forbruget i en kommune på størrelse med Frederiksberg. Energieffektivisering af hospitaler kan derfor give et væsentligt bidrag til at nå målene om, at hovedstadsregionen skal have fossilfri el- og varmforsyning i 2035 og at CO₂-udledningen fra Region Hovedstadens egen virksomhed skal være faldet med 70 % i 2025 i forhold 2013.

Skal målene om CO₂-besparelser og fossilfri energiforsyning opnås, skal der både ske en omfattende energieffektivisering og en styring af, hvornår energien bruges, således at elforbruget i højere grad tilpasses den fluktuerende energiproduktion fra vind og sol.

Formålet med denne case er således at undersøge mulighederne for nye lokale omkostningseffektive løsninger indenfor energieffektivisering og tilpasning af energiforbruget til svingende produktion og forbrug i komplekse bygninger (smart energy). Løsninger, der både kan give mere effektiv energianvendelse på hospitalet og passe ind i energiplanlægningen i området, og som kan tjene som eksempel for andre hospitaler og øvrige store bygningskomplekser og afgrænsede bydele.

Slutmålet er at få så detaljeret et indblik i energiforbruget, at hospitalet om muligt kan bidrage aktivt til at balancere energisystemet ved spidsproduktion og -forbrug.

Bornholms Hospital er særlig interessant at anvende som lokalitet for casen, fordi der på Bornholm i forvejen arbejdes meget målrettet på at gøre øen selvforsynende med vedvarende energi og at styre energiforbruget til en mere og mere fluktuerende forsyning med vindkraft og solenergi.

METODEBESKRIVELSE

Stedet

Casen tager udgangspunkt i Bornholms Hospital, der er et nærhospital med akut modtagefunktion og fødsler og med opgaver indenfor patientbehandling, udvikling og uddannelse. Hospitalet er en del af Region Hovedstadens hospitalsvæsen. Der er 88 sengepladser og en stor akutmodtagelse. Hospitalet ligger i Rønne.

Hospitalet bruger energi til opvarmning, belysning og ventilation samt til køling, medicoteknisk udstyr og processer. Hospitalet har en række funktioner (fx i operationsafsnittet), som er kritisk afhængige af stabil energiforsyning.

Hospitalet er tilsluttet det offentlige elnet (BOEF) og fjernvarmenettet i Rønne (RVV). Hospitalet har egen elproduktion med solceller. Hospitalet anvender desuden en nærliggende sø (Zahrtmann Sø) som kølekilde. Og endelig har hospitalet selv to dieselmotorbaserede nødgeneratorer til nødforsyning af elektricitet.

Hospitalet er opført over de sidste 100 år, og primært fra 1940'erne og frem til i dag. De fleste bygninger er sammenbyggede eller placerede i tæt sammenhæng med den øvrige bygningsmasse. Der er et bruttoareal på 48.162 m². Se illustration nedenfor.

Ifølge opgørelse baseret på energimærke hentet i Energy10 er der et årligt energiforbrug på 5.515.000 kWh varme og 3.543.000 kWh el.



Bornholms Hospital

Metoderne

Det er søgt at identificere mulige energiprojekter på flere forskellige måder. Der er gennemført en meget omfattende dataanalyse af elforbruget. Der er foretaget en ekspertgennemgang og efterfølgende vurdering af udvalgte projekter. Desuden er der set på bygningers termiske kapacitet.

Samlet skal de forskellige tilgange bidrage til at afdække, om hospitaler kan spille en aktiv rolle i at balancere energisystemet under hensyntagen til hospitalers kritiske driftsfunktioner. Målet er at undersøge, i hvilken grad energiforbruget på hospitaler kan tilpasses den svingende energiproduktion fra vind- og solenergi, og dermed øge udnyttelsen af vedvarende energikilder og reducere energiomkostningerne.

Indsamling og analysering af data

I to bygninger på hospitalet, der bl.a. rummer storkøkken (bygning N) og operationsafsnit (bygning C, etage 00), er opsat 239 IoT-sensorer (Power Tags) på næsten alt elforbrug. Data fra disse IoT-sensorer transmitteres til Region Hovedstaden og er desuden gjort tilgængelige for virksomheden Transition, som regionen har valgt til at gennemføre analyser af de mange data. Desuden har DTU fået adgang til dataene til brug for egne analyser.

Transition har indsamlet data fra alle Power Tags og identificeret, hvilket forbrug de enkelte målere rent faktisk måler på. Dataene er kvalitetssikret i forhold til korrekthed, kompletthed, aktualitet og format, og forholdene er besigtiget på stedet. Desuden er udarbejdet et målerhierarki og gennemført en overordnet kortlægning af energiforbruget i de to bygninger, fordelt på belysning, edb, trykluft, medicoteknisk udstyr, køling, ventilation, køkkenudstyr m.v.



Selve dataanalysen er gennemført gennem en række delanalyser, som fokuserer på de steder, hvor kortlægningen indikerer størst potentiale, samt hvor der erfaringsmæssigt er potentialer for energibesparelser og energifleksibilitet.

Der er analyseret dataudtræk for en periode på tre måneder i bygning C, etage 00, og for en periode på ca. 5 måneder for bygning N, i sommeren og efteråret 2020. Der er desuden set på et udtræk fra april/maj 2021. Data er typisk i intervaller på 15 minutter.

Ekspertgennemgang

Sideløbende med dataindsamlingen har eksperter fra DTU, Schneider Electric, Balslev Rådgivende Ingeniører og Region Hovedstaden gennemført en kortlægning og gennemgang af de komplekse tekniske installationer på hospitalet for at afdække optimeringspotentialer i de sammenhængende systemer.

Ekspertteamet er sammensat, så det dækker:

- Bygningens overordnede energibehov, energiløsninger og udviklingsplaner
- Driften af bygningens energisystem, herunder bygningens digitale overvågnings- og styringsystem
- Implementering af automatiserede løsninger
- Potentiel energifleksibilitet

Ekspertteamet dannede sig først et overblik over bygningens energibehov og energiløsninger ud fra dokumentation og data.

Derefter blev forslag til projekter med potentielle energifleksibilitetspotentialer identificeret gennem dialog og inspektion ud fra dokumentation, data, ekstra målinger og eksperternes forskellige og supplerende viden om de forskellige komponenter og delsystemer, deres energiforbrug og deres fleksibilitetspotentialer.

Metoden er nærmere beskrevet i Bilag 2.

Vurdering af konkrete forslag

Hvor ekspertgennemgangen pegede på potentielle energifleksibilitetspotentialer, har Region Hovedstaden herefter med bistand fra Dansk Energi Management fået gennemført en nærmere analyse af forslagene.

For hvert projektforslag, der er peget på i ekspertgennemgangen, er lavet et udtræk fra DTUs rapport omkring energifleksibilitetspotentialer. På baggrund af disse samt yderligere undersøgelser har Dansk Energi Management vurderet hvert forslag og udarbejdet en anbefaling til det videre arbejde med forslaget.

Metoden er nærmere beskrevet i Bilag 3.

Bygningers termiske kapacitet

DTU og Region Hovedstaden har også undersøgt den termiske kapacitet af bygningsmassen og mulighederne for at variere varme- eller køletilførslen, uden at indeklimaet påvirkes negativt.

Der blev i juni 2020 installeret 20 trådløse indeklimate-sensorer (måler bl.a. temperatur og CO₂-niveau ca. hvert minut) i forskellige rum i et afgrænset område af Bygning B. Målinger blev gennemført i sommeren 2020 (hvor der var et kølebehov) og igen i februar 2021 (hvor der var et varmebehov).

Metoden er beskrevet i Bilag 2.

RESULTATER FRA CASEN

Dataanalyse

Der er analyseret data for elforbrugsmønstret i 239 forskellige grupper af strømudtag. Her resumeres resultaterne. En mere udførlig gennemgang af metoder og resultater fremgår af Transitions rapport "Dataanalyse på Bornholms Hospital, 2021", der er bilag til nærværende rapport.

Den indledende kortlægning viste, at elforbruget i bygning C fordelte sig med 32 % til belysning, 25 % til trykluft og 16 % til medicoteknisk udstyr (især dekontaminatorer) som de største forbrugere. I bygning N fordelte elforbruget sig med 32 % til ventilation, 20 % til køkkenudstyr, 19 % til belysning og 14 % til køl som de største forbrug.

Dataanalysen viser det konkrete elforbrug opdelt på grupper og tidspunkter på døgnet.

I bygning N med storkøkkenet er de største forbrug køkkenudstyr, ventilation og belysning. Her viser analyserne, at ventilationsforbruget er næsten konstant over døgnet. Derimod er forbruget til køkkenudstyr stort i brugstiden fra kl. 6 – 13, men ret lavt udenfor brugstiden. Forbruget til belysning følger også brugstiden, men der er dog også et vist forbrug udenfor brugstiden. Der er således grundlag for betydelige energibesparelser ved at mindske eller slukke for ventilationen og belysningen udenfor driftstiden.

I bygning C udgør trykluft, belysning, medicoteknisk udstyr og disponibel de største forbrug. Forbruget til trykluft består af mange toppe døgnet rundt, og da trykluft har et ret højt forbrug, også udenfor driftstiden, bør der ses efter lækager. Medicoteknisk udstyr har kun højt forbrug i korte perioder. Belysning er ikke slukket helt udenfor driftstiden, så her er der grundlag for besparelser via bedre styring, og der bør også ses på forbruget til nødbelysning.

Der er gennemført en analyse af standby forbruget udenfor driftstiden, mellem kl. 23.00 og 04.00 for hele måleperioden. Der er et samlet standby forbrug i de to bygninger på 33,4 kW. Forbruget er ret konstant fra døgnet til døgnet. Ventilation og belysning udgør tilsammen 50 % af standby forbruget i bygning N, selv om man kunne argumentere for, at disse to forbrug burde være helt slukkede uden for brugstiden. I bygning C står trykluft og belysning samlet set for 65 % af det samlede standby forbrug. Her burde belysningen kunne slukkes helt og trykluftforbruget kunne reduceres.

Der er desuden analyseret på andre forbrug.

Energifleksibilitet, altså mulighederne for at flytte et elforbrug over tid, er analyseret. Det kan ske enten ved at flytte den forbrugende aktivitet til andre tidspunkter eller ved at lagre energien. Der er lavet forsøg på at ændre set-punkterne for køl og frys, således at energiforbruget til køl og frys kan flyttes, f.eks. fra tidspunkter med højt forbrug andre steder. Dette forsøg viste, at det er muligt at flytte forbrug ved at ændre setpunkterne og dermed kunne bruge køl og frys til at skabe energifleksibilitet. Der er dog behov for flere undersøgelser for at fastslå, om køle- og fryserum i praksis vil være hensigtsmæssige energiakkumulatorer, og om det vil være rentabelt.

Samlet set har Transition identificeret potentialer for energibesparelser på i alt 86.676 kWh/år, fordelt på reduktion af driftstid og behovsstyring for det store ventilationsanlæg i bygning N, reduktion af driftstid for mindre ventilationsanlæg i bygning N, reduktion af læger i trykluftsystemet, reduktion af driftstider for belysning i begge bygninger, reduktion af

driftstider for IT-udstyr i bygning C og reducere driftstid for varmeskab i bygning C. Der er foreslået tiltag, der skønnes at være rentable, med korte tilbagebetalingstider.

Derudover er der yderligere potentialer for energibesparelser og et vist potentiale for energifleksibilitet, der dog kræver nærmere undersøgelser.

Nærmere oplysninger dataanalyser og resultater fremgår af bilag 1.

En mere detaljeret gennemgang af dataanalysen fremgår af rapporten "Dataanalyse til FUTURE" og en mere detaljeret beskrivelse af konkrete løsninger og af principper for dataopsamling baseret på erfaringerne gennem projektet fremgår af "Løsningskatalog til FUTURE". Begge er udarbejdet af Transition og kan fås ved henvendelse til Jule Strandesen Hooge (julie.strandesen.hooge@regionh.dk), Region Hovedstaden, Center for Ejendomme.

Ekspertgennemgang

Der er identificeret og udvalgt fire eksempler fra BOH med tydelige el-fleksibilitetspotentialer, der er grundlag for at analysere nærmere:

- Smart prøvedrift af BOH's nødgeneratorer.
- Smart drift af kølekompresoren til centralkøkkenets kølerum til fødevarer.
- Smart drift af det centrale kølesystem.
- Udvidet termisk kapacitet i det centrale køleanlæg

Her er et resume af de fire eksempler. For yderligere oplysninger henvises til bilag 2.

Nødgeneratorer

BOH har 2 diesel-generatorer, som er tilsluttede på kunde-siden af afregningsmåleren med el-selskabet (BEOF). Disse fungerer som nødforsyning ved strømsvigt.

De to generatorer skal testes minimum hver 14'ende dag. De bliver derfor begge startet op hver 14. dag (dog ikke samtidig), hvor de kører i nettilsluttet drift i ca. 1 time med en belastning, som er mindre end hospitalets samlede forbrug – typisk 3-500 kW. Produktionen fra generatorerne reducerer således forsyningen fra el-selskabet tilsvarende.

Da generatorerne under alle omstændigheder skal startes op med mellemrum, kan BOH eventuelt tilbyde elforsyningen (BEOF) at starte generatorerne op på tidspunkter, hvor det har størst værdi for BEOF – fx på tidspunkter, hvor BEOF har brug for ekstra produktionskapacitet i denne størrelsesorden.

Køkkenkølekompresor

En kølekompresor enhed forsyner kølelementerne (fordampere) i fire kølerum og to fryserum i centralkøkkenet med flydende CO₂ under højt tryk (ca. 40 bar).

Kompresor enheden indeholder to store og to små kompressorer. Varmen fra den komprimerede CO₂ afleveres primært til hospitalets centrale, vandbaserede kølesystem. Hvis det centrale kølesystem ikke har tilstrækkelig kapacitet, køles CO₂'en med en udendørs luftkølet køler med styrede blæsere. Den af kølekompresoren producerede varme genanvendes ikke.

Både køle- og frostrummene bruges til opbevaring af fødevarer. Der er derfor krav til temperaturerne i rummene. Temperaturerne af de enkelte rum reguleres af individuelle styringer ved rummene. Styringerne måler temperaturerne i rummene og styrer CO₂-flowet til fordamperne i rummene i forhold til et givet setpunkt for temperaturen.

Kølingen af frostrummene (-21°C) formodes at være årsag til hovedparten af kompressorenhedens energiforbrug. Temperaturerne i frostrummene skal blot holdes inden for et givet temperaturinterval. Ved at ændre setpunktet for temperaturen i frostrummene inden for dette interval kan kompressorenhedens elforbrug forskydes i tid.

For at få en indikation af omfanget af denne fleksibilitet skal kravene til temperaturerne i frostrummene kendes, og det skal undersøges, hvor meget forbruget kan flyttes i både effekt og tid.

Bornholms Hospitals centrale kølesystem

Bornholms Hospital har et centralt, vandbaseret kølesystem til køling af kritiske funktioner i hospitalet. De mest kritiske er scannerrummene, hvor rumtemperaturen skal holdes under 25°C. Denne temperatur er derfor en nøgletemperatur i driften af kølesystemet. Kølebehovet er naturligvis størst i perioder med varmt vejr (sommer) og mindst i perioder med koldt vejr (vinter), og kølebehovet er større om dagen end om natten – både pga. den lavere udetemperatur om natten og den større aktivitet om dagen.

Der er to kølekilder til dette system: Udeluften og vandet fra en nærliggende sø. Både udeluften og søvandet kan enten benyttes direkte via varmevekslere eller køles ekstra ned med eldrevne varmepumper. Temperaturerne i kølekilderne er højest om sommeren, hvor kølebehovet er størst.

Prioriteringen af driften er:

- 1) Køling med udeluften (Frikøleanlægget)
- 2) Køling med søvandet direkte
- 3) Køling med søvandet via varmepumperne

De tre driftsformer kan kombineres. Styringen er automatisk og ud fra nogle valgte drifts- og sikkerhedsparametre vælges den bedste driftsform automatisk. Kombinationen af de tre driftsformer og set-punktet for fremløbstemperaturen for det centrale kølevand vælges manuelt. Den automatiske drift forsøger at opretholde den valgte fremløbstemperatur.

Set-punktet for fremløbstemperaturen vælges, så man er sikker på at overholde kravet i scannerrummene. Der vælges efter erfaring, samt ud fra hvad udstyret er dimensioneret efter. Alt udstyr, som kræver køling, er dimensioneret til en fremløbstemperatur på 10 grader. Pga. transmissionstab fra kølecentralen og hospitalet så er setpunktet på fremløbet 7,5 grader – målt i kølecentralen.

Søvandskøleanlægget indeholder to varmepumpeanlæg, hver med 4 kompressorer. Hver kompressor har tilsyneladende en elektrisk effekt på ca. 4 kW. Når søvandvarmepumperne er koblet ind (driftsform 3), forsøger den automatiske styring at holde den valgte fremløbstemperatur ved at koble varmepumpernes kompressorer ind og ud efter behov. Dermed opnås en meget lille variation af fremløbstemperaturen.

Da det for det første ikke er fremløbstemperaturen, der er den kritiske temperatur, og der for det andet, på grund af systemets termiske kapacitet,

er stor træghed i systemet, vil driften af kompressorerne, så længe der er overskudskølekapacitet, kunne forskydes i tid.

Udvidet termisk kapacitet via eksisterende underjordiske ståltanke

Sommeren i 2018 var meget varm, og kølekapaciteten i Bornholms Hospitals centrale kølesystem var for lille i dagtimerne, hvor de mindst kritiske kølefunktioner i perioder måtte frakobles, mens der om natten var overskudskapacitet. Hvis man kan udnytte og lagre overskudskapaciteten om natten til om dagen, vil det give mulighed for fuld udnyttelse af varmepumpernes kølekapacitet.

Hospitalet har to ubenyttede underjordiske ståltanke – hver på 100 m³. Tankene har tidligere været benyttet til brændstof til hospitalets kedelcentral, men er i dag tomme og rensede. Ved ekspertgennemgangen er der peget på, at disse tanke med fordel kunne tilkobles det centrale kølesystem som termisk lager. Da tankene er nedgravede i jorden og da jordtemperaturen typisk er konstant ca. 7°C året rundt, vil varmeudveksling med den omgivende jord være begrænset, selvom tankene ikke er termisk isolerede. Generelt vil lagertankene i perioder med overskudskølekapacitet kunne give mulighed for øget fleksibilitet i tid for driften af varmepumperne. Der er derfor gennemført beregninger af denne mulig. Se bilag 2. Se også bilag 3, hvor muligheden er nærmere vurderet.

Vurdering af identificerede energifleksibilitetsprojekter

Dansk Energi Management (DEM) har vurderet ovenstående fire projektforslag fra ekspertgennemgangen nærmere. Her følger DEM's vurderinger og konklusioner. For yderligere oplysninger henvises til bilag 3.

Smart prøvedrift af hospitalets nødgeneratorer

Det vurderes ved ekspertgennemgangen, at generatorerne leverer 3-500 kWh i 1 time, to gange hver måned i forbindelse med test. Den mulige leverede effekt til elforsyningen (BEOF), vil altså ligge i størrelsesordenen 500 kWh to gange pr. måned., derved 12 MWh per år.

Alene på baggrund i det beskudne omfang vurderer DEM, at tiltaget ikke er hensigtsmæssigt at gennemføre. Dertil kommer flere andre forhold, der taler imod at gå videre med dette tiltag. Se nærmere i bilag 3.

DEM vurderer således, at der ikke er det forventede potentiale i dette tiltag, hvorfor det anbefales, at der ikke arbejdes videre i denne retning.

Smart drift af kølekompressoren til centralkøkkenets kølerum til fødevarer

DEM vurderer, at ved en variation i setpunkter til frostrum kan der om natten opbygges et termisk lager i frostrummet ved at køle til en lavere temperatur. I driftstiden hæves setpunktet, hvorved køleanlæg starter senere. Samtidig sikrer det termiske lager en yderligere forsinkelse i temperaturstigning i frostrummene.

Den daglige rutine i anvendelsen af fryseskabe er, at døre åbnes i en længere periode om morgenen for at bringe varer ud og ind. I dette tidsrum er det alene "slagtervægge", der begrænser energitabet. Den potentielt opbyggede energilagring, vil forventeligt være opbrugt efter kort tid.

DEM vurderer, at der ikke er et rimeligt potentiale i dette tiltag, hvorfor det anbefales, at der ikke arbejdes videre i denne retning.

Se nærmere i bilag 3.

Smart drift af det centrale kølesystem

For at få indsigt i mulighederne for fleksibel drift af søvandskølekompressorerne er det dels nødvendigt at identificere det centrale kølesystems kritiske tjenester, dels at klarlægge kravene til disse tjenester, og dels at klarlægge effekten på de kritiske tjenester af en ændret drift af kompressorerne. DEM har således peget på en række forhold, som bør belyses mere detaljeret, især i forhold til temperatur i scannerrummene.

DEM vurderer, at kravet om, at CT scannerrum skal holdes under 25 grader, er et komfortkrav, ikke et "maskinkrav", som det er gældende for MR-scanner. Dette er dog ikke korrekt, idet billedkvaliteten fra en CT-scanner er afhængig af driftstemperaturen, og de 2 stk. CT-scannere på BOH er programmeret til at lukke ned ved høj temperatur alarm (25 grader celsius).

MR-scanner har eget integreret køleanlæg, som forsynes med grundkøl / frikøl fra det centrale køleanlæg. Det er MR scanner, der er den kritiske komponent i kølesystemet. Det er kølekrav til MR-scanner, der er bestemmende for regulering af det centrale køleanlægs setpunkt. Samtidig er MR scanner det fjerneste punkt på kølekredsen.

Driften på Bornholms Hospital mener, at en dynamisk styring af fremløbstemperatur er for kompliceret. Grov styring, med manuelt indstillet fremløbstemperatur giver færre fejlalarmer på komponenter. For at opretholde høj grad af driftssikkerhed i forhold til kritiske forbrugere, ønsker driften ikke at eksperimentere med en dynamisk regulering af fremløbstemperaturen. Driften har i stedet indført et tidsprogram til fremløbstemperaturen, således at der om eftermiddagen og hele natten, hvor behovet for kølingen er langt mindre, styres efter en højere fremløbstemperatur (9,5 grader i stedet for 7,5).

DEM anbefaler ikke at gå videre med tiltaget. Forudsætningen i ekspertgruppens rapport om, at det er CT scannerummets temperatur, der er bestemmende for fremløbstemperatur, er ikke korrekt. Det er MR-scanner, der er den kritiske forbruger i systemet.

Udvidet termisk kapacitet via eksisterende underjordiske ståltanke

Med det rette design af tilkoblingen af de to tanke til det centrale kølesystem, varmeudvekslingen i tankene og styringen af søvandsvarmepumperne og frikølingen forventer DEM, at varmepumpernes kapacitet kan udnyttes fuldt ud i perioder med varmt vejr, hvor den overskydende kuldeproduktion i løbet af natten gemmes i lagertankene til det ekstra kølebehov i løbet af dagtimerne.

DEM anbefaler derfor, at omkostningerne i forbindelse med at tilkoble de to tanke til hospitalets centrale kølesystem undersøges nærmere. Desuden bør det undersøges, hvilken form for varmeudveksling i tankene, der giver den bedste løsning. Vandet i tankene kan enten være en del af det vandet i det centrale køleanlæg eller være isoleret fra vandet i det centrale kølesystem gennem varmeudvekslingsrør i tankene. Og varmeudvekslingerne kan enten være designet for maksimal temperaturudligning i tankene (fx gennem både at tilføre og tappe kulde i toppen af tankene) eller til maksimal lodret temperaturgradient i tankene, med det koldeste vand i bunden og det varmeste vand i toppen.

DEM finder, at etablering af et termisk lager, hvortil der produceres i perioder med lavt kølebehov, vil gøre at køleproduktionen kan deles ud over hele døgnet, og derved sikre en større kapacitet i det eksisterende køleanlæg i perioder med spidsbelastning. Det skal dog tages i betragtning, at der er andre kapacitetsbegrænsninger i systemet end selve køleproduktionen. Det skal tages i agt, at det eksisterende rørsystem vil være begrænsende i, hvor stor en køleeffekt der kan distribueres frem til køleforbrugerne.

Ud fra en samlet vurdering af potentialet, kølebehovet og omkostningerne konkluderer DEM, at der ved anvendelse af de eksisterende tanke til termisk lager er tale om en lille gevinst, der ikke vil stå mål med investeringen. Potentialet i tiltaget er ikke tilstrækkeligt til at modsvare investeringsomkostningerne.

Se nærmere i bilag 3.

Bygningers termiske kapacitet

Under målingerne i sommeren 2020 blev ventilationen afbrudt i kortere perioder (ca. en time). Dette gav ikke brugbare resultater til at sige noget om bygningens termiske kapacitet, men det var tydeligt, at CO₂-niveauet hurtigt blev kritisk i rum med flere personer, når ventilationen var afbrudt.

Målingerne i februar 2021 blev gennemført med generel natsækning af rumtemperaturerne. Hvis natsækningfunktionen faktisk medfører en total afbrydelse af varmetilførslen (indtil den lavere temperatur er opnået), kan de gennemførte temperaturmålinger sige noget om, hvor hurtigt temperaturen i bygningen ændrer sig, hvis varmetilførslen afbrydes i en kortere periode. Dette kan dermed indikere energifleksibilitetspotentialet for varmetilførslen.

Læs mere i bilag 2.

REFLEKSIONER

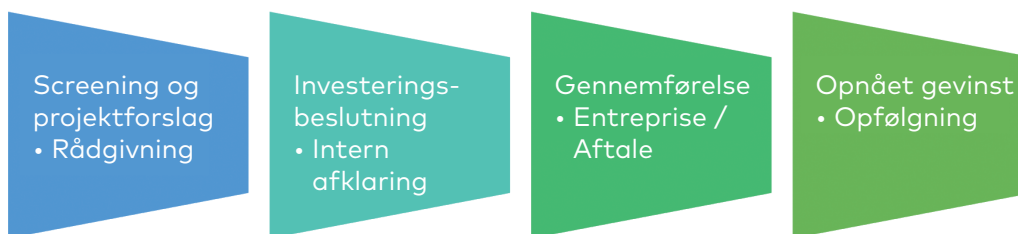
Dataanalysen

Den kvantitative dataanalyse har vist sig at være langt mere omstændelig end først antaget.

Initialt var projektet enkelt: Opsæt en stor mængde målere og undersøg, om der kan findes fleksibilitets- og effektiviseringsmuligheder ud fra de indsamlede data.

Frem for et teknisk projekt har IT aspektet skabt udfordringer, som projektgruppen ikke har haft den fornødne erfaring til at navigere i med rettidig omhu. "Smarte" projekter – dvs. projekter med etablering af dataopsamling og analyse heraf, kræver en anden indsigt end traditionelle energioptimeringsprojekter.

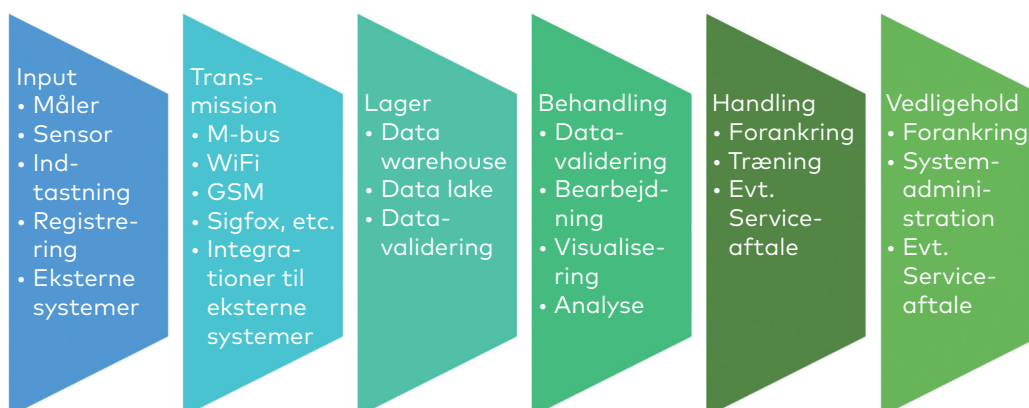
Procesflowet for traditionelle energioptimeringsprojekter følger ofte en velkendt vej som illustreret nedenfor:



IT-projekter giver ekstra dimensioner i forståelsen af hvilke elementer, der indgår i det produkt, der er ved at indkøbes for at skabe gevinster.

Data skal opsamles, der skal skabes forbindelse til et sted, der kan lagre data, data skal kvalitetssikres, de skal bearbejdes og præsenteres og slutteligt og mest kritisk er, at informationen skal bringes til handling, brugerne skal trænes og systemet skal vedligeholdes, hvis gevinsten er afhængig af en kontinuerlig driftspraksis – som eksempelvis anvendelsen af et nyt system. Hvis disse elementer ikke er afklarede og forankrede, inden et system indkøbes, vil sandsynligheden for et fejlslagent IT-projekt være stor.

Proces flow for dataprojekter indeholdende et system og dynamisk/automatisk dataopsamling kan illustreres som nedenfor:



I denne case har en del af elementerne været fastlagt ved indkøbet af teknik og system fra Schneider Electric, men processen med den interne IT-afdeling gav forsinkelser som projektet ikke var forberedt på. Her var der tale om, at boksene "Transmission" og "Lager" var ukendte områder for projektgruppen og antagelser om hvor hurtigt processerne kunne gennemføres ikke holdt stik.

Da mange fleksibilitetsprojekter vil have et integreret dataaspekt – herunder etablering af dataopsamling og dertilhørende system-setup – bør denne slags projekter ikke sidestilles med traditionelle energioptimeringsprojekter. Det er tættere på IT projekter end anlægsprojekter af karakter.

Ekspertmetoden

Det viste sig ikke muligt at kortlægge hele hospitalets energiflow som udgangspunkt for at identificere projekter. Komplexiteten viste sig for stor og er ikke passende at løfte for et projekt af denne karakter.

Metoden til at identificere løsninger med væsentlige energifleksibilitetspotentialer blev revideret, tilpasset og udviklet gennem projektet. Da projektet oprindeligt blev formuleret, havde vi forestillet os en mere systematisk kortlægning af energistrømmene samt numeriske modelleringer og simuleringer af udvalgte, afgrænsede delløsninger. Energiløsningerne på Bornholms Hospital er opbygget, udvidet og suppleret over tid, og består af mange forskellige og forbundne delløsninger, som gjorde den tænkte metode urealistisk. Vi skiftede derfor strategi, og anvendte og videreudviklede en ekspertmetode, hvor en blandet ekspertgruppe først udarbejdede en grov kortlægning af energistrømme og energiløsninger, og som derefter gennem dialog og inspektion identificerede potentielle energifleksibilitetskandidater. Energifleksibilitetspotentialerne blev derefter vurderet gennem supplerende målinger, reguleringsforsøg og analyser. Denne metode vurderes at være effektiv til bygningskomplekser med komplekse og sammenkoblede energiløsninger.

Feasibilitet i energifleksibilitetsprojekter

De gennemgåede projekter har skabt synlighed/opmærksomhed omkring andre parametre end blot de økonomiske potentialer ved et energifleksibilitetsprojekt.

Interne faktorer:

- Driftssikkerhed går forud for både fleksibilitet og energioptimering
- Volatilitet af mulige tekniske lagerløsninger
- Øget planlægningsbehov af driftsmedarbejderes opgaver
- Paratheden af intern organisation til at administrere handel med fleksibilitet

Eksterne faktorer:

- Tilgængelighed af tekniske komponenter til styring op mod eksterne signaler
- Paratheden af systemisk infrastruktur til handel med energifleksibilitet



Termisk kapacitet

Forsøg med natsænkning af rumtemperaturer viste, hvor hurtigt rumtemperaturen ændrede sig, når varmetilførslen blev reduceret. Det er med disse målinger muligt at estimere bygningens termiske kapacitet, og i hvor lang tid man kan reducere varmetilførslen, uden at det går væsentligt ud over komforten.

Anvendelsen af flytbare målere har været simpel og det bør give let adgang til fremadrettet at kunne definere en bygnings termiske kapacitet.

Etableringen af de flytbare målere med ekstern dataopkobling, viste sig betragteligt lettere at administrere end de internt netværkstilsluttede målere.



KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER

Dataanalysen

Ved systematisk dataanalyse af forbrugsdata fra mange forskellige forbrug og med korte tidsintervaller er det muligt at identificere besparelsesmuligheder, man normalt ikke vil finde ved en mere traditionel gennemgang af bygningerne.

Erfaringerne fra dette projekt kan overføres til andre komplekse bygninger, hvor man ved tilsvarende dataanalyser vil kunne identificere potentialer for energibesparelser og måske også muligheder for energifleksibilitet. I fremtiden vil sådanne dataanalyser kunne udgøre et væsentligt input til energiledelsen.

Derudover har projektets erfaringer for dataindsamling og -behandling affødt en række principper ift. dataindsamling. Ved at følge disse principper, kan der i lignende, fremtidige projekter skabes yderligere værdi for de samme – eller færre – midler.

Anbefalingen til at gennemføre "smarte" projekter er at sikre bedre indsigt og forståelse for den kritiske vej med hensyntagen til dataetablering, transmission og system. Den tekniske komponent og det smarte interface er de mindste dele af opgaven. Etablering af dataflow og forankring/anvendelse af system er væsentligt sværere af få fastlagt og gennemført.

Generelt kan energioptimeringsprojekter ikke 1:1 sidestilles med energifleksibilitetsprojekter.

Eksperttilgang – identificering af potentialer

Den i projektet anvendte ekspert-metode viste sig effektiv til at identificere potentielle energifleksibilitetskandidater til bygningskomplekser med komplekse, sammenkoblede og ikke fuldt beskrevne og dokumenterede energiløsninger. Metoden er dog kritisk afhængig af gruppens samlede ekspertise og fælles forståelse af opgaven, men netop mindre afhængig af fuld dokumentation af de eksisterende løsninger. Med det rette team er metoden relativ effektiv, hurtig og robust til at give en tilstrækkelig vurdering af potentialer og omkostninger, og dermed et beslutningsgrundlag.

Videre forløb for de identificerede fleksibilitetsprojekter

Den primære formål med casen var at identificere om der var rentabilitet i at arbejde med energifleksibilitetsprojekter. Ingen af de identificerede projekter viser sig at være rentable at arbejde videre med.

Projekterne er ikke blevet analyseret ud fra en følsomhedsvurdering og der er derfor ikke afdækket, hvad der skal til for at opnå rentable løsninger i de identificerede projekter. Det kunne være relevant at gå dybere ned i at definere hvilke parametre der skal til for at gøre projekterne rentable.




Termisk analyse

Den anvendte metode med opsætning af trådløse indeklimasensorer i et afgrænset forsyningsafsnit og sænkning af varmetilførslen i en periode med lille variation i betingelserne – om natten med kold udeluft, ingen solindstråling og reduceret aktivitet – er en hurtig og tilstrækkelig metode til at vurdere potentialerne for at reducere varmetilførslen i en kortere periode.



BILAG

I tre bilag er metoder og resultater nærmere beskrevet. De tre bilag er:

1. Dataanalyse på Bornholms Hospital, Transition, 2021.
 2. Eksempler på energifleksibilitetspotentialer i Bornholms Hospital, DTU 2021
 3. Vurdering af identificerede energifleksibilitetsprojekter, Dansk Energi Management, 2021
- 
- 
- 



FUTURERESSOURCER
ENERGI