



SLUTRAPPORT FUTURE

Case 4 – Smarta nät och intelligent styrning för mer hållbara fjärrvärmesystem och ökad komfort



EXECUTIVE SUMMARY

The SUS Malmö hospital area is undergoing extensive rebuilding and modernization. As part of the infrastructure for energy is also being reviewed. The hospital area uses approximately 40 GWh of heat annually and is estimated to have a future need of approximately 20 GWh of cooling per year.

This sub-project, within the "Future-project" aims to investigate and install a pilot plant for balancing energy flows with a suitable distribution for two buildings within the SUS Malmö hospital area, named buildings 46 and 96. Balancing is done by connecting rooms with cooling needs via heat pump and transferring excess heat to systems with heating needs.

The project also describes methods for local sharing of energy between properties or within districts and the software development that has taken place linked to this.

Project lead



PORTEN TIL GRÖN VÄKST



Funding partners



Region
Hovedstaden



Projektet stöds av Europeiska regionala utvecklingsfonden & Interreg ÖKS, liksom Region Hovedstaden, Region Sjælland och Region Skåne.

Region Skåne

Regionfastigheter

David Nilsson

David.p.Nilsson@skane.se

EON

EON Energilösningar AB

Ellen Corke

ellen.corke@eon.se

Publicerad av

FUTURE

Layout

Kasper Laulund Kjeldsmark (Gate 21)

Malmö sjukhusområde, byggnad 46 och 96

Fotograf: Perry Nordeng

FUTURE FRAMTIDENS INTELLIGENTA ENERGI- OCH RESURSSYSTEM

Projekt FUTURE består av sju visionära samarbeten som baseras på fallstudier och täcker de tre regionerna i Greater Copenhagen. De sju fallstudierna testar och demonstrerar olika tekniker, verktyg och affärsmodeller för förnybar energi eller resursanvändning:

- Case 1: Flexibel energilagring i individuella byggnader
- Case 2: Integration af vedvarende energi i komplekse bygninger
- Case 3: Forbedret energihusholdning gennem balanceret varme og køling i sygehusbygninger
- **Case 4: Energoptimering 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

Förnybar energi

Projektet ska:

- Använda, integrera och lagra förnybar energi på ett bättre sätt för att få ett mer flexibelt energisystem.
- Främja energieffektiva lösningar i byggnader.

Därför ska vi designa lösningar och infrastrukturer som kan överbrygga klyftan mellan behovet av försörjningstrygghet och faktumet att förnybara energikällor ofta fluktuerar.

Resursanvändning

Projektet ska:

- Öka resurseffektiviteten och skapa en cirkulär omställning av samhället. Vi ska förlänga livslängden på material samt återanvända avfall och restprodukter för att de ska kunna ingå i det nya kretsloppet.
- Begränsa produktionen av jungfruliga material och därmed energiförbrukningen. Därför demonstrerar projektet hur man lokalt kan styra produkt- och materialflöden med syftet att främja en mer intelligent användning av material.

Läs mer på

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



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

2	Executive summary
5	Bakgrund
7	Projektbeskrivning
10	Tekniska lösningar
13	Tester och resultat
24	Diskussion och slutsats

BAKGRUND

Energisystemet förändras – byggnader som komponent i framtiden energisystem

Energisystemet transformeras till mer decentraliserade lösningar, ökad integration mellan energibärare samt en ökad andel av förnybar energiproduktion. En möjliggörare och förutsättning för transformering är bland annat digitalisering av energisystemet för att länka samman värdekedjan och optimera flödet av energi. En viktig del för att minimera energianvändning i framtidens energisystem är byggnader. Minskad energianvändning åstadkommes genom rätt materialval och energieffektiva lösningar, men även genom att byggnader blir en aktiv del av energisystemet genom möjligheten till energiproduktion och energilagring. Det är därmed högst intressant att utforska möjligheterna med att koppla upp byggnader och utforska hur vi på så vis kan skapa smarta nät.

Region Skåne arbetar aktivt mot ambitiösa miljömål för 2030

Strategiska mål

- Senast år 2030 ska merparten av byggnaderna inom Region Skånes sjukhusområden vara sammankopplade i smarta nät, som balanserar/styr behoven av värme, kyla och el.
- Senast år 2025 ska byggnader inom minst två av Region Skånes sjukhusområden vara sammankopplade i smarta nät, som balanserar/styr behoven av värme, kyla och el.
- Senast år 2025 ska, där det är möjligt, överskottsvärme/-kyla säljas till energibolagen.

Strategiska områden

- Effekt- och flödesdelarna i Region Skånes abonnemang på el-, fjärrvärme- och fjärrkylområdet ska optimeras.
- Region Skåne ska effektivisera energianvändningen inom el, fjärrvärme och fjärrkyla samt fokusera extra mycket på att minska baslasterna av sin elanvändning.
- Region Skåne ska kontinuerligt arbeta med omvärldsbevakning kring nya tekniska möjligheter, sprida denna information inom organisationen samt testa ny teknik.

Egenproduktion, återvinning och köpt energi

- All el som köps till Region Skånes fastigheter ska ha miljömärkning "Bra Miljöval".
- All köpt fjärrvärme och fjärrkyla ska vara fossilbränslefri senast under år 2020 och förnybar senast 2030.

Samverkan

- Regionfastigheter ska samarbeta med förvaltningarna och utförarsidan inom Regionservice.
- Region Skåne ska samarbeta med energileverantörer och entreprenörer samt överväga partnerskap där det behövs så att vi tillsammans bidrar till att nå de övergripande energimålen.

Digitalisering av fjärrvärmesystemet för ökad hållbarhet

E.ON har motsvarande ambitioner med mål om att erbjuda 100 % återvunnen och förnybar energi i Malmö senast vid utgången av år 2025.

Ett viktigt energislag i städer är fjärrvärme för uppvärmning av fastigheter. Fjärrvärmen har en 70-årig historia och är genial men analog i sin natur. Digitaliseringen är en viktig del i arbetet att effektivisera fjärrvärmesystemet och vi behöver använda smart teknik för utveckling och implementering av smarta nät. Genom att koppla upp byggnader mot nätet skapas en starkare interaktion mellan produktion, distribution och användning av energi. På så vis kan man optimera energi och effekt på både lokal nivå i fastigheter och på en systemnivå. Allt med det gemensamma målet att producerad värme ska användas på bästa möjliga sätt och med ett minimalt klimatavtryck. Att fjärrvärmen blir digital skapar alltså stort värde för både konsumenter och producenter, och bidrar i det stora perspektivet även till en mer hållbar stad.

En viktig del för att uppnå 100% återvunnen och förnybar fjärrvärme är att utforska hur smarta nät och uppkopplade byggnader kan reducera behovet av spetslast (reservproduktionen), som i större utsträckning försörjs med fossila bränslen än övrig produktion. Fjärrvärmen produceras i huvudsak genom spillvärme från industri och renat avloppsvatten, samt genom förbränning av avfall och biobränslen. När efterfrågan är större än basanläggningarnas maximala effekt, exempelvis vid riktigt kalla dagar, krävs uppstart av spetslastanläggningar med oljepannor. E.ON investerar för att ställa om stora delar av produktionen till förnybara och återvunna källor, men parallellt med det behöver vi tillgängliggöra andra lösningar, exempelvis reducering av effekttoppar i nätet och en minskning av energianvändningen över lag.

Ett stort värde med smart teknik är tillgången till nya insikter från utökad datainsamling. Genom att mäta och analysera fler parametrar kan exempelvis styrningen av värmetillförseln in i byggnaden optimeras. Fastighetens energiförbrukning kan sänkas genom att reducera övertemperaturer som lätt uppstår i komplexa byggnader där flera rörliga parametrar och komponenter påverkar fastighetens uppvärmningsbehov.

Smart teknik innebär alltså nya möjligheter och vi behöver ta vara på dessa på ett sätt som skapar värde för alla involverade parter.

Samarbete mellan aktörer avgörande

För att uppnå 100% förnybar eller återvunnen energi krävs investeringar och utveckling av nya lösningar, men en avgörande faktor för att lyckas med förflyttningen och digitaliseringen är även ett närmare samarbete mellan aktörer som producerar, distribuerar och använder energi i staden. Det här projektet visar upp ett bra exempel på hur samarbete mellan aktörerna, E.ON och Region Skåne, möjliggör utveckling och implementation av ny teknik för att uppnå ett gemensamt mål – att bidra till en hållbarare stad.

PROJEKTBSKRIVNING

Smarta fjärrvärmenät genom uppkopplade fastigheter – mätning, analys och styrning av energi och effekt

E.ON och Region Skåne har i detta innovationsprojekt utforskat hur uppkopplade byggnader kan möjliggöra styrning av effekt för att balansera fjärrvärmenätet (effektstyrning), samt hur smart teknik kan användas för att optimera fastighetens värmeförbrukning (värmeoptimering). Projektet har drivits i syfte att stärka fjärrvärmen utifrån ett hållbarhets- och kvalitetsperspektiv både för E.ON och Region Skåne.

Projektet har omfattat följande faser:

1. Identifiering av lämplig byggnad på Skåne Universitetssjukhus i Malmö
2. Planering och kartläggning av data och förutsättningar
3. Utveckling och design av lösningar
4. Implementation av en smarta nät-pilot på Skåne Universitetssjukhus i Malmö
5. Utvärdering och analys av resultatet



Syfte och mål med projektet

Den övergripande målsättningen med projektet var att demonstrera och implementera en smarta nät-pilot där relevanta byggnader på Skåne Universitetssjukhus i Malmö kopplas upp för testning av både effektstyrning och värmeoptimering (även kallad komfortstyrning).

Effektstyrning syftar till att skapa en flexibilitet i fjärrvärmenätet genom att ta vara på den termiska trögheten som finns i byggnader. Hypotesen är att byggnadens termiska värmetröghet gör att inomhustemperaturen inte påverkas nämnvärt och att de som vistas i fastigheten inte märker av att effekten till byggnaden tillfälligt sänks. Om energibolaget koordinerar styrningen för många fastigheter samtidigt, bidrar varje enhet till helheten. Tillsammans bildar hela systemet en virtuell termos av värme som med fördel kan användas för att optimera hela fjärrvärmesystemet.

Värmeoptimeringen i sin tur syftar till att inomhustemperaturen vid varje tidpunkt ska ligga så nära vald måltemperatur som möjligt. Detta kan uppnås med hjälp av en lärande algoritm. Algoritmen lär sig byggnadens förutsättningar i alla olika förhållanden och förbättrar sig över tiden med en optimerad värmekurva som resultat. Målet är att sänka energianvändningen genom att anpassa värmetillförsel till fastighetens faktiska behov och därmed reducera energi som inte behövs.

Ambitionen var att uppnå kvantitativa resultat inom projektets tidsram, både när det gäller energioptimering och reduktion av E.ONs och Regions Skånes klimatavtryck. Ambitionen var även att leverera skalbara lösningar och erfarenheter som har potential för replikering i Sverige, Danmark och relevanta EU-länder.

Förväntat resultat (hypoteser):

- Påvisa möjligheten för energibolag att minska fastighetens effektuttag, genom tillfälliga nedstyrningar i syfte att balansera nätet och undvika spetslaster
- Minska energianvändningen, genom behovsanpassning och styrning av energiuttag
- Förbättrad komfort i byggnaden (jämnare inomhustemperaturer och upplevda förbättringar)
- Identifiera kalla och varma områden i byggnaden
- Möjlighet till bättre uppföljning och felsökning tack vare tillgång till mer data

Förväntade lärdomar:

- Kunskaper om samt hur effektsänkning kan användas utan att påverka inomhustemperaturen, genom nyttjande av värmelagring i byggnaden och med omfattande kontrollmätning av inomhustemperaturer
- Kännedom om felaktigheter på värme- och ventilationssystemen som finns idag, vilket kommer att synliggöras när systemen utmanas
- Erfarenheter av hur mycket människan påverkar antalet felanmälningar genom felaktigt brukande
- Insikter om hur väderomslag påverkar inomhusklimatet

Skånes Universitetssjukhus i Malmö och byggnad 46 – en testbädd för ett mer optimerat fjärrvärmesystem

Byggnad 46 består av 3 byggnadskroppar vilka benämns *Södra delen*, *Västra delen* samt *Norra delen*. Case 4 genomförs i *Västra delen* samt *Norra delen*.

- *Södra delen/byggnaden* består av vårdlokaler för urologmottagning, handkirurg, rehabiliteringsavdelning med pool (Rund & Sund) samt ett installations-/teknikplan högst upp.
- *Västra delen/byggnaden* består mestadels av kontorslokaler för läkare, fackliga företrädare och staben för verksamhetsutveckling, men även av vårdlokaler för urologmottagning och ett installations-/teknikplan.
- *Norra delen* utgörs av en konferensanläggning med tillhörande lokaler.

Byggnaderna är uppförda 1959 och består av 8 våningar respektive en våning samt källare, med stommar av betong och fasader delvis av tegel och delvis av glas. En anledning till att dessa byggnader valdes ut är att de inte har inneliggande patienter som skulle kunna påverkas negativt. Byggnad 46 har också en egen fjärrvärmeanslutning vilket möjliggör att E.ONs övergripande mjukvara för visualisering kan användas mot befintlig abonnemangsmätare. Byggnad 46 har vidare mycket av den installationsteknik som återfinns i andra vårdbyggnader. FTX med batteriåtervinning, komfortkyla, radiatorsystem fördelat via tre shuntgrupper för väst- respektive östfasad samt norra delen.

Byggnad 46 är ansluten till E.ONs fjärrvärmenät som förser byggnaden med fjärrvärme för uppvärmning och varmvattenberedning. Det finns två separata fjärrvärmecentraler i huset. Huvudcentralen i den norra delen består av två värmeväxlare för hetvatten till ventilationsaggregat och till radiatorer samt en värmeväxlare för beredning av tappvarmvatten. Den försörjer norra samt västra delen med tappvarmvatten och radiatorvärme samt alla tre byggnadskroppar med hetvatten för ventilation. Den mindre centralen är placerad i södra delen och består av en värmeväxlare för hetvatten till radiatorer och pool samt en värmeväxlare för tappvarmvattenberedning. Den mindre centralen betjänar södra huset med radiatorvärme och tappvarmvatten.

Byggnad 46 värms upp via tvårörskopplat radiatorsystem. I södra delen dimensionerat för 60/45 och i västra och norra delen för 80/60. I Södra delen finns separat shuntgrupper för norr- respektive söderfasad. I Västra delen finns separat shuntgrupper för väst- respektive österfasad.

TEKNISKA LÖSNINGAR

Infrastruktur

En inledande uppgift i digitaliseringen av fjärrvärmenäten är att etablera en teknisk infrastruktur som inte bara löser specifika problem som är kända idag, utan är skalbara och möjliggör fler lösningar framåt. E.ON har satt upp en och samma infrastruktur för effekt- och komfortstyrning.

Gateway för kommunikation i realtid

Fastigheten ansluts genom en gateway, så kallad Energy Manager, vilken möjliggör krypterad kommunikation i realtid till E.ONs molnplattform, ectocloud™. Energy Managern ansluts i fastighetens undercentral för värme där den kommunicerar med fastighetens lokala styrsystem (BMS, Building Management System) via dataprotokollet Modbus. För att det ska vara möjligt att ansluta Energy Manager krävs det att styrsystemet är fritt att programmera.

Inomhustemperaturgivare

E.ON har tillsammans med Regionfastigheter installerat drygt 100st inomhusgivare (50st per krets) för att noggrant mäta inomhustemperaturen i västra och norra delarna av byggnad 46.

Inomhustemperaturerna har i det här projektet övervakats för att följa hur effektstyrningen påverkar inomhusklimatet. Dessa temperaturer är även en viktig del i algoritmens arbete för att optimera fastighetens inomhustemperatur och värmeförbrukning.

IT säkerhet

- Systemet använder säkra och krypterade kommunikationsprotokoll (Modbus) med en dedikerad IP:adress som inte är synlig
- En watchdog övervakar program- och databas
- Driftoperatörer i produktionsmiljö övervakar och driftar
- Energy Manager är alltid slav (master – slav förhållande) till fastighetens BMS och kan därmed endast lämna instruktioner

Energy Manager har ett antal funktioner inbyggda, exempelvis en watchdog som övervakar Energy Managers prestanda och har möjlighet att stänga av Energy Manager om något ovanligt skulle inträffa. Om strömmen går ner händer ingenting då Energy Manager endast påverkar signalen till och från BMS:en. BMS:en kommer istället fortsätta styra byggnaden som om den inte vore där.

E.ON:s operatörer är i slutändan de som styr när byggnaden ska nyttjas i effektstyrningssyfte och detta sker med övervakning. Komfortstyrningen styrs av en självlärande algoritm som både övervakas och utvärderas av E.ON.

Styrning av effekt för att balansera fjärrvärmenätet

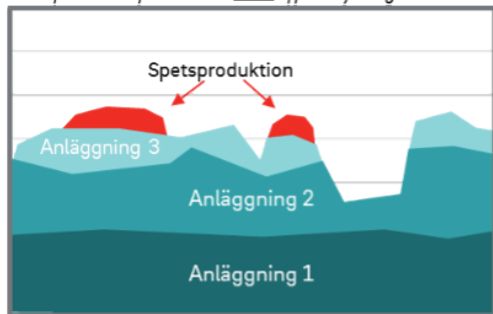
Effektstyrningen syftar till att nyttja den lagrade energin (värmén) i fastigheten då effekten (värmeuttaget) i enskilda fastigheter begränsas under enstaka timmar. Systemet påverkar i dagsläget inte tappvarmvatten och ventilation utan enbart uppkopplade radiatorkretsar. Systemet ger energibolaget möjlighet att tillfälligt ändra byggnadens reglerkurvor genom att skicka en offset, dvs en förändring av radiatorkretsarnas börvärde.

E.ON styr de uppkopplade fastigheterna genom att:

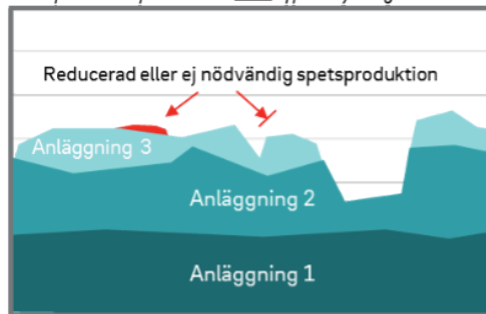
- Justera börvärdet med en offset (en positiv eller negativ procentsats skickas dynamiskt).
- Framledningstemperaturen för anslutna radiatorkretsar rampas ner och upp för att inte få för snabba förändringar.
- Framledningstemperaturen ändras så att ΔT (skillnaden mellan framlednings- och returtemperaturen) blir i enlighet med önskad offset.
- Återgången styrs för att undvika översväng. En planerad nedstyrning av effekt till radiatorkretsar kan föregås eller efterföljas av en för- eller eftervärmning för att minska inverkan på inomhustemperaturen av den planerade nedstyrningen/effektminskningen.

Testerna som är utförda i projektet syftar bland annat till att undersöka byggnadens värmetröghet och verifiera att energibolaget kraftigt kan styra värmeeffekten under ett antal timmar utan att påverka inomhustemperaturen eller den upplevda komforten.

Exempel värmeproduktion utan effektstyrning



Exempel värmeproduktion med effektstyrning



Värmeoptimering i fastigheten

Byggnadens värmebehov varierar över tid och utifrån byggnadens förutsättningar. Behovet beror på parametrar som utomhustemperatur, tid på dygnet, ventilation, varmvattenförbrukning och kan även påverkas av solinstrålning, vindhastighet och luftfuktighet. Utomhustemperatur och tid på dygnet är de två delar som har störst betydelse för systemet. Hög solinstrålning bidrar med värme till byggnader och resulterar normalt i höjd inomhustemperatur, medan hög vindhastighet sänker inomhustemperaturen. Även internlasterna kan i många byggnader vara betydande och påverka behovet av tillförd energi över dygnet. Internlasterna kommer från oss som människor men även teknisk utrustning som belysning, datorer, kyl och frys, autoklaver, kopieringsmaskiner med mera som alla ger ett värmetillskott som kan leda till övertemperatur i byggnaden.

Traditionellt styrs värmebehovet utifrån utomhustemperaturen. Om utomhustemperaturen ändras snabbt, förändras ofta även inomhustemperaturen då systemet inte hinner parera. Att justera in värmekurvan kräver kontinuerlig övervakning och för att optimeras helt bör även fler parametrar beaktas, som beskrivet ovan. Den stora förändringen med den nya tekniken är att vi går från att styra utifrån utomhustemperaturen till att låta en önskad inomhustemperatur påverka reglerkurvan.

En självlärande algoritm har tagits fram för att beräkna fastighetens värmebehov. Algoritmen lär sig kontinuerligt fastighetens värmebehov utifrån olika förhållanden, oavsett tid på dygnet eller året. Till skillnad från effektstyrningen, styr komfortalgoritmen dygnet runt.

- Algoritmen kommunicerar genom samma gateway (Energy Manager) och infrastruktur som effektstyrningen
- För att mäta och styra inomhustemperaturen installeras uppkopplade sensorer (inomhustemperaturgivare) i fastigheten
- Ett offsetvärde beräknas utifrån vad algoritmen har lärt sig om fastighetens beteende samt mätvärden som utomhus- och inomhustemperatur
- Lösningen styr framledningstemperaturen till radiatorkretsarna och påverkar alltså inte varmvatten eller övervärme som uppstår av höga utomhustemperaturer (algoritmen styr alltså endast uppvärmning av radiatorkretsar)

Syftet med att utveckla och testa komfortstyrningen är att öka kvaliteten i distributionen av fjärrvärme samt att öka transparensen och kontrollen av konsumtionen. Det förväntade resultatet var bibehållen eller ökad komfort och reducerad klimatpåverkan.

Visualisering av mätdata och beräkningar på besparingar i kronor, kilowattimmar och koldioxidutsläpp har utvecklats i E.ONs digitala gränssnitt för fastighetsägare. Under projektet utvecklades stöd för att redovisa aktuell och historisk medeltemperatur i fastigheten, samt funktioner för att fastighetsägaren på egen hand ska kunna ställa in en önskad måltemperatur. Digitalisering av inställningarna är i sig en stor förändring som förenklar för fastighetsägarens hantering av värmesystemet utan behov av djupare kunskap om värmecentralen och de fysiska komponenterna. Den utökade datainsamlingen kan även bidra med tjänster utöver styrningen, exempelvis utvecklades en larmfunktion för att hjälpa fastighetsägaren att identifiera avvikelser.

Under projektet utvärderades individuella sensordata i mätarleverantörens gränssnitt. Med hjälp av en kartläggning av insamlade temperaturer kan kalla och varma delar av fastigheten identifieras. Detta kan ligga till grund för en injustering av fastighetens värmesystem i syfte att minska skillnader i inomhustemperatur mellan olika delar av byggnaden. En reglering kan i sin tur reducera energianvändningen ytterligare.

TESTER OCH RESULTAT

Tester av effektstyrning med övervakning av inomhustemperaturer

Byggnad 46 har gett projektet betydligt bättre möjlighet att stress-testa effektstyrningen då det endast finns personal i byggnaden dagtid under veckodagar. Byggnaden har inom projektet utrustats med ett hundratal inomhusgivare för att övervaka inomhustemperaturen detaljerat i realtid. E.ON fick alltså möjlighet att genomföra kraftigare effektsänkning under längre perioder än andra byggnader anslutna till effektstyrningssystemet. E.ON hade också möjlighet att kontrollera konsekvenser av effektstyrning vid olika grad av ventilation i byggnaden.

E.ON har parallellt med detta projekt installerat effektstyrningsutrustning i ett flertal flerfamiljshus. Efter uppvärmningssäsongen 2019–2020 analyserades påverkan av effektstyrning även i dessa fastigheter. Effektregeringsalgoritmen är inte beroende av inomhustemperaturmätningar men kontroll av inomhustemperaturen är central i samband med effektstyrning. De fastigheter som hade någon form av mätning av inomhustemperaturen kontrollerades och det kunde konstateras att inverkan på inomhustemperaturen av kortvarig effektstyrning (2-3 timmar) var marginell. Vidare kunde konstateras att styrningen av fastighetens reglerkurva gav önskad effektbegränsning för de anslutna fastigheterna. Analysen visade också att förändringen av framledningstemperaturer i förhållande till returtemperaturen sekundärt (delta T) fungerar väl som proxy för radiatorvärmeförsörjningen vid kortare styrningar under några timmar.

Effekttoppar i en byggnad härrör ofta från ett tillfälligt ökat behov av tappvarmvatten, i flerfamiljshus typiskt mellan kl 6.00 och 9.00 samt mellan kl 17.00 och 19.00. För staden som helhet är det denna typ av effekttoppar som energibolaget i vissa situationer vill undvika. Effekttopparna kan mötas genom att tillfälligt och kontrollerat styra ner effektbehovet i radiatorkretsar till ett större antal fastigheter.

Effektbegränsningen ska typiskt pågå under några få timmar. Desto större effekt som är ansluten till systemet desto mindre behöver påverkan på respektive ansluten fastighet bli. Förutsättningarna i byggnad 46 gav projektet möjlighet att analysera konsekvenser av styrning under längre perioder än tidigare möjligt i flerfamiljsbostäder. Det gavs även möjlighet att testa betydelsen av för- respektive eftervärmning samt att undersöka konsekvenser av regelbundet återkommande styrning med mera. Dessa tester har validerat fastighetens termiska tröghet och varit av stor betydelse för att bättre förstå de möjligheter som kontrollerad effektstyrning av ett större antal fastigheter ger.

Det ska i sammanhanget noteras att byggnaders förutsättning för effektsänkning skiljer sig åt. Lämpligheten kan till exempel bero på byggnadens uppvärmningssystem, installerat styrsystem, värmetröghet, ventilation och vilken typ av verksamhet som bedrivs där.

Test 1: Hur påverkas inomhustemperaturen vid långvarig effektsänkning?

Syfte

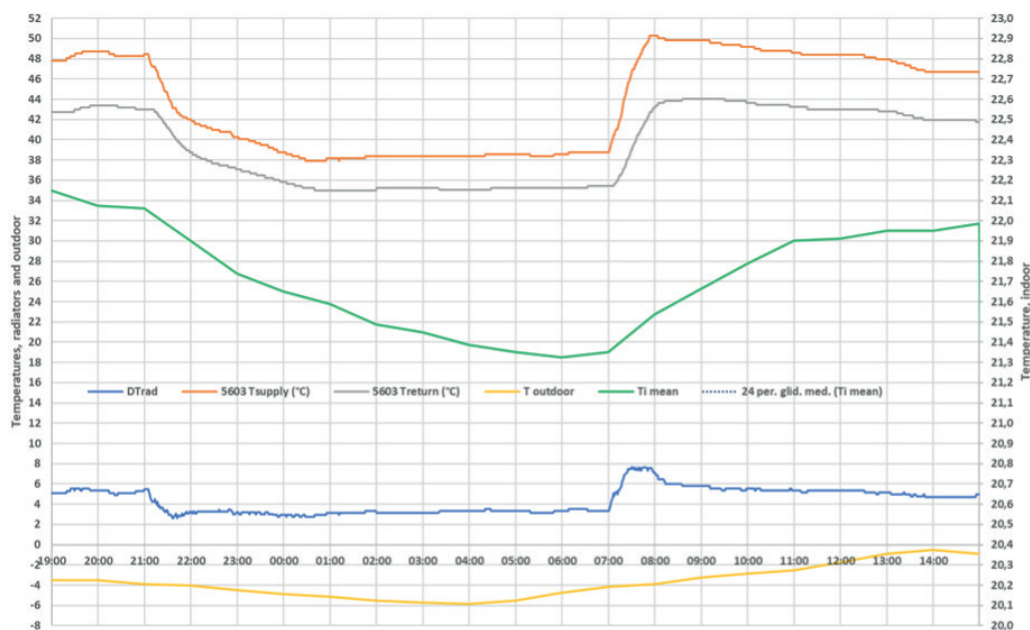
Hur snabbt sjunker inomhustemperaturen i aktuell byggnad då effekt till radiatorkretsar sänks med 50% under lång tid? Är avvikelsen i temperaturfall stor mellan olika rum i byggnaden?

Styrning

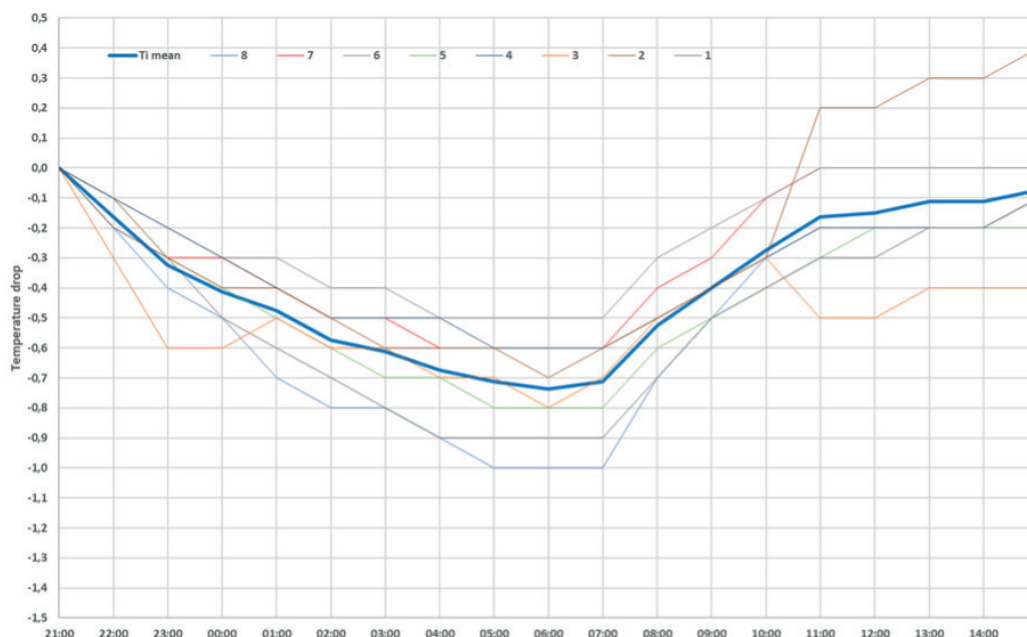
-50% kl 21:00 (fredag) – kl 07:00 (lördag), test utfört vid flera tillfällen med och utan ventilation

Tute

från -5°C till ca +10°



Figur 1: 50% sänkning av effekt (DT rad = -50%) mellan kl 21:00 och 07:00, Tute ca -5°C, ventilation i drift



Figur 2: Inomhustemperatur för respektive våningsplan under 50% effektsänkning kl 21:00 till 07:00, ventilation i drift.

Resultat

Inomhustemperaturen sjunker långsamt då effekt i radiatorkretsar halveras. Sänkningen går fortare då ventilationen är i drift, vilket förklaras av att tilluften är tempererad till 19°C. Medeltemperaturen i byggnaden (cirka 100 inomhushusgivare) sjunker med cirka 0,4-0,7°C under den 10 timmar långa effektsänkningen. Temperaturfallet varierar mellan olika våningsplan och rum. I det mest påverkade rummet sänktes temperaturen med 1,3°C. Det ska noteras att skillnaden i tilluftsflöde (19°C) var väsentlig mellan olika rum.

Av figur 1 framgår också att inomhustemperaturen nästan återgått till den ursprungliga temperaturen 4 timmar efter avslutat test trots att ingen specifik eftervärmning skett. Av figur 2 framgår att effektsänkningen är relativt följsam mellan de olika våningsplanen, ca $\pm 0,25^\circ\text{C}$ jämfört med medelvärdet. Motsvarande analys har genomförts för respektive våningsplan.

Påverkan på byggnadens inomhustemperatur vid en kortvarig styrning (här -50%) om 2-3 timmar är ca 0,3°C även om den kan vara något större i enskilda rum. Halvering av effekten till radiatorkretsar är att betrakta som en kraftig styrning men påverkan av inomhustemperaturen är vid kortvarig styrning marginell.

Test 2: Hur påverkas inomhustemperaturen vid regelbundet återkommande effektsänkning?

Syfte

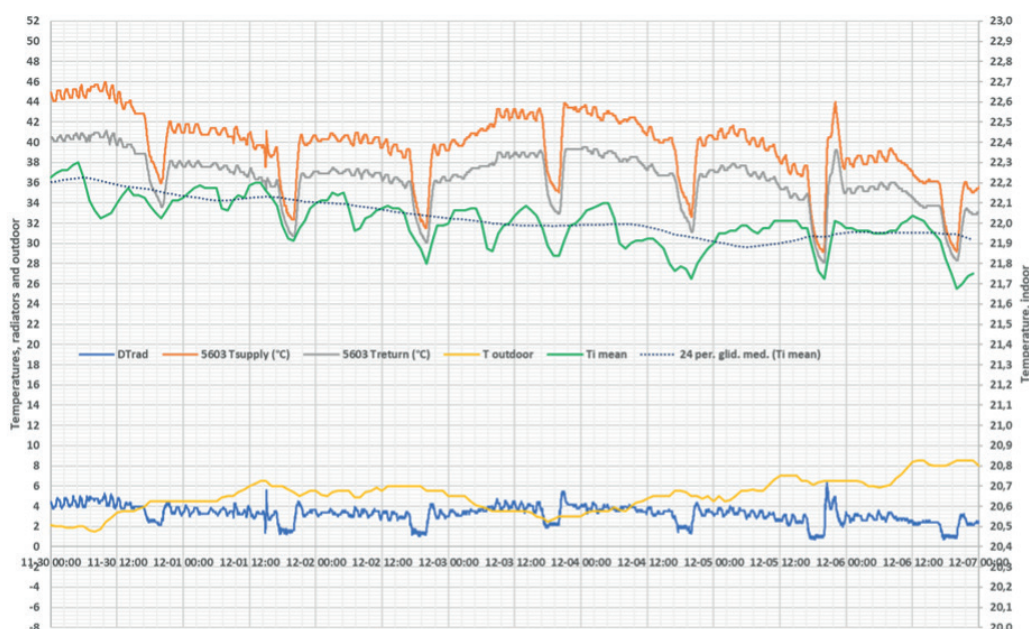
Hur påverkas inomhustemperaturen på längre sikt om byggnaden utsätts för dagligen återkommande kortvarig effektbegränsning?

Styrning

-50% kl 17-20, test utfört under en vecka (ingen för- eller eftervärmning)

Tute

Från +2°C till +8°C



Figur 3: Kortvarig återkommande reducering av effekt mellan kl 17.00 och 20.00 under en vecka. Ingen för- eller eftervärmning.

Resultat

Det glidande 24-timmars medelvärde för inomhustemperaturen indikerar att byggnadens medeltemperatur långsamt faller (ca 0,2°C) under veckan vilket är rimligt med tanke på att den totala värmeeffekten till byggnaden reduceras (ingen för- eller eftervärmning i samband med styrning i detta fall). I samband med effektbegränsning kan tillfälligt temperaturfall noteras, typiskt 0,3° C, men den återgår då effektstyrningen upphör. De tillfälliga temperaturfallen under morgonen härrör från styrning av ventilation.

Daglig återkommande styrning kan kompensera för återkommande effekttoppar, till exempel tappvarmvatten. Görs det under längre tid bör den sänkta energileveransen till fastigheten kompenseras.

Test 3: Hur påverkas inomhustemperaturen vid regelbundet återkommande effektsänkning?

Syfte

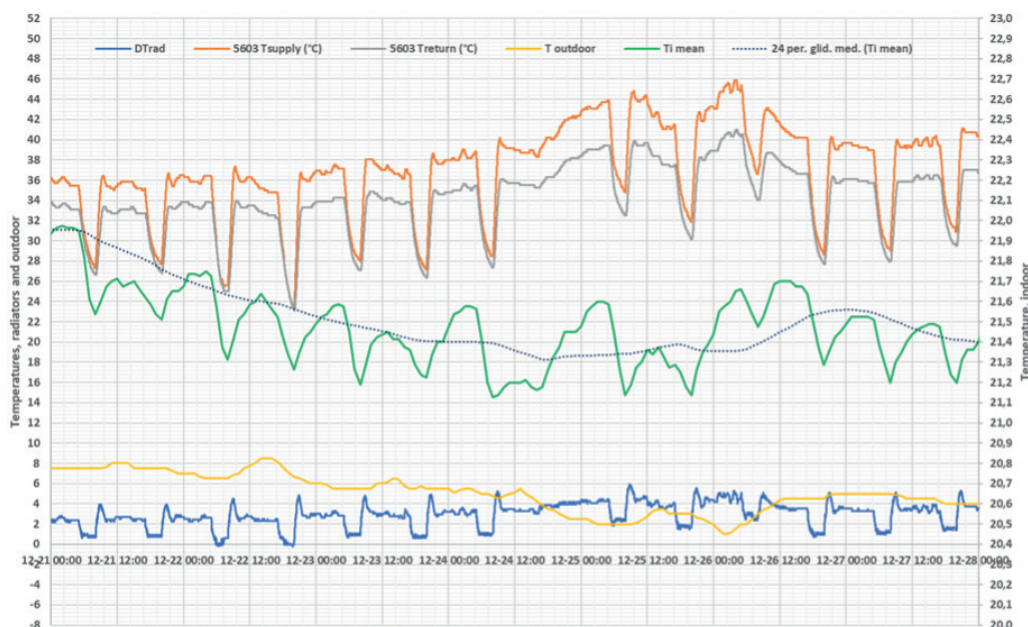
Hur påverkas inomhustemperaturen på längre sikt om byggnaden utsätts för dagligen återkommande kortvarig effektbegränsning under morgon och kväll?

Styrning

-50% kl 5.00 - 08.00 samt kl 17.00 – 20.00, test utfört under en vecka (ingen för- eller eftervärmning)

Tute

Från +8°C till +1°C



Figur 4: Kortvarig återkommande reducering av effekt mellan kl 5.00 och 8.00 samt 17.00 och 20.00 under en vecka. Ingen för- eller eftervärmning.

Resultat

Effektsänkningen (50%) pågår i detta test under 6 timmar per och återspeglas i att inomhustemperaturen faller snabbare än i test 2. Efter fyra dygn har temperaturen fallit med 0,5-0,6°C. Julhelgen infaller på slutet av testperioden vilket innebär att ventilationen slogs av och att inomhustemperaturen därmed stabiliserades.

Testet skulle kunna återspegla möjlig styrning då problem uppstått med värmeleveranser, till exempel på grund av omfattande skada vid värmeproduktionen eller i distributionssystemet. Effektstyrningsutrustningen ger energibolaget möjlighet att fördela den värme som finns tillgänglig mellan de fastigheter som är uppkopplade och anslutna till systemet.

Test 4: Hur påverkas inomhustemperaturen vid regelbundet återkommande effektsänkning då för- och eftervärmning tillämpas?

Syfte

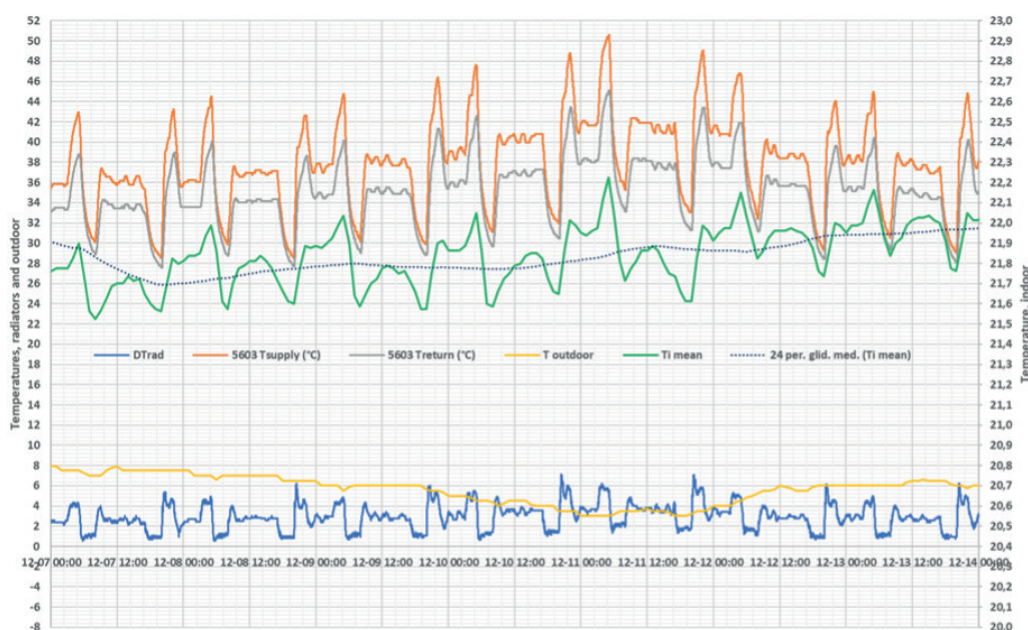
Att ta reda på hur inomhustemperaturen påverkas på längre sikt om byggnaden utsätts för dagligen återkommande kortvarig effektbegränsning under morgon och kväll, men då kompensering sker via tillfällig för- och eftervärmning.

Styrning

+50% kl 3.00 - 5.00, -50% kl 5.00 - 8.00 samt -50% kl 17.00 - 20.00, +50% kl 20.00 - 22.00 test utfört under en vecka

Tute

Från +8°C till +3°C



Figur 5: Kortvarig återkommande reducering av effekt samt för- eller eftervärmning under en vecka.

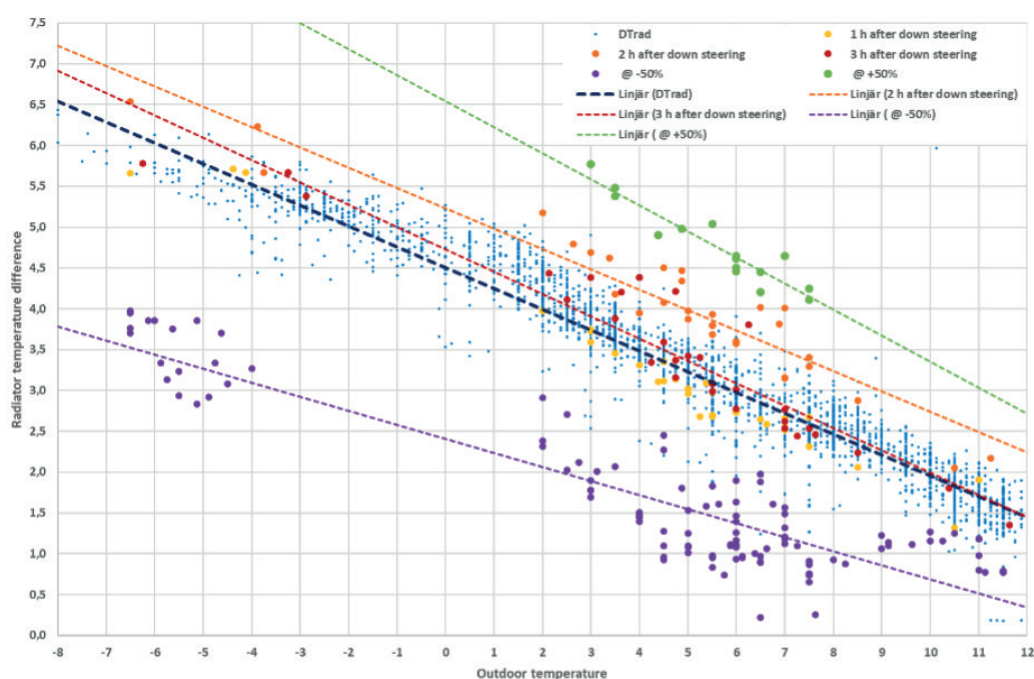
Resultat

För- och eftervärmningen kompenserar den minskning av inomhustemperaturen som tidigare tester medfört. Ingen långsiktig tendens kan ses på den uppmätta medeltemperaturen under veckan som testet pågår. Det kan noteras att förvärmning tenderar att ge en övertemperatur medan konsekvensen av eftervärmning snarare är att inomhustemperaturen snabbare återgår till den ursprungliga temperaturen, före effektsänkningen.

Styrmetoden skulle kunna utnyttjas för att minska regelbundet varierande effektbehov i fjärrvärmenät och skapa stabilare förutsättningar för värmeproduktion och distribution vilket i sin tur kan ge miljövinster.

Figur 6 visar en alternativ redovisning av extern styrning av fastighetens reglerkurva. I figuren har differensen mellan radiatorsystemets fram- och returledning ("delta T") på timbasis angetts mot aktuell utomhustemperatur. Som framgår av figuren halveras delta T vid reglering -50%. På motsvarande sätt kan styrningen +50% utläsas, antalet mätvärden här är dock få.

I figuren kan också återgången efter en nedreglering av effekten utläsas (gul=1 timme, orange=2 timmar, röd=3 timmar efter avslutad styrning). En viss överstyrning kan noteras under den andra timmen efter avslutad styrning.



Figur 6. Jämförelse av värmeförsel (delta T, sekundär) med upp- eller nedreglering samt 1, 2 och 3 timmar efter styrning.

Sjävlärande algoritm för optimering av byggnadens värmekurva

Algoritmen för komfortstyrningen aktiverades i februari 2020. Jämfört med effektstyrningen är komfortstyrningen i ett väldigt tidigt skede och byggnad 46 var första byggnaden att implementera algoritmen. Parallellt med projektet har ett antal flerbostadsfastigheter anslutits och fler har tillkommit under 2021. Det är därmed något tidigt att dra övergripande slutsatser från resultatet vi har sett hittills.

Testningen på sjukhusområdet i Malmö har genomförts genom att konfigurera fastigheten och de installerade inomhusgivarna. Därefter har algoritmen aktiverats och fått arbeta under värmesäsongen 2020–2021. Under perioden har algoritmen lärt sig byggnadens förhållanden, men då 2020 var relativt varmt ser vi att algoritmen behöver en längre period för att uppleva alla väderförhållanden, temperaturer och skiftningar innan vi kan anse att algoritmen har uppnått en optimerad reglerkurva. Vi förväntar oss att algoritmen börjar skapa värde redan efter några veckor efter aktivering, men utifrån ett kvalitetsperspektiv är en längre period önskvärd.

Analys av algoritmen är planerat att genomföras sommaren 2021, alltså efter att denna rapport har publicerats och syftar till att dra de första slutsatserna om algoritmens prestation; reducering av energi och effekter på inomhuskomforten. Målet är att identifiera hur algoritmen bör förbättras.

En större mängd data behöver samlas in från byggnad 46 och andra fastigheter under en utökad period för att validera ett resultat som kan sätta en förväntan för fler fastigheter. Resultatet i form av reducering i kronor, kilowattimmar och koldioxidutsläpp bör även utvärderas efter nästa värmesäsong och även efter att planerade förbättringar i algoritmen har implementerats.

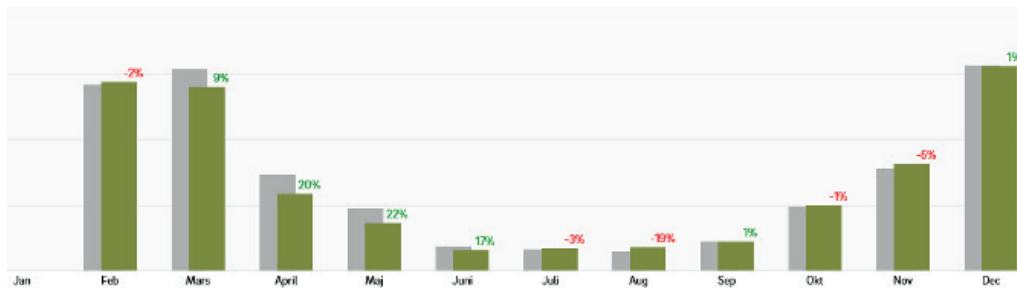
Följande information redovisar mätdata och övergripande besparingsberäkningar som Region Skåne har fått presenterat i E.ONs digitala gränssnitt.

En besparing startar i en inte använd kilowattimme, vilket är svårt att mäta. Besparingsmodellen i det digitala gränssnittet använder temperaturrelaterade algoritmer för att bestämma ett värde och besvarar frågan: "Vad hade förbrukningen varit om jag inte hade gjort någon åtgärd?". Svaret på frågan är referensförbrukningen.

Genom att analysera förbrukningshistorik och anläggningskaraktistik är det möjligt att bestämma en referensförbrukning utifrån dygnsmedeltemperaturen. För varje dygn finns det möjlighet att beräkna en besparing (referensförbrukning minus faktisk förbrukning). Dygnsvärdena ackumuleras sedan upp till månadsvärden. För att få besparingen i pengar multipliceras förbrukningsbesparingen med det verkliga snittpriset per kilowattimme för den specifika anläggningen och den aktuella månaden.

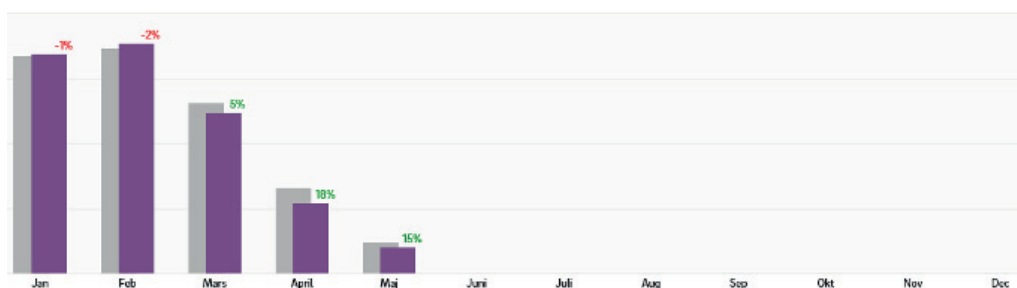
Miljöbesparingen beräknas även den utifrån förbrukningsbesparingen och multipliceras då med aktuellt emissionsvärde, baserat på bränslemixen i varje enskilt nät.

För att ge en rättvis bild av resultatet från komfortstyrningen har inga ytterligare förbättringsinsatser genomförts i byggnaden.

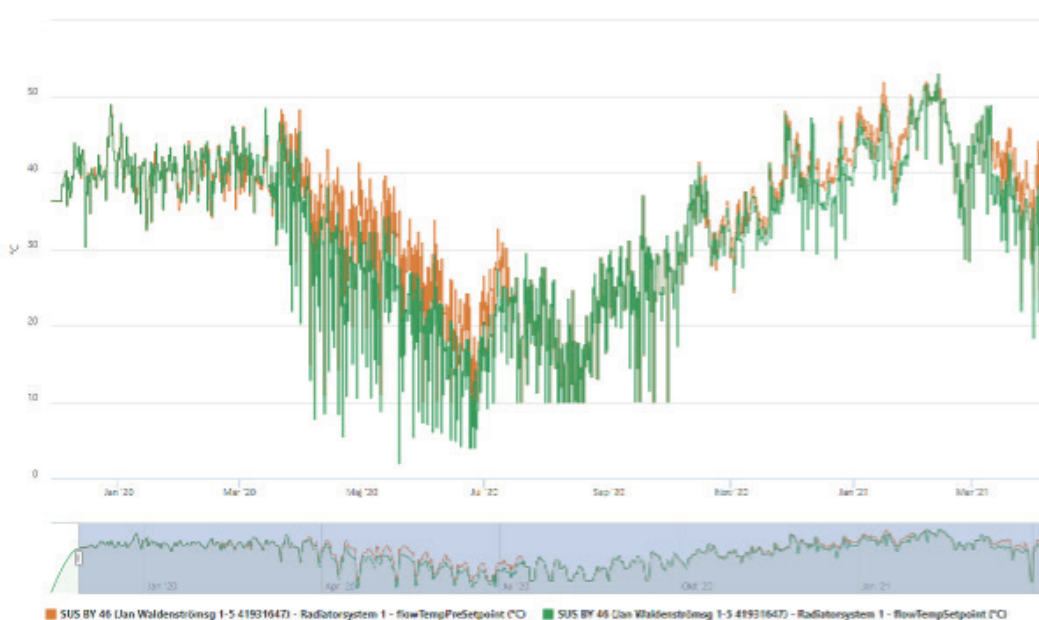


Figur 7. Redovisad besparing. Jämförelse av förbrukning i byggnad 46, 1 februari – 31 december 2020 mot referensåret 2019.

Sommaren 2020 var varmare än 2019 och medförde en ökad förbrukning under juli-augusti för avfuktning. Under perioden jobbade algoritmen för att dra ner framledningstemperaturen men med begränsad möjlighet att faktiskt påverka resultatet.



Figur 8. Redovisad besparing. Jämförelse av förbrukning i byggnad 46, 1 januari – 15 maj 2021 mot referensåret.



Figur 9. flowTempPreSetpoint är BMS:ens styrvärde och flowTempSetpoint är börvärdet från algoritmen.

Under januari identifierades en bugg som medförde att kommunikationen mellan Energy Managern och E.ONs molnlösning, ectocloud, tappades. Bristen på signalen skapade inte någon skada på värmesystemet utan BMS:en verkade som om komfortstyrningen inte fanns. Framledningstemperaturen bestämdes alltså under denna tid av BMS:en reglerkurva och energiförbrukningen för perioden låg då i linje med referensåret och till och med något över. I perioderna innan och efter avbrottet visade algoritmen på en tydlig reduktion av framledningstemperaturen och det finns förhoppning om att en reduktion även hade skett under perioden januari-februari.

Under våren 2020 reducerades framledningstemperaturen märkbart och resulterade även i en besparing i kronor. Det är förväntat att algoritmen skapar stort värde under överslagsperioderna, våren och hösten, men vi har inte sett det tydliga resultatet i denna fastighet då förbrukningen under hösten har legat i nivå med referensåret.

Vi har skapat oss en djupare kunskap om när och under vilka förhållanden algoritmen, som den är utformad idag, bör inaktiveras för att undvika felaktig inlärning. Stora skillnader mellan hur algoritmen önskar styra och vad som är möjligt att styra (exempelvis under varma sommarmånader) kan skapa viss oreda för algoritmen. Denna insikt har lett till förbättringsförslag som planeras för utveckling framåt. Tills detta är på plats övervakar E.ON algoritmen aktivt. Insikten kan eventuellt också förklara algoritmens prestation under hösten då reduktionen är mindre än under våren, men detta är något som behöver analyseras vidare i arbetet framåt.

Klimatenkäten – upplevd inomhuskomfort

För att följa upp det mjuka perspektivet har en klimatenkät genomförts vid två tillfällen i de berörda delarna av byggnad 46. Dels i februari 2020, det vill säga precis innan komfort- och effektstyrningen introducerades, och dels nu i april 2021 när alla tester är genomförda.

I klimatenkäten har alla som arbetar i västra respektive norra byggnaden i hus 46 bjudits in att svara. Från denna enkät får vi svar på om komfort- och effektstyrningen har förbättrat, inte haft någon effekt eller försämrat det upplevda klimatet i byggnaden.

Den första enkäten som skickades ut i februari 2020 gick ut till 394 personer med arbetsställe i byggnad 46. Syftet med enkäten var att utforska om effekterna av inomhusstyrning och effektstyrning även kunde märkas av de anställda i form av förbättrad eller försämrad komfort.

I enkäten ställdes ett 30 tal frågor kring inomhusklimatet uppdelade i bland annat, inomhustemperaturer sommar och vinter samt ventilation, sommar och vinter. Svarsfrekvensen på den första enkäten var 23%, och följande resultat angående värmen kunde då konstateras:

- 60% tyckte inte att rumstemperaturen varierade nämnvärt vid förändringar i utetemperatur
- 30% tyckte att det ibland var för kallt i arbetsrummen vintertid
- 13% tyckte att det var för varmt i arbetsrummen vintertid
- 58% var överlag nöjda med sin rumstemperatur på sitt arbetsrum
- 22% använde ibland en elektrisk värmebläddare för att få ett tillfredsställande klimat

Enkäten upprepades april 2021 men då endast till de 91 personer som svarat på den första enkäten. Denna gång blev svarsfrekvensen 50% där följande noterades.

- 60% tyckte inte att rumstemperaturen varierade nämnvärt vid förändringar i utetemperatur
- 35% tyckte att det ibland var för kallt i arbetsrummen vintertid
- 6% tyckte att det var för varmt i arbetsrummen vintertid
- 60% var överlag nöjda med sin rumstemperatur på sitt arbetsrum
- 25% använde ibland en elektrisk värmebläddare för att få ett tillfredsställande klimat

Inga stora förändringar i upplevt inomhusklimat går att spåra via klimatenkäten, det ser ungefär likadant ut före som efter komfortstyrning och effektstyrning. Detta får tolkas som positivt då Region Skåne kan se en besparing i såväl kilowattimmar som kronor och minskad koldioxidbelastning. Samtidigt vet vi att där finns en hel del förbättringsområden i byggnaden som identifierades i samband med rundvandringen då rumsgivarna hade satts upp. Dessa fel skulle enligt tidsplaneringen varit åtgärdade under projektiden, men på grund av Covid-19 restriktioner har dessa fått skjutas på framtiden.

DISKUSSION OCH SLUTSATS

E.ON har med detta projekt getts möjlighet att tillfälligt minska effektuttaget på sjukhusområdet i Malmö för att balansera fjärrvärmenätet. Tack vare förutsättningarna i byggnad 46 har E.ON haft möjlighet att testa effektstyrning kraftigare än vad som tidigare har varit möjligt i bostadsfastigheter.

Detta har resulterat i man har validerat fastighetens tröghet och erhållit en fördjupad förståelse för hur styrningen påverkar inomhustemperaturen, vilket har bidragit till vilka gränsvärden man har satt upp för hur effekt styrs framåt.

Projektet har även bidragit med att man både har designat, utvecklat och implementerat en helt ny teknisk lösning för styrning av tillförd energi till fastigheter med mål att reducera energi som inte används, med förbättrad eller bibehållen inomhuskomfort. Lösningen som har tagits fram har kommit längre än att enbart utgöra en fristående pilot. Tekniken är skalbar och redo att spridas till andra aktörer och regioner för att validera leveransen och möjliggöra en djupare analys av resultatet.

Region Skåne har med detta projekt påbörjat sin resa att ansluta byggnader till smarta nät och bidrar även med reducerade koldioxidutsläpp som är mätbara även på fastighetsnivå. Komfortstyrningen har även resulterat i en viss finansiell besparing.

Tillsammans har vi även skapat ett starkare samarbete mellan producent och konsument, tack vare gemensamma miljömål, och detta projekt visar upp vikten av att arbeta tillsammans för att realisera det potentiella värdet som smart teknik möjliggör.

Effektstyrning - resultat på en systemnivå

E.ON har under senaste åren genomfört flera tester av effektstyrning och de analyser och simuleringar som har genomförts har bland annat visat att E.ON i Malmö kan:

- Minska antalet starter av spetsanläggningar med 30% under ett år
- Producera 1,5 GWh mer förnybar och återvunnen värme per år, vilket motsvarar en minskning med cirka 500 ton koldioxid
- Minska värmeförlusterna med 330 MWh per år, vilket motsvarar cirka 100 ton koldioxid

Som en jämförelse motsvarar ovan punkter utsläppet från 8000 flygresor från Malmö till Stockholm.

Värmeoptimering - resultat för fastigheten

Beräkningar visar att Region Skåne, under perioden 1 februari 2020 – 15 maj 2021, har gjort följande besparingar:

TOTAL BESPARING	MINSKAD FÖRBRUKNING	MINSKAD
~50 000 kr	~99 000 kWh	~10 000 kg

Detta är något lägre än vad vi förväntar oss framåt, men vi får komma ihåg att vi har haft tillfällen under perioden då algoritmen har varit inaktiverad. Beräkningarna redovisar även hela perioden, totalen reduceras exempelvis av sommarmånaderna 2020 då förbrukningen ökade mot referensåret. Detta är en period med begränsade möjligheter för algoritmen att styra ned värmen i radiatorkretsarna och resultatet, redovisat på det här sättet, mäter därmed inte algoritmens prestation helt rättvist. Vi har alltså inte tillräckligt med information för att kunna dra slutsatsen om algoritmen arbetar enligt förväntan eller ej.

Resultatet bedöms ändå som positivt. Vi ska inte förminska vikten av ett sparat kilo koldioxid. Varje mindre besparing är en vinst och gör stor skillnad i ett större perspektiv, speciellt om många bidrar.

Andra lärdomar i samband med projektet

Kort efter driftsättningen av de 100st inomhusgivarna, genomfördes en rundvandring i byggnaden för att följa upp de rumstemperaturer som av någon anledning avvek från normalvärdena. Totalt rörde det sig om ett drygt 20 tal givare som hade avvikande temperaturer, både högre och lägre. Bland annat fann vi följande problem som orsakade detta:

För låg rumstemperatur

- Radiatorn avstängd, och fönstret på glänt, då kontorsinnehavaren inte ville ha mer än 19 gr.
- Felaktiga komponenter på vissa radiatorer som begränsade flödet och därmed orsakade för låg rumstemperatur (>50 radiatorer)
- Felaktig maxbegränsning på radiatortermostat i kombination med en felaktig möblering gjorde att radiatorn stängde av i förtid
- Överventilerat rum på grund av att ventilationsdonen var demonterade
- Radiatortermostaten inte fullt öppen
- Brister i tätningslister runt fönster och fönsterdörrar

För hög rumstemperatur

- Extra värmefläkt som var igång, på grund av att radiatorn hade fel enligt ovan
- Teknisk utrustning (kopieringsmaskin, autoklaver etc.) som gav ett stort värmetillskott

För att få maximal effekt av inomhusstyrningen, och optimera energiprestandan behöver alla radiatorer ha korrekt flöde, annars riskerar rum med felaktigheter att bli begränsande för hur långt smartkomfortstyrningen tillåts arbeta med att sänka framledningstemperaturen.

Ett åtgärdsprogram togs därför fram under våren 2020, som syftade till att åtgärda och "nollställa" byggnaden från dessa fel, innan eldningsperioden 2020–2021. Men då Covid-19 samtidigt blossade upp har inte detta kunnat fullföljas, varför där finns en hel del outnyttjad potential kvar att hämta.

Vår rekommendation är att alltid genomföra en rundvandring efter att inomhusgivare monterats för att säkerställa att de mätvärden man får in är relevanta för styrningen.

Covid-19 har också inneburit att en stor del av den personal som normalt arbetar i byggnad 46 har arbetat hemifrån sedan hösten 2020. Detta får en negativ inverkan på mängden internlast (personbelastning, datorer och annan teknisk utrustning) som komfortstyrningen skulle ha kunnat styra bort under hösten och vintern 20/21.

Vidareutveckling av tekniken

Mer omfattande tester och analyser av nytta och påverkan på fjärrvärmesystemet bör genomföras när en större effektvolym är ansluten och uppkopplad.

1. Hur mycket kan effektstyrningen bidra till att jämna ut fjärrvärmebehovet över dygnet? Efterfrågan på fjärrvärme varierar kraftigt över dygnet (beroende på utetemperatur och efterfrågan på varmvatten) och det är en utmaning för fjärrvärmesystemet att möta den varierande efterfrågan.
2. Hur mycket kan effektstyrningen bidra till att avlasta distributionsnätet? På vissa ställen i nätet blir det trångt när efterfrågan på värme är stor. Det innebär att fjärrvärmesystemet behöver pumpa hårdare, eller att kritiska platser i nätet behöver förstärkas med fler ledningar av större diameter, för att kunna upprätthålla erforderligt differenstryck hos alla anslutna fastigheter.
3. Hur kan effektstyrningen nyttjas för krishantering om det uppstår problem i distributionsnätet eller i en produktionsanläggning?

Att utforska huruvida effektstyrning kan används för krishantering är högtintressant för energibolag, sjukhus och samhället i stort. Möjligheten att kunna balansera och styra vad tillgänglig effekt används till kan innebära att samhällskritiska funktioner kan fortsätta sin drift även om tillgången på energi är lägre än efterfrågan vid ett givet tillfälle. Värme på sjukhusområden, och i andra byggnader, används inte bara till uppvärmning under kallare perioder utan även för avfuktning under varma sommar dagar, vilket krävs för att kunna driva operationssalar och annan känslig verksamhet. Från ett samhällsperspektiv skapar detta trygghet och är ett annat bra exempel på värdet av smarta nät.

Att utveckla lösningar för att öka kvaliteten i distributionen och optimera värdekedjan ytterligare känns givet och vi tar med oss lärdomar om både möjligheter och utmaningar med smart teknik. Det ställer exempelvis krav på energibolagen att utöka sin kompetens och att sätta upp nya arbetsprocesser och rutiner utöver det tekniska. Man behöver ha respekt för att det är en omställning vi talar om, för alla parter, och inte bara en utökning av befintlig verksamhet.

Vidareutveckling av komfortstyrningen planeras inom följande områden:

1. Vidareutveckling av algoritmen till att omfatta flera möjliga påverkande parametrar. Med fokus på att göra algoritmen mer robust.
2. Vidareutveckling av algoritmens tålighet mot in-parametrar som ligger utanför toleransgränser.
3. Vidareutveckla visualiseringen, exempelvis redovisa individuella sensorer och förenkla för fastighetsägarna genom att visualisera status på värmeanläggningen och fastighetens inomhusklimat.

Spridning av tekniken

Det är troligt att både effekt- och energistyrning kommer att utgöra en standard för distribution och optimering av energianvändning i framtiden och lärdomarna från detta projekt har varit värdefulla för att etablera dessa tjänster i regionen och för arbetet framåt.

De tekniska lösningarna visar på stort värde redan nu och E.ON har som mål att sprida effektstyrning och värmeoptimering i samtliga städer där E.ON har fjärrvärmenät. Man har identifierat att flerbostadsfastigheter är en lämplig målgrupp att inleda spridningen till och arbetet har redan påbörjats med ett antal utökade piloter av komfortstyrning, samt flera implementationer av effektstyrningen som resultat.



FUTURESURSER
ENERGI