



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC STS 18031

Examensarbete 30 hp
Juni 2018

Energiuppföljning på ett modernt sjukhus

En analys av förvaltningsmodellen på Nya Karolinska Solna

Alexander Ullén
Lucas Wiik



UPPSALA
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
<http://www.teknat.uu.se/student>

Abstract

Energy follow-up on a modern hospital - An analysis of the energy model at Nya Karolinska Solna

Alexander Ullén & Lucas Wiik

The purpose of this study was to develop an operation method to manage the energy model at Nya Karolinska Solna and apply it to a fully operational floor in the facility. Deficiencies and improvement potential was then analysed for future management of the model.

Manual measurements were performed on the examined floor regarding heating, cooling and facility electricity and were then compared to the corresponding parameters calculated by the model. The model was calibrated with actual airflows, time schedules and internal gains to get a representative comparison with the measured energy use.

The results show that the developed mode of operation works well for the examined floor but has some improvement areas for when it should be applied to the entire facility as a lot of processes connected to updating the model are time consuming. Improvement potential was found concerning the acquisition of data and calibration of the model. The proposed mode of operation could be improved by firstly concluding the actual usage of the occupants to adjust air flows, time schedules and internal gains and secondly, by implementing a system of reporting future deviations from normal operational patterns.

The total actual energy use compares well to the energy use calculated by the model. However, if comparing the parameters individually, deviation is evident. It was also found that values in the model for internal gains are overestimated during days and underestimated during nights and weekends resulting in a deviation of the compared parameters of the examined floor.

Handledare: Niclas Löf
Ämnesgranskare: David Lingfors
Examinator: Elisabet Andrésdóttir
ISSN: 1650-8319, UPTec STS 18031
Tryckt av: Uppsala Universitet, Uppsala

Sammanfattning

Uppföljning av energianvändning i byggnader blir allt viktigare för att kontrollera och säkerställa att ställda krav på energiprestanda uppfylls. Det finns olika sätt att genomföra en energiuppföljning men det blir allt vanligare att använda beräkningsprogram som kan beräkna den förväntade energianvändningen i en byggnad.

Nya Karolinska Solna (NKS) är en samling byggnader som utgör ett nybyggt sjukhusområde i Stockholm. Sedan starten av NKS-projektet har en långsiktig och hållbar utveckling varit ett av de politiskt viktigaste målen. Det upprättade kontraktet ställer krav på certifiering av anläggningens egenskaper med avseende på till exempel innemiljö, inbyggda material och energiprestanda. Det medför ett standardiserat arbetssätt, krav och styrande dokument kopplade till verifiering av projektering, konstruktion och drift av anläggningen. I designskedet tog projektet fram en beräkningsmodell för att beräkna anläggningens förväntade energianvändning. Den framtagna modellen, som har namngetts till förvaltningsmodellen, utgör en central del för NKS:s energiuppföljning. I energiuppföljningen ska årligen ett målvärde beräknas i modellen som den uppmätta faktiska energianvändningen på NKS ska understiga.

I denna studie har ett arbetssätt för förvaltningsmodellen, en så kallad förvaltningsmetod, tagits fram och sedan applicerats på ett kliniskt driftsatt våningsplan på NKS. Brister och förbättringspotential som har uppmärksammats under utförandet av förvaltningsmetoden har sedan analyserats. Vidare utvärderar studien vad eventuella skillnader mellan uppmätt och simulerad energianvändning kan bero på samt om det finns någon anledning att öka noggrannheten i förvaltningsmodellen och i så fall hur.

Förvaltningsmetoden innefattar processer som rör både beräkning av faktiskt energianvändning, där manuella mätningar utfördes på våningsplanet, och beräkning av målvärde, där datainsamling, kalibrering och simulering utfördes. De parametrar som jämfördes i denna studie var energianvändningen för komfortvärme, komfortkyla och fastighetsel som tillsammans utgjorde den totala undersökta energianvändningen för våningsplanet. Det framkom att kalibrering av förvaltningsmodellen var en tidskrävande process vilket beror på att modellen är baserad på rumsnivå som i sin tur kräver uppdatering av data på stor detaljnivå. I processen datainsamling behövdes ett tillvägagångssätt för att samla in information från vårdverksamheten angående drifttider, användning av rum och utrustning tas fram. Framförallt med tanke på att det i framtiden ska kalibreras för hela NKS och inte bara ett våningsplan.

Faktisk energianvändning och målvärde representerades av uppmätt respektive simulerad energianvändning. Dessa jämfördes både före och efter successiva kalibreringar av modellen gjorts. Resultatet visar att den totala energianvändningen erhåller en låg avvikelse på 3,8 % mellan målvärde och faktisk energianvändning. Däremot finns större

avvikelser parametervis för uppvärmning, kyla och fastighetsel. Det framgick att delar av de antaganden som gjorts i den ursprungliga modellen med avseende på parametrar som drifttider, användning av rum och utrustning inte stämmer överens med verkligheten. Dessa parametrar behövde således anpassas så att en mindre avvikelse och positivare korrelation kan erhållas mellan uppmätt och simulerad energianvändning.

I denna studie dras slutsatsen att det finns förbättringspotential gällande förvaltningsmetoden och energiberäkningarna. Då förvaltningsmodellen är tänkt att sätta ett målvärde som den faktiska energiberäkningen ska understiga är det inte orimligt att avvikelser uppstår. Eftersom att NKS-projektet vid utförandet av denna studie var i ett tidigt stadium av driftsättning var inte syftet att få en exakt överensstämmelse mellan målvärde och faktiskt energianvändning. I studien har istället en förvaltningsmetod tagits fram och förbättringsfaktorer identifierats, vilka i framtiden kan ge förutsättningar för att uppfylla energikraven för sjukhuset.

Förord

Detta examensarbete har utförts av Alexander Ullén och Lucas Wiik som avslutande del i civilingenjörsutbildningen *System i teknik och samhälle* vid Uppsala universitet. Arbetet utfördes på uppdrag av Coor under perioden januari till juni 2018. Rapporten är i sin helhet sammanställd och producerad av bägge författare. Eftersom båda författarna varit delaktiga i samtliga avsnitt finns det inte någon mening att uppdelat författarskapet avsnittsvis.

Vi vill rikta ett stort tack till alla som har bidragit med hjälp under arbetsprocessen. Först skulle vi vilja tacka vår handledare Niclas Löf för möjligheten att genomföra detta arbete och det varma välkomnandet på företaget. Vi skulle vilja tacka vår ämnesgranskare David Lingfors för sin värdefulla input till arbetet och även ägna ett tack till Fredrik Karlsson och Mattias Berglund för deras stöd och värdefulla expertis under arbetets gång.

Slutligen vill vi även tacka vårdpersonalen som tog sig tid för intervjuer vilka hade stor betydelse för arbetets fortskridande.

Alexander Ullén och Lucas Wiik

Uppsala, juni 2018

Definitioner, akronymer och förkortningar

Definitioner

Anläggningen - De byggnader som bildar Nya Karolinska Solna (NKS).

Baselinemodell - En modell baserad på antagna förhållanden i projekteringsfasen gällande användning, drift och verksamhet. Baseras typiskt på energiprestanda, riktlinjer eller energimål.

Energiprestanda och energianvändning - Har i denna studie samma betydelse och avser, i kontexten om NKS, den energi i form av el, fjärrvärme och fjärrkyla som används i anläggningen. Anges i kWh/m² baserat på anläggningens uppvärmda yta (A_{temp}).

Faktisk energianvändning - Den energianvändning som mäts upp och som i bästa mån ska reflektera den verkliga energianvändningen. Avser den totala mängd fastighetsenergi (se nedan) som används i anläggningen.

Fastighetsenergi - Den energi som är knuten till fastigheten, i den här studien avgränsad till kylning och uppvärmning av fastigheten samt fastighetsel.

Förvaltningsmodellen - Den modell som framtagits för att beräkna NKS:s förväntade energianvändning. I NKS-projektet har förvaltningsmodellen samma betydelse som Energiberäkningsmodellen och Energimodellen.

Förvaltningsperioden - Den period som följer efter testperioden (se nedan) då NKS ska förvaltas.

Målvärdet - Den energianvändning som förvaltningsmodellen beräknar vilket den faktiska energianvändningen ska understiga. Avser den totala mängd fastighetsenergi som används i anläggningen.

Mätperioden - Den tidsperiod som energiuppföljningen i denna studie avsåg att undersöka, det vill säga samma period som de manuella mätningarna utfördes under. I NKS-projektet utgör mätperioden, med intervall om 12 månader, vad som i denna studie namngetts förvaltningsperioden.

Manuella mätningar - De mätningar som fysiskt utfördes för att komplettera mätdata från den permanent installerade mätutrustningen.

Testperioden - Den 5-åriga period som följer efter byggnation då NKS ska driftsättas och driftpersonalen ska lära känna anläggningen.

Verklig energianvändning - Den energi som anläggningen använder.

Verksamhetsenergi - Den energi som är knuten till SLL:s verksamhet, till exempel verksamhetsel från klinisk utrustning såsom röntgenutrustning och magnetkameror.

Akronymer och Förkortningar

BBR - Boverkets Byggregler

BMS - Building Management System - Byggautomatiseringssystem

FM-tjänster - Facility Management service - Fastighet- och arbetsplatstjänster

IPMVP - International Performance Measurement and Verification Protocol

M&V - Measurement and Verification

NKS - Nya Karolinska Solna

OPS - Offentlig Privat Samverkan

RFP - Rumsfunktionsprogram

SHP - Swedish Hospital Partners

SLL - Stockholms Läns Landsting

Sveby - Standardisera och verifiera energiprestanda för byggnader

VVS - Värme, Ventilation och Sanit

Innehållsförteckning

1.	Inledning	1
1.1	Syfte	2
1.2	Avgränsningar och begränsningar	2
2.	Bakgrund.....	3
2.1	Nya Karolinska Solna	3
2.2	Miljömål och energikrav.....	4
2.2.1	Boverkets byggregler.....	4
2.2.2	Miljöbyggnad	5
2.2.3	LEED – certifiering.....	5
2.2.4	Nationella och regionala miljömål.....	5
2.3	Energi på NKS.....	6
2.4	Beräkning av NKS:s faktiska energianvändning	8
2.5	Energiuppföljning.....	8
2.5.1	Sveby.....	8
2.5.2	IPMVP.....	10
2.5.3	Kalibrering	12
2.6	Förvaltningsmodellen	13
2.6.1	Beräkningsprogram – IDA ICE	14
2.6.2	Årlig datainsamling till modell	16
2.7	Förutsättningar för NKS:s energiuppföljning	18
3.	Metod.....	20
3.1	Studieobjekt.....	20
3.2	Energikartläggning.....	20
3.3	Beräkning av våningsplanets faktiska energianvändning	21
3.4	Manuella mätningar	22
3.4.1	Utgångspunkt	22
3.4.2	Mätutrustning.....	23
3.4.3	Mätpunkter.....	23
3.4.4	Utförande	24
3.4.5	Mätnoggrannhet	24
3.5	Datainsamling till förvaltningsmodellen under mätperioden.....	25
3.5.1	Intervju- och platsbesöksmetodik	26
3.6	Kalibrering och uppdatering	27
3.7	Modellsimulering.....	27
3.8	Resultathantering och resultatuppföljning	28

3.9	Metodsammanfattning	28
3.10	Riskhantering	30
3.10.1	Faktisk energianvändning	31
3.10.2	Simulerad energianvändning	32
4.	Resultat	34
4.1	Baseline	34
4.2	Kalibrering	38
4.2.1	Första omkalibreringen	40
4.2.2	Andra omkalibreringen	44
5.	Känslighetsanalys	48
5.1	Interna laster och tidsschemans inverkan på simuleringarna	48
5.2	Klimatdatans inverkan på simuleringarna	51
6.	Diskussion av förvaltningsmetod	53
7.	Slutsatser	56
8.	Fortsatta studier	58
	Referenser	59
	Interna källor	59
	Internetkällor	59
	Tryckta källor	60
	Muntliga källor	61
	Appendix A	62
	Appendix B	63
	Appendix C	64
	Appendix D	65
	Appendix E	67
	Appendix F	74
	Appendix G	75

1. Inledning

Med målsättningen att begränsa klimatförändringarna har EU gett direktiv gällande byggnaders energiprestanda (Europeiska unionens officiella tidning, 2012). I Sverige har direktivet resulterat i hårda krav på minskad energianvändning i byggnader (Energimyndigheten, 2017). För att tillgodose kraven blir det allt viktigare att föreslå energieffektiva lösningar, bygga som planerat och följa upp byggnaders energianvändning. Energiuppföljning sker vanligtvis i förvaltningsskedet av en byggnads livstid, det vill säga efter projektering och byggnation, när byggnaden driftsatts. Genom att följa upp en byggnads energianvändning kan en bättre kontroll av byggnadens energianvändning fås samtidigt som det går att säkerställa att ställda krav uppfylls. Det möjliggör en bättre förståelse kring när och var energi i en byggnad används samt vilken effekt implementerade energieffektiviseringsåtgärder har. Ett vanligt inslag i energiuppföljning är huruvida en teoretiskt beräknad energianvändning, som till exempel kan beräknas av en energiberäkningsmodell, stämmer överens med verkligheten vilket kan hjälpa till att identifiera och åtgärda eventuella fel och brister i byggnaden och dess energisystem (Sveby, 2012a).

Av Sveriges totala energianvändning svarar sektorn bostäder och service, där offentliga byggnader såsom sjukhus ingår, för 40 procent (Naturvårdsverket, 2017a). Nya Karolinska Solna (NKS), som är ett nybyggt sjukhusområde i Stockholm, är ett exempel på en anläggning vars energianvändning utgör en del av dessa 40 procent. EU:s energieffektiviseringsdirektiv ligger till grund för många av de energikrav som framställs både inom och utom Sverige (Energimyndigheten, 2017). Projekteringen, byggnationen och förvaltningen av NKS är inget undantag angående dessa krav då det finns stora satsningar på långsiktig och hållbar utveckling. Ett miljöprogram för NKS har satts upp som bland annat baseras på boverkets byggregler (BBR), miljöbyggnad samt nationella och regionala miljömål (NKS, 2010).

För förvaltning och energiuppföljning på NKS har en så kallad förvaltningsmodell tagits fram. Den används för att ställa krav och kontrollera anläggningens energiprestanda genom att beräkna det förväntade energibehovet vilket sedan utgör ett målvärde som anläggningens uppmätta faktiska energianvändning ska understiga. En jämförelse mellan målvärdet och den faktiska energianvändningen är tänkt att göras årligen för att se om anläggningen når upp till det kontrakterade kravet (NKS, 2010).

I samband med NKS:s driftsättning uppstår en komplexitet kring hur modellen ska förvaltas. Komplexiteten ligger i hur väl modellen stämmer med det verkliga systemet i drift. Vilken data och vilka parametrar som krävs, vilka som har störst inverkan samt hur modellen ska följas upp är relevanta frågor i sammanhanget. Samtidigt finns det ett intresse att ha en tillräckligt noggrann modell utan att den blir för tid- och kostnadskrävande att förvalta.

1.1 Syfte

Syftet med denna studie är att ta fram ett arbetssätt för uppföljning av förvaltningsmodellen på NKS. Ett förslag till förfarande av förvaltning, en förvaltningsmetod, har tagits fram och sedan applicerats på ett kliniskt driftsatt våningsplan på sjukhuset. Utefter detta har brister och förbättringspotential analyserats. För att uppnå syftet togs följande frågeställningar fram.

- Vilka processer och steg krävs i förvaltningsmetoden?
- Vad beror eventuella skillnader i uppmätt och simulerad energianvändning på?
- Finns det en anledning att öka noggrannheten i förvaltningsmodellens energiberäkning och i så fall hur?

1.2 Avgränsningar och begränsningar

Denna studie har avgränsats till att undersöka ett våningsplan på NKS. Anledningen till detta är dels att det blir en för omfattande undersökning om hela sjukhuset skulle tas med, dels att det tydligare går att göra en mer djupgående analys på ett utvalt våningsplan. Avgränsningen leder till att det förslag på förvaltningsmetod som har tagits fram i huvudsak inriktar sig på det undersökta våningsplanet. Däremot har ambitionen varit att metoden ska vara tillräckligt generell för att bli användbar för hela anläggningen.

Antalet tillgängliga mätinstrument begränsade omfattningen av mätningarna som genomfördes på våningsplanet. Då inte tillräckligt många mätinstrument kunde tillhandahållas för att mäta de komponenter som ingår i respektive parameter, som till exempel värme och kyla, kunde inte hela energianvändningen på våningsplanet undersökas. Däremot hade det ingen större inverkan eftersom att vid jämförelsen valdes motsvarande parametrar ut från förvaltningsmodellen. På så sätt bibehölls ett korrekt jämförelseunderlag.

Vidare begränsades mätperioden, som normalt är ett år, till en vecka. Det berodde huvudsakligen på tidsramen för denna studie samt att det inte fanns dokumenterat mätvärdesunderlag under en längre period för det undersökta våningsplanet.

Resterande avgränsningar och begränsningar beskrivs löpande under avsnitt 3.

2. Bakgrund

I detta avsnitt presenteras dokument kring NKS och förvaltningsmodellen för att få en övergripande bild av NKS-projektet och lägga en grund för dess förutsättningar. I avsnitt 2.1 presenteras information om NKS-projektet, dess uppsatta miljömål och energikrav, se avsnitt 2.2 samt hur energianvändningen ser ut, se avsnitt 2.3, och beräknas, se avsnitt 2.4. Studier och officiella dokument kring energiuppföljning, Standardisera och verifiera energiprestanda i byggnader (Sveby) och International Performance and Verification Protocol (IPMVP), presenteras i avsnitt 2.5. En bakgrund till förvaltningsmodellen redovisas i avsnitt 2.6 följt av förutsättningarna för NKS:s energiuppföljning i avsnitt 2.7.

2.1 Nya Karolinska Solna

Det så kallade NKS-projektet, som har involverat allt ifrån förstudier och upphandlingar till design, konstruktion och driftsättning, har pågått sedan 2006 och sätts i full drift 2018 (NKS, 2017a). ”Patienten alltid först” är ledordet för projektet vilket betyder att sjukhuset har utformats för att sätta patientens säkerhet och integritet i centrum. Sjukhuset ska bedriva avancerad sjukvård för de svårast skadade eller sjuka patienterna samt grundforskning, patientnära klinisk forskning och utbildning. Nya behandlingsmetoder och läkemedel för patienten ska främjas av en ökad samverkan mellan sjukvård och forskning (NKS 2014). I figur 1 visas en arkitektbild av NKS:s exteriör.



Figur 1. Arkitektbild av NKS. (Karlsson, 2017a)

NKS-projektet är världens hittills största OPS-projekt (offentlig privat samverkan). Det innebär att den privata sektorn tar ett långsiktigt åtagande att leverera service till offentlig beställare mot överenskomna funktionella krav. I NKS-projektet är den offentliga beställaren Stockholm läns landsting (SLL) som har skrivit kontrakt med det privata bolaget Swedish Hospital Partners (SHP) (Coor, 2017). SHP har i sin tur kontrakt med

andra privata bolag såsom Skanska Healthcare, som ansvarar för projektering och byggnation av sjukhuset, och Coor, som ansvarar för drift och underhåll av sjukhuset (Skanska, 2018).

I december 2017 färdigställde Skanska Healthcare den sista byggnaden vilket innebar att byggprojektet avslutades (NKS, 2017b). Det färdigbyggda NKS är fördelat på en yta av 330 000 m², har 630 patientrum, 36 operationsrum och 7 000 anställda. För Coor, som har kontrakt fram till år 2040, återstår arbetet att kontinuerligt koordinera, utveckla och leverera alla fastighets- och arbetsplatstjänster (FM-tjänster) till NKS. Bland dessa tjänster ingår områden som fastighetsdrift, arbetsplatsservice, logistiktjänster och kommersiella tjänster. Ett viktigt ansvarsområde inom fastighetsdriften är själva energianvändningen för anläggningen. Det handlar om att kontrollera och övervaka hur mycket energi som går åt och att drifva anläggningen optimalt för att nå upp till miljömål och energikrav (Coor, 2017).

2.2 Miljömål och energikrav

Kring byggnationen av NKS är en långsiktig hållbar utveckling ett av de politiskt viktigaste målen. Miljö- och hållbarhetsmålen har inkluderats sedan planeringen av NKS påbörjades. Som underlag för dessa mål har ett miljöprogram utformats vilket är en samling styrande dokument om miljökrav samt krav på verifiering för projektering, byggnation och driftsättning av anläggningen. Vidare inkluderar miljöprogrammet krav på utemiljön samt inomhusmiljöns utformning där aspekter som miljöpåverkan på omgivande byggnader, resursanvändning och kretsloppsanpassning är viktiga delar. Kopplat till energianvändning är miljöprogrammet av stor vikt. I programmet finns tydliga krav på inflöden till fastigheten vilket innebär att genom aktiva insatser baserade på hushållning av resurser som används vid tillbyggnad, drift och verksamhet ska miljöpåverkan minskas. I sin tur innebär detta krav på att minska mängden energi som används i fastigheten vilket till exempel kan ske genom energieffektiviseringar. För att minimera negativ miljöpåverkan som verksamheten medför, inkluderas krav för att minimera utsläpp och energianvändning. Som grund till de nämnda kraven ligger flertalet styrande dokument och miljömål. Under detta avsnitt kommer de styrande dokument som är av vikt för energianvändningen kortfattat gås igenom för att illustrera det bakomliggande regelverket som ligger till grund för NKS:s förutsättningar för energianvändning (NKS, 2010).

2.2.1 Boverkets byggregler

Boverkets byggregler (BBR) anger ett standardiserat minimikrav på nykonstruerade byggnader vilka innefattar flertalet tekniska egenskapskrav på miljö och energianvändning. I en konsoliderad version av BBR beskrivs att "Byggnader ska vara utformade så att energianvändningen begränsas genom låga värmeförluster, lågt kylbehov, effektiv värme- och kylanvändning och effektiv elanvändning" (Boverket, 2017, s. 135). För NKS ska föreskrifterna i BBR hållas som minimikrav genom hela

anläggningen. Inkluderat i detta är bland annat krav på högsta energiprestanda i kWh/m² samt krav på uppföljning och mätning av energiförbrukning (NKS, 2010).

2.2.2 Miljöbyggnad

Systemet för miljöbyggnad är ett svenskt system som är till för att klassa byggnaders totala miljöprestanda och baseras bland annat på energianvändning, inomhusmiljö samt använda material (SGBC, 2017). I NKS:s miljöprogram står det att anläggningen ska ha en så hög miljöklass som möjligt (NKS, 2010). Den högsta miljöklassen inom systemet är guld vilket innebär flera krav, bland annat att energianvändningen ska understiga 65 % av kraven i BBR för alla byggnader samt 50 % för specifika lokal- och handelsbyggnader till vilka mycket spillenergi genereras. Vidare sätts kriterier på ventilationsflöden och värmeeffektbehov vilka återspeglas i miljöprogrammet kopplat till energi (SGBC, 2014a).

2.2.3 LEED – certifiering

LEED står för Leadership in Energy and Environmental Design och är ett internationellt miljöklassningssystem som används för att ge en helhetsbedömning av byggnadens energiprestanda och miljöpåverkan (SGBC, 2014b). LEED förekommer i fyra olika klasser där NKS har erhållit den näst högsta, LEED-guld-certifiering, i första delen av projektet. Under driftsättningen år 2018 kommer anläggningen att utvärderas och certifieras igen (NKS, 2010). Klasserna baseras på en checklista där poäng ges för varje uppfyllt krav och för att nå en LEED-guld-certifiering måste 60–79 % av poängen erhållas. I den del av certifieringen som rör energi finns bland annat krav på driftsättning och verifiering, lägsta energiprestanda, optimering av energiprestandan samt hantering av kylsystemet (U.S.GBC, 2014).

2.2.4 Nationella och regionala miljömål

Utöver byggcertifieringssystemen influeras NKS även av nationella och regionala miljömål. På nationell nivå finns riksdagens 16 miljö kvalitetsmål, vilka ger vägledning för det svenska miljöarbetet (Naturvårdsverket, 2017b). Särskilt intressant för NKS, kopplat till ramen för denna studie, är målen om begränsad klimatpåverkan och god bebyggd miljö. Begränsad klimatpåverkan berör projektet främst då det inverkar på energianvändningen och energiförsörjningen av sjukhuset. Vidare inverkar den på val av byggmaterial i anläggningen. Målet kring god bebyggd miljö påverkar anläggningen mest då majoriteten av projektets miljöaspekter är kopplad till målet, exempelvis att ha en god inomhusmiljö och en miljöfokuserad energianvändning (NKS, 2010).

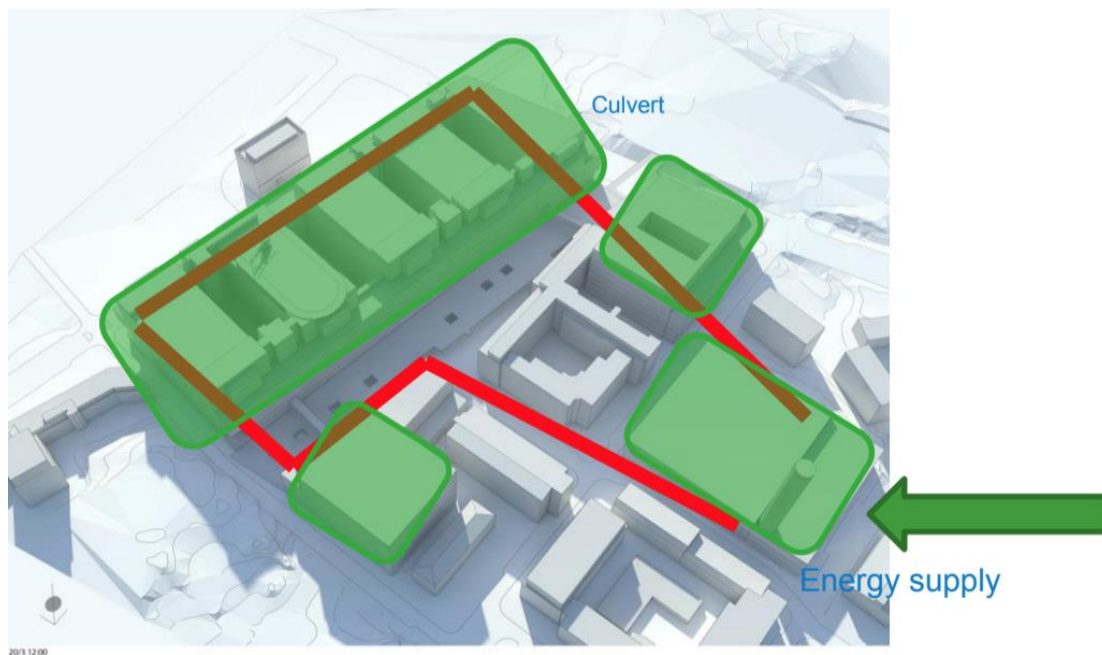
På regional nivå inverkar SLL:s miljöprogram på utformningen av NKS (NKS, 2010). Programmet innehåller specifikationer för de viktigaste gemensamma målområdena och anger hur landstinget ska kunna minska sin miljöbelastning inom dessa. Riktlinjerna för programmet baseras på styrande principer och uppföljning. De styrande principerna grundas i att landstingets förvaltningar och bolag tar hänsyn till landstingets

kärnverksamheter samt bibehåller en god kvalitet i verksamheterna. Några relevanta styrande principer är att i första hand använda förnybar energi, sätta krav på energiprestanda vid nybyggnationer, använda energieffektiv utrustning och säkerställa att verksamheterna arbetar resurseffektivt. Uppföljning av riktlinjerna sker i samråd med landstingets ledningsprocess och resultat ska redovisas årligen i landstingets miljöredovisning (SLL, 2016).

2.3 Energi på NKS

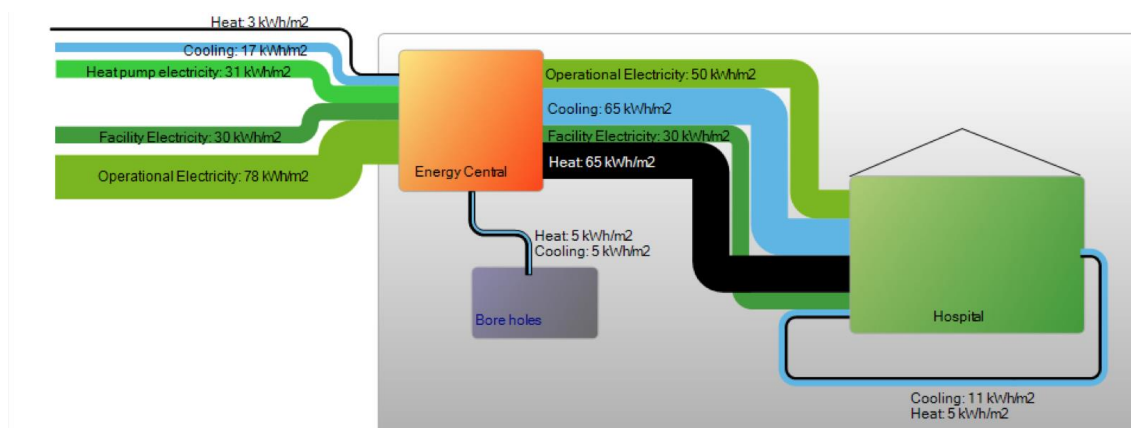
De miljö- och hållbarhetsmål som presenterades i föregående avsnitt sätter naturligtvis krav på energianvändningen i anläggningen. För att tillgodose detta har NKS byggts i material som är resurssnåla genom hela anläggningens livslängd. Materialen är även väl beprövade och baserade på förnyelse- och återvinningsbara råvaror. Utöver detta har en rad energieffektiva åtgärder implementerats i NKS-projektet. Exempelvis har NKS en dubbelskalsfasad med solavskärmning vilket möjliggör reglering av in- och utsläppt värme från solljus. Dagsljus- och närvarostyrd belysning samt närvarostyrd ventilation är andra exempel på energibesparande lösningar. Det finns individuell energimätning inom olika enheter, uppdelat på verksamhetsel och fastighetsel, som ligger till grund för kontinuerlig uppföljning av energianvändningen. NKS har även energisnåla installationer och energiåtervinning (NKS, 2017c), till exempel elregenererande hissar och värmeåtervinning i luftbehandlingsaggregat (Karlsson, 2017a).

För att NKS hela tiden ska kunna upprätthålla sin funktion och inte störas av eventuella avbrott sker energiförsörjningen avbrottsfri genom två redundanta och separerade stråk. Dessutom utgörs energiförsörjningen av grön energi, det vill säga att den kommer från förnyelsebara källor. Huvuddelen av energiförsörjningen kommer från en lokal energicentral med tre geotermiska värmepumpar som producerar både värme och kyla vilket kombineras med ett geologiskt värme- och kylager. Lagret består av 150 borrhål som kan förse NKS med kyla som lagrats från vintern samt värme som lagrats från sommaren (Karlsson, 2017b). För att transportera energin från energicentralen används en kulvert som går igenom de byggnader som behöver värmas och kylas, se Figur 2. När energibehoven inte kan täckas av energicentralen och den återvunna energin inom sjukhuset, används även fjärrvärme och fjärrkyla från förnybara källor (NKS, 2017c). I Figur 2 nedan visas energitransporten från energicentralen till anläggningen.



Figur 2. Energitransport från energicentralen. Röda linjen representerar kulverten medan de grönmarkerade yorna är de byggnader som värms och kyls. (Karlsson, 2017b)

En förväntad uppdelning av energityper som inkommer till och utgår från energicentralen visas i Figur 3 nedan. Den ingående energin till energicentralen motsvarar köpt energi medan den utgående energin motsvarar sjukhusets energianvändning. Energityperna som kopplas till användningen på NKS består av verksamhetsel, kyla, fastighetsel och värme. I den köpta energin ingår även elektricitet till värmepumparna vilket däremot inte undersöks i denna studie som endast fokuserar på utgående energi från energicentralen.



Figur 3. Flödesschema för uppdelning av energi i NKS:s energikretslopp. (Karlsson, 2017b)

2.4 Beräkning av NKS:s faktiska energianvändning

För att beräkna den faktiska energianvändningen på sjukhuset har *Mätarplan för energimätning* (Karlsson, 2016), upprättats av Fredrik Karlsson, konsult på Sweco. I planen inkluderas krav på redovisning och ekvationer som är nödvändiga för de energiberäkningar, rörande NKS:s faktiska energianvändning, som krävs för redovisning till SLL. Denna redovisning skiljer sig från redovisningen som sker till exempel BBR, LEAD och Miljöbyggnad, se vidare avgränsningar kring detta i avsnitt 2.7. Då det finns flertalet mätare som är av relevans summeras dessa under så kallade fiktiva mätare. Bidrag från de olika mätarna summeras till de nyckeltal som krävs för redovisningen. Ett exempel på en fiktiv mätare är fastighetselen för en byggnad där alla undermätare på varje våning summeras till en enskild för hela huset vid beräkningar. För att beräkna den faktiska energianvändningen, E_f , för sjukhuset används

$$E_f = \frac{E_{uppv} + E_{kyl} + E_{f.el} + E_{förlust}}{A_{temp}} \quad (1)$$

där E_{uppv} och E_{kyl} står för energin som går till uppvärmning respektive kylning av anläggningen, $E_{f.el}$ för fastighetselen och A_{temp} för den area som behöver värmas upp mer än 10° C. $E_{förlust}$ står för transportförlusterna från energicentralen via kulverten ut till byggnaderna.

2.5 Energiuppföljning

En energiuppföljning kan göras på flera olika sätt men den har alltid samma ändamål - att säkerställa och verifiera att en uppförd byggnad använder den mängd energi som den är avsedd för. Under ett byggnadsprojekts gång, vilket involverar faser som projektering, uppförande och förvaltning, finns det flera faktorer som kan leda till att den verkliga energianvändningen avviker från den förväntade. Det är därför viktigt att följa upp en byggnads energianvändning. I Sverige är BBR navet i det regelverk entreprenörer och byggherrar måste förhålla sig till. Sveby är ett av de vanligast förekommande arbetssätten till energiuppföljning i Sverige och byggbranschens tolkning av BBR. Utanför Sverige finns bland annat IPMVP som också används vid energiuppföljning och särskilt i de fall där ett beräkningsprogram är implementerat. I detta avsnitt kommer först Sveby:s arbetssätt att presenteras följt av IPMVP:s arbetssätt. Slutligen presenteras processen för att kalibrera en energiberäkningsmodell.

2.5.1 Sveby

Sveby är ett utvecklingsprogram med funktion att ta fram hjälpmedel för överenskommelser om energianvändning som riktar sig till berörda aktörer, som till exempel fastighetsägare, exploatörer, entreprenadföretag och konsulter. Med utgångspunkt i BBR kan programmet standardisera brukardata för energiberäkningar samt hur verifiering av en byggnads energiprestanda ska gå till. På så sätt kan en bättre kontroll av en byggnads förväntade och faktiska energianvändning fås, vilket är ett viktigt

mål i uppföljningen av byggnaders energianvändning. Flertalet större företag och intresseorganisationer inom byggbranschen, som till exempel Skanska, Peab och NCC, har tagit fram och godtagit Sveby:s material (Sveby, 2018a).

Det finns flera arbetsdokument som Sveby tagit fram som rör energiaspekter i samband med byggprocessen. Dokumenten utgör hjälpmedel i processen att projektera för, genomföra och följa upp en byggnads energianvändning. Arbetssättet som Sveby arbetar utefter beskrivs i Figur 4 (Sveby, 2018b).



Figur 4. Visuellt representation av Sveby:s arbetssätt. (Sveby, 2018)

I det första steget, *Krav*, sätts överenskommelser upp om byggnadens energianvändning vid normalt brukande. Det kan vara lagkrav från BBR eller ännu hårdare krav såsom miljöcertifieringar, som bestämts mellan aktuella aktörer, till exempel byggherre och entreprenör. I det andra steget, *Beräkning*, tillhandahåller Sveby normaliserade brukarindata för beräkningar av byggnadens förväntade energianvändning. Dessa utförs under flera skeden i varje byggnadsprojekt. I tidiga skeden används många referens- och schablonvärden då få detaljer fastställts och verkliga värden inte finns tillgängliga vilket leder till stora osäkerheter i den förväntade energianvändningen. Under byggprocessen utförs uppdaterade energiberäkningar baserat på förändringar i underlag och byggnad. När byggnaden är uppförd kan beräkningar och simuleringar utföras för att korrigera uppmätt energiprestanda för eventuella avvikelser. Det tredje och sista steget, *Verifiering*, fokuserar på att säkerställa att uppmätt energiprestanda motsvarar avtalad energiprestanda. Detta steg innehåller nyttig information till förvaltningen på NKS där en viktig del ligger i att uppmätt energianvändning ska understiga ett målvärde.

I Sveby:s framtagna dokument Energiprestandaanalys förklaras riktlinjer för att verifiera att energikrav uppfylls. Arbetsprocessen som beskrivs är ett verktyg för att härleda avvikelser mellan kontrakterad och uppmätt energianvändning. I de fall där uppmätt energiprestanda överstiger det kontrakterade värdet ger analysen svar på vad detta kan bero på. De identifierade orsakerna kan därefter åtgärdas för en mer kontrollerad energiförbrukning i byggnaden. Även i de fall där uppmätt energiprestanda överensstämmer eller understiger det kontrakterade värdet är analysen användbar. Olika orsaker som inte predikteras för kan kompensera, förstärka eller försvaga varandra vilket leder till en okontrollerad energiförbrukning. Därför behöver en analys alltid göras för att

följa upp uppmätt och kontrakterad energiprestanda oavsett om det finns avvikelser eller inte (Sveby, 2012a).

Avvikelser som kan identifieras i analysen delas in i sådana som byggherre eller entreprenör kan respektive inte kan råda över. Exempel på avvikelser som räknas som ej rådiga är när byggnadens utnyttjandegrad, använd verksamhetsel eller antal brukare inte samstämmer med det som projekterats för. Även ett utomhusklimat, som en normalårskorrigerig inte kompenserar tillräckligt för, räknas dit. Exempel på avvikelser som räknas som rådiga är när utförda energiberäkningar eller uppmätt energiprestanda inte har tillräckligt hög noggrannhet. Byggnadens klimatskal eller installationer kan också visa sig ha otillräcklig prestanda för att uppfylla de krav som satts upp (Sveby, 2012a).

Energiprestandaanalysen utförs förenklat sett i tre olika steg.

- 1) Energiprestanda beräknas baserat på mätningar från uppvärmning, tappvarmvattenanvändning, komfortkyla och fastighetsel. Energikrav verifieras eller avvikelser noteras.
- 2) Översiktlig analys utförs för att indikera trolig orsak till avvikelse.
- 3) Verifiering av att avvikelse är riktig sker (Sveby, 2012a).

Om till exempel en byggnads kyl- eller värmeanvändning avviker från det kontrakterade värdet finns det flera möjliga förklaringar till varför detta sker. För det första, kan det innebära att något har gått fel i antingen uppmätning eller energiberäkning, vilket ger upphov till en rådig avvikelse. För det andra, kan det innebära att felet är relaterat till verksamheten och brukarna, det vill säga en ej rådig avvikelse. Till exempel kan det bero på att byggnaden har andra drifttider än vad den projekterats för. En ökning av drifttider ger ökad internvärme, från verksamhetsel och personlast, vilket leder till ett mindre värmebehov men större kylbehov. Samma konsekvenser fås ifrån en högre nyttjandegrad under projekterad drifttid. En högre nyttjandegrad ökar även fastighetselen på grund av större användning av hissar. (Sveby, 2012a).

2.5.2 IPMVP

IPMVP är en metod för att definiera standarder och föreslå relevanta tillvägagångssätt för att kvantifiera resultat relaterade till energihantering. I detta inkluderas energieffektivisering, investeringar i energi och vatteneffektivisering samt behovshantering för nykonstruktioner. Målet är att etablera tydliga riktlinjer för yrkesverksamma som eftersträvar att verifiera energibesparingar för antingen en komponent eller en hel byggnad i en nykonstruktion. Vidare används IPMVP för att erhålla poäng i miljöcertifieringssystemet LEED, se avsnitt 2.2.3. För att motivera användandet av IPMVP beskrivs ett antal faktorer som är applicerbara i nykonstruktioner. Genom att använda en tydlig plan för uppföljning kan energibesparingarna ökas eftersom ett noggrant fastställande av dessa ger anläggningsförvaltarna värdefull återkoppling kring driften av verksamheten, vilket möjliggör korrigering för att öka energieffektiviteten samt minska risken för avvikelser i energiuppföljningen. En tydlig

plan underlättar även för anläggningsförvaltare vid drift- och underhållsfelsökning, vilket är särskilt värdefullt vid ett systems första år i drift då det är som mest varierande. IPMVP är även ett användbart verktyg vid prestationsrelaterade kontrakt då det kan estimerar energikonsumtionen samt verifiera att exempelvis ett specifikt målvärde efterföljs. Detta ger ökad erfarenhet och kunskap kring byggnadens prestanda, vilket i sin tur kan leda till mer tillförlitliga besparingsprognoser för kontraktets uppföljning (IPMVP, 2003).

För att etablera en plan för energiuppföljning i en byggnad behöver en baselinemodell tas fram. En baselinemodell har syftet att beskriva byggnaden eller systemets prestanda innan det modifierats. Den ska ge en uppfattning av hur byggnaden ser ut i dess grundform och utgör ett jämförelseverktyg för åtgärders inverkan. En baselinemodell kan baseras antingen på utförda mätningar i en fysiskt existerande byggnad innan energiåtgärder implementerats, alternativt på en datormodell då mätningar ej är möjliga. I en nykonstruktion är baselinemodellen helt datorbaserad då byggnaden fysiskt inte existerar. I dessa fall definieras baselinemodellen istället av andra faktorer som exempelvis regleringar, dokumenterade byggkrav eller likvärdiga konstruktioner (IPMVP, 2003).

Baselinemodellen definieras normalt i starten av ett projekt men kan omdefinieras under projektets gång. Utvecklandet av baselinemodellen kan således ses som en löpande process där den uppdateras beroende på vilka perspektiv som ska undersökas samt vilken karaktär framtida konfigurationer kommer att ha i byggnaden. Baselinemodellen har därför en tendens att utvecklas tills dess att byggnadsdesignen i stort sätt är färdigställd (IPMVP, 2003).

I planen för energiuppföljning beräknas energibesparingarna för en ny byggnad genom att jämföra den uppmätta energianvändningen för den driftsatta byggnaden med den förväntade energianvändningen för baselinemodellen. Jämförelserna ska ske under samma förutsättningar och baseras på samma tidsperiod. Värdet på energibesparingarna är skillnaden mellan uppmätt och förväntad energianvändning. Förändringar i den nya byggnaden ska i dessa fall inte endast påverka den uppmätta energianvändningen i drift utan ska i många fall även uppdateras i baselinemodellen. Förändringarna som även ska uppdateras i baselinemodellen baseras på mätbara parametrar såsom väderförändringar, drift- och verksamhetstider samt nyttjandegrad. Att implementera väderförändringar är en viktig aspekt vid energiuppföljning. Antalet väderrelaterade parametrar beror på beräkningsprogrammets komplexitet och kan variera från att endast inkludera en parameter med låg upplösning, exempelvis dygnsmedeltemperaturer, till att inkludera flertalet parametrar med hög upplösning, exempelvis solinstrålning och vindhastighet på timbasis. Väderdatan ska implementeras så att den stämmer med tidsperioden som energiuppföljningen avser. Relevant tillvägagångssätt för att erhålla väderdata är att importera från statliga väderbyråer, exempelvis SMHI där data har validerats och visat sig tillförlitligt. Drift- och verksamhetstider samt nyttjandegrad ska sammanställas på liknande sätt där drifttider och den avsedda belägningsgraden samlas in under perioden för att baselinemodellen ska spegla den faktiska energianvändningen så att relevant jämförelsematerial kan erhållas gällande energiprestandan (IPMVP, 2003).

Energibehovet för den driftsatta byggnaden kan bestämmas genom manuell delmätning eller genom att använda en datormodell som sedan kalibreras med uppmätt indata för energianvändning. Den förväntade energianvändningen hos baselinemodellen bestäms genom simuleringar av baseline med samma klimat- och driftförhållanden som under den utsatta mätperioden. Vid simulering av byggnadens totala energibehov krävs en mycket noggrann datamodell som motsvarar den konstruerade byggnaden och dess baseline. Den färdigställda byggnadens simulerade energibehov jämförs således med det uppmätta energibehovet efter driftsättning. Signifikanta avvikelser ska adresseras och relevanta justeringar kalibreras i modellen för den färdigställda byggnaden. Likvärdiga korrigeringar ska, om möjligt, även tillämpas i baselinemodellen. Målet med kalibreringen är således att korrigera både den modellen för den färdigställda byggnaden och baselinemodellen för att erhålla relevant data vid jämförelse samt minimera felmarginalen i den förväntade energianvändningen (IPMVP, 2003).

2.5.3 Kalibrering

För att på ett pålitligt sätt kunna använda en modell måste den representera byggnadens system i drift. Därför är revisioner av byggnaden och övervakning av energianvändningen viktiga delar i modelleringsprocessen. Om baselinemodellen kan generera utfall som ligger nära den uppmätta energianvändningen i en byggnad, ökar trovärdigheten att modellen kan ge korrekta estimeringar kopplat till energibesparingar och förhållanden till målvärden. För att möjliggöra en högre korrelation mellan simuleringsresultat och uppmätt energianvändning, kalibreras indata till simuleringarna för att matcha dess faktiska motsvarigheter i byggnaden (Heo m.fl., 2012). Det vanligaste måttet på korrelation är Pearsons produkt-moment-korrelation, r , som beräknas enligt

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N ((X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

för N parvisa observationer av X och Y . Korrelationsfaktorn, r , antar ett värde mellan -1 och 1 där värden nära -1 tyder på en negativ korrelation, 0 ingen korrelation och 1 en positiv korrelation (Puth, 2014).

Kalibrering är en vida accepterad modelleringsprocess för analys av byggnader (Ahmad och Culp, 2006; Reddy, 2006; Yoon m.fl., 2003). Indata kan till viss del kalibreras genom manuella mätningar i byggnaderna, det vill säga de som är fysiskt observerbara och mätbara. En term för att beskriva processen för granskning av en byggnad och fastställa observerbara parametrar för simuleringsmodellen är operativa justeringar. I denna term inkluderas generellt, byggnadsbesök, fältprovtagningar av installerade system samt intervjuer med personal och byggchefer angående drifttider och liknande. De operativa justeringarna är en viktig del av kalibreringsprocessen då en driftsatt byggnad ofta avviker från den planerade designen (Heo m.fl., 2012).

Kalibrering av en modell inkluderar inte endast parametrar som är direkt observerbara. En term för att beskriva processen för att definiera och sätta värden på de icke observerbara parametrarna är parameterestimering. Denna process sker generellt genom användandet av en heuristisk metod (Heo m.fl., 2012). En heuristisk metod är ett tillvägagångssätt för problemlösning vilken använder sig av praktiska estimeringar vilka inte är garanterade att vara optimala men tillräckliga för det som försöker åstadkommas. Denna typ av metod används oftast där det initialt är svårt eller opraktiskt att finna den optimala lösningen. Det heuristiska tillvägagångssättet hjälper således till att snabba upp processen för att finna en tillfredsställande lösning inom ramen för undersökningen (Marti och Reinelt, 2011, ss. 17–40). Vid energiuppföljning innebär det att ett urval av parametrar tas fram vilka sannolikt påverkar modellens resultat. Den mest tillfredsställande kombinationen av parametrarna tas sedan fram genom att iterativt simulera modellen med olika parametervärden tills det att skillnaden mellan uppmätt och simulerad energianvändning är godtagbar. Genom användandet av detta tillvägagångssätt erhålls en tillräckligt bra kombination av parametervärden vilka bidrar till en mer representativ modell för energiuppföljning (Heo m.fl., 2012). Processen ovan är exempel på den mest vanligt förekommande kalibreringsmetoden som alltså sker genom att iterativt ändra värden på några viktiga modellparametrar (Coakley m.fl., 2014).

Vid kalibrering av modeller finns det en del osäkerheter kring deras representativitet av verkligheten. Kvaliteten av modellen förlitar sig till stor del på den subjektiva bedömningsförmågan hos den som utför parameterestimeringen. Vidare är det svårt att avgöra vilken kombination av parametervärden som ger den bästa representationen av verkligheten, trots att uppmätt och simulerad energianvändning överensstämmer. Det beror på att flertalet kombinationer kan ge ett representativt värde men av olika anledningar. Det kommer alltid att finnas osäkerheter vid parametervärden, oberoende av vilken modell som simuleras. En modell är tänkt att ge en så nära representation av verkligheten som möjligt och beskriver snarare hur det ska se ut än hur det faktiskt är (Heo m.fl., 2012).

2.6 Förvaltningsmodellen

För att möjliggöra en kontinuerlig uppföljning av NKS:s energiprestanda och dess förhållande till de uppsatta miljökraven används en förvaltningsmodell. Som grund till uppföljningen ligger att sjukhuset är tänkt att fullgöra sin funktion i minst hundra år framöver samt vara så generellt och flexibelt utformat att även framtida former av sjukvård ska kunna bedrivas där. Avdelningarna ska vara ombyggningsbara och kunna byta plats för att anpassas efter varierande behov. Baserat på detta är det viktigt att bibehålla en kontinuerlig uppföljning av anläggningens förväntade energibehov till vilket en förvaltningsmodell har implementerats. Modellen är baserad på miljökraven, beskrivna i avsnitt 2.2, och har som syfte att beräkna ett målvärde för sjukhuset som den faktiska energianvändningen ska understiga. Resultaten från modellen ska således årligen jämföras med den verkliga anläggningen i drift för att kontrollera om målvärdet uppfylls samt var det finns effektiviseringspotential (NKS, 2010).

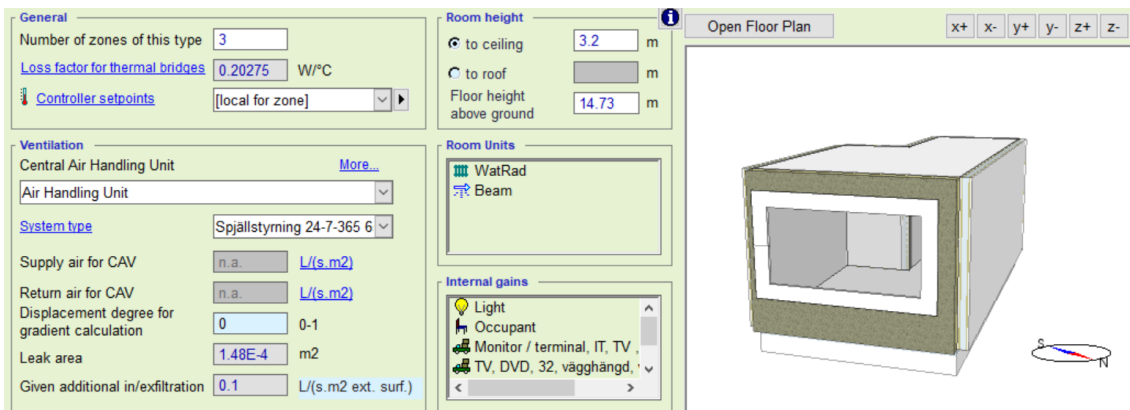
Modellstrukturen är uppbyggd av en mängd rumsklasser för att hantera en stor och komplex anläggning. Rumsklasserna har samma typ av inventarier men modelleras enskilt beroende på geometri och grupperas per våningsplan till en planmodell. De får således varierande faktorer beträffande storlek och solinstrålning beroende på var i våningsplanet de är lokaliserade. Den sammanlagda energianvändningen för sjukhuset fås genom att summera alla planmodellers energianvändning (Karlsson, 2017c).

Modellen ska enligt kontraktet årligen uppdateras för att representera anläggningen i drift. För att kunna få relevanta jämförelseunderlag mellan modellens beräknade värden och anläggningens uppmätta värden behöver modellen således kalibreras. Eftersom modellen använder aktuella väderdata från SMHI behövs igen normalårskorrigering göras. Vid förändringar i verksamhet eller i byggnader behöver modellen kalibreras med verkliga värden på verksamheten, det vill säga luftflöden och interna laster, dess storlek och varaktighet i tid (Karlsson, 2017c).

2.6.1 Beräkningsprogram – IDA ICE

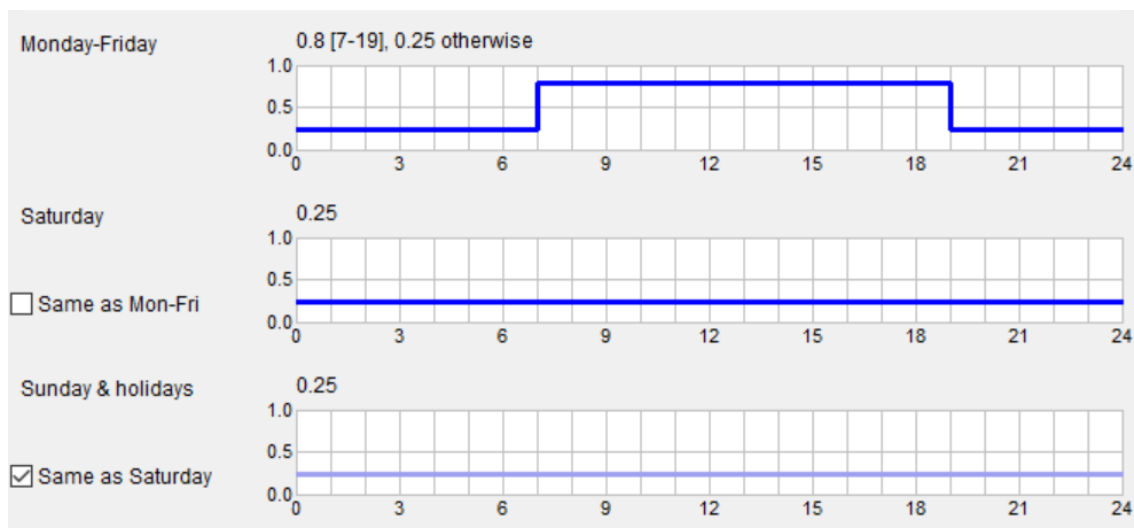
För att bygga upp samt simulera förvaltningsmodellen används programmet IDA ICE (Indoor, climate and energy). IDA ICE är ett byggnadssimuleringsprogram som används för att modellera byggnader, dess system och kontrollera uppföljning av energianvändningen. Programmet är utformat för att ha möjlighet att täcka alla aspekter vid byggnadssimulering och således krävs inga ytterligare programvaror. Simuleringen utförs vanligtvis dynamiskt över ett år och ger resultat för energianvändning och inomhusklimat över flertalet zoner i den modellerade byggnaden. Programmet är designat för att simulera både enkla och avancerade fall och ger återkoppling i form av en 3D-miljö i realtid tillsammans med övergripande tabeller för resultat rörande energianvändning. I resultatet redovisas till exempel kylning, uppvärmning, fastighetsel, luftflöden och verksamhetsel vilka kan användas som jämförelsematerial mot verkliga system. (EQUA, 2018).

I förvaltningsmodellen på NKS implementeras varje rum enskilt och sammanställs till en modell över respektive våningsplan, så kallade planmodeller, se avsnitt 2.6. För varje rum finns flera parametrar vilka bestämmer rummets karakteristik gällande energiförbrukning. I Figur 5 visas ett urklipp från programmet som illustrerar ett vådrum i sjukhuset.



Figur 5. Exempel på vådrum i programmet IDA ICE. (EQUA, 2018)

Som framgår av Figur 5 inkluderas flertalet parametrar för modelleringen av ett rum. Varje vägg, golv, tak och fönster modelleras baserat på läge, material och isolering och illustreras i en 3D-figur. Utöver detta modelleras luftflöden, kyl- och uppvärmningssystem, interna laster med mera, vilka även kan justeras i programmet. Ett exempel på en parameter, som är extra intressant inom ramen för denna studie, är de interna lasterna som modelleras genom tidsscheman. Med tidsscheman avses hur ett objekt, till exempel personer eller utrustning, är verksamt över ett dygn. Begreppet internlast inkluderar storleken på de objekt, till exempel antal personer eller mängden värmeavgivning från utrustning, som respektive tidsschema gäller för. Ett exempel på tidsschema visas i Figur 6. I programmet anges också storleken på lasten, se Figur 7. Tillsammans påverkar detta internvärmerna från de laster som är verksamma i rummet.



Figur 6. Tidsschema för belägningsgraden för en arbetsstation med två skärmar på ett vådrum på NKS. (EQUA, 2018)

Figur 6 illustrerar hur ett lasten, arbetsstation med två skärmar, i ett rum på NKS varierar över dagen. På x-axeln visas dygnets timmar och på y-axeln visas hur stor grad lasten används över den givna tiden. I detta exempel används arbetsstationen dygnet runt men till en högre grad mellan 7–19 på vardagar. Den används även till viss grad under helgen.

Number of units	1	
Schedule	nksEquipSchedule_Arbeitsstation, (två skärmar)_ v ▶ *	
Emitted heat per unit Only this consumes energy	474 W	[* Schedule smoothing applied. Change in System parameters]
Energy carrier	Electricity v	
Energy meter	Kontorsutrustning vård, NKS v	

Figur 7. Hur storleken på internlasten anges och ändras i förvaltningsmodellen.
(EQUA, 2018)

Ett utdrag från IDA ICE på modelleringen av den interna lasten på en arbetsstation visas i Figur 7. Utdraget visar att antalet enheter kan ändras såväl som värmeavgivningen per enhet från utrustningen. I detta fall har en enhet modellerats med en värmeavgivning på 474W.

2.6.2 Årlig datainsamling till modell

Förvaltningsmodellen behöver olika typer av data för att fungera. Först behöver modellen uppdateras vid geometriska förändringar som påverkar energiprestandan, det vill säga vid ombyggnationer. För att simuleringarna ska vara anpassade efter den aktuella mätperioden behöver modellen även kalibreras, vilket görs genom att samla in och sedan uppdatera aktuella luftflöden, tidsscheman och internlasten. Vid simuleringen måste även klimatfilen representera det aktuella vädret för mätperioden varför väderdata behöver samlas in. Väderdatan innehåller värden för lufttemperatur, luftfuktighet, vindriktning, vindhastighet samt direkt och diffus solinstrålning. Data som har mätts upp gällande fastighetsel, värme och kyla samlas sedan in för att jämföras med modellens resultat av motsvarande parametrar. I Tabell 1 presenteras vilken data som behöver samlas in och tillvägagångssättet för att samla in den. Informationen baseras på det kontrakterade kravet som redovisas i *Miljöprogram - bilaga 19* (NKS, 2010) samt *Energimodellen - förslag till uppföljning* (Karlsson, 2017c).

Tabell 1. Datainsamling till förvaltningsmodell.

Steg	Typ	Insamling
Data till geometri-uppdatering	Relations-handlingar	För större byggnadsprojekt, till exempel i form av förändrade planlösningar, sker insamling i samarbete med aktuell entreprenör. Uppdatering i modell sker sedan direkt för att spara resurser vid kontroll av geometri som annars hade behövts göras vid slutet av varje år.
	Luftflöden	Via befintlig mätutrustning som kontinuerligt övervakar luftflöden i luftbehandlingsaggregaten i varje byggnadskropp.
Data till kalibrering	Tidsscheman	Via rapporter från SLL:s verksamhet innehållande förändrade arbetssätt, drifttider och personantal på respektive avdelning. Även avbrott i verksamheten vid ledigheter som påverkar belägningsgraden ska rapporteras.
	Internlaster	Via rapporter från SLL:s verksamhet innehållande förändrade arbetssätt, drifttider och användning av utrustning på respektive avdelning. Verksamhetsel mäts även via befintlig mätutrustning som kontinuerligt övervakar verksamhetsel per våningsplan.
Data till modell-simulering	Aktuellt uteklimat	Via väderstatistik för Bromma som tillhandahålls av SMHI.
	Fastighetsel	Via befintlig mätutrustning som kontinuerligt övervakar fastighetsel per våningsplan.
Data till resultat-hantering	Värme	Via befintlig mätutrustning som kontinuerligt övervakar värmebehov för luftbehandlingsaggregat, radiatorsystem, tappvarmvatten och markvärme samt återvunnen värme i luftbehandlingsaggregat per byggnadskropp.
	Kyla	Via befintlig mätutrustning som kontinuerligt övervakar kylbehov för luftbehandlingsaggregat, komfortkyla och processkyla samt återvunnen kyla i luftbehandlingsaggregat per byggnadskropp.

Datan som beskrivs i Tabell 1 är exempel på data som kan förändras från år till år och behöver därför uppdateras i modellen årligen. Det är viktigt att särskilja på typen av

förändring eftersom inte alla typer av förändringar kräver en uppdatering i modellen. Förenklat sett ska de förändringarna, till exempel prestandahöjande åtgärder såsom bättre fönster eller mer isolering, uppdateras i modellen om de beställs och betalas av SLL. Om de istället beställs och betalas av projektbolaget, i detta fall Coor, ska ingen uppdatering ske. Åtgärder som faller inom Coors ansvarsområde, till exempel behovsstyrning av pumpar eller fastighetsbelysning, temperaturoptimering, förbättrad styrning av solavskärmning, ventilation och entréer ska således inte uppdateras i modellen (NKS, 2010).

2.7 Förutsättningar för NKS:s energiuppföljning

I NKS-projektet finns tre olika typer av energibärare, vatten från fjärrvärme eller fjärrkyla samt elektricitet. Energin kan även delas upp i energi kopplad till fastigheten respektive verksamheten. Det målvärde som NKS:s totala energianvändning ska understiga är $110,1 \text{ kWh/m}^2$ och avser anläggningens användning av fastighetsenergi. Verksamhetsenergin räknas således inte in i målvärdet. Målvärdet har beräknats utifrån förvaltningsmodellens baseline, det vill säga utefter den projekterade byggnadens förutsättningar som uppfyller de uppsatta miljökraven och med väderförhållanden motsvarande ett normalår. Om anläggningen motsvarar den projekterade byggnaden, både till geometrisk utformning och energianvändning, samt att vädret för den aktuella mätperioden, normalt 12 månader, motsvarar ett normalår ska den faktiska energianvändningen sammanfalla med målvärdet på $110,1 \text{ kWh/m}^2$. Däremot är NKS ett sjukhus i ständig utveckling och förändring, både vad gäller verksamhet och ombyggnationer. Vid sådana förändringar måste även målvärdet förändras för att vara realistiskt och rättvist. Likaså gäller för väderförhållanden som ofta varierar från år till år. Målvärdet kommer alltså korrigeras med avseende på aktuellt utomhusklimat och förändringar i sjukhusets verksamhet, se avsnitt 2.6 (NKS, 2010).

Under de fem första åren, den så kallade testperioden, med start från år 2018, kommer Coor försöka uppnå målvärdet. Eftersom modellen beräknar målvärdet med en viss felmarginal, som här är satt till 15 %, har ett energikrav införts. Energitkravet är således målvärdet multiplicerat med 1.15, det vill säga 126.6 kWh/m^2 . Det innebär att anläggningens faktiska energianvändning ska underskrida energikravet vid utgången av testperioden. Om detta inte uppfylls måste ett vite betalas till SLL, beställaren, av SHP och de berörda projektbolagen, Coor och Skanska. När testperioden är över kommer det målvärde som uppnås ligga till grund för följande år, det vill säga förvaltningsperioden. I denna period förväntas det finnas en felmarginal på $\pm 3 \%$, som kan uppstå i beräkning av målvärde eller uppmätning av faktiskt energianvändning. Den faktiska energianvändningen ska således understiga målvärdet multiplicerat med 1.03 för att kravet ska uppfyllas. Coor får bonus om de lyckas understiga målvärdet med mer än 3 % men på liknande sätt får de betala vite om de överstiger målvärdet med mer än 3 % (NKS, 2010).

Redovisningen som beskrivits ovan är den redovisning som krävs till SLL. De olika miljö- och hållbarhetsmål som beskrevs i avsnitt 2.2 ligger till grund för målvärdet. Däremot ställer BBR, Miljöbyggnad och LEED krav på enskilda redovisningar av energianvändningen till respektive part. Redovisningen som krävs för dessa parter fokuserar på köpt energi, det vill säga den energi som köps in och tillförs energicentralen. Denna studie förhåller sig till det krav som ställs av SLL vilket utgör det huvudsakliga kontraktet. Det tar i första hand inte hänsyn till köpt energi utan den energin som lämnar energicentralen och tillförs anläggningen, det vill säga energibehovet för sjukhuset (Karlsson 2016; Karlsson, 2017b).

3. Metod

I detta avsnitt presenteras tillvägagångssättet för att ta fram en förvaltningsmetod samt hur den tillämpades på ett driftsatt våningsplan på NKS för att ta fram förbättringspotential och utvärdera brister.

Först presenteras studieobjektet, se avsnitt 3.1, följt av hur en energikartläggning av de studerade våningsplanet gick till, se avsnitt 3.2. I avsnitt 3.3 och avsnitt 3.4 redovisas de processer som kopplas till beräkning och uppmätning av faktisk energianvändning. I nästkommande avsnitt, avsnitt 3.5–3.7, redogörs för de processerna kopplade till beräkning av simulerade energianvändning, det vill säga datainsamling, modellering och simulering. Hur resultatet hanteras och följs upp redogörs för i avsnitt 3.8. Slutligen presenteras en illustrativ sammanfattning av förvaltningsmetoden i avsnitt 3.9 följt av risker kopplade till den utförda metoden i avsnitt 3.10.

3.1 Studieobjekt

Som studieobjekt valdes ett våningsplan på NKS ut. Våningsplanet är uppdelat i två huvuddelar, bild och funktion samt dagvård för barn. Valet baserades på att bild och funktion har en hög förväntad energianvändning då avdelningen innefattar flertalet stora kliniska instrument, till exempel i form av röntgenkameror, medan dagvård för barn förväntas ha en lägre energianvändning.

Avdelningen bild och funktion inriktar sig på olika former av röntgen för barn. På avdelningen finns således undersökningsrum där röntgen sker, till exempel i form av ultraljud, datortomografi och magnetisk resonanstomografi. Det finns även manövrerings- och granskningsrum där bilder från röntgen bearbetas (Ekestubbe och Lewis, 2018).

På dagvård barn bedrivs daglig verksamhet för vård av barn. Avdelningen tar emot besök från patienter där patienten skickas vidare till en annan avdelning beroende på typ av diagnos. Avdelningen består huvudsakligen av dagvårdsrum, där patientbesöken tar plats, och administrativa ytor för vårdpersonalen (Wahlstedt 2018).

3.2 Energitröskläggning

För att få en inblick kring våningsplanet, dess rum och vilka komponenter som fanns där utfördes en energitröskläggning. Det övergripande målet med energitröskläggningen var att identifiera och kartlägga energin som tillförs och används på våningsplanet. Att energitrösklägga är en förutsättning för ett konstruktivt arbete kring energiuppföljning av en verksamhet (Miljösamverkan Östergötland, 2009). För att genomföra energitröskläggningen användes planritningen för våningsplanet tillsammans med dokument från rumsfunktionsprogram (RFP) för att identifiera vilka komponenter som förekommer i respektive rum, hur många personer rummen är dimensionerade för samt vilken tillgänglighetstid rummen har. RFP för NKS är omfattande och inkluderar alla rum på hela anläggningen. På det undersökta våningsplanet finns det 186 rum. Då tidsramen

för denna studie inte räckte till för att göra en så pass omfattande undersökning av rumsspecifika egenskaper utfördes stickprov av rum som utgjorde en stor andel av våningsplanet. Med hjälp av stickprov undersöktes hur väl modellen stämmer med det driftsatta sjukhuset genom att jämföra om det som står i RFP och modell angående komponenter, verksamhetstider och personlast stämmer med verkligheten. I de fall där jämförelsen visade att dessa inte överensstämde analyserades dess inverkan på det slutgiltiga resultatet.

För att välja vilka rum som skulle ingå i stickproven gjordes ett medvetet urval. Ett medvetet urval innebär att undersökningsobjektet väljs ut för att det besitter en viss karakteristik eller uppsättning av egenskaper som är relevant för området (Ritchie och Lewis, 2003). I detta fall baserades valen på att få en variation mellan de olika rummen. Därför har rum med olika funktioner och komponenter valts för att få en bredd på undersökningen. I appendix A visas planritningarna för våningsplanet där de undersökta rummen är markerade. Respektive rum har sedan sammanställts där rummens ingående komponenter kopplat till energianvändning är inkluderade och hur många personer rummen är dimensionerade för. Ett utdrag av sammanställningen finns i appendix B.

Inventarierna i respektive utvalda rum jämfördes med vad som finns i verkligheten då verkligheten inte alltid stämmer med det som står i RFP och i modellen vilket leder till variation i energianvändningen. För att samla in uppgifter om de verkliga inventarierna utfördes platsbesök på rummen, se vidare i avsnitt 3.5.1.

3.3 Beräkning av våningsplanets faktiska energianvändning

Eftersom att ekvation (1) i avsnitt 2.4 är utformad för att beräkna den totala anläggningens energianvändning, och denna studie undersöker ett specifikt våningsplan, behövde beräkningarna anpassas därefter. Därför ersattes byggnadsspecifika parametrar med våningsspecifika parametrar, det vill säga energin som går till uppvärmning, kylning och fastighetsel beräknades istället per våningsplan. För att mäta upp den faktiska energianvändningen, användes datautrustning för byggautomatiseringssystem (BMS) vilket kontinuerligt övervakar energianvändningen i anläggningen. Detta kompletterades med permanent installerade undermätare på respektive våningsplan samt praktiskt utförda mätningar där annat underlag saknas.

Då studiens syfte var att undersöka ett våningsplan och inte hela anläggningen innebar det en del avvikelser från hur fastighetsenergin normalt sammanställs. Framförallt gjordes en avgränsning som innebar att kulvertförlusterna exkluderas vid våningsspecifik energiberäkning. Detta eftersom kulvertförlusterna endast uppkommer mellan energicentralen och sjukhuset och därför modelleras inga kulvertförluster för ett våningsplan (Karlsson, 2018). Fastighetsenergin, $E_{f,v}$ för våningsplanet beräknades enligt

$$E_{f,v} = \frac{E_{uppv,v} + E_{kyl,v} + E_{f,el,v}}{A_{temp,v}} \quad (3)$$

där $E_{\text{uppv},v}$ står för komfortvärme till radiatorer och fläktvärmare, $E_{\text{kyla},v}$ står för komfortkyla, $E_{f,el,v}$ står för fastighetsel och $A_{\text{temp},v}$ står för den area på våningsplanet som behöver värmas upp mer än 10° C. Parametrarna har således inte samma innebörd som för (1). Avgränsningen berodde på vad som var möjligt att mäta för det specifika våningsplanet. I Tabell 2 redovisas vilka parametrar som samlades in för beräkning av våningsplanets faktiska energianvändning och om de uppmättes i BMS eller om manuella mätningar utfördes.

Tabell 2. Parametrar som användes för beräkning av faktisk energianvändning på våningsplanet och hur de införskaffades.

Parameter	Mätning
$E_{\text{uppv},v}$	Manuella mätningar
$E_{\text{kyl},v}$	Manuella mätningar
$E_{f,el,v}$	BMS

Fastighetselen erhöles via BMS där loggade mätvärden sammanställdes under mätperioden. Parametern är kopplad till fiktiva mätare vilka slår ihop flertalet mätvärden från undermätare för att få fram det efterfrågade värdet. Undermätarna samlar in data på timbasis som medelvärdesbildas av momentana mätvärden från var tionde minut. Mätvärdena lagras sedan i en databas.

Eftersom att värme- och kylbehov enbart sammanställs på byggnadsnivå i BMS och denna studie fokuserar på energianvändningen per våningsplan behövde dessa parametrar mätas upp på plats. För att utföra de manuella mätningarna kopplades därför mätinstrument för värme och kyla till våningsplanet under mätperioden. Hur mätningen av dessa parametrar gick till beskrivs i avsnitt 3.4.

3.4 Manuella mätningar

I avsnitt 3.4.1 presenteras de ekvationer som användes för att beräkna energianvändningen utifrån värme- och kylflöden. Därefter redovisas mätutrustningen som användes, se avsnitt 3.4.2, följt av de mätpunkter som användes, se avsnitt 3.4.3. Slutligen presenteras hur mätningarna utfördes, se avsnitt 3.4.4, och sedan en beskrivning av mätnoggrannheten för mätutrustningen, se avsnitt 3.4.5.

3.4.1 Utgångspunkt

Målet för de manuella mätningarna var att få fram energibehovet för uppvärmning och kylning av våningsplanet. Eftersom energin inte kunde mätas direkt vid de manuella mätningarna behövde den beräknas. Energin från ett volymflöde erhålls genom att först beräkna medeleffekten och sedan multiplicera med tiden effekten nyttjas. Medeleffekten, $\bar{P}$, från ett värme- eller kylflöde beräknades enligt

$$\bar{P} = \frac{\sum_{n=1}^N \rho_v * C_v * q_n * \Delta T_n}{N} \quad (4)$$

där ρ_v är densiteten för vatten, C_v är den specifika värmekapaciteten för vatten, q_n är volymflöde vid tiden n och ΔT_n är temperaturskillnaden mellan tillopp- och returflöde vid tiden n . Vattnets densitet och specifika värmekapacitet är konstanter medan flöde och temperaturskillnad behövdes mätas. Genom att samla in dessa värden i de manuella mätningarna kunde således effektbehovet för värme och kyla beräknas för våningsplanet (Öberg, 2017).

Slutligen, för att beräkna energi utifrån en medeleffekt användes

$$E = \bar{P} * t \quad (5)$$

där t är tiden i antalet timmar för mätperioden.

3.4.2 Mätutrustning

För att utföra de manuella mätningarna användes mätutrustning som tillhandahölls av Coor. Den så kallade TA-SCOPE (IMI Hydronic Engineering, 2015) användes för uppmätning av värme och kyla på våningsplanet. Mätinstrumentet inkluderar en givarenhet som samlar in olika data beroende på vad som ska mätas, en handhållen enhet för inställningar och visualisering av data, en temperaturnål samt två flödesmätare. TA-SCOPE kan med hjälp av givaren logga temperatur respektive värme- och kylflöden vilka sedan kan sammanställas för att beräkna energianvändningen kopplad till värme och kyla enligt (4) och (5). Loggningskapaciteten är mer än 40 000 punkter vilka kan sparas i tre olika kanaler efter ett valbart mätintervall på en sekund upp till tio minuter. Med det längsta mätintervallet kan således data loggas för upp till 111 dagar, vilket var mer än tillräckligt. Instrumentet har en mätnoggrannhet på $\pm 0,1$ ° C för temperatur och ± 1 % felmarginal för flöden (Öberg, 2017).

3.4.3 Mätpunkter

Det finns fyra lodräta schakt som går upp från bottenplan till topplan i varje byggnadskropp på NKS. I dessa schakt går flera rör som transporterar värme, kyla, luft och tappvarmvatten till respektive våningsplan. Enligt appendix A, som innehåller en planlösning av våningsplanet, är schakten benämnda som VVS-rum (värme, ventilation och sanitet). Det finns två identiska uppsättningar VVS-rum, en i vardera änden på respektive plan. I varje uppsättning ingår två VVS-rum, ett med till- och frånlopp av tappvarmvatten samt ett med till- och frånlopp av värme och kyla. Luftflöden utgår från alla VVS-rum men är inte möjliga att mäta på ett praktiskt genomförbart sätt utifrån en mätpunkt. Anledningen till att det finns mer än en utgångspunkt för respektive medium beror på att NKS ska ha redundans ifall transporten från ett schakt av någon anledning skulle misslyckas. Då ska motsvarande VVS-rum i andra änden av planet ensamt kunna

tillgodose energibehovet. I normal drift är alla fyra VVS-rum aktiva och förser tillsammans respektive våningsplan i byggnaden med det önskade behovet.

För att minska mängden nödvändig mätutrustning reducerades antalet mätpunkter genom att stänga det motsvarande VVS-rummet i ena änden, det vill säga ett av de två tillgängliga schakten som försedde våningsplanet med värme och kyla. Då kunde både ventilation, värme, kyla och vatten tillföras med full funktion samtidigt som antalet mätpunkter och således nödvändiga mätinstrument halverades. I appendix A visas var schakten är belägna och var mätpunkterna finns. VVS-rummen på varje våning förser våningen under med det nödvändiga behovet och på grund av detta finns mätpunkterna på våningen över när behovet för det undersökta våningsplanet mäts. På grund av den begränsade mätutrustningen utfördes inga mätningar i VVS-rummen där tappvarmvatten tillförs.

3.4.4 Utförande

Mätningarna påbörjades en torsdag och pågick under en vecka (2018-03-15 till och med 2018-03-22). Anledningen till att mätperioden valdes till en vecka var dels för att få med variationer mellan vardagar och helgdagar, dels på grund av begränsning av tid. Under mätningarna mättes volymflödet på returflödet för värme och kyla för respektive våningsplan med ett mätintervall på en minut. Eftersom volymflödet in till våningsplanet är lika stort som flödet ut var det tillräckligt att mäta ett av flödena. Temperaturen på tillopp och retur kunde inte mätas samtidigt som flödet då det inte fanns tillräckligt många mätkanaler. Temperaturen uppmättes och loggades istället via BMS. I Tabell 3 redovisas mer ingående information om hur mätningarna utfördes.

Tabell 3. Sammanställning av hur mätningarna utfördes.

Parameter	Mätinstrument	Mättyp	Mätpunkt
$E_{\text{uppv},v}$	TA-Scope 1	Volymflöde	Värme-Retur
	BMS	Temperatur	Värme-Tillopp
$E_{\text{kyl},v}$	TA-Scope 2	Volymflöde	Kyla-Retur
	BMS	Temperatur	Kyla-Tillopp

3.4.5 Mätnoggrannhet

Det är viktigt att ha en tillräcklig mätnoggrannhet vid alla de mätningar som genomförs för att få ett pålitligt resultat och därför kalibrerades all mätutrustning. När ett mätinstrument kalibreras ökar dess förmåga att mäta efter en spårbar normal. En

mätnoggrannhetsiffra visar hur precis den aktuella kalibreringen är, det vill säga hur noggrant eller med vilken osäkerhet ett mätinstrument mäter (Swedac, 2018). Enligt Sveby:s mätföreskrifter ska värmemängdsmätare ha en osäkerhet på maximalt 3 % vid nominellt flöde medan elmätare får ha en mätosäkerhet på maximalt 5 % (Sveby, 2012c). I NKS-projektet tillgodoses dessa föreskrifter i all befintlig mätutrustning (Karlsson, 2017b).

3.5 Datainsamling till förvaltningsmodellen under mätperioden

Vid insamling av data följdes riktlinjerna i avsnitt 2.6.2 efter vad som var möjligt men eftersom riktlinjerna baseras på hela anläggningen uppstår skillnader från det undersökta våningsplanet. Framförallt då data för våningsplan inte alltid insamlas på samma sätt som för hela anläggningen. För insamling av data för väder och fastighetsel kunde samma tillvägagångssätt som beskrivs i avsnitt 2.6.2 tillämpas. För värme och kyla användes värden från de manuella mätningarna som beskrevs i avsnitt 3.4. Data för luftflöden samlades in via luftflödesprotokoll där varje rums luftflöde har mätts upp momentant med 100 % forcering som sedan jämförts med de projekterade luftflödesvärdena. Data till geometriuppdatering var inte aktuellt då inga ombyggnationer har utförts på det undersökta våningsplanet sedan etablerandet av den ursprungliga modellen.

För tidsscheman och internlaster behövdes en metod tas fram för insamling eftersom rapporter ännu ej fanns tillgängliga. De faktiska tidsscheman på våningsplanet samlades in genom att dela in våningen i olika avdelningar baserat på verksamhet, se appendix A. På så sätt underlättades arbetet då rummen på respektive avdelning hade liknande drifttider. En etappvis genomgång av våningsplanet och dess verksamheter utfördes för att sammanställa antal personer och utrustning, belägningsgrad och drifttider. Informationen införskaffades genom intervjuer med vårdpersonal samt platsbesök i form av guidad rundvandring med kunnig vårdpersonal. Denna metod kopplas till operativa justeringar vilka nämns i avsnitt 2.5.3 där det förespråkas att använda byggnadsbesök och intervjuer för att samla in data angående drifttider. De insamlade värdena jämfördes sedan med de antagna värdena i modellen vid kalibrering vilket beskrivs i avsnitt 3.6. Den data som samlades in till förvaltningsmodellen presenteras kortfattat i Tabell 4.

Tabell 4. Sammanställning av insamlingsmetod av data till förvaltningsmodellen.

Steg	Typ	Insamling
Data till geometri-uppdatering	Relations-handlingar	Eftersom inga ombyggnationer utförts behövde ingen data samlas in.
Data till kalibrering	Luftflöden	Luftflödesprotokoll, se stycke ovan.
	Tidsscheman	Intervjuer och platsbesök, se stycke ovan.
	Internlaster	Intervjuer och platsbesök, se stycke ovan. Verksamhetsel mäts även via befintlig mätutrustning som kontinuerligt övervakar verksamhetsel per våningsplan.
Data till modell-simulering	Aktuellt uteklimat	Via väderstatistik för Bromma som tillhandahålls av SMHI.
Data till resultat-hantering	Fastighetsel	Via befintlig mätutrustning som kontinuerligt övervakar fastighetsel per våningsplan.
	Värme	Manuella mätningar, se avsnitt 3.4.
	Kyla	Manuella mätningar, se avsnitt 3.3.

All insamlade data sammanställdes i olika arbetsböcker i Microsoft Excel och utgjorde således en databas för nästkommande steg i förvaltningsmetoden vilka beskrivs i avsnitt 3.6–3.8.

3.5.1 Intervju- och platsbesöksmetodik

Intervjuerna var utformade som frågeundersökningar där specifika frågor ställdes till respondenterna. Eftersom målet med intervjuerna var att ta reda på specifika drifttider och verklig användning av rum och klinisk utrustning och en mer djupgående diskussion inte var relevant användes övervägande strukturerande frågor. Utrymme lämnades dock till att ställa spontana frågor angående framförallt användning av rum och utrustning (Esaiasson m.fl., 2011, ss. 227–250).

Vid insamling av tidsscheman och internlaster utfördes även platsbesök och observationer. En fördel med att använda observationer och platsbesök är att de lämpar sig för att undersöka processer och strukturer som är svåra att beskriva i ord. Även för känsliga ämnen eller självklarheter som inte tas upp i intervjuer kan metoden användas. Det observationer inte kan undersöka är dock människors intentioner med sina handlingar samt känsloläget relaterat till en viss handling. För att få en fullständig förståelse över händelser behöver således observationer kompletteras med annat underlag (Esaiasson m.fl., 2011, ss. 303–317). I denna metod var målet att komplettera intervjuerna med

platsbesök för att validera att vårdpersonalens uppfattning kring drifttider stämmer samt att få en inblick i hur verksamheten på våningsplanen såg ut. Vidare var platsbesök en viktig aspekt vid undersökning och kontroll av inventarier i de utvalda rummen för stickprov, se avsnitt 3.2. Som observatörer under platsbesöket utövades en passiv metodik vilket betyder att fokus endast låg på att iaktta och notera verksamheten. Dessutom var observationerna kvantitativa där endast faktorer som, hur många personer som finns på avdelningarna samt vilka inventarier som finns i rummen noterades (Esaiasson m.fl., 2011, ss. 303–317). I Tabell 5 redovisas med vem, på vilken avdelning, när och hur länge intervjuerna och platsbesöken pågick.

Tabell 5. Information kring utförda intervjuer och platsbesök.

Respondent	Avdelning	Datum	Längd
Planeringssjuksköterska	Dagvård	2018-04-06	60 min
Röntgensköterskor	Bild och funktion	2018-05-07	60 min

Utöver dessa intervjuer och platsbesök utfördes även ett extra platsbesök på bild och funktion 2018-05-02 som pågick under 90 minuter. På så sätt kunde en mer genomgående kontroll av inventarier från RFP, förvaltningsmodell och verklighet ske på bild och funktion som är en avdelning med ett stort antal kliniska instrument med hög energianvändning.

3.6 Kalibrering och uppdatering

För att kalibrera förvaltningsmodellen på NKS korrigerades luftflöden, tidsscheman och interna laster mot verkliga värden vid variationer gentemot den projekterade byggnaden, det vill säga baselinemodellen (NKS, 2010). För luftflöden jämfördes insamlade mätdata som baserades på värden från luftflödesprotokoll med modellens värden. Eftersom det är ett stort antal rum på respektive våningsplan, valdes att endast ändra luftflödet i modellen för de rum där avvikelser mellan projekterat, och uppmätt luftflöde var $\geq 5\%$. Denna förenkling baserades på antagandet att förändrade luftflöden under 5 % inte påverkar energianvändningen i någon högre utsträckning. För internlaster och tidsscheman jämfördes verkliga data, det vill säga resultatet från intervju och platsbesöken, med det som stod i RFP och värdena i modellen. Där dessa avvek från varandra kalibrerades modellen och de verkliga värdena lades in. De kalibreringsstegen som utfördes var först för luftflöden, sedan för tidsscheman och slutligen för internlaster. Se appendix E för fullständig sammanställning av förändringar vid respektive kalibreringssteg.

3.7 Modellsimulering

I detta steg importerades databasen, innehållande uppdaterad och kalibrerade indata i föregående steg, till förvaltningsmodellen. Relevant data är kopplad till SSL där uppgifter om deras drifttider, omfattning och typ av utrustning och personal importerades. När den

nödvändiga uppdateringen utförts simulerades modellen med aktuellt uteklimat och målvärdet korrigerades således efter dessa förändringar (Karlsson, 2017c).

Modellen simulerades först utifrån baslinemodellen för att därefter simuleras utefter kalibreringsstegen. Detta genomfördes genom att steg för steg, uppdatera och simulera modellen för att se hur respektive kalibreringssteg påverkade resultatet. På grund av tidsbegränsning uppdaterades varje kalibreringssteg utifrån föregående kalibreringssteg istället för baseline eftersom uppdateringarna annars hade behövts upprepas flera gånger.

3.8 Resultathantering och resultatuppföljning

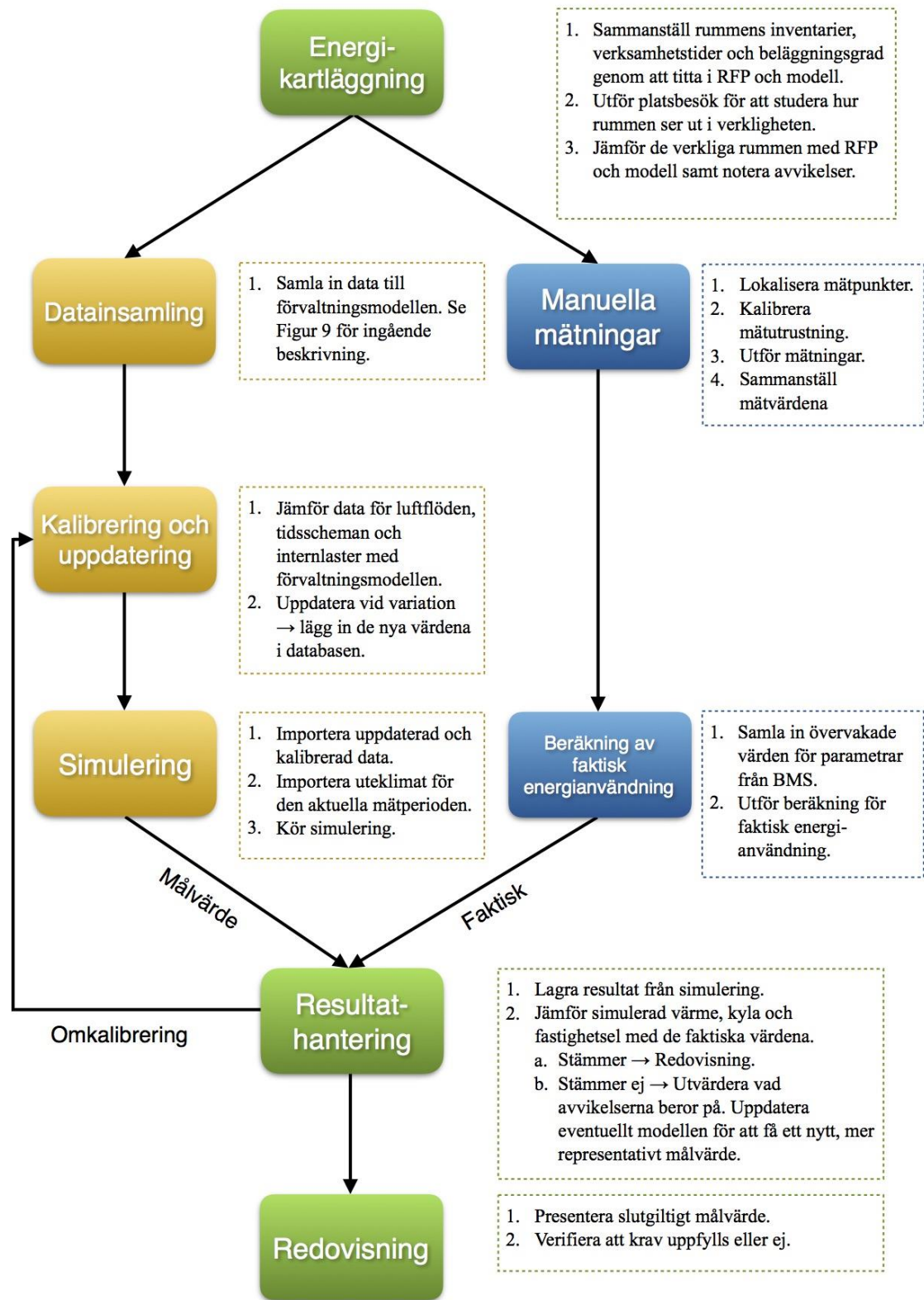
I processen resultathantering och resultatuppföljning lagrades och överfördes resultat från simuleringarna till databasen. Sedan beräknades ett nytt målvärde genom att addera de parametrar vars motsvarande faktiska värde hade mätts upp och beräknats enligt avsnitt 3.3 och avsnitt 3.4. Därefter kontrollerades målvärdet genom att följa upp det simulerade resultatet. Genom uppföljningen gick det att jämföra hur modellen reagerade med insamlade data. Exempel på detta är hur mycket faktisk värme och kyla som användes på våningsplanen och hur det förhåller sig jämfört med modellen. Eftersom kalibreringsdata till modellen, det vill säga luftflöden, tidsscheman och internlaster hade kalibrerats i tidigare steg låg intresset i att undersöka hur simulerade data som fastighetsel, kyla och värme förhöll sig till de uppmätta värdena (NKS, 2010). En liknande utvärdering av verksamhetselen utfördes också.

Resultaten från baselinesimuleringen sammanställdes först för att se hur den simulerade energianvändningen förhöll sig mot den faktiska energianvändningen. Avvikelsena noterades för framtida referens mot den kalibrerade modellen. Resultatet från den kalibrerade modellen sammanställdes utefter respektive kalibreringssteg för att se hur stor inverkan de hade på modellen och jämfördes sedan med den faktiska användningen och baselinesimuleringen. Slutligen omkalibrerades modellen utefter noterade avvikelser, se avsnitt 2.5.3. När ett mer representativt målvärde erhöles jämfördes det slutgiltiga målvärdet med den faktiska användningen för att se om kraven uppfylldes eller ej.

3.9 Metodsammanfattning

I detta avsnitt presenteras en illustrativ sammanfattning av det framtagna arbetssättet för förvaltningsmodellen. Sammanfattningen är tänkt översiktligt beskriva de ingående stegen i den framtagna metoden.

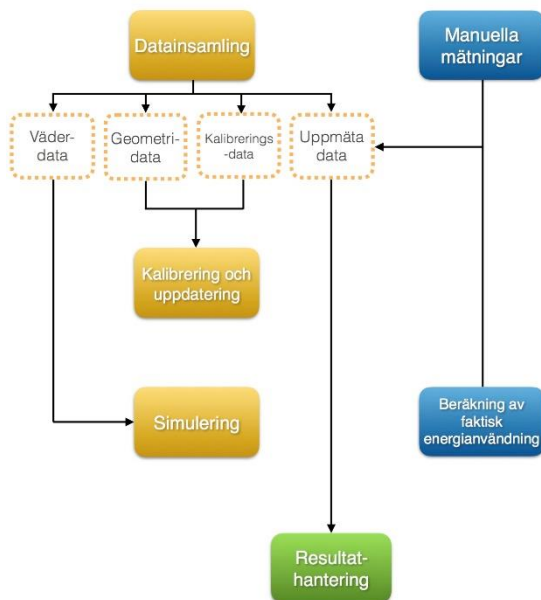
Boxarna i Figur 8 motsvarar en process i arbetssättet för energiuppföljningen, tillika rubrik i metodavsnittet (ej ”Redovisning”), och är färgkodade av de processer som är kopplade till den faktiska energianvändningen (blåa boxar), målvärdet (gula boxar) och jämförelsen dem emellan (gröna boxar).



Figur 8. Sammanfattning av den framtagna metoden med varje process beskriven med en kortfattad lista för respektive ingående steg.

Figur 9 visar mer ingående i vilka processer den insamlade datan används i arbetssättet för förvaltningsmodellen. Väderdata används i simuleringen, se avsnitt 3.6, geometri- och

kalibreringsdata används specifikt för kalibrering och uppdatering av modell, se avsnitt 3.7 och uppmätta data används till jämförelsen vid resultathantering, se avsnitt 3.8.



Figur 9. Flödet av data från processen datainsamling.

3.10 Riskhantering

I detta avsnitt presenteras flertalet risker relaterade till utförandet av förvaltningsmetoden. Först introduceras generella risker följt av specifika risker kring framtagningen av den faktiska energianvändningen, se avsnitt 3.10.1, och slutligen den simulerade energianvändningen, se avsnitt 3.10.2. Avsnittet avser att bidra till en medvetenhet kring riskerna som finns inom metoden för studien samt hur de har hanterats. Riskerna presenteras utan inbördes ordning.

Mätperiodens längd

Beskrivning: För det undersökta våningsplanet användes en mätperiod på en vecka. En kort mätperiod kan ge upphov till osäkerheter då framförallt verksamhetens energianvändning kan avvika från hur den normalt ser ut. I förvaltningsmodellen är antagandena om verksamheten baserade på hur det ser ut över ett år. Veckovisa variationer för verksamheten kompenserar således för varandra vilket mätperioden inte kan tillgodose.

Hantering: Genom att kalibrera för luftflöden, tidsscheman och interna laster för den aktuella mätperioden anpassas modellen till mätperioden och på så sätt minskas risken. I samband med intervjuerna ställdes även frågan om respondenten ansåg att den aktuella veckan var representativ för verksamheten, varpå respondenten svarade att veckorna oftast är lika varandra (Ekestubbe och Lewis, 2018; Wahlstedt, 2018). Variationer kan

uppträda under speciella tillfällen som exempelvis under skollov eftersom att våningsplanet inriktar sig mot barnvård. Även mindre variationer kan uppträda beroende på vilka typer av patienter de får in under dagen, men ger dock inte upphov till markanta skillnader.

Intrimning av anläggningen

Beskrivning: Vid driftsättning och överlämnande av olika projekt inleds en garantiperiod. Under garantiperioden ska byggnadens energiprestanda verifieras genom mätning, provtagning och reviderad energiberäkning (Sveby, 2012b). I NKS-projekt motsvaras garantiperioden av testperioden. Under denna period ska bland annat styrsystemen för VVS anpassas för byggnaden vilket innebär att luftflöden samt värme- och kylflöden kan skilja sig från hur de kommer att se ut under förvaltningsperioden. Således kan den uppmätta energianvändningen variera från den simulerade då byggnaden inte är helt intrimmad.

Hantering: Målet med testperioden är att anläggningen ska trimmas in för att uppnå de värden som finns i modellen, som är framtagna för att uppfylla miljö- och hållbarhetsmålen. Således utgör det ingen märkbar risk för studien men det är dock viktigt att vara medveten om att variation mellan faktiskt energianvändning och målvärdet kan orsakas av att anläggningen inte är fullt intrimmad under testperioden.

3.10.1 Faktisk energianvändning

Vid uppmätning av faktisk energianvändning finns det flertalet faktorer som kan innebära en risk för felaktigheter i resultatet. Felen kan kategoriseras i slumpmässiga och systematiska fel. De slumpmässiga felen är sådana som inte går att förutse. De kan vara relaterade till att exempelvis mätvärdena inte är representativa eller avviker starkt från det normala. Slumpmässiga fel kan ses som brus, det vill säga små oförutsägbara störningar som i slutändan kan ha relevant inverkan på resultatet. De systematiska felen kan kopplas till utförandet, mätinstrumenten och själva processen för insamling av mätdata. Exempelvis kan ett systematiskt fel vara att utrustningen är felanpassad till mätningarna eller att fel objekt mäts. Vidare kan systematiska fel kopplas till feltolkning av resultat (Nyman & Österman, 2016).

Slumpmässiga fel

Beskrivning: Oförutsedda variationer i mätvärden vid insamling av värme- och kylflöden på respektive våningsplan som kan uppträda genom oväntade händelser i exempelvis verksamheten vilket leder till att datan inte är representativ för hur det normalt ser ut. Eftersom mätperioden endast skedde under en vecka kan sådana variationer ha en större inverkan på resultatet och risken måste således hanteras.

Hantering: Slumpmässiga fel går inte direkt att undvika men avhjälpas delvis genom att använda flera mätvärden för att sedan ta medelvärde av dem. Vid de manuella mätningarna användes således ett kortare mätintervall på en minut under mätperioden för att erhålla en större mängd data. Datan sammanställdes sedan och ett medelvärde togs fram.

Systematiska fel

Beskrivning: Fel i utförandet av mätningarna genom att exempelvis mätpunkter missas, data inte loggas eller att fel mätmetod används, kan leda till att resultatet från mätningarna inte visar vad de är avsedda för. Eftersom studien hade en specifik inriktning; att mäta energianvändningen på våningsplanet var det viktigt att resultatet representerade detta på ett korrekt sätt.

Hantering: För att minska de potentiella systematiska felen togs ett mätprotokoll fram, se appendix C. Mätprotokollet innehåller en checklista baserad på alla förberedelser som behövdes för att utföra mätningarna, vilket minskar risken för fel.

3.10.2 Simulerad energianvändning

Vid en simulerad energianvändning finns det flera risker och osäkerheter som kan uppstå under vägen från projektering, uppförande och drift av en byggnad. För att skapa marginaler för att den simulerade energianvändningen i slutändan ska stämma överens med den verkliga är det viktigt att redan från början ta hänsyn till dessa risker (Sveby, 2012a).

Inkorrekt data och antaganden till förvaltningsmodellen

Beskrivning: De antaganden som finns i förvaltningsmodellen gällande rumsspecifik användning av verksamhetsenergi går inte att koppla fullständigt till verkligheten. Att säga exakt när och hur energi används på rumsnivå är inte möjligt. Däremot finns en koppling på våningsnivå där verksamhetsel finns uppmätt. Därför finns en osäkerhet kring hur värme och kyla fördelas över rummen vilket påverkar resultatet. Även de antaganden om drifttider i modellen, vilket bland annat baserats på information från RFP och Sveby:s brukarindata, ger upphov till en osäkerhet då det inte kan garanteras att denna stämmer med verkligt nyttjande (Karlsson, 2017c).

Hantering: Energikartläggning och intervjuer om drifttider med verksamheten (se avsnitt 3.2 och avsnitt 3.5) ämnade att minimera denna risk. En medvetenhet kring att dessa åtgärder inte helt kan eliminera risken har vidtagits.

Uppdatering av förändringar.

Beskrivning: I förvaltningsprocessen ingår steg att uppdatera modellen när det föranletts av ändrad verksamhet, till exempel till följd av förändrade verksamhetstider. För det första, finns det en risk i att fel värde på indata matas in (Sveby, 2012a). För det andra, finns det en risk i att vissa av de förändringar som behöver uppdateras i modellen inte uppdateras (Sveby, 2012a; Karlsson, 2017c). På så sätt kan eventuella förändrade energibehov förbises och inte fångas in av modellen. Det är svårt att säkerställa att drifttider hos fastighetssystem anpassas gentemot verksamhetens drifttider. Samtidigt är det svårt att verifiera verklig personbelastning och verklig användning av utrustning (Karlsson, 2017c).

Hantering: Eftersom modellen redan existerar kunde den redan inmatade datan inte hanteras. Däremot kunde datan till kalibreringen innehålla fel, specifikt gällande drifttider. Som ovan nämnt är det svårt att verifiera att drifttider representerar hur det ser

ut i verkligheten. Hanteringen av dessa blev snarare en begränsning där processen för insamling och uppdatering gav relevant underlag för diskussion. Vidare utfördes en känslighetsanalys för att undersöka hur stor inverkan varierande drifttider hade. På så vis kunde risken kring felaktiga drifttider kvantifieras för att se hur stor inverkan den kunde ha på resultatet.

Programmässiga risker

Beskrivning: Eftersom samtliga beräkningsprogram bygger på en förenkling av verkligheten finns det en osäkerhet i att modellen inte återspeglar verkliga fysiska förhållanden. Graden av förenkling kan leda till att målvärdet avviker från den uppmätta energianvändningen (Sveby, 2012a). Det finns även begränsningar i varje beräkningsprogram som ger anledning till att säkerhetsmarginaler införs, vilket har gjorts i NKS-projektet och är satt till +15 % under testperioden och ± 3 % efterföljande förvaltningsperiod (Karlsson, 2017c). Det är viktigt att dessa är bedömda och framtagna utefter rimliga förutsättningar (Sveby, 2012a).

Hantering: Osäkerheter i energiberäkningsmodeller är någonting som alltid kommer att finnas och därför inkluderas säkerhetsmarginaler. För att ytterligare hantera potentiella variationer mellan modell och verklighet undersöktes resultatet enligt avsnitt 3.8. Genom att undersöka avvikelserna och spåra vad de grundades i kunde programmässiga brister urskiljas från förändringar i verksamheten. Detta minskade i sin tur risken för felaktigheter i programmet genom finjusteringar innan resultatet presenterades.

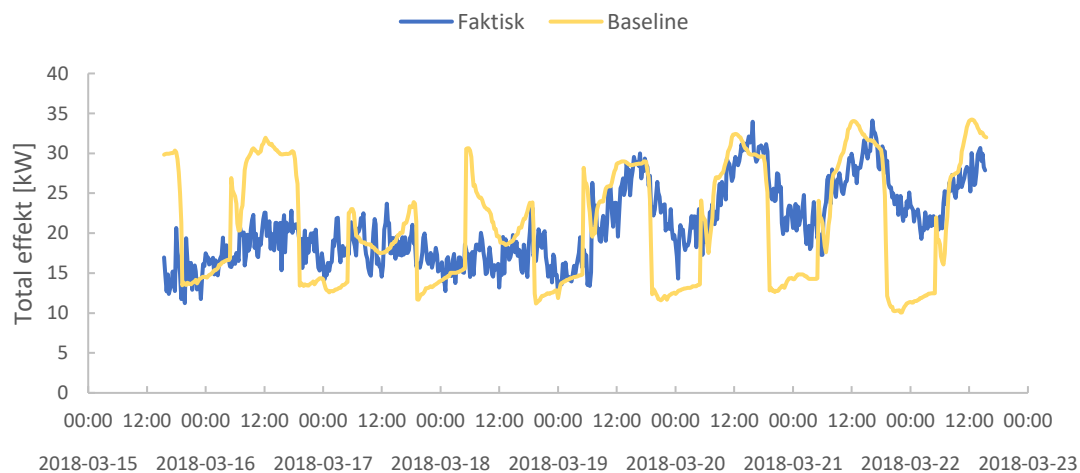
4. Resultat

Resultatet presenteras i detta avsnitt genom att först redovisa hur baselinemodellen förhåller sig till den faktiska energianvändningen, se avsnitt 4.1. Utifrån resultaten från baselinemodellen har en kalibrering utförts följt av två omkalibreringar. Kalibreringen fokuserar på att anpassa modellen efter förändrade luftflöden, tidsscheman och interna laster. I avsnitt 4.2 redovisas resultatet av kalibreringsstegen och hur successivt baselinemodellen förändras vid implementering av dem. Resultaten från omkalibreringarna presenteras i avsnitt 4.2.1 och avsnitt 4.2.2.

4.1 Baseline

I detta avsnitt jämförs den faktiska energianvändningen mot den simulerade energianvändningen av förvaltningsmodellens baseline, det vill säga den ursprungliga versionen av förvaltningsmodellen, som motsvarar det projekterade våningsplanet, där ingen kalibrering har genomförts. Simuleringen har utförts med aktuella väderdata för mätperioden.

Figur 10 visar att i början av mätperioden är avvikelserna mellan simulerad baseline och faktiskt användning som störst. Den faktiska användningen visar till en början inte samma vardagsmönster som baseline men efter helgen (2018-03-19) är korrelationen högre.

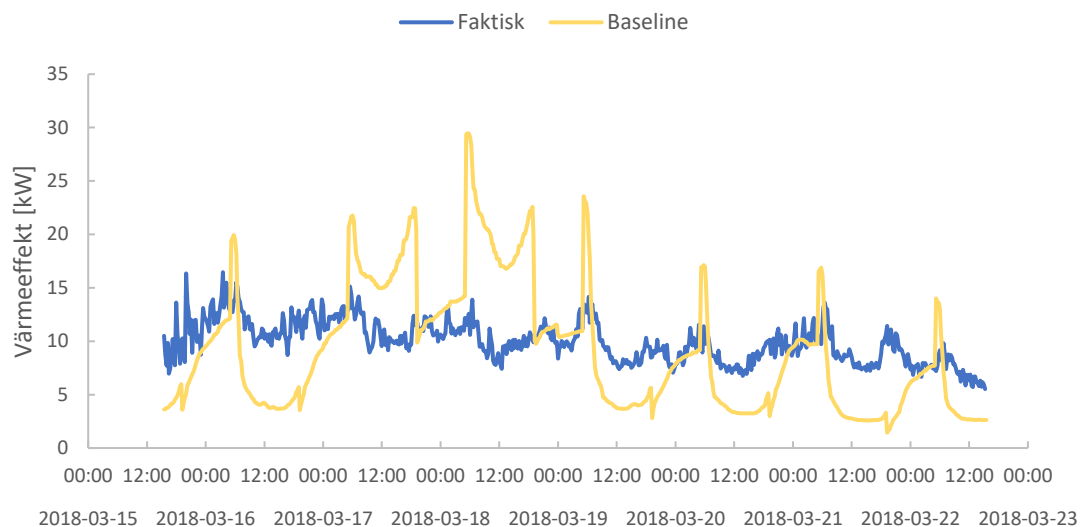


Figur 10. Simulering av baselinemodellen mot den totala faktiska energianvändningen.

Modelleringen i förvaltningsmodellen är uppbyggd av energikrävande komponenter med tidsscheman där komponenten startar direkt vid en given tidpunkt vilket leder till väldigt branta toppar och dalar i kurvan för den simulerade användningen. I verkligheten, vilket illustreras i kurvan för den faktiska användningen, är det en jämnare övergång mellan toppar och dalar.

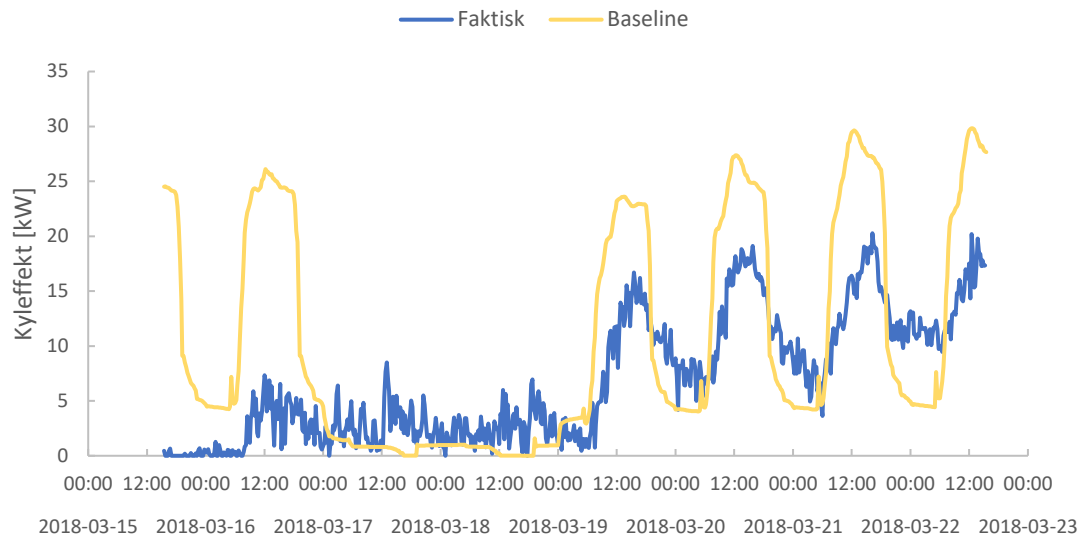
I Figur 11 har baselineanvändningen större variation i toppar och dalar vilket, precis som Figur 10, kan förklaras av begränsningarna inom beräkningsprogrammet. Över helgen

(2018-03-17 till och med 2018-03-18) avviker baseline mer markant mot den faktiska energianvändningen.



Figur 11. Simulering av baselinemodellen mot den faktiska energianvändningen för uppvärmning.

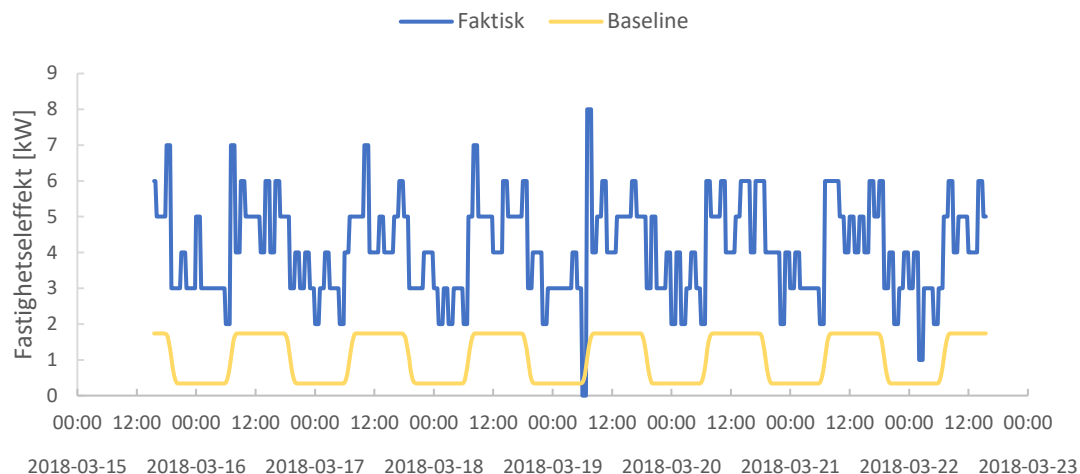
Enligt Figur 12 finns det en stor avvikelse mellan baseline och den faktiska användningen i början av mätperioden. Antingen beror detta på att förvaltningsmodellen inte fångar upp företeelser i verkligheten eller att något har gått fel under mätningen av den faktiska användningen. Det faktiska kylbehovet är sedan lite större än baseline under helgen (2018-03-17 till och med 2018-03-18) och därefter ligger det faktiska behovet under baseline på dagtid men över nattetid. Bortsett från den inledande avvikelsen är korrelationen relativt positiv.



Figur 12. Simulering av baselinemodellen mot den faktiska energianvändningen för kylning.

En möjlig förklaring till varför kylbehovet avviker i början av Figur 12 kan bero på mätintervall för de loggade mätvärdena. Under förberedelsen av mätningarna uppmärksammades att kylflödet varierade kraftigt från sekund till sekund och i flertalet av fallen var det inget flöde alls. Eftersom mätningarna hade ett mätintervall på en minut fanns således en risk att mätinstrumentet mätte flödet då det var mycket lågt eller noll. För vidare undersökning utfördes en mätning under tio minuter med ett mätintervall på tre sekunder, se appendix F. Denna mätning erhöll fler mätvärden och fångade även variationerna i kylflödet över kort tid. Avvikelsen för den faktiska kylanvändningen är troligen en rådig avvikelse (Sveby, 2012a) eftersom att den går att påverka. För att få en noggrannare estimering av hur kylflödet är på respektive våningsplan rekommenderas således att använda ett kortare mätintervall i framtiden. En viktig aspekt att betänka är dock att kylflödet normalt mäts för hela byggnaden. Det är därför sannolikt att kylflödet för en byggnad är jämnare. Således minskar risken för missade mätvärden vid utförande av förvaltningsmetoden för hela NKS.

Enligt Figur 13 är det faktiska behovet för energianvändningen till fastighetsel markant större, nästan tre gånger så stort, jämfört med baseline. Det finns inga tydliga skillnader mellan helg och vardag för varken faktisk eller simulerad användning. Detta är rimligt med tanke på att det är fastighetsel som visas.



Figur 13. Simulering av baselinemodellen mot den faktiska energianvändningen för fastighetsel.

I Tabell 6 redovisas en sammanfattning av nyckelvärden från baselinesimuleringen. Det åskådliggörs tydligt att vad som vid en första anblick av Figur 10, som såg ut som en låg avvikelse mellan faktiskt och simulerad, inte var fallet. Vid parametervis granskning ses större variationer som kompenserar för varandra vilket resulterar i en total avvikelse på endast 0,8 %. Det vill säga att det negativt avvikande kylbehovet kompenseras av de positivt avvikande värme- och fastighetselbehoven. I enlighet med Sveby:s föreskrifter (Sveby, 2012a) om vikten av att ha en kontrollerad energianvändning, visar baselinesimuleringen hur en till synes låg avvikelse egentligen var en tillfällighet som berodde på kompenserande parametrar. Genom Tabell 6 blir det även tydligt att det främst är det avvikande kylbehovet från Figur 12 som ger upphov till den totala inledande avvikelser i Figur 10. För respektive parameter erhålls en positiv korrelation mellan faktisk energianvändning och baseline enligt r-värdena i Tabell 6 nedan. Eftersom medelvärdet tas bort vid beräkning av r-värden, se ekvation (2) i avsnitt 2.5.3, fås en positiv korrelation.

Tabell 6. Medelvärden för simulerad och faktisk energianvändning för våningsplanet, dess avvikelse mot varandra och r-värde. Avvikelsen avser den procentuella förändringen med baseline som referens, det vill säga hur mycket faktiskt avviker från baseline.

Parameter	Baseline [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]	Faktisk [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]	Avvikelse [%]	r-värde
Totalt	1,31	1,32	0,8	0,5
Värme	0,58	0,63	8,4	0,5
Kyla	0,67	0,43	-34,7	0,6
Fastighetsel	0,07	0,26	295,3	0,7

Det går inte att jämföra den totala faktiska användningen av fastighetsenergi i Tabell 6 med det ursprungliga målvärdet på 110,1 kWh/m². För det första avser målvärdet energianvändningen för ett helt år medan mätperioden avser en vecka. För det andra avser målvärdet energianvändningen för hela sjukhuset medan denna studie avser ett specifikt våningsplan samt har exkluderat parametrar från den totala användningen på grund av begränsningar, se avsnitt 3.3.

4.2 Kalibrering

I detta avsnitt jämförs den faktiska energianvändningen mot den kalibrerade modellen, det vill säga uppdaterad med faktiska luftflöden, tidsscheman och internlaster utefter insamlade data. Modellen simuleras med samma väderdata som för baseline, det vill säga data från SMHI. Modellen har manuellt och iterativt simulerats enligt kalibreringsstegen i Tabell 7 som visar den procentuella påverkan varje kalibreringssteg hade på föregående steg, mot baselinemodellen samt den faktiska avvikelser.

Tabell 7. Kalibreringsprocessen och dess procentuella påverkan.

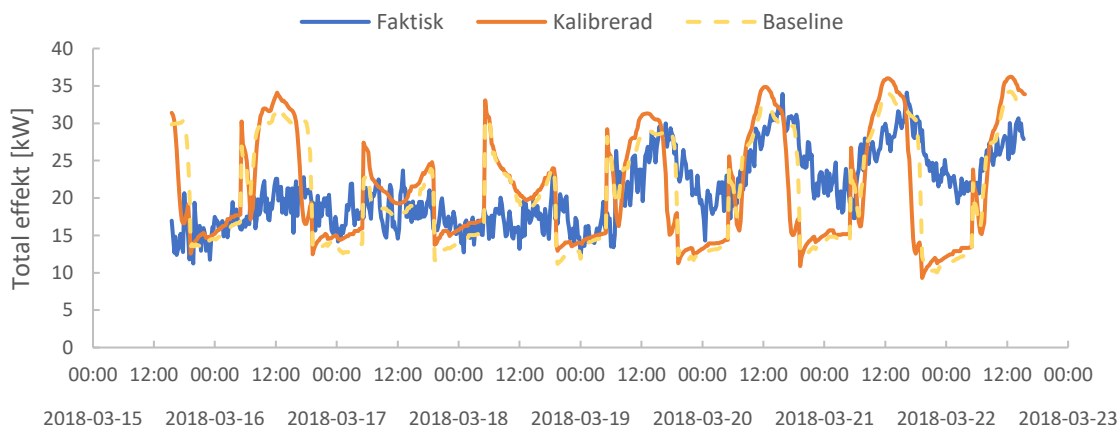
Kalibreringssteg	Parameter	Förändring mot föregående steg [%]	Förändring mot Baseline [%]	Avvikelse mot faktisk [%]
Luftflöden	Total	0,0	-0,1	0,9
	Värme	0,0	2,0	6,3
	Kyla	0,0	-1,8	-33,5
	Fastighetsel	0,0	0,0	295,3
Luftflöden + Tidsscheman	Total	-2,7	-2,8	3,7
	Värme	1,7	3,8	4,5
	Kyla	-6,1	-7,8	-29,2
	Fastighetsel	-10,2	-10,2	340,0
Luftflöden + Tidsscheman + Internlaster	Total	3,0	0,1	0,8
	Värme	-2,6	1,1	7,3
	Kyla	8,7	0,3	-34,9
	Fastighetsel	0,0	-10,2	340,0
Omkalibrering 1	Total	0,6	0,7	0,2
	Värme	-4,6	-3,6	12,5
	Kyla	2,6	2,9	-36,6
	Fastighetsel	28,8	15,7	241,7
Omkalibrering 2	Total	-3,5	-2,9	3,8
	Värme	-27,5	-30,1	55,1
	Kyla	15,6	18,9	-45,1
	Fastighetsel	0,5	16,3	239,9

Av Tabell 7 framgår att det första kalibreringssteget av luftflöden påverkar den totala energianvändningen minimalt, endast -0,1 %. Detta beror på att tidsscheman för luftflöden kalibreras i nästa steg. Efter att tidsscheman kalibrerats för reduceras den totala användningen vilket främst beror på det mindre kylbehovet till följd av minskade verksamhetstider och således internlaster dagtid. Vid kalibrering för interna laster ökar däremot kylbehovet eftersom uppdateringen bestod av en övervägande ökning av internlaster och således ökade den totala användningen. Det går inte att säga vilket steg av luftflöden, tidsscheman eller internlaster som påverkar mest då stegen är beroende av varandra. Luftflöden och internlaster beror på respektive tidsschema lika mycket som tidsschema beror på storleken på luftflöden och internlaster. Vid en första omkalibrering jämnades främst tidsscheman ut så att verksamheten långsamt avtar vid arbetsdagens slut istället för att verksamheten avslutas direkt, se Figur 6 i avsnitt 2.6.1. Dessutom förlängdes tidsscheman kopplade till fastighetselen. De något förlängda tidsscheman för

internlaster leder till ett ökat kylbehov och minskat värmebehov samtidigt som fastighetselen ökar. Detta kalibreringssteg redovisas mer ingående i avsnitt 4.2.1. Vid en andra omkalibrering ändrades tidscheman och dess beläggningsgrad för att återspegla den uppmätta användningen av verksamhetsel som ledde till ett vidare minskat värmebehov och ökat kylbehov. Detta kalibreringssteg redovisas mer ingående i avsnitt 4.2.2.

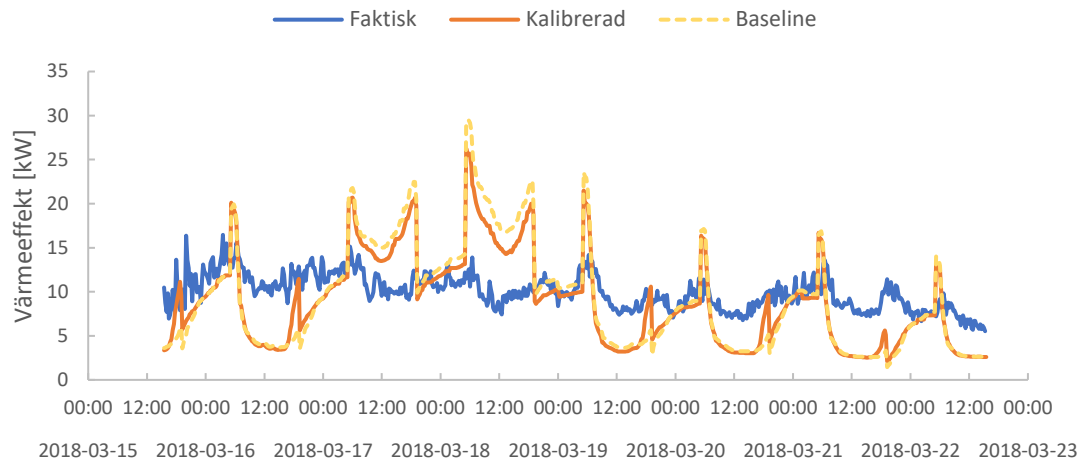
4.2.1 Första omkalibreringen

I Figur 14 erhålls störst variation i början av mätperioden, precis som vid jämförelse med baseline, se Figur 10. Variationen är således inte beroende på felkalibrering utan kan istället kopplas till antingen slumpmässiga eller systematiska fel, se avsnitt 3.10.1, vid de manuella mätningarna av kylflödet. I Figur 14 är topparna högre för den kalibrerade simuleringen vilket kan kopplas till ökade interna laster vid kalibreringen. Figuren visar också att kurvan för den kalibrerade användningen avtar tidigare dagtid än motsvarande kurva för den faktiska och baselinemodellen, vilket kan förklaras av reducerade verksamhetstider på våningsplanet.



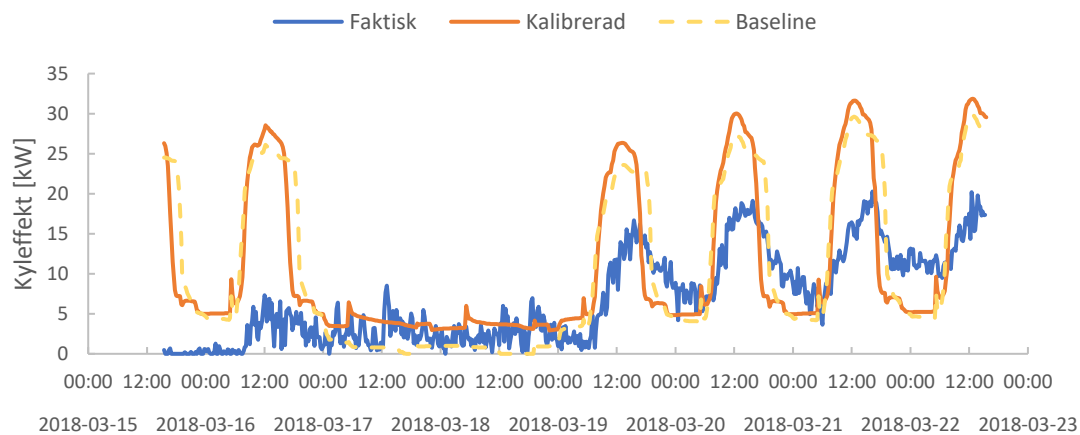
Figur 14. Simulering av den första omkalibrerade modellen mot den totala faktiska energianvändningen.

Från Figur 15 framgår att för den första omkalibrerade modellen är värmebehovet lägre under timmarna med högst verksamhet vilket beror på ökade internlaster. Kalibreringen inkluderade addering av flertalet värmeavgivande utrustning, till exempel datorer och skrivare, samt en ökad personbeläggning i olika rum, se appendix E. Till följd av den ökade värmeavgivningen från verksamheten minskar således energianvändningen som krävs till uppvärmning för våningsplanet. Vidare noteras en topp av värmebehovet för den kalibrerade modellen mitt på dagen vilket kan förklaras av att verksamhetstiderna för avdelningarna avslutas då, vilket leder till ett högre värmebehov då internvärme från personer och utrustning försvinner. De hastiga ökningarna och minskningarna av värmebehovet i den kalibrerade modellen kvarstår från baseline, se avsnitt 4.1 och beror fortfarande på begränsningar inom beräkningsprogrammet.



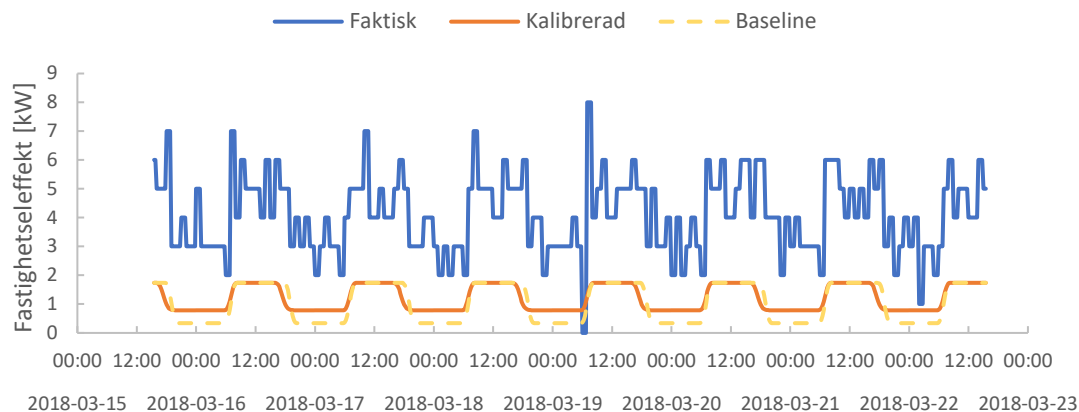
Figur 15. Simulering av den första omkalibrerade modellen mot den faktiska energianvändningen för uppvärmning.

Energianvändningen för kylning, vilken visas i Figur 16, är högre under de timmar med högst verksamhet vilket, precis som för värmebehovet, förklaras av de ökade interna lasterna. Det finns ett tydligt samband där energianvändningen för kylning ökar medan det för uppvärmning minskar vid ökade interna laster. Det framgår även att kylbehovet ökar på helgen vilket beror på att våningsplanet är verksamt även under helgen.



Figur 16. Simulering av den första omkalibrerad modell mot den faktiska energianvändningen för kylning.

Det sker ingen markant förbättring av matchningen mellan faktisk och simulerad fastighetsel vid den första omkalibreringen, vilket framgår av Figur 17. Skillnaden som uppstår är att behovet är större på nätterna till följd av längre verksamhetstider i korridorer kopplade till fastighetsel.



Figur 17. Simulering av den första omkalibrerade modellen mot den faktiska energianvändningen för fastighetsel.

Tabell 8 summerar den första omkalibreringens inverkan på resultatet. Den totala avvikelserna mellan faktisk och kalibrerad modell är endast 0,2 % vilket föranleder en god kalibrering. Däremot visas en betydande avvikelse mellan energianvändningen till kylning och uppvärmning, precis som vid baselinesimuleringen, där ett ökat kylbehov kompenseras med ett minskat värmebehov, se avsnitt 4.1. I jämförelsen mot baseline ökade den totala energianvändningen med 0,7 % vilket är relativt lågt. Dock erhålls större variationer i användningen av värme och kyla där värmebehovet minskade och kylbehovet ökade till följd av ökade interna laster och personbeläggning. Den största förändringen skedde för fastighetselen, 15,7 %, vilken dock har minst inverkan på den totala energianvändningen då den utgör en liten del. Korrelationen mellan faktisk och kalibrerad är i många fall lägre för den första omkalibreringen än för baseline, se r-värden i Tabell 8 nedan. Anledningen till en minskning i korrelation beror på att verksamhetstiderna har minskat, men trögheten i det verkliga systemet, den faktiska, kvarstår.

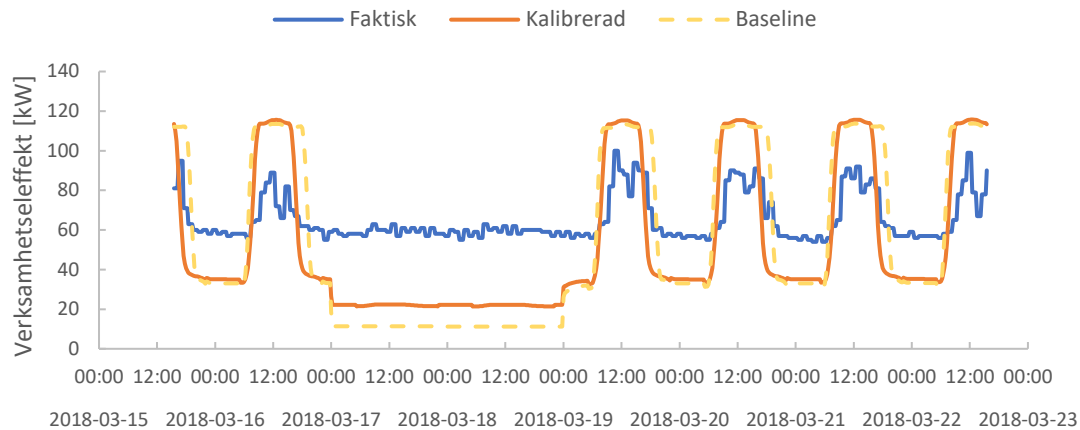
Tabell 8. Medelvärden av energianvändning för den första omkalibreringen av modellen och faktisk energianvändning för våningsplanet, skillnaden mot, den procentuella förändringen mellan den kalibrerade och baselinesimuleringen samt r-värde.

Parameter	Omkalibrering 1 [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]	Faktisk [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]	Avvikelse [%]	Förändring mot Baseline [%]	r-värde (r-värde Baseline)
Totalt	1,32	1,32	0,2	0,7	0,4 (0,5)
Värme	0,56	0,63	12,5	-3,6	0,5 (0,5)
Kyla	0,68	0,43	-36,6	2,9	0,6 (0,6)
Fastighetsel	0,08	0,26	241,7	15,7	0,6 (0,7)

Omkalibreringen gav för våningsplanet ingen markant förändring mot baseline och energibehovet för värme, kyla och fastighetsel har fortfarande noterbara avvikelser mot den faktiska. Det finns flertalet möjliga anledningar till varför omkalibreringen av modellen inte gav en bättre korrelation i dessa områden. En potentiell anledning är att schablonvärdet för värmeavgivning från de modellerade internlasterna är överestimerade, vilket skulle förklara de höga topparna för användningen av värme och kyla vid simuleringarna. Vidare kan en variation finnas i kalibreringen av tidsscheman då insamlade data för dessa är baserade på vårdpersonalens erfarenhet och uppfattning ur ett generellt perspektiv. Det finns således en möjlighet att den undersökta veckan innehöll variationer som avviker från det normala verksamhetsmönstret på våningsplanet vilket skulle ha påverkat jämförelsen mellan faktisk och kalibrerad energianvändning. Representativiteten av insamlade drifttider är även en risk som diskuterats tidigare under *Uppdatering av förändringar* i avsnitt 3.10.2. Eftersom en fullständig analys av rumsspecifika laster inte genomfördes kan det ge upphov till variationer som stickproven inte fångade upp. Däremot täckte antalet stickprov en stor andel av våningsplanet och risken för en markant miss kan därför anses liten.

Beläggninggraden i de ursprungliga tidsscheman i baselinemodellen, som har fungerat som utgångspunkt vid den första omkalibreringen, kan även vara felestimerade. Även detta diskuteras tidigare under *Inkorrekt data och antaganden till förvaltningsmodellen* i avsnitt 3.10.2. För att vidare utvärdera avvikelserna för värme och kyla jämfördes därför den faktiska användningen av verksamhetsel mot modellens simulerade värde, se Figur 18. I modellen modelleras verksamhetsel genom interna laster och deras tidsscheman för belysning och utrustning. Genom jämförelsen går det att se hur väl modellens predikterade tidsscheman för användningen av utrustning ger utslag för den verkliga användningen.

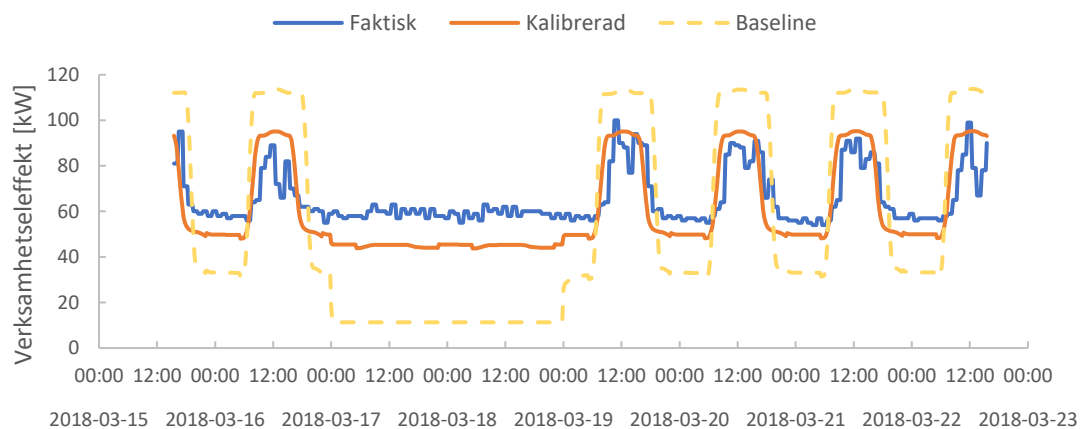
I Figur 18 framgår att det finns stora avvikelser över tid mellan den kalibrerade och faktiska användningen av verksamhetsel. Däremot erhålls positiva korrelationsfaktorer på 0,8 för både baseline och den första omkalibreringen mot den faktiska verksamhetselen. Det finns således en tydlig korrelation mellan baseline, första omkalibreringen och den faktiska verksamhetselen som inte ökar vid kalibreringen. Under de timmar verksamheten är som mest aktiv överestimerar modellen användningen av verksamhetsel och under nattetid och helg underestimeras användningen. För att få en mer noggrann kalibrering valdes därför att återigen ändra tidsscheman för belysning och utrustning i modellen där fokus låg på att sänka beläggningsgraden under dagtid på vardagar, samt höja beläggningsgraden nattetid och helg.



Figur 18. Simulering av den första omkalibrerade modellen mot den faktiska användningen för verksamhetsel.

4.2.2 Andra omkalibreringen

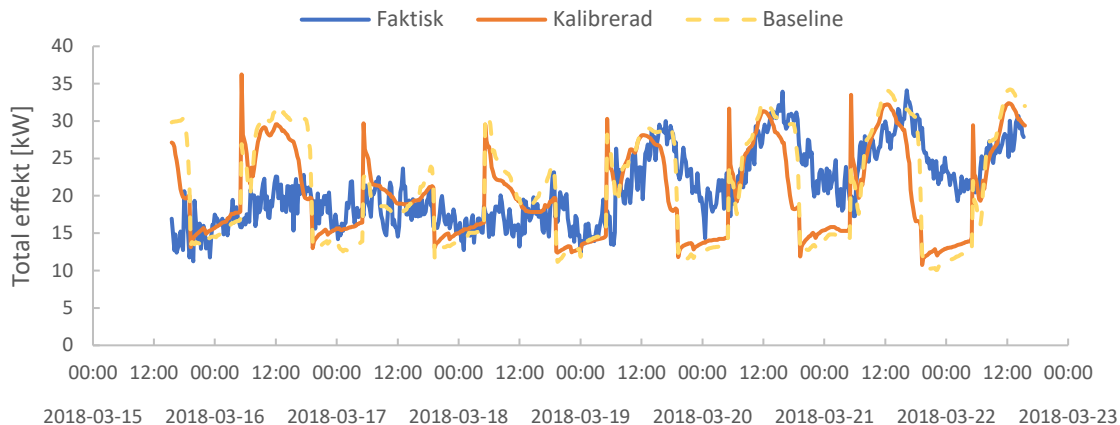
I detta avsnitt presenteras den andra omkalibreringen av förvaltningsmodellen som baserades på förändrade tidsscheman för att få en bättre överensstämmelse mellan faktiskt och simulerad verksamhetsel. Efter den andra omkalibreringen förhåller sig verksamhetselen enligt Figur 19.



Figur 19. Simulering den andra omkalibrerade modellen mot den faktiska energianvändningen för verksamhetsel.

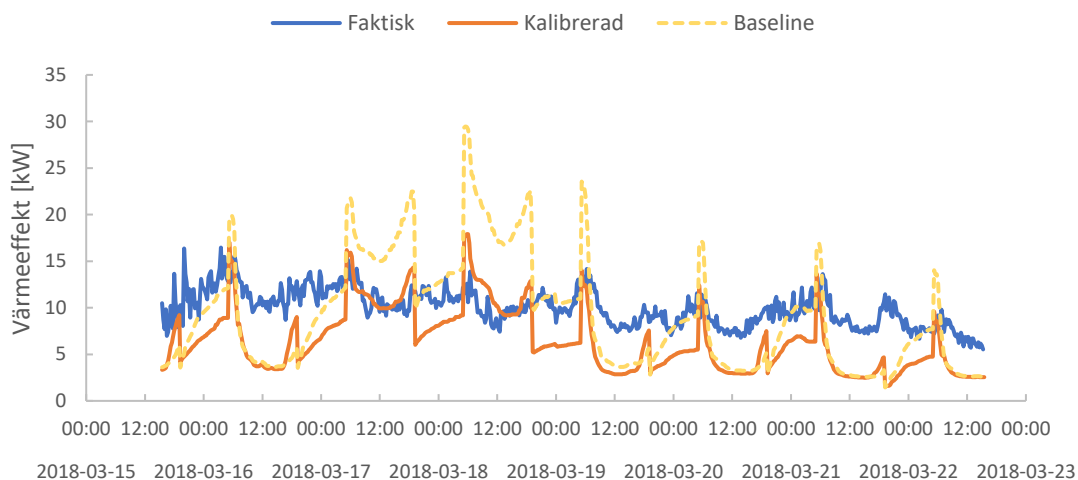
I Figur 19 framgår att den andra omkalibreringen gett effekt i och med att verksamhetselen har ökat under helg och nattetid samt minskat under dagtid på vardagar. Däremot erhålls fortfarande en korrelationsfaktor på 0,8. Nedan visas hur den andra omkalibreringen påverkar energianvändningen på våningsplanet.

Den totala energianvändningen för den faktiska respektive den andra omkalibrerade modellen visas i Figur 20. Totalt sett blir det inga markanta förändringar mot baslinemodellen utan liknande slutsatser som vid den första omkalibreringen kan dras.



Figur 20. Simulering av den andra omkalibrerade modellen mot den totala faktiska energianvändningen.

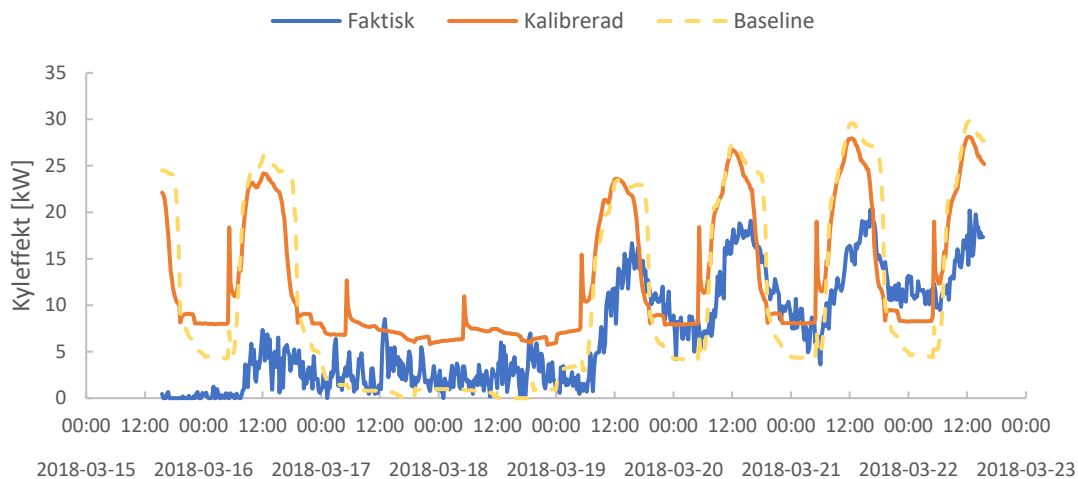
Enligt Figur 21 är de största förändringarna att energibehovet för uppvärmning har gått ner under nattetid och helg vilket beror på att beläggningsgraden för tidsscheman till utrustning och belysning har ökat under dessa perioder vilket i sin tur lett till ökad internvärme. En trolig orsak till varför värmebehovet är högre för den faktiska användningen är att det finns förluster i värmeavgivningen från internlaster. Det innebär att värmesystemet i verkligheten behöver värma mer vilket inte modellen tar hänsyn till.



Figur 21. Simulering av den andra omkalibrerade modellen mot den faktiska energianvändningen för uppvärmning.

I Figur 22 visas en tydlig förskjutning i y-led för den kalibrerade simuleringen vilken kan förklaras av en ökning i beläggning för utrustning och belysning i modelleringen vilket ökar internvärmen. Skillnaden mellan faktisk och kalibrerad användning kan bero på att kylbehovet är väl optimerat på våningsplanet och således förhåller sig relativt lågt gentemot den kalibrerade. En annan förklaring är att värmeavgivningen för utrustningen är överdimensionerad i modellen vilket ger utslag av en högre amplitud för den kalibrerade simuleringen. Detta kopplas till resonemanget att det i verkligheten finns

förluster i värmeavgivningen från internlasterna, se stycke för värmeeffekt ovan. Slutligen kan det, vilket nämns i baselinesimuleringen i avsnitt 4.1, ha gått fel i början vid uppmätning av den faktiska kylanvändningen.



Figur 22. Simulering av den andra omkalibrerade modellen mot den faktiska energianvändningen för kylning.

Fastighetselen förhåller sig likt Figur 17 i avsnitt 4.2.1, varför en motsvarande figur inte presenteras i detta avsnitt. Genom de sammanställda resultaten är det tydligt att avvikelserna mellan faktisk och simulerad fastighetsel inte påverkas tillräckligt av de kalibreringar som utförts. Det kan således konstateras att avvikelserna inte beror på felkalibrering utan kan kopplas till att jämförelsen mellan dem inte är representativ. Det vill säga att antingen den kalibrerade eller den faktiska användningen inkluderar eller exkluderar energianvändning som den andra inte gör. Vidare ger detta en avvikelse i jämförelsen mellan den totala faktiska energianvändningen och de kalibrerade fallen. Om avvikelserna i fastighetselen bortses blir den faktiska energianvändningen lägre än den kalibrerade och uppfyller således målvärdet till högre grad. En utvärdering av fastighetselen föreslås därför vid fortsatta studier, se avsnitt 8.

Av Tabell 9 framgår att avvikelserna mellan faktisk och kalibrerad energianvändning ökar för respektive parameter från föregående kalibrering även fast verksamhetselen kalibrerades utefter den faktiska användningen. Vid första anblick kan detta ses som ett steg i fel riktning men målet med kalibreringen var inte att få en exakt överensstämmelse utan mer att utvärdera hur modellen reagerar vid kalibrering baserat på verksamhetselen. Kalibreringen är tänkt att ge modellen en representativ bild av verkligheten och samtidigt se hur energianvändningen för uppvärmning, kylning och fastighetsel borde förändras till följd av detta (Heo m.fl., 2012).

Tabell 9. Medelvärden på faktisk och den andra omkalibreringens energianvändning på våningsplanet, dess avvikelse mot varandra, den procentuella förändringen mellan kalibrerad och baseline samt r-värden.

Parameter	Omkalibrering 2 [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]	Faktisk [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]	Avvikelse [%]	Förändring mot Baseline [%]	r-värde (r-värde baseline)
Totalt	1,27	1,32	3,8	−2,9	0,4 (0,5)
Värme	0,40	0,63	55,1	−30,1	0,5(0,5)
Kyla	0,79	0,43	−45,1	18,9	0,6 (0,6)
Fastighetsel	0,08	0,26	239,9	16,3	0,6 (0,7)

Tabell 9 visar även att en högre korrelation uppstår för värmebehovet än vid baseline men att korrelationen är lägre för övriga parametrar. Generellt har de två omkalibreringarna haft en marginell inverkan på korrelationsfaktorn för respektive parameter. Detta kan förklaras av att det framförallt är amplituden på de modellerade värdena som förändrats till följd av kalibreringarna vilket har en liten inverkan på korrelationsfaktorn då medelvärdet dras bort från respektive mätpunkt. Med den nuvarande modelleringen är det svårt att öka korrelationsfaktorn då den faktiska energianvändningen har en tröghet vilken inte återspeglas i samma grad i beräkningsprogrammet.

Det slutgiltiga målvärdet efter den andra omkalibreringen för våningsplanet under mätperioden hamnade på 1,27 kWh/m² medan den faktiska användningen låg på 1,32 kWh/m² vilket innebär att den faktiska överstiger målvärdet med 3,8 %. För testperioden innebär det att energikravet att understiga målvärdet med 15 % hade uppfyllts men för förvaltningsperioden hade det kontrakterade kravet på att understiga målvärdet med 3 % inte uppfyllts.

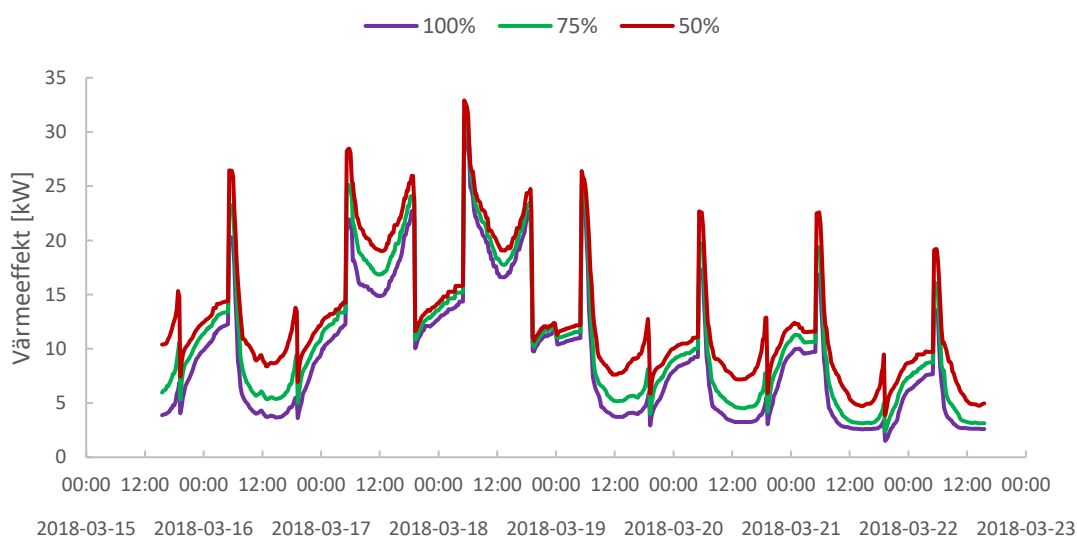
En tredje omkalibrering utfördes för att få en bättre parametervis överensstämmelse mellan faktiskt och kalibrerad energianvändning för värme och kyla. Både korrelation och avvikelse förbättrades parametervis men för total användning erhålls en betydligt lägre korrelation. Intresserade läsare hänvisas till appendix G.

5. Känslighetsanalys

För att undersöka hur variationer i interna laster, tidsscheman och väderdata påverkar förvaltningsmodellens energianvändning utfördes en känslighetsanalys med utgångspunkt i baslinemodellen. Analysen utfördes genom simuleringar med internlaster på 50 % och 75 % av baseline, tidsscheman mellan 7–17 istället för 7–19, se avsnitt 5.1, samt väderdata insamlad onsite vid anläggningen istället för SMHI-data, se avsnitt 5.2. De interna lasterna avser i första hand utrustning, personlast och belysning. Analysen presenteras genom att jämföra hur våningsplanets energibehov för värme och kyla påverkas av ovanstående förändringar.

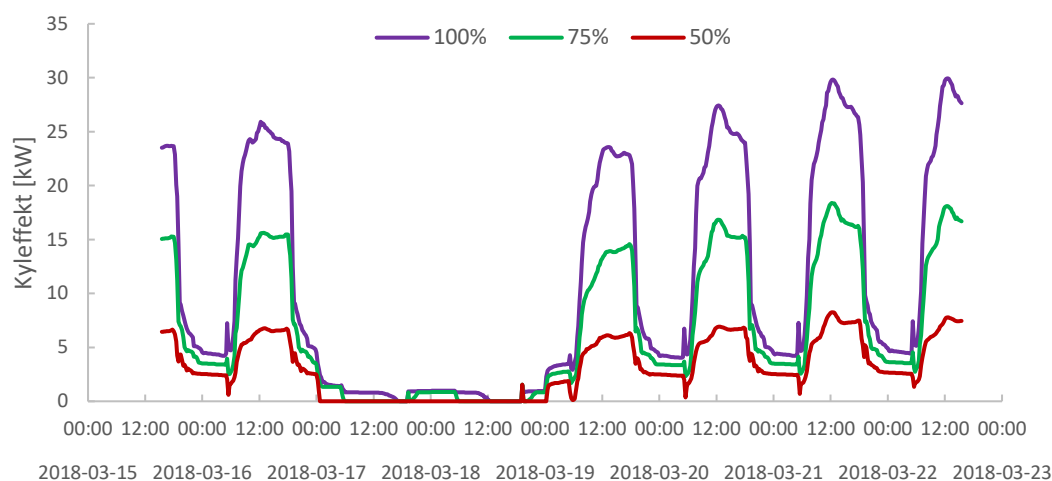
5.1 Interna laster och tidsschemans inverkan på simuleringarna

En reducering av de interna lasterna, som visas i Figur 23, leder till en liten ökning av värmebehovet. Ökningen är som störst under dagtid medan den minskar under nattetid vilket beror på att våningsplanet är som mest aktivt under dagen. Det betyder att internvärmes som fås från verksamheten blir mindre vilket leder till ett ökat värmebehov under den perioden.



Figur 23. Känslighetsanalys för energianvändningen för uppvärmning med varierande internlaster.

I Figur 24 visar att genom att minska de interna lasterna sker en markant reducering av kylbehovet vilket kan förklaras av en minskad användning av internlaster. Då användningen av dessa minskar, minskar även dess behov för nedkylning. Variationer i kylbehovet är även som störst under dagtid vilket motiverar ett samband till verksamheten och användningen av utrustningen. Vidare erhålls en lägre internvärme då personbeläggningen är mindre vilket reducerar kylbehovet.



Figur 24. Känslighetsanalys för energianvändning för kylning med varierande internlast.

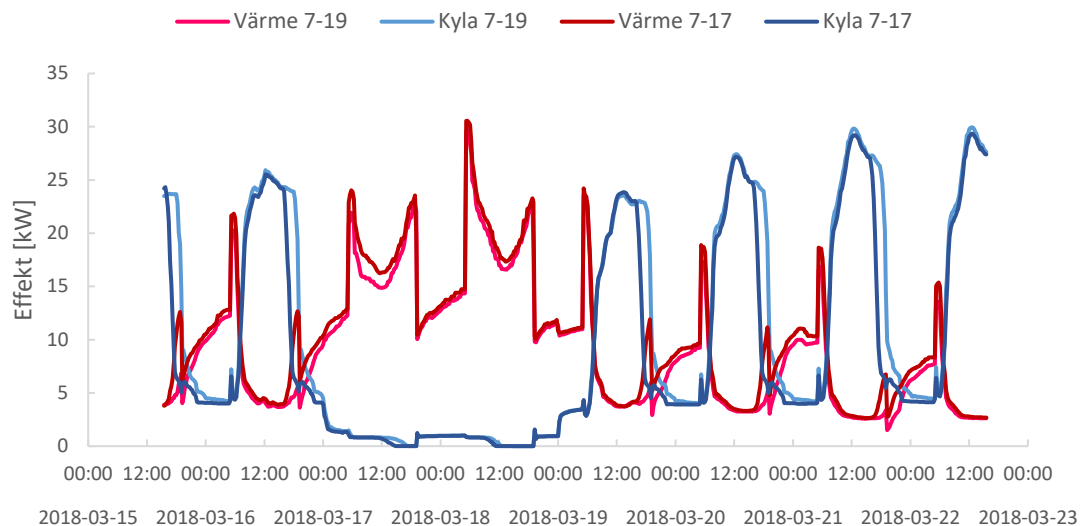
För att undersöka vilken av de ingående parametrarna i de interna lasterna, utrustning, personlast, och belysning, som påverkar värme- och kylbehovet mest utfördes ytterligare en känslighetsanalys, se Tabell 10. Tre olika körningar har genomförts där en av de ingående parametrarna har sänkts till 75 % belastning medan resterande två lasterna har haft full belastning, det vill säga 100 %.

Tabell 10. Procentuell påverkan av varierande interna laster.

Simulering	Värme [%]	Kyla [%]	Sammanlagd [%]
75 % Utrustning	5,4	-27,9	-12,4
75 % Personlast	4,1	-6,5	-1,6
75 % Belysning	5,6	-5,3	-0,2

I Tabell 10 framgår att den parameter som påverkar värme- och kylbehovet mest är den kliniska utrustningen. Framförallt minskar kylbehovet, vilket styrker tidigare analyser att utrustningen kräver ett stort kylbehov vid full last. För personlast och belysning tar värme och kylbehov till stor del ut varandra vilket leder till en mindre sammanlagd påverkan.

Hur en minskning av tidsscheman från förvaltningsmodellens baseline, från 7–19 till 7–17, påverkar energianvändningen av värme och kyla framgår av Figur 25. Respektive kurva för värme och kyla förhåller sig relativt lika varandra oavsett förändrat tidsschema. Kylbehovet sjunker dock två timmar tidigare på grund av de minskade verksamhetstiderna. I Figur 25 framgår även hur värme- och kylbehov förhåller sig till varandra över en vecka. Under natten ökar värmebehovet och under dagen ökar kylbehovet. Under helgen då verksamheten inte är aktiv finns inget kylbehov utan bara värmebehov.



Figur 25. Känslighetsanalys för energianvändning för uppvärmning och kylning med varierat tidsschema.

I Tabell 11 och Tabell 12 sammanställs medelvärden och avvikelser från varierande beläggning av interna laster samt förändring av tidsscheman.

Tabell 11. Medelvärden av värme, kyla samt dess sammanlagda energianvändning med varierande internlaster och tidsschema.

Simulering	Värme [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]	Kyla [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]	Sammanlagd [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]
100 % & 7–19 (Baseline)	0,58	0,67	1,25
75 %	0,67	0,42	1,09
50 %	0,80	0,20	1,00
7–17	0,64	0,57	1,21

Tabell 12. Procentuell påverkan på värme- och kylanvändningen med varierande internlaster och tidsschema. Baseline som referens.

Simulering	Värme [%]	Kyla [%]	Sammanlagd [%]
100 % & 7–19 (Baseline)	0,0	0,0	0,0
75 %	16,3	–37,5	–12,5
50 %	37,9	–70,5	–20,1
7–17	10,8	–13,8	–2,4

Det tydliggörs i Tabell 12 att kylbehovet påverkas mest, en minskning med hela 70,49 %, med 50 % internlaster. Det beror på att våningsplanet innefattar avdelningen bild och funktion som i sin tur innehåller mycket värmeavgivande utrustning som behöver kylas för att behålla önskad inomhustemperatur. Genom att minska tidsscheman med två timmar erhöles ett högre värmebehov och ett lägre kylbehov. Detta då det blir färre timmar då personer befinner sig på våningsplanet vilket leder till lägre internvärme under dessa timmar och således högre värmebehov. Den sammanlagda energianvändningen förändras dock inte avsevärt eftersom det ökade värmebehovet kompenseras med ett minskande kylbehov. Således går det att konstatera att en minskning med 2 timmar på tidsscheman har mindre effekt på den sammanlagda energianvändningen på det undersökta våningsplanet än vad de varierande interna lasterna har.

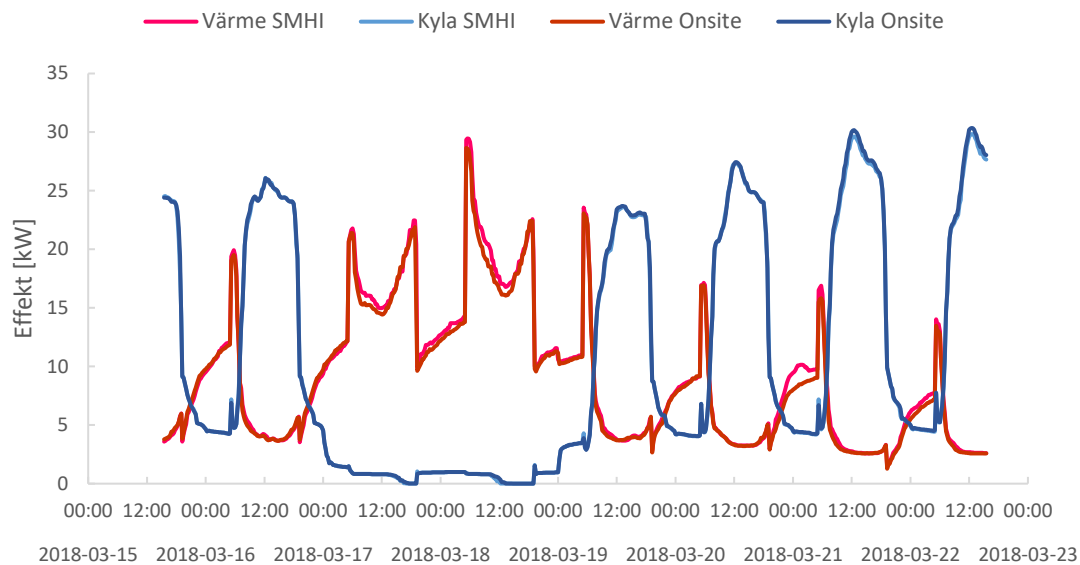
5.2 Klimatdatans inverkan på simuleringarna

I Tabell 13 presenteras medelvärden från klimatfiler innehållande väderdata från SMHI och onsite för att visa hur datan skiljer sig vilket ligger till grund för nästkommande känslighetsanalys, se Figur 26. Global och diffus solinstrålning uppmätts inte onsite varför data från SMHI användes även i onsite-körningen.

Tabell 13. Jämförelse mellan väderdata från SMHI och onsite.

Simulering	Temperatur [°C]	Relativ fuktighet [%]	Vindriktning [°]	Vindhastighet [m/s]
SMHI (Baseline)	–2,6	62,1	257,0	3,4
Onsite	–2,0	66,5	197,4	3,3

Enligt Figur 26 framgår det att värme- och kylbehov förhåller sig väldigt likt varandra oberoende av väderdata. Förklaringen till detta ligger i att de olika väderdatan är väldigt lika, se Tabell 13, och de små skillnaderna som infinner sig har därför en så pass marginell inverkan på den totala energianvändningen för att ge noterbara utslag i figuren.



Figur 26. Känslighetsanalys på energianvändningen för uppvärmning och kylning med väderdata från SMHI och onsite.

I Tabell 14 tydliggörs att värmebehovet minskar vid användning av onsite väderdata vilket kan förklaras av en högre medeltemperatur. Vidare ger detta utslag i kylanvändningen som blir något högre. Den sammanlagda avvikelser ligger på 1,1 % vilket visar att väderdatan från SMHI väl representerar NKS för mätperioden som studien undersöker. Användandet av onsite väderdata har en potential att öka noggrannheten på simuleringen. Däremot kan inte analysen avgöra huruvida skillnaden mellan analyserade väderdata för ett helår har en större inverkan på energianvändningen.

Tabell 14. Medelvärden och procentuell avvikelse för energianvändningen för uppvärmning och kylning med väderdata från SMHI och onsite.

Simulering och avvikelse	Värme [$\frac{kWh}{m^2}$]	Kyla [$\frac{kWh}{m^2}$]	Sammanlagd [$\frac{kWh}{m^2}$]
SMHI (Baseline)	0,58	0,67	1,25
Onsite	0,56	0,67	1,23
Avvikelse [%]	-3,2	0,7	-1,1

6. Diskussion

I detta avsnitt diskuteras den framtagna förvaltningsmetoden. Den diskuteras utefter de brister och förbättringspotentialer som identifierats under den här studien.

I metodutformandet valdes att undersöka en kort mätperiod av en vecka på grund av tidsbegränsningen för studien. En kort mätperiod kan ge upphov till osäkerhet vid identifiering av förbättringsfaktorer. Exempelvis kan den undersökta veckans representativitet skilja sig från en normalvecka för ett helt år. Således kan faktorer som i denna studie är viktiga, vara mindre viktiga för ett helår då parametrar kan kompensera för varandra under längre mätperioder. Det finns alltså en svårighet i att säga hur representativt resultatet är för den fortsatta förvaltningen av modellen. Resultatet ska således inte endast tolkas numeriskt utan det är själva metodiken och hur variation av parametrar påverkar förvaltningsmodellen som är av relevans. Som framgår av avsnitt 4.2 erhålls skillnader i energianvändning för uppvärmning och kylning under mätperioden även då modellen är kalibrerad. Däremot fås ett totalt energibehov med en låg avvikelse mot det faktiska. Modellen är inte menad att exakt korrelera med den faktiska användningen utan att bidra till ett målvärde som anläggningen ska förhålla sig till under ett års tid. I detta är en vecka inte det mest optimala jämförelseunderlaget då oväntade avvikelser i energianvändningen kan antas jämnas ut sig över ett år.

Vid utförandet av studien hade våningsplanen nyligen tagits i drift vilket innebär att den ännu ej är helt anpassad efter verksamhetsförändringar och således ej är helt intrimmad. Under *Intrimning av anläggningen* i avsnitt 3.10, diskuteras att risken för denna hanteras genom att anpassa förvaltningsmodellen efter verkliga driftförhållanden. Däremot kan intrimningen av byggnaden även ha en inverkan på den faktiska energianvändningen på våningsplanet då driften inte helt har optimerats emot verksamheten. Det innebär att förändringar i verksamheten som uppdaterats i modellen kanske ännu inte har tagits hänsyn till i driftsättningen. Ett exempel kan vara förändrad personlast eller tidsscheman på avdelningar vilket skulle föranleda ändrad drift av luftflöden, uppvärmning och kylning. Om dessa ännu inte har implementerats i verkligheten skulle skillnaden mellan faktisk och simulerad energianvändning vara missvisande. Denna variation är dock mindre relevant vid framtida förvaltning av modellen, förutsatt att byggnaden blir fullt intrimmad under testperioden. I IPMVP, se avsnitt 2.5.2, beskrivs att en tydlig plan för uppföljning kan underlätta för anläggningsförvaltare att utföra drift- och underhållsfelsökning vilket är särskilt värdefullt under de första åren av driftsättning. Således kan förvaltningsmetoden ses som ett verktyg som ger mer erfarenhet och kunskap kring anläggningens prestanda, vilket kan vara ett hjälpmedel för att trimma in anläggningen under testperioden. På så sätt kan framtida avvikelser i energiuppföljningen potentiellt minskas.

Det har framkommit att den mest tidskrävande processen i förvaltningsmetoden är kalibrering och uppdatering. Än så länge finns inget sätt att effektivisera processen utan den behöver utföras för varje våningsplan och tar olika lång tid beroende på hur mycket

som behöver uppdateras. Anledningen till att processen tar långt tid är att mycket av den insamlade datan som ska uppdateras ligger utanför databasen i beräkningsprogrammet IDA ICE. Det tidskrävande momentet ligger i att uppdatera data i modellen vilket i nuläget måste göras manuellt rum för rum, våningsplan för våningsplan, byggnadskropp för byggnadskropp. För att underlätta uppdateringen behöver insamlingen av data ske på ett sätt där datan läggs in direkt i modellen eller genom att programutvecklare för beräkningsprogrammet utvecklar ett mer användarvänligt gränssnitt där till exempel tidsscheman för flera rum eller zoner kan uppdateras samtidigt. I nuläget finns det visserligen möjlighet att tilldela ett rum ett typschema vilket används i förvaltningsmodellen. Däremot kan det vara önskvärt att ändra alla typscheman på samma gång då verksamhetstider på en avdelning oftast är samma och således ändras tillsammans.

I förvaltningsmodellen har varje rum ett unikt rums-ID som har liknelser med de unika rums-ID:n som finns i planlösningen. De är däremot inte identiska vilket försvårar kalibrering och uppdatering av modellen då många av de dokument som utgör grund i processen utgår från rums-ID:t från planlösningen. Att säkerställa att det är rätt rum som behandlas blir därför tidskrävande. Genom att göra de olika rums-ID:na lika i samtliga dokument och databaser skulle processen underlättas. En process som tar lång tid men på lång sikt kan tid sparas.

De interna lasterna, i huvudsak den kliniska utrustningen, för varje rum är i förvaltningsmodellen modellerade som en total värmeavgivande effekt med varierande storlek som inkluderar mängd av utrustning. Dock finns en funktion i beräkningsprogrammet se Figur 7 i avsnitt 2.6.1, där antalet enheter kan ändras separat. I nuläget för baselinemodellen är den inställd på en enhet eftersom den värmeavgivande effekten tillgodoser antalet enheter. När utrustningen via internlaster uppdaterades hade det underlättat om denna funktion hade kunnat utnyttjas för att på så sätt tidseffektivisera kalibrering- och uppdateringsprocessen. Det kräver att den värmeavgivande effekten för utrustning ändras så att den motsvarar en enhet varpå det därefter går att ändra antal enheter till önskat antal.

Troligtvis kommer det inte ta lika lång tid att kalibrera förvaltningsmodellen varje år under förvaltningsperioden eftersom det största uppdateringsarbetet ligger i att kalibrera baselinemodellen till en så god representation av den färdigställda anläggningen som möjligt. Eftersom baselinemodellen togs fram i ett tidigt skede, innan anläggningen var färdigställd, behöver förvaltningsmodellen uppdateras med verkliga värden som först nu är tillgängliga. Efter att denna process är genomförd kommer det årliga uppdateringsarbetet minska förutsatt att inga större förändringar sker inom verksamheten under förvaltningsperioden. Till exempel skedde kalibreringen av luftflöden för mätperioden genom att korrigera det projekterade luftflödet till det uppmätta luftflödet, som kan göras vid intrimning av baselinemodellen och sedan endast vid större förändringar av verksamheten.

I processen att ta fram förvaltningsmetoden var det tydligt att uppföljning av tidsscheman samt förändringar i verksamhet och komponenter är någonting som är svårt att utföra. Det framtagna arbetssättet beskriver processen av platsbesök och intervjuer, vilket fungerar då studieobjektet är avgränsat till ett våningsplan men skulle vara väldigt tidskrävande och administrativt utmanande att utföra för hela sjukhuset. För att komma runt detta behöver ett system för rapportering upprättas där kontinuerlig kontakt mellan SLL:s vårdverksamhet och Coor är en viktig del. Vårdverksamheten behöver rapportera vid markanta förändringar i verksamheten, till exempel om nya instrument installeras eller om drifttider förändras. Dessa kan då antingen lagras i en databas, alternativt uppdateras så fort de kommer in. En annan lösning är att fokusera kalibreringen på de parametrar som har störst inverkan. Genom studien har det framkommit att interna laster, i form av klinisk utrustning, i kombination med deras tidsscheman påverkar energianvändningen mest, se avsnitt 5.1. Eftersom förvaltningen ska pågå fram till år 2040 kan parametrar som i nuläget anses små få en markant inverkan då dessa adderas ihop över åren, vilket är viktigt att ha i åtanke i förvaltningsarbetet.

En svårighet i förvaltningsmetoden var att anpassa en modell där modellförvaltaren inte varit delaktig i utvecklingen och framtagandet av den. Det tar tid att sätta sig in i uppbyggnaden av modellen samt hur rummen och komponenterna hänger ihop. Exempelvis baseras rummens beläggningsgrad på antal personer fördelade över respektive avdelning. Hur detta är uppbyggt i modellen samt hur det relaterar till verkligheten är vid första anblick svårt att utläsa. För nya modellförvaltare kan det vara svårt att utreda vilka samband och antaganden som gjorts utan att själv varit delaktig i modelleringen. I processen för kalibrering och uppdatering kan det leda till feluppfattningar där parametrar som ser ut att variera från verkligheten kan vara korrekta men modellerade på ett annat sätt än det modellförvaltaren tror. En risk finns således i att modellen felaktigt uppdateras om inte tillräckligt med kunskap finns att tillgå. Ett alternativ för att minimera risken skulle vara att anordna workshops där personal från Coor får lära sig modellens uppbyggnad av en sakkunnig person, som förslagsvis varit delaktig genom modelleringsprocessen förvaltningsmodellen.

Det är en utmaning att veta när i den iterativa kalibreringsprocessen det är läge att sluta, det vill säga när ett tillräckligt noggrant eller representativt målvärde har tagits fram. Det är således viktigt att inte jobba för mycket mot att återspegla den faktiska energianvändningen genom att blint matcha den simulerade fastighetsenergin mot den faktiska. Modellen ska sätta ett målvärde som den faktiska energianvändningen ska försöka understiga. Målvärdet ska motsvara energianvändningen för NKS under de kravställda villkoren förutsatt verklig användning av verksamheten, både vad gäller användning av rum och interna laster med mera. Det är därför viktigt att försöka återspegla den verkliga användningen av verksamhetsenergin i kalibreringsdatan (Heo m.fl., 2012) vilket också försökte uppnås vid den andra omkalibreringen där verksamhetselen anpassades efter verkliga förhållanden, se avsnitt 4.2.2.

7. Slutsatser

Den framtagna förvaltningsmetoden lämpade sig bra för att undersöka våningsplanet under mätperioden men det finns en del förbättringspotential. Kalibrering och uppdatering är den mest tidskrävande och administrativt komplexa processen på grund av att varje personlast, utrustning och tidsschema måste uppdateras individuellt för respektive rum i modellen. Vidare är processen för kalibrering tidskrävande att sätta sig in i då det tar tid att bygga upp en förståelse för hur parametrar och dess samband är modellerade. Sammantaget skulle detta innebära en hög arbetsbörda att utföra för hela anläggningen som inkluderar flertalet våningsplan. Kalibreringen kommer däremot inte att behöva utföras lika utförligt efter att modellen anpassats ordentlig efter drift, vilket är målet med testperioden.

För att underlätta för framtida förvaltning föreslås ett antal förslag på förbättringar. För att tidseffektivisera förvaltningen behöver framförallt kalibreringsprocessen effektiviseras. Detta kan utföras genom att kontrollera att rums-ID för modell och ritning stämmer överens, införa relationer mellan tidsscheman så att alla rum som är kopplade till en specifik verksamhet ändras på samma gång, samt implementera ett enklare sätt att ändra antal inventarier i ett rum på en gång. Vidare kan en god kommunikation och upprättandet av ett rapporteringssystem mellan vård och förvaltare underlätta processen genom att aktuella drifttider och verksamhetsförändringar kontinuerligt rapporteras. Slutligen finns en komplexitet i modellens uppbyggnad, vilken i sig är tidskrävande att sätta sig in i. Därför rekommenderas någon form av utbildning där förvaltarna får lära sig hur modellen är uppbyggd av någon som varit delaktig i dess utveckling.

Efter kalibreringen fanns det fortfarande en relativt stor skillnad mellan faktisk och simulerad energianvändning för uppvärmning och kylning, även fast den totala avvikelserna var låg. Detta berodde framförallt på att de interna lasterna och dess beläggning i respektive tidsschema på våningsplanet var underdimensionerade under kvällar och helger samt överdimensionerade under dagtid på vardagar. Vidare finns troligen förluster i verkligheten för värmeavgivningen, vilket modellen inte tar hänsyn till. Slutsatsen som går att dra från analysen är således att detta troligen även förekommer på andra våningsplan, i större eller mindre grad. Därför är det viktigt att vid testperioden dimensionera de interna lasterna efter den faktiska användningen genom att kontrollera schablonvärden på värmeavgivningen för utrustningen samt justera beläggningsgraden för respektive tidsschema. Känslighetsanalysen visar att interna laster på det undersökta våningsplanet har störst inverkan på energianvändningen när dessa varierar. Däremot innehåller det undersökta våningsplanet avdelningen bild och funktion, vilken har höga internlasterna i form av klinisk utrustning. Därför kan inte en generell slutsats för hela anläggningen dras.

Eftersom en generell slutsats för hela anläggningen inte kan dras finns det en svårighet i att säga om noggrannheten i energiberäkningen behöver förbättras. Däremot har det framkommit en del avvikelser vid framförallt estimeringen av de interna lasterna som vid

simulering av hela anläggningen kan ha stor inverkan på resultatet och därför motiveras en ökning i noggrannhet för energiberäkningen i modellen. Eftersom processen för kalibrering syftar till att öka noggrannheten för modellen, är det specifikt där fokus bör läggas för att i framtiden följa upp variationerna i verksamheten och korrigera de interna lasterna för att uppfylla målvärdet under den kommande förvaltningsperioden.

8. Fortsatta studier

För fortsatta studier föreslås följande;

- Fortsatta studier för förvaltningsmetoden under en mätperiod över ett helt år bör utföras, vilket först kan möjliggöras när ett större underlag i form av mätvärden finns tillgängligt. I samband med detta bör även hela energianvändningen på NKS studeras.
- En stor utmaning ligger i att kalibrera utefter den verkliga användningen av verksamheten. Därför föreslås att noggrant kartlägga användarnas brukarmönster och implementera det i förvaltningsmodellens tidsschema. På liknande sätt föreslås även att vidare studier kring storleken på interna laster, i huvudsak den kliniska utrustningen, utförs.
- Studien kunde inte fastslå var avvikelsen för kalibrerad och faktiskt energianvändning för fastighetsel berodde på. Det bör därför göras fortsatta studier för att kartlägga vilka delar som räknas in i den faktiska användningen av fastighetsel samt vad fastighetselen i förvaltningsmodellen räknar med.
- I den utförda förvaltningsmetoden begränsades undersökningen av att ombyggnationer inte utfördes på våningsplanet. För fortsatta studier är en intressant aspekt att undersöka hur stor inverkan varierande ombyggnationer har på energianvändningen i anläggningen och om det finns en relevans att kontinuerligt kalibrera modellen efter dessa.

Referenser

Interna källor

NKS (2010), Miljöprogram - bilaga 19, projektavtal OPS-upphandling, Stockholms läns landsting.

Coor (2017), Energi NKS – arbetssätt och krav, powerpoint, Coor

Karlsson, F. (2017a), Green Energy Week, powerpoint, Sweco.

Karlsson, F. (2017b) EAc5 Measuring and Verification Plan - Phase 5, konsultrapport, Sweco och ÅF.

Karlsson, F. (2017c), Energimodellen - förslag till uppföljning, konsultrapport, Sweco och ÅF.

Karlsson, F. (2016), Mätarplan för energimätning, konsultrapport, Sweco och ÅF.

Internetkällor

Energimyndigheten (2017), Nära-noll-energibyggnader. Tillgänglig online:

<http://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/program-och-uppdrag/nne/> (2018-03-02)

EQUA (2018), IDA Indoor Climate and Energy. Tillgänglig online:

<https://www.equa.se/en/ida-ice> (2018-02-26)

Naturvårdsverket (2017a), Energieffektivisering i bostäder och lokaler. Tillgänglig online:

<http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Energi/Energieffektivisering/Bostader-och-lokaler/> (2018-03-01)

Naturvårdsverket (2017b), Miljökvalitetsmålen. Tillgänglig online:

<http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/> (2018-01-24)

NKS (2014), Det nya sjukhuset. Tillgänglig online:

<http://www.nyakarolinskasolna.se/sv/Det-nya-sjukhuset/> (2018-01-24).

NKS (2017a), Tidslinje. Tillgänglig online:

<http://www.nyakarolinskasolna.se/sv/Bakgrund/tidslinje/> (2018-01-23).

NKS (2017b), Sista byggnaden i nya karolinska solna-projektet klar. Tillgänglig online:

<http://www.nyakarolinskasolna.se/sv/Aktuellt/Nyheter/sista-byggnaden-i-nya-karolinska-solna-projektet-klar/> (2018-01-25)

NKS (2017c), Miljökrav i världsklass. Tillgänglig online:

<http://www.nyakarolinskasolna.se/sv/Det-nya-sjukhuset/Miljokrav-i-varldsklass/> (2018-01-24)

- Skanska (2018), Nya Karolinska Solna. Tillgänglig online: <https://www.skanska.se/vart-erbjudande/vara-projekt/57344/Nya-Karolinska-Solna> (2018-01-24)
- Sveby (2018), Hur använder jag sveby. Tillgänglig online: <http://www.sveby.org/hur-anvander-jag-sveby/> (2018-02-03)
- Sweden Green Building Council (2017), Miljöbyggnad. Tillgänglig online: <https://www.sgbc.se/om-miljoebyggnad> (2018-01-23)
- Sweden Green Building Council (2014a), Sammanfattning av betygskriterier för nyproducerade byggnader. Tillgänglig online: <https://www.sgbc.se/dokument-och-manualer> (2018-01-23)
- Sweden Green Building Council (2014b), Certifiering i LEED. Tillgänglig online: <https://www.sgbc.se/certifiering-i-leed> (2018-01-24)
- U.S. Green Building Council (2014), Checklist: LEED v4 for Interior Design and Construction. Tillgänglig online: <https://www.usgbc.org/resources/leed-v4-interior-design-and-construction-checklist> (2018-01-24)

Tryckta källor

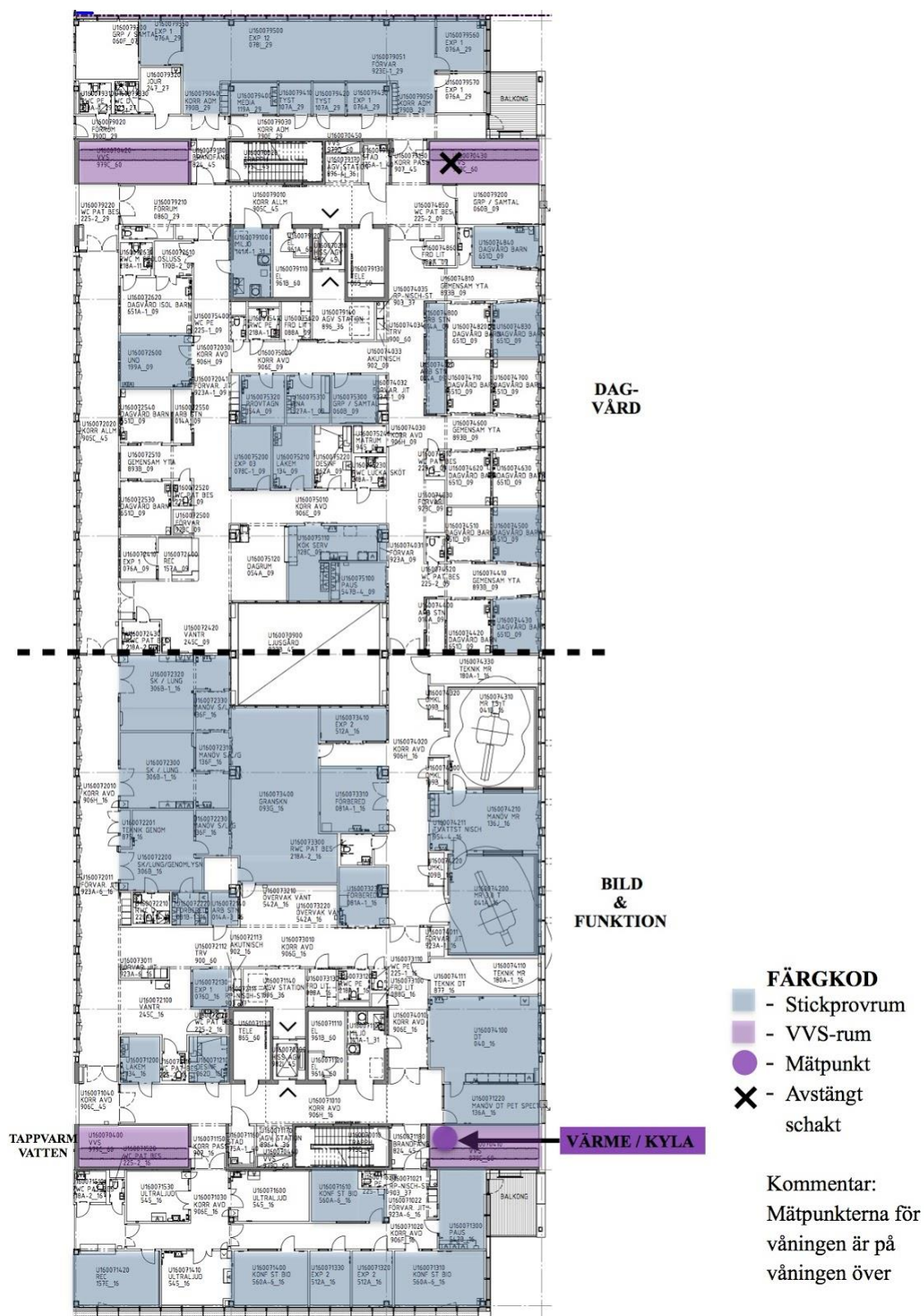
- Ahmad, M., Culp, C. (2006), "Uncalibrated Building Energy Simulation Modeling Results", HVAC&R Research, vol.12, nr.4, ss.1141-1155.
- Boverket (2017), Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd), BFS 2011:6 - BBR 18, Boverket: Karlskrona.
- Coakley, D., Raftery, P., Keane, M. (2014), "A review of methods to match building energy simulation models to measured data", Renew. Sust. Energ. Rev. 37, ss. 123–141.
- Esaiasson, P., Gilljam, M., Oscarsson, H., Wängnerud, L. (2011), Metodpraktikan, Norstedts Juridik: Stockholm.
- Europeiska unionens officiella tidning (2012), EUROPAPARLAMENTET OCH RÅDETS DIREKTIV 2012/27/EU av den 25 oktober 2012 om energieffektivitet, om ändring av direktiven 2009/125/EG och 2010/30/EU och om upphävande av direktiven 2004/8/EG och 2006/32/EG.
- Heo, Y., Choudhary, R., Augenbroea, G.A. (2012), "Calibration of building energy models for retrofit analysis under uncertainty", Energy and Buildings, vol.47, ss. 550–560.
- IMI Hydronic Engineering, (2015), TA-Scope, 310 297-01 01.2015
- IPMVP New Construction Subcommittee (2003), International Performance Measurement & Verification Protocol, Concepts and Options for Determining Energy Savings in New Construction, Efficiency Valuation Organization: Washington.

- Marti, M., Reinelt, G. (2011), The Linear Ordering Problem: Exact and Heuristic Methods in Combinatorial Optimization. Springer Verlag: Berlin.
- Miljösamverkan Östergötland. (2009), Arbetsbeskrivning och mall för energikartläggning och energiplan, Miljösamverkan Östergötland: Östergötland.
- Nyman, P., Österman, M. (2016), Att genomföra och bedöma statistiska undersökningar, Statsvetenskapliga Institutionen: Uppsala.
- Puth, M.T., Neuhauser, M., Graeme D.R. (2014). Effective use of Pearson's product-moment correlation coefficient. Elsevier Ltd.: Animal Behaviour 93 (2014) ss. 183-189
- Ritchie, J., Lewis, J. (2003), Qualitative Research Practice, SAGE Publications Ltd: London.
- SLL (2016), Miljöprogram 2017–2021, LS 2015–0092, Stockholm läns landsting: Stockholm.
- Reddy, A. (2006), “Literature Review on Calibration of Building Energy Simulation Programs: Uses, Problems, Procedures, Uncertainty, and Tools”, ASHRAE Transactions, vol.112, nr.1.
- Sveby (2012a), Energiprestandaanalys – avvikelse som kan härledas till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov, Version 1.0 2012-10-10, Sveby: Stockholm.
- Sveby (2012b), Energiverifikat – uppföljning av energikrav under byggprocessen, Version 1.0 2012-10-10, Sveby: Stockholm.
- Sveby (2012c), Mätföreskrifter, Version 1.0 2012-10-10, Sveby: Stockholm.
- Yoon, J., Lee, E.J., Claridge, D.E. (2006), “Calibration Procedure for Energy Performance Simulation of a Commercial Building”, Journal of Solar Energy Engineering, vol.125, ss.251-257.
- Öberg, P. (2017), Grundutbildning i vvs och hydronisk injustering, TA Hydronics: Ljung.

Muntliga källor

- Ekestubbe, C., Lewis, G. (2018), Röntgensjuksköterskor på NKS. Intervju 7 maj, Stockholm.
- Karlsson, F. (2018), Energistrateg på Sweco. Möte 19 februari, Stockholm
- Wahlstedt, C. (2018), Planeringssjuksköterska på NKS. Intervju 4 april, Stockholm.

Appendix A



Figur 27. Planritning över våningsplanet med information angående de manuella mätningarna och stickprovrummen.

Appendix B

Tabell 15. Del av sammanställning av inventarier.

Rumsnummer (antal personer)	Antal	Kommentar	Rumsnummer (antal personer)	Antal	Kommentar
Rum 71410 (5)			Rum 72200 (Antal personer: 12)		
Brits, undersökning, mobil, el, med pappershållare	1		Manöverenhet, röntgen, mobil, golvstående	1	
Dator, person, administration	1		Monitor, röntgen, mobil vagn	1	
Ultraljudsapparat	1		Röntgenrör, takhängt, travers, Typ 3	1	
Monitor, slav till ultraljudsapparat, takhängd	1		Röntgenutrustning, skelett-lung- genomlysning, Typ 1	1	
Rum 71420 (2)			TV, DVD, 42", takhängd, verksamhet	1	
Dator, person, administration	3		Rum 72310 (4)		
Bord, skriv, justerbar höjd	2		Bord, skriv, justerbar höjd	1	
Bord, arbets, justerbar höjd	1		Arbetsstation, (två skärmar)	2	
Arbetsplatsbelysning	2		Skrivare, laser, administration	1	
Plats för: Skrivare, laser, administration	1		Övervakningsutrustning, patient	1	
Rum 71310 (10)			Rum 72140 (4)		
Dator, arbetsstation	1		Arbetsplatsbelysning	1	
Dator, person, administration	1		Bord, arbets, justerbar höjd	1	
Monitor, vägghängd, 52"	4		Dator, person, administration	1	
LCD, verksamhet	2		Rum 72130 (1)		
Whiteboard, digital, interaktiv, verksamhet	1		Arbetsplatsbelysning	2	
Rum 71300 (8)			Bord, skriv, justerbar höjd	1	
Diskmaskin, kök	1		Dator, person, administration	1	
Kylskåp, kök, underbänk	1		Rum 73410 (5)		
Plats för: Kaffeautomat,	1		Arbetsplatsbelysning	1	
TV, DVD, 42",	1		Bord, skriv, justerbar höjd	2	
Mikrovågsugn	1		Dator, person, administration	2	
Monitor, slav, övervakn	1		Skrivare, laser, administration	1	

Appendix C

Tabell 16. Förberedelser inför mätningarna.

Förberedelse	Avcheckning
Mätutrustning tillgänglig	
Mätutrustning tillräckligt minne	
Mätutrustning fulladdad	
Mätutrustning kalibrerad	
Schakt avstängt ena sidan	
Utförd momentan testmätning	
Temperaturer loggas för värme och kyla	
Väderdata on-site loggas	

Tabell 17. Mätprotokoll för de manuella mätningarna.

Parameter	Mätinstrument	Mättyp	Mätpunkt	Avcheckning
$E_{\text{appv},v}$	TA-Scope 1	Volymflöde	Värme-Retur	
	BMS	Temperatur		
			Värme-Tillopp	
$E_{\text{kyl},v}$	TA-Scope 2	Volymflöde	Kyla-Retur	
	BMS	Temperatur		
			Kyla-Tillopp	

Appendix D

Intervjumall:

Presentation:

Vi gör ett examensarbete som handlar om att titta på energiförbrukningen i sjukhuset. På NKS finns en energimodell som kan beräkna det förväntade energibehovet som i sin tur kan jämföras med den uppmätta faktiska energianvändningen. I vårt arbete ska vi mäta energianvändningen på ert våningsplan och jämföra det med modellens värde. I modellen finns antaganden om hur ni använder rummen (t.ex mellan vilka tider och hur många personer som är i rummen) vilket påverkar energianvändningen. Ofta så stämmer inte dessa antaganden överens med hur det ser ut i verkligheten. Därför vill vi intervjua er för att bättre kunna se till att modellens värde blir mer representativt. Genom att få reda på hur ni upplever inneklimatet och använder rummen på er avdelning kan vi använda er feedback till att bättre anpassa modellen och i sin tur kan Coor drifva ventilation, värme, kyla så ni får en trivsammare arbetsmiljö.

Upplevt inneklimat (Från miljöbyggnad)

- Hur tycker du att luftkvaliteten är generellt på din arbetsplats?
- Om du upplever problem med luftkvaliteten, på vilket sätt? Exempel på alternativ: Instängt, dammigt, torrt, irriterande lukt, stickande lukt, lukter utifrån, kondens på rutor, kan inte själv påverka ventilationen.
- Hur tycker du generellt att lufttemperaturen är vid din arbetsplats?
- Om du upplever problem med temperaturen, på vilket sätt? För kallt, för varmt, drag, små möjligheter att inverka på temperaturen.
- Hur tycker du att ljudmiljön är generellt på din arbetsplats?
- Om det är störande ljud, på vilket sätt? Kranar och byggen, ventilation, verksamhet, utifrån.

Verksamheten

- Kan ni berätta lite om själva verksamheten? Vad bedriver ni för typ av vård?
- Kan ni berätta lite om era arbetstider under denna vecka?
 - Hur många brukar ni vara per avdelning/rum på timbasis?
 - *Utnyttjar ni något tidsystem/personallistor?*
 - Är det vanligt att folk jobbar över? På vilka avdelningar?
- Hur ofta används rummet? Mellan vilka tider? Hur många är i genomsnitt i rummet under dessa tider?
- Hur många av typrummen (dagvårdsrum, ultraljud, manövrering etc) används i genomsnitt? Hur ofta står något rum tomt?
- Kan ventilationen forceras? I vilka rum? Hur ofta uppskattar du att den gör det om dagen?
- Är denna dag/vecka representativ för hur det normalt ser ut?

- Finns det något loggningsverktyg för de anställda? In och utstämpling? Kan man se hur många som dagligen/veckovis är på våningen?
- Finns det några rapporter tillgängliga där era verksamhetstider/tidsscheman redovisas?

Appendix E

Tabell 18. Lista över de förändringar som har skett under kalibreringsprocessen. Luftflöden avser den procentuella förändring av det maximala luftflödet i respektive rum. Verksamhetstider avser de mest verksamma timmarna respektive tidsschema ändrades till. Internlaster avser antal personer eller utrustning som har lagts till där beläggning i parentes avser den procentuella förändringen av tidsschemat kopplat till respektive last.

Rumsnummer	Rumstyp	Luftflöden		Verksamhetstider	Internlaster		Kommentar
		Frånluft	Tilluft		Personer (beläggning)	Utrustning	
71010	Korr.avd	-	10	8-16.30+natt			
71020	Korr.avd	-	-	8-16.30			
71030	Korr.avd	-	-	8-16.30			
71040	Korr.avd	6,67	-	8-16.30+natt			
71100	Miljö	-	5,71	7-17			
71110	El	-5,71	5,71	7-17			
71120	El	-	10	7-17			
71130	Tele	-	6,67	7-17			
71140	AGV St.	10	7,5	7-17			
71150	Korr.pass	6	-	8-16.30			
71160	Städ	5	-	-			
71170	Agv.stn.	10	-	8-16.30			

71200	Lä	10	10	8-16.30			
71210	Desinf.	-	-	8-16.30			
71220	Manö	-	-	8-16.30+natt	4 (+25%)	1 dator + 5 skärmar	Underdimensionerat
71300	Paus	10	-	8-16.30+natt		1 mikrovågsugn	
71310	Konf.st.b	-	-	8-16.30	-	3 skärmar	
71320	EXP 2	-	-	8-16.30			
71330	EXP 2	-	-	8-16.30		1 dator	
71400	Konf.st.b	-	-	8-16.30			
71410	Ultraljud	-	-	8-16.30			
71420	REC	-	-	8-16.30	5 (-25%)	5 dator, person + 9 skärmar	Omgjort till arbetsrum
71530	Ultraljud	-	-	8-16.30			
71600	Ultraljud	-	-	8-16.30			
71610	Konf.st.b	-	-	8-16.30	-6 (+55%)	3 dator - LCD - Monitor 52'	Omgjort till arbetsrum
72010	Korr.avd	-	-	8-16.30+natt			
72020	Korr.allm	5,6	-	8-16.30+natt			
72030	Korr.avd	-	5,33	7-17			
72100	Vä	10	10	8-16.30			
72130	Exp 1	6,67	6,67	8-16.30+natt	2	1 dator + 2 skärmar + 1 skrivare	Underdimensionerat
72140	Arb.stn	5	5	8-16.30+natt		3 skärmar	
72200	Sk lung	-	-	8-16.30+natt	3		
72220	Desinf.	-	-	8-16.30			

72230	Manö	5	5	8-16.30+natt	1	1 arbetsstation(2 skärmar)	
72300	Sk lung	5	-	8-16.30+natt			
72310	Manö	5	5	8-16.30+natt	1	1 arbetsstation (2 skärmar)	
72320	Sk lung	5	-	8-16.30+natt			
72330	Manö	-	5	8-16.30+natt			
72400	Rec	-	6,67	7-17			
72410	Exp 1	6,67	6,67	7-17			
72420	Väntrum	-	5,71	7-17			
72510	Gem.yta	-	6	7-17			
72530	Dagvå	6,67	-	7-17			
72540	Dagvå	6,67	5	7-17			
72550	Arb.stn	30	5	7-17			
72600	Und	-	8	7-17			
72610	Sluss	-	-8,75	7-17			
72620	Dagvå	-	8	7-17			Minskat övervakningsutrustning
73010	Korr.avd	-	6,67	8-16.30+natt			
73100	FRD lit	-	-	7-17			
73130	FRD lit	-	-	7-17			
73230	Förber.	-	7,27	8-16.30+natt			
73310	Förber.	-	7,06	8-16.30+natt			
73400	Gransk.	6	6	8-16.30+natt	7 (+35%)		

73410	Exp. 2	10	5	8-16.30+natt		1 dator	
74010	Korr.avd	-	6,67	8-16.30+natt			
74020	Korr.avd	-	-	8-16.30+natt			
74100	PFI	-	10	8-16.30+natt			
74110	Tek. Mr.	5	-	8-16.30			
74210	Manö	-	-	8-16.30	2 (+25%)		
74220	Omk	5	10	8-16.30			
74300	Omk	5	10	8-16.30			
74310	PFI	-	-	8-16.30			
74320	Omk	5	10	8-16.30			
74330	Tek. Mr.	5	-	8-16.30			
74400	Arb. St	-	5	7-17		1 skärm	
74410	Gem.yta	-	8	7-17			
74420	Dagv.barn	-	-	7-17			Minskat övervakningsutrustning
74430	Dagv.barn	-	-	7-17			Minskat övervakningsutrustning
74500	Dagv.barn	-	-	7-17			Minskat övervakningsutrustning
74510	Dagv.barn	6,67	-	7-17			Minskat övervakningsutrustning
74600	Gem.yta	-	8	7-17			
74620	Dagv.	-	-	7-17			Minskat övervakningsutrustning
74630	Dagv.	-	-	7-17			Minskat övervakningsutrustning
74700	Dagv.	-	6,67	7-17			Minskat övervakningsutrustning

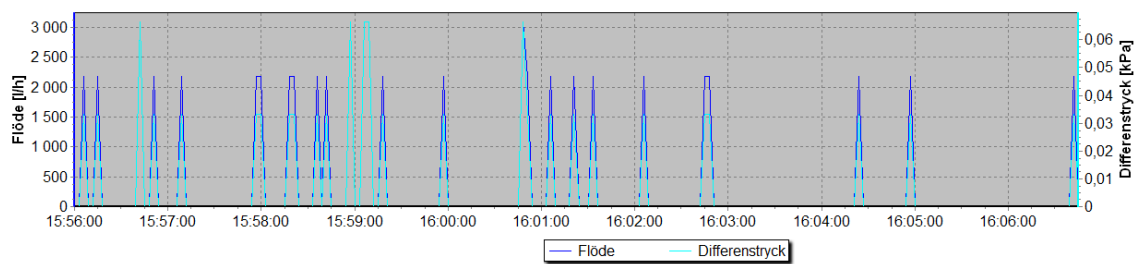
74710	Dagv.	-	6,67	7-17			Minskat övervakningsutrustning
74720	Arb. St	5	5	7-17		1 skärm	
74800	Arb. St	5	5	7-17		1 skärm	
74810	Gem.yta	-	8	7-17			
74820	Dagv.	-	6,67	7-17			Minskat övervakningsutrustning
74830	Dagv.	-	-	7-17			Minskat övervakningsutrustning
74840	Dagv.barn	-	-	7-17			Minskat övervakningsutrustning
74860	FRD.lit	6,67	-	7-17			
75010	Korr.avd	-	-	7-17			
75100	Paus	8	6	7-17			
75110	Kök. Serv	-	6,67	7-17			
75120	Dagr.	8,75	5	7-17			Minskat övervakningsutrustning
75200	Exp 03	-	3,33	7-17	3	1 dator + 4 skärm	
75210	Läkem.	-	6	7-17			
75220	Desinf.	8,46	6,92	7-17			
75240	Mätr.	5	5	7-17			
75300	Grp.samt	-	6,67	7-17			
75310	Pna	-	5,71	7-17	(-35%)		
75320	Provt.	-	6,67	7-17			
75420	FRD lit	6,67	-	7-17			
79010	Korr.allm.	-	6,67	7-17			

79020	FÖ	-	-10	7-17			
79030	Korr.adm.	-	5,71	7-17			
79040	Korr.adm.	-	-	7-17			
79050	Korr-adm.	-	-	7-17			
79100	Miljö	-	-	7-17			
79110	El	5,71	8,57	7-17			
79120	El	10	10	7-17			
79130	Tele	-	6,67	7-17			
79140	AGV st	-	5,71	7-17			
79150	Korr.pass	-	-	7-17			
79160	Städ	-	5	-			
79170	AGV stn.	-	-	7-17			
79200	GRP.samt.	-	-	7-17			
79300	GRP.samt	-	10	7-17			
79320	Jour	-	-	7-17			
79400	Media	-	-	7-17			
79410	Tyst	-	-	7-17			
79420	Tyst	-	-	7-17			
79430	Exp 1	6,67	-	7-17			
79500	Exp 12	-	7,14	7-17	1	1 dator + 6 skärmar	Underdimensionerat

79550	Exp 1	-	-	7-17			
79560	Exp 1	-	10	7-17		1 dator	
79570	Exp 1	5	-	7-17		1 dator	
73210/20	Öv. Vänt	5	10	8-16.30			

Kommentar: Vid den andra omkalibreringen ändrades endast beläggningsgraden i tidschema för utrustning genom att i genomsnitt sänka beläggningsgraden med 20 % under dagtid på vardagar samt öka beläggningsgraden med ca 35 % övrig tid.

Appendix F

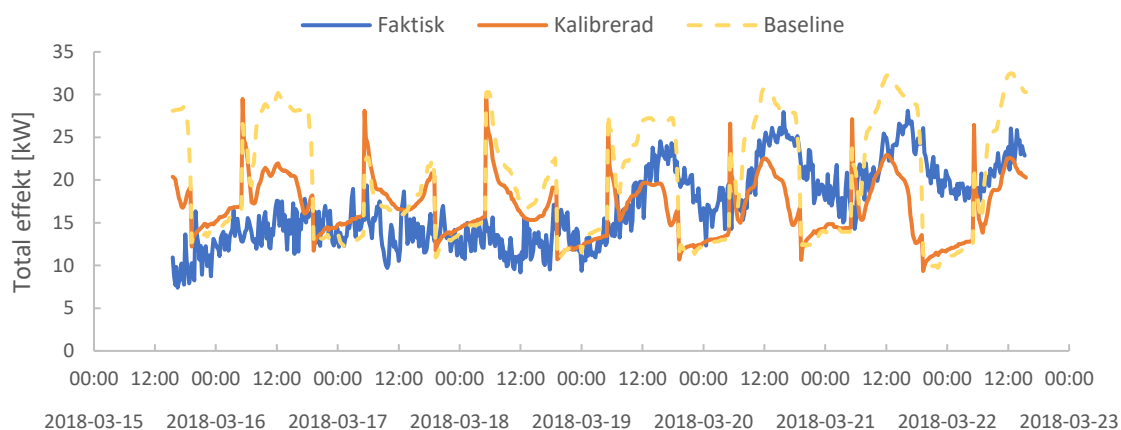


Figur 28. Snabbmätning av kylflödet under en tidsperiod på tio minuter för att visa hur sporadiskt flödet är.

Appendix G

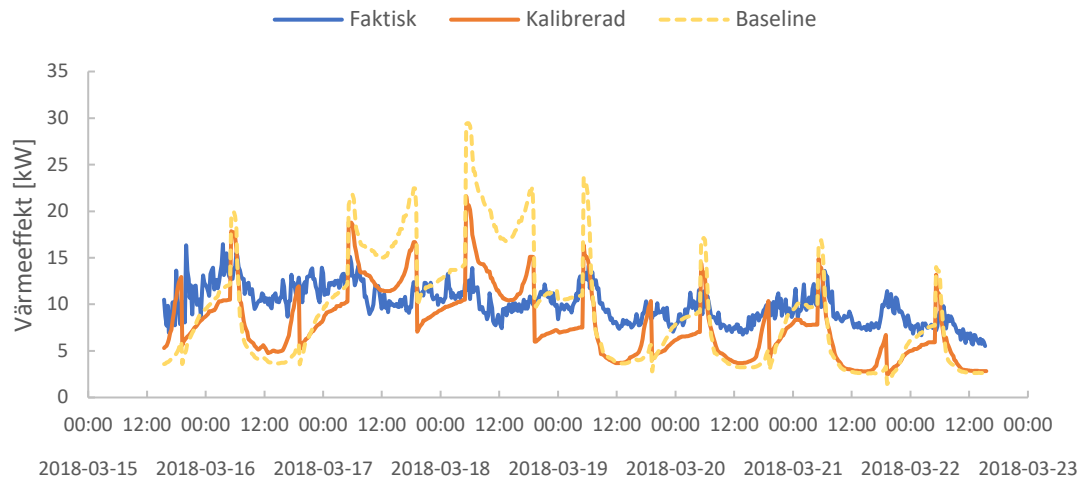
Baserat på de genomförda omkalibreringarna i avsnitt 4.2.1 och avsnitt 4.2.2 samt den utförda känslighetsanalysen på interna laster och tidsscheman i avsnitt 5.1 utfördes en tredje omkalibrering med mål att få en så välanpassad energianvändning för uppvärmning och kylning som möjligt. Fastighetselen har inte inkluderats då dess jämförelse mellan faktisk och simulerad inte är representativ vilket utvärderades i avsnitt 4.2.2.

Genom att titta på resultaten från den andra omkalibreringen framgår det att amplituden på energianvändningen för uppvärmning är för låg och för kylning är den för hög. I känslighetsanalysen framgick att amplituden på värme och kylbehov framförallt påverkas av de interna lasterna där den kliniska utrustningen på våningsplanet har stor inverkan. Baserat på ovanstående observationer kan det konstateras att värmeavgivningen för de interna lasterna är överdimensionerade. För att erhålla en representativ energianvändning för uppvärmning och kylning utfördes således en kalibrering där de interna lasterna för utrustning minskades till 75 % utifrån den andra omkalibreringen.



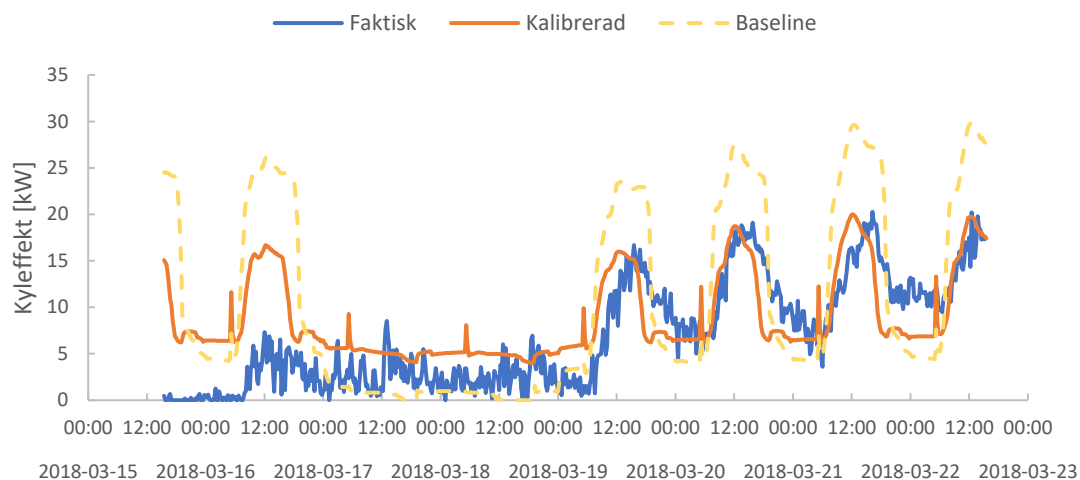
Figur 29. Sammanslagen energianvändning för värme och kyla för den faktiska samt den tredje omkalibrerade modellen.

Den sammanslagna energianvändningen för värme och kyla för den tredje omkalibrerade modellen förhåller sig relativt väl till den faktiska energianvändningen, se Figur 29. Variationer uppstår då den kalibrerade energianvändningen är högre i början av mätperioden och lägre i slutet jämfört med den faktiska.



Figur 30. Simulering av den tredje omkalibrerade modellen mot den faktiska användningen för värme.

Energianvändningen för uppvärmning för den tredje omkalibrerade modellen förhåller sig väl till den faktiska vilket visas i Figur 30. Jämfört med den andra omkalibreringen, se Figur 21 i avsnitt 4.2.2, har amplituden för värmebehovet ökat för den tredje omkalibrerade modellen vilket illustreras av ett närmare värmebehov mot den faktiska.



Figur 31. Simulering av den tredje omkalibrerade modellen mot den faktiska användningen för kyla.

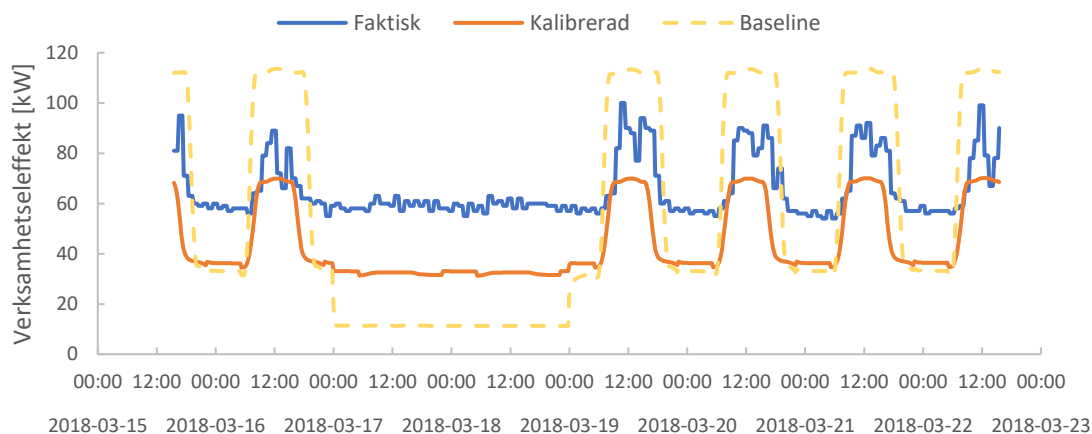
Avvikelsen mellan faktisk och den tredje omkalibrerade modell för energianvändningen för kylning förhåller sig väl till varandra, se Figur 31. Jämfört med den andra kalibreringen, se Figur 22 i avsnitt 4.2.2, har de höga toppar för den kalibrerade modellen som tidigare utgjorde en stor variation mot den faktiska minskat. Vidare har den generella amplituden för den tredje omkalibrerade modellen minskat och återspeglar således den faktiska bättre över tid.

Tabell 19. Medelvärden på faktisk och den tredje omkalibrerade modellens energianvändning, dess avvikelse mot varandra och r-värden.

Parameter	Kalibrerad [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]	Faktisk [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$]	Avvikelse [%]	r-värde
Sammanlagd	1,05	1,06	0,9	0,1
Värme	0,50	0,63	26,5	0,6
Kyla	0,56	0,43	-22,0	0,6

Genom att vidare kalibrera den andra omkalibreringen med 75 % internlaster på utrustning erhöles relativt låga avvikelser mot tidigare kalibreringar vilket visas i Tabell 19. Energianvändningen för uppvärmning och kylning fick lägre avvikelser än tidigare och erhöles även en positiv korrelation. Den sammanslagna uppvärmningen och kylningen erhöles en låg avvikelse på endast 0,9 % vid jämförelse av faktisk och kalibrerad men en förhållandevis låg positiv korrelation.

Genomförd kalibrering av interna laster ger en lägre avvikelse för värme och kylbehov. De toppar som i tidigare resultat särskilde den faktiska mot den kalibrerade modellen har i detta resultat minskat för att bättre återspegla verkliga förhållanden. Om höga internlaster skulle visa sig bidra till en genomgående variation även på resterande delar av sjukhuset kan ett nyckelvärde tas fram för att hantera den potentiella överestimeringen.



Figur 32. Simulering av den tredje omkalibreringen mot den faktiska användningen för verksamhetsel.

Figur 32 visar att verksamhetselen för den tredje omkalibreringen avviker kraftigt från den faktiska vilket beror på att internlasterna sänks till 75 %. Att avvikelsen på verksamhetselen ökar samtidigt som avvikelsen för uppvärmning och kylning minskar är förbryllande. För att förbättra detta samband behöver modelleringen av de interna lasterna i modellen ses över för att kartlägga var de antagna värdena avviker. Däremot räknas verksamhetselen inte in i målvärdet och vikten av dess överensstämmelse med den faktiska är inget som direkt krävs av kontraktet. Således kan värme och kylparametrarna kalibreras genom att ändra de interna lasterna för att få ett representativt

målvärde, om en medvetenhet innehas kring att detta i nuläget kommer ge tydliga utslag i verksamhetselen.