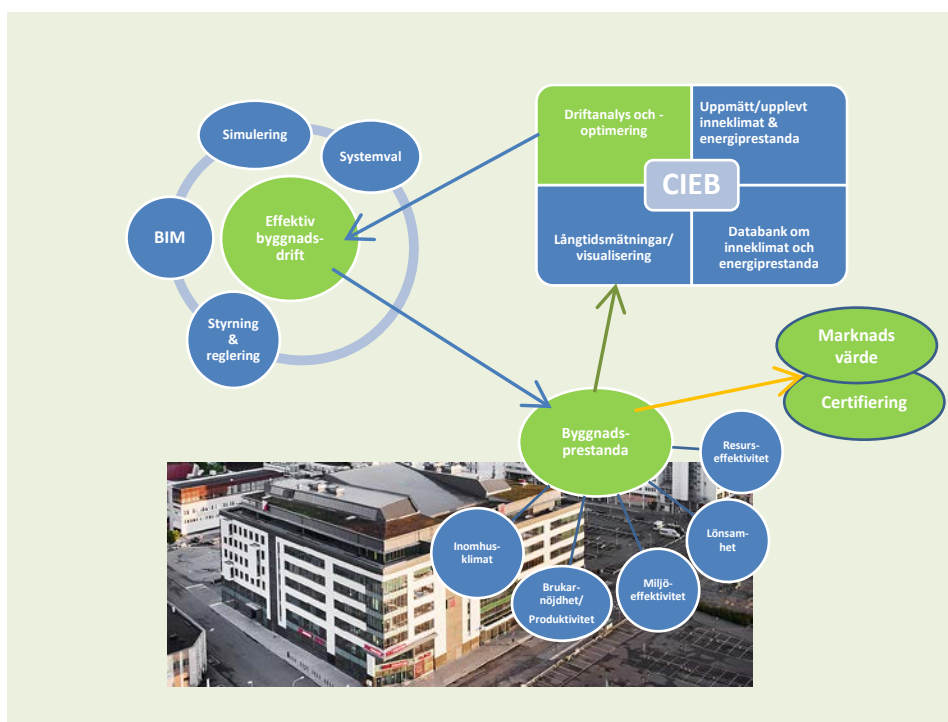


## Brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift med fokus på inneklimat och energiprestanda i kontorsbyggnader – en kunskapsyntes



Stockholm, November 2017

## Förord

Ett varmt tack till kollegorna från Blekinge Tekniska högskola, Chalmers Tekniska högskola, Lunds Universitet, Kungliga Tekniska högskolan, Malmö Högskola, Jönköpings Universitet, Akademiska Hus, AMEM Konsulter, AMF Fastigheter, CIT Energy Management, Helenius, Humlegården Fastigheter, Installatörsföretagen, Intel, Nationellt Renoveringscentrum för bebyggelse, NCC, NODA, Nordomatic, Novotek, PEAB, Projektengagemang, Rise, Skandia Fastigheter, Skanska Kommersiell Utveckling Norden, Stena Fastigheter, Stockholms stad, Sustainable Innovation, Sustainable Integrated Renovation (Siren), Vasakronan samt White Arkitekter för deras engagemang och värdefulla bidrag till denna kunskapsyntes kring brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift med fokus på inneklimat och energiprestanda i kontorsbyggnader.

Ett särskilt tack till Energimyndigheten (Projekt nr. 42639-1) och Svenska Byggbranschens utvecklingsfond (SBUF, projekt nr. 13293) utan dess ekonomiska stöd projektet inte hade kunnat genomföras.

Att mäta är att veta!



Ivo Martinac, Professor

KTH Installations- och energisystem  
Projektledare

## Innehåll

Sammanfattning .....	6
Summary .....	8
1 Bakgrund och Motivering .....	10
2 Metod och avgränsningar .....	16
3 Effektiv byggnadsdrift.....	18
3.1 Sammanfattning.....	18
3.2 Inledning/ bakgrund .....	19
3.3 Kunskapsläge .....	22
3.3.1 Mätning och uppföljning av byggnadsprestanda .....	22
3.3.2 Arbeta med drift- och energiuppföljning .....	25
3.3.3 Drift- och energiuppföljning i byggprocessen .....	30
3.3.4 Verktyg för drift och energiuppföljning.....	33
3.3.5 Forskning .....	35
3.3.6 Fallstudier .....	35
3.3.7 Regelverk/ Standarder.....	54
3.4 Aktörer och nätverk (nat/internet) .....	55
3.5 Slutsatser .....	56
3.6 Utmaningar, möjligheter samt utvecklings- och forskningsbehov.....	57
3.7 Referenser .....	58
4 Brukarrelaterade aspekter .....	59
4.1 Sammanfattning.....	59
4.1.1 Rapportens omfattning .....	59
4.1.2 Kapitlets huvudslutsatser .....	60
4.2 Inledning/ bakgrund .....	61
4.2.1 Kapitelöversikt.....	61
4.2.2 Vetenskapliga och samhälleliga värderingar angående brukares trivsel och välmående	62
4.3 Kunskapsläge .....	62
4.3.1 Kvalitetsperspektiv för inomhusmiljö.....	62
4.3.2 Ekonomiska aspekter beträffande energieffektivitet samt inomhustrivsel och välmående .....	64
4.3.3 Brukares inflytande på energiprestanda och IEQ.....	65
4.3.4 IEA, EU forskningsprojekt samt nationella program .....	66
4.3.5 IEQ standarder och normer.....	68
4.3.6 Prestandautvärdering.....	71

4.3.7	Fallstudier .....	72
4.4	Aktörer och nätverk (nat/internat) .....	74
4.4.1	Samhälleliga värderingar och relevanta intressenter .....	74
4.4.2	Globala och nationella forskningsgrupper .....	75
4.5	Slutsatser .....	76
4.6	Utmaningar, möjligheter samt utvecklings- och forskningsbehov.....	78
4.7	Referenser .....	79
5	Hållbar Renovering .....	85
5.1	Sammanfattning .....	85
5.2	Inledning/ bakgrund .....	85
5.3	Kunskapsläge .....	86
5.4	Aktörer och nätverk.....	91
5.4.1	Information och målgrupper .....	91
5.4.2	Nätverk .....	94
5.4.3	Arenor.....	95
5.5	Slutsatser .....	96
5.6	Utmaningar, möjligheter samt utvecklings- och forskningsbehov.....	96
5.6.1	Att mäta är att veta .....	97
5.6.2	Robusta mätsystem .....	98
5.6.3	Holistisk kunskap .....	98
5.7	Referenser .....	101
6	Effektiv Belysning .....	102
6.1	Sammanfattning .....	102
6.2	Inledning/ bakgrund .....	103
6.2.1	Teknikutveckling.....	104
6.2.2	Ljusstyrning/System .....	105
6.2.3	Brukarbeteende.....	105
6.3	Kunskapsläge .....	105
6.3.1	Forskning .....	106
6.3.2	Regelverk/ Standarder.....	107
6.3.3	Mätning och uppföljning av byggnadsprestanda .....	108
6.4	Aktörer och nätverk (nat/internat) .....	109
6.5	Slutsatser .....	111
6.6	Utmaningar, möjligheter samt utvecklings- och forskningsbehov.....	111
6.7	Referenser .....	112

7	Syntes/sammanfattning .....	114
7.1	Sammanfattning från delområden .....	114
7.1.1	Effektiv byggnadsdrift.....	114
7.1.2	Brukarrelaterade aspekter .....	116
7.1.3	Hållbar renovering.....	119
7.1.4	Effektiv belysning .....	121
7.2	Sammanfattande slutsatser .....	122
8	Fortsatt arbete.....	125

## Sammanfattning

Målsättningen med denna kunskapsöversikt var att sammanställa en state-of-the-art kunskapsöversikt kring frågor rörande inneklimat och energiprestanda i kontorsbyggnader i Sverige, samt att - baserat på detta - identifiera befintliga utmaningar, kunskaps-, forsknings- och samverkansbehov, inte minst mot bakgrund av kravet att all nybyggnation inom en snar framtid ska uppnå nära-noll-energi-prestanda. Detta är minst lika angeläget mot bakgrund av att många kontorsbyggnader kommer behöva renoveras under de kommande åren.

Kunskapssammanställningen inriktades i en första ansats på frågor rörande effektiv byggnadsdrift, brukarrelevanta frågor, effektiv belysning och hållbar renovering. Arbetet avses i nästa steg utvidgas till att omfatta andra typer av byggnader samt andra frågeställningar av betydelse för brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift. En viktig målsättning i sammanhanget var att skapa en bättre systemförståelse kring byggnadsprestanda i livscykelperspektiv, samt i förhållande till kund-/aktörsnytta, kundnöjdhet och produktivitet.

Studien utfördes under perioden 160901-171130 i nära samverkan mellan ledande aktörer från akademi, näringslivet, branschorganisationer och den offentliga sektorn, däribland Kungliga Tekniska högskolan, Blekinge Tekniska högskola, Chalmers Tekniska högskola, Lunds Universitet, Malmö Högskola, Jönköpings Universitet, Akademiska Hus, AMEM Konsulter, AMF Fastigheter, CIT Energy Management, Helenius, Humlegården Fastigheter, Installatörsföretagen, Intel, Nationellt Renoveringscentrum för bebyggelse, NCC, NODA, Nordomatic, Novotek, PEAB, Projektengagemang, Rise, Skandia Fastigheter, Skanska Kommersiell Utveckling Norden, Stena Fastigheter, Stockholms stad, Sustainable Innovation, Sustainable Integrated Renovation (Siren), Vasakronan samt White Arkitekter.

Samarbetet skapade en stark gruppering med bred och djup tvärvetenskaplig och tvärsektoriell kompetens inom bl a bygg- och installationsteknik, inomhusklimat, energiteknik, datavetenskap, miljöpsykologi, brukaraspekter, projektutveckling/produktion, byggnadsförvaltning och andra byggnadsdriftrelevanta områden. Samtidigt skapades även en kritisk massa av aktörer med möjlighet att hantera komplexare systemfrågor med relevans till brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift. I det fortsatta arbetet avses konsortiet utvidgas till att inkludera aktörer från ytterligare relevanta områden (t ex andra teknikområden, medicin, psykologi, beteendevetenskap mfl), samt andra kategorier av branschaktörer som t ex energibolag, kommunala aktörer, branschorganisationer m fl.

Internationellt har projektet lett till ett fördjupat samarbete med bl a Aalto University, Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations (REHVA), Hokkaido University (Sapporo, Japan), HTW-Berlin, Tallinn University, University of Melbourne samt Waseda University (Tokyo, Japan).

Studien påvisade stor enighet bland branschaktörerna (akademi, näringsliv, branschorganisationer och offentliga aktörer) i uppfattningen att det inom byggsektorns alla led råder ett betydande kunskapsbehov kring driftrelaterade frågor. Särskilt bristfällig anses vara förståelsen kring kopplingarna mellan brukarrelaterade, tekniska, energi- och miljörelaterade, ekonomiska och andra parametrars påverkan på byggnaders systemprestanda i livscykelperspektiv. Behovet av ett välstrukturerat och sektorsövergripande kunskapslyft betonades, inte minst mot bakgrund av ökande kvalitets- och prestandakrav i byggsektorn. Behovet att effektivare anpassa byggnadsdriften till

specifika brukarbehov framhävdes särskilt, såsom behovet av en betydligt djupare förståelse kring kopplingarna mellan byggnadsprestanda, brukarnöjdhet och produktivitet. Implementeringen av EPBD-direktivet och kraven på nära-noll energiprestanda i den byggda miljön kommer inte kunna ske med framgång utan tillgång till erforderlig kompetens på alla nivåer.

För att uppnå en sammanhängande helhetsbild krävs bl a kvalitetssäkrade mätdata med tillräckligt hög upplösning som noggrant återspeglar kontorsbyggnaders funktion och prestanda under olika driftförhållanden samt under längre tidsintervaller. Idag finns få exempel där dessa samband analyseras kontinuerligt för att långsiktigt och i realtid kunna optimera och anpassa byggnadsdriften till brukarnas och byggnaders dynamiska behov.

Långsiktiga mätningar och kvalitetssäkrad information om sambanden mellan byggnadsdrift, brukarbehov, inneklimat, energieffektivitet och andra aspekter av byggnaders övergripande prestanda kommer behövas framöver för att underlätta en behovs- och brukaranpassad byggnadsdrift under byggnadens långa operativa fas. Bättre underlag krävs för utvecklingen av bättre driftanalysmodeller och verktyg. I förlängningen förväntas detta underlätta kontrollen av kravuppfyllelsegraden och uppföljningen av ingångna fastighetsavtal. Kvalitetssäkrade prestandauppgifter kommer samtidigt generera värdefull feedback för framtida systemval och stärka beställarens roll vid upphandlingen av tjänster och installationer. Detta förväntas även ge värdefull återkoppling (kvalitetssäkrad indata) för byggnadssimulering och beslutsprocesser i tidiga skeden, samt kvalitetssäkra faktaunderlaget för framtida krav och byggregler.

Allt bättre mätteknik (med noggrannare, smidigare och billigare sensorer), en ökande uppkopplingsgrad och interaktivitet mellan olika system, samt vår snabbt ökande förmåga att effektivt hantera stora och komplexa dataserier (Big Data, Internet of Things) öppnar oanade möjligheter för en bättre brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift. Den accelererande digitaliseringen utgör ett regelrätt paradigmskifte, där framtida applikationer baserade på användningen av artificiell intelligens inte längre hör till det otänkbara. Mot denna bakgrund kommer frågor rörande data- och systemsäkerhet samt relaterade integritetsaspekter onekligen få ökad betydelse i den framtida forskningen, kunskapsutvecklingen och framtagningen av ny teknik och applikationer.

Projektet genomfördes med ekonomiskt stöd från Energimyndigheten (Projektnr. 42639-1) och Svenska Byggbranschens utvecklingsfond (SBUF, projektnr. 13293).

Arbetet är planerat att fortsätta under perioden 171201-181231 inom ramen för en förstudie med målsättningen att undersöka randvillkoren för etableringen av en långsiktig, nationell, tvärvetenskaplig samverkans- och innovationsplattform för brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift med fokus på inomhusklimat och energiprestanda i byggnader (CIEB) - Energimyndigheten, projnr 44567-1.

## Summary

The objective of this knowledge synthesis was to compile a state-of-the-art knowledge base on issues related to indoor environment and energy performance in Swedish office buildings, and to define existing challenges, knowledge- and research gaps, as well as needs for stakeholder collaboration. The study relates both to imminent requirements of near-zero energy performance in new construction, as well as the need for renovation in many office buildings.

The focus of this study was on office buildings and questions related to efficient building performance management, user-related issues, efficient lighting and sustainable renovation. This is intended to be expanded in the next stage to include other types of buildings and other questions related to user-adapted, sustainable building performance management. A key objective in this context was to provide a better understanding of building performance in a system and life-cycle perspective, as well as in relation to user benefits, satisfaction and productivity.

The study was carried out during 1/9/2016-30/11/2017 in close collaboration between leading stakeholders from academia, the private and the public sectors, as well as professional organizations, including KTH Royal Institute of Technology, Blekinge Institute of Technology, Chalmers University of Technology, Jönköping University, Lund University, Malmö University, Akademiska Hus, AMEM Konsulter, AMF Fastigheter, CIT Energy Management, Helenius, Humlegården Fastigheter, Installatörsföretagen, Intel, Nationellt Renoveringscentrum för bebyggelse, NCC, NODA, Nordomatic, Novotek, PEAB, Projektengagemang, Rise, Skandia Fastigheter, Skanska Kommersiell Utveckling Norden, Stena Fastigheter, Stockholm City, Sustainable Innovation, Sustainable Integrated Renovation (Siren), Vasakronan and White Arkitekter.

The ambitious and committed stakeholder collaboration during this study resulted in a strong consortium with broad and deep multidisciplinary expertise across different sectors and subject areas including building technology, building services engineering, indoor environment, energy technology, computer sciences, environmental psychology, user-related disciplines, project development and production, building management and other areas relevant to building performance management. The resulting critical stakeholder mass made it possible to address more complex system-level problems relevant to user-adapted, sustainable building performance management. In the next phase, the consortium is intended to include experts from other disciplines (e.g. technology, health sciences, psychology, behavioural studies etc.), as well as other stakeholder categories such as power companies, municipal and professional organizations.

During the study, contacts were established and research collaborations developed with a number of universities, including Aalto University, Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations (REHVA), Hokkaido University (Sapporo, Japan), HTW-Berlin, Tallinn University, University of Melbourne and Waseda University (Tokyo, Japan).

The participating stakeholders from academia, the private and the public sectors and professional organizations strongly agreed on the significant need at all levels in the building sector for better expertise on building performance management. This was found to be particularly true as related to understanding the interrelationships between the impacts of user-related, technical, environmental, energy-related, economic and other parameters on building performance in a system and life-cycle perspective. The need for well-coordinated education across all related sectors was emphasized



against the background of ever more stringent quality and performance requirements in the built environment. The need to adapt building performance to specific user requirements was especially emphasized, as well as the need for a deeper understanding of the correlations between building performance, user satisfaction and productivity. Meeting the requirements of the European Building Performance Directive (EPBD) will be difficult without access to adequate expertise at all levels.

To achieve a more comprehensive understanding of overall building performance, long-term, quality-assured measurement data with sufficiently high resolution will be needed, such as to accurately reflect office building performance under different operating conditions. There are still few examples where building performance is continuously and comprehensively monitored, analyzed and optimized in real-time to meet dynamic user and building needs.

Long-term measurements and quality-assured information on the relationships between building performance management, user needs, indoor environment, energy efficiency and other aspects of building performance will be needed to achieve user-adapted, sustainable building performance throughout the long operational phase of a building. Better performance data will be needed for developing more accurate performance analysis models and tools. Quality-assured performance data is expected to facilitate future system selection and empower customers when procuring services and building service systems. More accurate building performance data is further expected to provide valuable feedback for building simulation and early-stage decision-making.

Better measurement technologies (with more accurate, reliable and cost-effective sensors), increasing inter-connectivity between different systems and our rapidly improving ability to deal with large and complex datasets (Big data, Internet of Things) are opening exciting new opportunities for user-adapted, sustainable building performance management. The rapidly accelerating digitalization in the built environment is amounting to a veritable paradigm shift, with applications based on artificial intelligence rapidly leaving the realm of the impossible. In this context, issues related to system security, as well as the integrity of users and organizations will need to be carefully addressed in future research, as well as knowledge, product and application development.

This project was carried out with financial support from the Swedish Energy Agency (Project-no. 42639-1) and SBUF (the Swedish construction industry's organization for research and development; project-no. 13293).

As a follow-up to this knowledge synthesis a pre-study will be carried out during 01/12/2017-31/12/2018, aimed at exploring the boundary conditions for establishing a long-term, multi-disciplinary, national collaboration and innovation platform for user-adapted, sustainable building performance management with focus on indoor environment and energy performance in buildings (CIEB) – Swedish Energy Authority, proj.-no. 44567-1).

# 1 Bakgrund och Motivering

Målsättningen med detta projekt var att sammanställa en state-of-the-art kunskapsyntes kring frågor rörande inneklimat och energiprestanda i kontorsbyggnader i Sverige, samt att - baserat på detta - identifiera befintliga utmaningar, kunskaps-, forsknings- och samverkansbehov, inte minst mot bakgrund av kravet att all nybyggnation ska uppnå näronn-energiprestanda från och med 1/1 2021 (1/1 2019 för offentliga byggnader). Detta är även angeläget då en betydande del av det nationella kontorsbyggnadsbeståndet kommer behöva renoveras under de kommande åren.

Studien utgör ett viktigt steg i arbetet med etableringen av en långsiktig, nationell och tvärvetenskaplig samverkans- och innovationsplattform för brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift med fokus på energiprestanda och inneklimat i byggnader, Centrum för Inneklimat och energiprestanda i byggnader (CIEB - arbetsnamn).



Bild 1.1 Tvärvetenskaplig samverkans- och innovationsplattform för brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift med fokus på energiprestanda och inneklimat i byggnader; Centrum för Inneklimat & energiprestanda i byggnader (CIEB-arbetsnamn)

Visionen kring CIEB omfattar en rad verksamhetsområden som avse bedrivs i nära samverkan mellan nationella och internationella aktörer från akademi, näringsliv och samhälle. CIEB avses bland annat att:

- Långsiktigt bedriva forskning kring sambanden mellan byggnadsdrift och byggnaders inneklimat och energiprestanda som funktion av resurs- och miljörelaterade, ekonomiska samt brukarrelevanta/sociala faktorer
- Bedriva utbildning (kurser och behovsanpassade utbildningsformer) kring berörda frågor;
- Sprida kunskap/information kring relevanta frågor i form av vetenskapliga och populärvetenskapliga publikationer samt riktade satsningar som workshops, seminarier, mm.
- Skapa en kunskapsbank baserat på långsiktig mätdata om inneklimat och energieffektivitet, samt driftanalys för olika kategorier av byggnader.

Baserat på en högre implementeringspotential av innovativa lösningar och teknik (framförallt styr- och reglerteknik och andra system för byggnadsautomation) i kontorsbyggnader avses CIEB:s arbete initialt fokusera på kontorsbyggnader. Långsiktigt är dock avsikten att skapa en levande prestandadatabas och underlag för noggrann driftanalys och driftoptimering även för andra kategorier av byggnader (flerbostadshus, skolor, sjukhus, m.fl.).

Avsikten med kunskapsyntesen är att bidra till en systemorienterad och livscykelbaserad förståelse kring frågor rörande inneklimat och energiprestanda i svenska kontorsbyggnader och fokuserar i denna första ansats på följande aspekter:

- Effektiv byggnadsdrift (kvalitetssäkring av mätdata, driftanalys/-optimering, driftsäkerhet, automatisering)
- Effektiv belysning (påverkan på inneklimat och energieffektivitet)
- Brukarrelaterade aspekter (upplevt kontra uppmätt inneklimat, nöjdhet, produktivitet, mm)
- Hållbar renovering; Den största potentialen att uppnå energi- och effektb sparingar (effektstyrning) finns idag i den befintliga byggda miljön. En djup förståelse av kontorsbyggnaders aktuella energiprestanda på systemnivå är en förutsättning för att kunna genomföra optimala energi- och effektb sparingåtgärder i samband med renovering. Detta kapitel sammanställdes i nära samarbete med Nationella Renoveringscentrumet för Bebyggelse (NRC; <http://www.renoveringscentrum.lth.se/>).

Exempel på frågor av särskilt intresse i sammanhanget:

- Hur påverkas systemval och byggnadsdrift i framtida kontorsbyggnader av de kommande kraven på nära-noll energiprestanda?
- Hur påverkas inneklimat och energiprestanda av (installations)-systemval och byggnadsdrift?
- Hur kan uppföljningen (mätningar och mätresultat) kring kontorsbyggnaders inneklimat och energiprestanda kvalitetssäkras? Vad innebär detta för avtalsskrivning och uppföljning av kravuppfyllelse?

- Hur påverkar systemval och byggnadsdrift belysningskvaliteten?
- Hur påverkar belysningskvaliteten den sammanlagda inneklimatupplevelsen, nöjdhetsgraden och produktiviteten?
- Vilka samband finns mellan byggnadsprestandafaktorer som driftekonomi, inneklimat & energiprestanda, upplevt kontra uppmätt klimat, brukarnöjdheter, produktivitet, miljöeffektivitet m.fl.?
- Vilka samband finns mellan upplevt och uppmätt inneklimat och vilken innebörd har detta på systemval och byggnadsdrift?
- På vilket sätt kan effektstyrning integreras i en effektivare byggnadsdrift?
- Vilken kunskap saknas för en bättre systemförståelse kring inneklimat och energiprestanda i kontorsbyggnader?
- Vilken information/kunskap/mätdata krävs för effektivare drift och fastighetsförvaltning?
- Hur behöver kontorsbyggnaders inneklimat och energiprestanda mätas och utvärderas för att få en helhetlig realtids bild framöver?
- Hur kan systemdriften integreras i BIM-baserade verktyg?
- Hur kan kvaliteten på indata (t ex enligt Sveby) och byggnadssimulering förbättras genom en effektiv (kontinuerlig) uppföljning av inneklimat och energiprestanda i kontorsbyggnader?
- Vilka återkopplingar har bättre data om upplevd/uppmätt inneklimat ha på framtida systemval och systemupphandling?
- Hur påverkas byggnadscertifieringsprocessen och byggnadsvärdet av en bättre systemförståelse om inneklimat och energiprestanda i kontorsbyggnader?
- Hur påverkas byggnadscertifieringen av tillgången till detaljerad långsiktig mätdata om byggnaders inneklimat och energiprestanda? Kan en övergång från statisk till tidsvariabel certifiering tänkas baserat på variationer i kravuppfyllelsegraden över året?
- I vilken utsträckning och hur kan den kontinuerliga uppföljningen av kontorsbyggnaders inneklimat och energiprestanda effektiviseras med hjälp av Big-Data och Internet-of-Things-baserade verktyg? Hur relaterar detta till den pågående digitaliseringen i byggsektorn och samhället i stort?
- Hur kan/bör de ökande kraven på bra inneklimat och hög energieffektivitet (ytterst nära-noll energiprestanda) hanteras i renoveringssammanhang?

Denna kunskapssyntes genomfördes med ekonomiskt stöd från Energimyndigheten (Projektnr. 42639-1) och Svenska Byggbranschens utvecklingsfond (SBUF, projektnr. 13293).

Studien utfördes under perioden 160901-171130 i nära samverkan mellan Kungliga Tekniska högskolan, Chalmers Tekniska högskola, Lunds Universitet, Blekinge Tekniska högskola, Malmö Högskola, Akademiska Hus, AMEM Konsulter, AMF Fastigheter, CIT Energy Management, Helenius, Humlegården Fastigheter, Installatörsföretagen, Intel, Nationellt Renoveringscentrum för bebyggelse, NCC, NODA, Nordomatic, Novotek, PEAB, Projektengagemang, RISE, Skandia Fastigheter, Skanska Kommersiell Utveckling Norden ,

Stena Fastigheter, Stockholms stad, Sustainable Innovation, Sustainable Integrated Renovation (Siren), Vasakronan samt White Arkitekter.

Tidigare forskning har visat tydliga samband mellan ett bra inomhusklimat och personers produktivitet samtidigt som man funnit att en höjning av produktiviteten hos kontorsanställda med endast 1 % kan minska ett företags driftkostnader i en omfattning motsvarande kontorsbyggnadens sammanlagda energikostnader, Wargocki et al. (2006, REHVA GB #6), Olesen (2016).

Erfarenheter från aktiv driftoptimering visar att (framförallt) komplexare byggnaders energianvändning kan minskas med 20-25 % genom en väl genomförd idrifttagning, samordnad funktionsprovning och effektiv drift, samtidigt som det levererade inneklimatet bättre kan anpassas till brukarnas behov, se även Carling & Isaksson (2009), Kempe (2014 & 2016), Litiu et al. (2017, REHVA GB #22).

Enligt Energimyndighetens statistik (2014) står energianvändningen inom bostads- och servicesektorn för närmare 40 procent av Sveriges totala slutliga energianvändning och cirka 50 procent av den totala elanvändningen i Sverige. Den totala energianvändningen för småhus, flerbostadshus och kontorsbyggnader uppgick under 2014 till drygt 76 TWh. Det är en minskning med 4 TWh jämfört med året innan. Den totala energianvändningen för uppvärmning och varmvatten i bostäder och lokaler, exklusive upptagen värmeenergi från värmepumpar, uppgick till 76,1 TWh under året (2014). I småhus användes under 2014 i genomsnitt minst energi för uppvärmning och varmvatten under året, 106 kWh/m<sup>2</sup>. I flerbostadshus användes i genomsnitt 134 kWh/m<sup>2</sup> och i kontorsbyggnader 121 kWh/m<sup>2</sup>. C:a 14 TWh av all elanvändning, motsvarande c:a 18-20 %, går till belysning.

De står utan tvivel att man med effektivare, brukaranpassad byggnadsdrift kan uppnå ett bättre inomhusklimat, nöjdare och produktivare brukare samtidigt som detta kan minska energianvändningen med åtskilliga terawattimmar och kännbart reducera och/eller förskjuta effektuttaget.

Mot bakgrund av kända nytto- och vinsteffekter som kan tillskrivas effektiv byggnadsdrift, är det förvånande att nivån på dagens byggnadsdrift och uppföljningen av funktionskvalitet och brukar-/kundnöjdhet släpar långt efter det som under lång tid varit etablerad praxis i många andra branscher.

Idag saknas dock en helhetlig förståelse på systemnivå kring sambanden mellan byggnadsdrift och essentiella aspekter av byggnaders funktionskvalitet och prestanda såsom upplevt/uppmätt inneklimat, brukarnöjdhet, välbefinnande, produktivitet, energieffektivitet, miljöpåverkan, lönsamhet certifieringsnivå, marknadsvärde, mm.

De ständigt ökande kraven på energiprestanda i byggnader kommer i framtiden leda till att redan små avvikelser från optimala driftförhållanden kan komma att resultera i betydande (procentuella) avvikelser från optimalt inneklimat och byggnadsprestanda. Detta förväntas i

sin tur öka kraven på effektiv byggnadsdrift, noggranna, tidsaktuella och helhetsvisande mätningar av byggnaders prestanda samt noggrann driftanalys och brukaranpassad driftoptimering.

Detta förefaller som särskilt angeläget mot bakgrund av kravet att all nybyggnation ska uppnå nära-noll-energi-prestanda (NNE) inom en nära framtid (per 1/1 2021 för alla byggnader och redan per 1/1 2019 för offentliga byggnader), men även då en betydande del av det nationella byggnadsbeståndet kommer behöva renoveras under de kommande åren.

För att uppnå en sammanhängande helhetsbild krävs bl a kvalitetssäkrade mätdata med tillräckligt hög upplösning som noggrant återspeglar kontorsbyggnaders funktion och prestanda under olika driftförhållanden samt under längre tidsintervaller. Idag finns få exempel där dessa samband analyseras kontinuerligt för att långsiktigt och i realtid kunna optimera och anpassa byggnadsdriften till brukarnas och byggnaders dynamiska behov.

Kvalitetssäkrad information om sambanden mellan byggnadsdrift, inneklimat, energieffektivitet och andra aspekter av byggnaders övergripande prestanda skulle bl a:

- underlätta en effektiv samt behovs- och brukaranpassad byggnadsdrift under byggnadens långa operativa fas;
- skapa ett bättre underlag för driftanalys och utvecklingen av bättre analysmodeller och – verktyg;
- underlätta kontrollen av kravuppfyllelsegraden och därigenom utformningen/utförandet av olika typer av fastighetsavtal;
- generera värdefull feedback för framtida systemval och därmed stärka beställaren vid upphandlingen av tjänster och utrustning (installationer, energisystem mm);
- leverera värdefull återkoppling (kvalitetssäkrad indata) för byggnadssimulering och beslutsprocesser i tidiga skeden;
- kvalitetssäkra faktaunderlaget för framtida krav och byggregler;
- skapa underlag för effektivare effektstyrning;
- underlätta användningen av BIM- och nätverksbaserade system för byggnadsdrift och fastighetsförvaltning (t ex byggnadsautomation);
- skapa ett underlag för utvecklingen av levande prestandadatabanker och resultera i ökad kunskap inom byggsektorn kring sambanden mellan byggnadsdrift och byggnadsprestanda

För bl a projektutvecklingsbolag och entreprenörer förväntas bättre kunskap om inneklimat och energiprestanda i kontorsbyggnader resultera i:

- Bättre förutsättningar för kundanpassade och kostnadseffektiva systemval vid ny-/ombyggnation (t ex installations- och styrsystem); kostnadseffektivare produktion
- Bättre möjlighet att anpassa byggnadsutformning- och funktion till specifika kundbehov
- Bättre koppling mellan simulerad och levererad/uppmätt byggnadsprestanda

- Effektivare idrifttagning
- Bättre uppfyllelse av specifika kundbehov med högre kundnöjdhet och bättre lönsamhet; därmed bättre förutsättningar för avtalsutformning
- Bättre möjligheter att uppfylla byggnaders funktionskrav i förhållande till önskade byggnadscertifieringsnivåer.

## 2 Metod och avgränsningar

Arbetet omfattade följande delmoment:

- **Litteraturstudier.** Kontorsbyggnaders prestanda (inklusive energiprestanda) och inneklimat påverkas av ett stort antal tekniska, drift- och brukarrelaterade, ekonomiska och inte minst miljörelaterade faktorer. Medan helhetsförståelsen av olika faktorerers komplexa påverkan på byggnadsprestanda i ett system- och livscykelperspektiv kräver en mer djupgående och långsiktig ansats bestämdes i nära samråd med medverkande aktörer från akademi, företag och branschorganisationer att kunskapssyntesen i en första ansats skulle fokusera på fyra huvudområden: Effektiv byggnadsdrift (driftanalys-/optimering, driftsäkerhet), brukarrelaterade aspekter (upplevt kontra uppmätt inneklimat, nöjdhet, produktivitet, mm), hållbar renovering samt effektiv belysning,.

Kunskapssammanställningen inom dessa delområden redovisas i:

- Kapitel 3: Effektiv byggnadsdrift (driftanalys-/optimering, driftsäkerhet); Tekn Dr Per Kempe, Projektengagemang; Professor Ivo Martinac, KTH
  - Kapitel 4: Brukarrelaterade aspekter (upplevt kontra uppmätt inneklimat, nöjdhet, produktivitet, mm); Professor Holger Wallbaum och Dr Quan Jin, CTH
  - Kapitel 5: Hållbar renovering; Docent Dennis Johansson, LTH
  - Kapitel 6: Effektiv belysning; Professor Thorbjörn Laike, LTH
  - Kapitel 7: Syntes; Andres Muld, AMEM Konsulter AB, Tekn Dr Per Kempe, Projektengagemang; Professor Ivo Martinac, KTH
- **Djupintervjuer** kring byggnadsdrift och andra relaterade frågor med Akademiska Hus, AMF Fastigheter, Skandiafastigheter, Vasakronan, Stena Fastigheter, se kapitel 3.
  - Sammanlagt tre **workshops** för att diskutera relaterade frågor med företrädare för akademi, industri- och relevanta branschorganisationer: en uppstartsworkshop (WS1, september 2016), en workshop med särskild fokus på digitaliseringsfrågor ("Smart systems and solutions for user-adapted, sustainable building performance management", april 2017) samt en avslutande workshop (WS2, oktober 2017) där kunskapssyntesens resultat diskuterades med ledande branschaktörer.

Projektets organisation omfattade en styrgrupp, en arbetsgrupp och en referensgrupp (se bilaga).

- **Styrgrupp** (övergripande ansvar för projektets genomförande, 14 möten)
  - Per Kempe, Tekn Dr, Projektengagemang AB
  - Ivo Martinac, Professor, KTH Installations och energisystem - Projektledare
  - Andres Muld, AMEM Konsulter AB, fd GD Energimyndigheten – Ordförande



- **Arbetsgrupp** (ansvar för genomförandet av kunskapssyntesen inom de fyra fokusområdena)
  - Dennis Johansson, Docent, LTH Installations och klimatiseringslära, samt föreståndare för Nationella Renoveringscentrumet för Bebyggelse
  - Per Kempe, Tekn Dr, Projektengagemang AB
  - Thorbjörn Laike, Professor, LTH Arkitektur/Miljöpsykologi
  - Ivo Martinac, Professor, KTH, Installations- och Energisystem
  - Andres Muld AMEM Konsulter AB, ordförande (fd GD Energimyndigheten)
  - Holger Wallbaum, Professor, CTH Bygg- och miljöteknik/Hållbart byggande
  
- **Referensgrupp** för projektet (se bilaga). Referensgruppen bidrog med kontinuerlig aktörsrelevant återkoppling till det pågående arbetet, både enskilt och inom ramen för gruppdiskussioner vid sammanlagt fem referensgruppsmöten.

## 3 Effektiv byggnadsdrift

### 3.1 Sammanfattning

Det finns ett behov av att öka kunskapen om effektiv byggnadsdrift och vad som är viktigt, för att få bättre förutsättningar att verifiera samt att erhålla beräknad funktion och energiprestanda. En erfarenhetsbaserad insikt är att utgå ifrån att en byggnad och dess installationssystem nästan alltid innehåller felaktiga inställningar, mindre lämpligt utförda detaljer, då de flesta byggnader är unika. Främst är det brister inom installationssystemen: värme-, kyl- och ventilationssystemen. Det är särskilt viktigt för energieffektiva byggnader med låg energianvändning att ha god kontroll på installationernas funktion. När den totala energianvändningen är låg får små fel och brister en relativt sett större betydelse.

Erfarenheter från aktiv driftoptimering visar på möjlighet att minska lite mer komplicerade byggnaders energianvändning med i storleksordningen 20-25 % jämfört med energianvändning efter slutbesiktningen med en väl genomförd idrifttagning och samordnad funktionsprovning. Verifiering av önskad energiprestanda och funktionsanalys bör starta upp i projektets start, systemhandlingen, där förutsättningarna bestäms för driftoptimeringen.

Drivkrafterna för en energieffektiv drift av byggnader är ofta inte tillräckligt stora, för att energin är relativt sett billig. Det tar för mycket tid och blir därigenom för dyrt att arbeta med driftoptimering av byggnaders installationssystem. Driftuppföljningen behöver bli mer automatiserad, så det behövs en struktur i system för insamling av mätdata, som ger möjlighet att samla in data i byggnaden och skicka den vidare till olika aktörer för analys. Data för olika delsystem bör analyseras automatiskt och vid avvikelse bör driftpersonal och förvaltare få en automatgenererad rapport. Det behövs goda exempel för fastighetsägare om andra fastighetsägare, som hittat arbetssätt att arbeta med driftoptimering och fått bra resultat.

De projekt där en detaljerad driftuppföljning används idag är främst projekt som har:

- Miljöcertifiering med uppföljning av energiprestanda.
- Köpeavtal med "stora" viten kopplade mot funktionskrav och energiprestanda.

Däremot i processindustrin arbetar man med att få en bra drift, för där innebär ett produktionsbortfall stora inkomstförluster. Det betyder att det finns kunskap, teknik och programvaror, vilka även bör kunna användas även på byggnaders installationssystem.

I djupintervjuerna framkom det att förutom några spetsprojekt så samlas det inte in så mycket data i byggnader. Många fastighetsägare försöker röra sig från månadsvärden på debiteringsmätarna mot en bättre struktur för att samla in mätdata samt att dela mätdata med samarbetspartners.

Dock har de ett behov av att utveckla moduler för analys av olika delsystem (KPI), som exempelvis ger grönt/gult/rött på en dashboard med en automatisk rapportgenerering, vilken skickar meddelanden till förvaltare och drifttekniker vid avvikelser i driften.

Nyckelord: Energiprestanda, driftuppföljning, energiuppföljning, delsystem, byggprocess, funktionskrav, energisignatur, analys, KPI.

## 3.2 Inledning/ bakgrund

Syftet med kapitlet är att öka kunskapen om effektiv byggnadsdrift och vad som är viktigt, för att få bättre förutsättningar att verifiera samt att erhålla beräknad funktion och energiprestanda. I detta kapitel tas inte upp hur energieffektiv teknik väljs och samordnas till en effektiv byggnad utan endast arbete med byggnadens installationssystem samt deras styrning, för att byggnaden och dess installationssystem skall bli så effektiva som tänkt/ projekterats.

Då det ibland förekommer brister i systemen för driftuppföljning, så att arbetet för en effektiv byggnadsdrift inte kan påbörjas tas även upp när och vad som måste ske i byggprocessen, för att möjlighet ska finnas att arbeta med drift- och energioptimering av byggnaden och dess installationssystem.

En byggnads energiprestanda är summan av alla dess delsystems energianvändning dividerad med byggnadens  $A_{temp}$ . För att få en bra energiprestanda behövs information om hur de olika delsystemen fungerar samt samverkar med varandra. I detta kapitel behandlas bland annat följande:

- Vad behöver mätas på respektive delsystem, för att verifiera deras funktion och energianvändning.
- Typ av mätning och krav på mätningar: Upplösning, noggrannhet, samlingsintervall, ...
- Arbetet med drift- och energiuppföljning
- Olika detaljeringsgrad i drift- och energiuppföljning beroende på krav och behov
- När i byggprocessen olika beslut måste tas, för att erhålla en bra drift- och energiuppföljning till en rimlig kostnad
- Några exempel på verktyg för drift- och energiuppföljning
- Under fallstudier redovisas litteraturexempel och intervjuer med några större fastighetsägare om hur de arbetar med drift- och energiuppföljning

I energieffektiva byggnader byggs klimatskärmar av god kvalitet, men det finns ofta inte tid/ pengar i slutet av projektet för att färdigställa och driftsätta de energieffektiva installationerna med tillräcklig noggrannhet och kvalitet. Då en byggnad är i drift under en mycket lång tid är det av stor betydelse att dess installations- och energisystem har en god funktion samt skapar ett bra inomhusklimat. Så ett större fokus behövs på installations- och energisystemen, för att erhålla beräknad funktion, inneklimat samt energiprestanda.

I Sverige skall, i enlighet med BBR, byggnadens energiprestanda verifieras för en 12-månadsperiod inom 24 månader ifrån byggnadens drifttagande. För att förbättra möjligheten att erhålla beräknad energiprestanda för byggnaden bör första året efter drifttagandet användas för verifiering av delsystemens funktion och optimering av energiprestanda och andra året bevakas funktion och prestanda. I andra länder är det teoretiska beräknade värden som används, så de behöver inte ha samma fokus.

Används Sveby Energiavtal 12 är även det tredje årets drift viktig. I Energiavtal 12 representerar år tre de kommande åren tre t.o.m. tio, så avvikelsen år tre kommer att multipliceras med åtta.

Det är viktigt att endast byggnadens energianvändning är med i de redovisade uppmätta energianvändningarna. Så inte markvärme, datakyla, gårdsbelysning, etc. finns med i de redovisade energianvändningarna. Dvs. att skilja mellan byggnadens och verksamhetens energianvändning.

I drift- och energiuppföljningsarbetet utgår man från relationsenergiiberäkningen, så granska energiiberäkningarna kritiskt. Är resultatet rimligt och att det finns tillräckliga marginaler i beräkningarna? För realistiskt resultatet från energiiberäkningarna är brukarindata viktigt och att sådant som energiiberäkningen inte tar hänsyn till adderas. Exempel på detta är distributionsförluster, samtidig värmning och kylning, att börvärden skiljer mellan olika rum.

Brukarindata för normalt brukande finns redovisade av Boverket i BEN, att använda för korrigering till normalt brukande. För mer detaljerade brukarindata till energiiberäkningar finns Sveby brukarindata, som är framtagen av branschen. Sveby 2016.

En distributionsförlust som ofta har stora avvikelser mellan beräkning och verkligheten är VVC-förluster. Det förekommer ofta schabloner, som kan ge fel på en faktor upp till fem, sex gånger med en olämplig design av VV/VVC-systemen. VVC-förlusterna beror främst på löpmeter VV/VVC-rör, när de har en viss isolering. För att halvera energiförlusterna från ett rör behövs ungefär en fyrdubbling av isoleringen. Exv. från 4 cm till 16 cm, vilket betyder att ytterdiametern för ett 4cm rör med isolering ökar från 12 cm till 36 cm, vilket normalt sett inte är rimligt. För att få ner värmeförlusterna från rör är det viktigare att optimera rörlängder. Dvs. var skall enheter med VV placeras respektive VV/VVC-schakten, för att reducera VV/VVC-rörlängder och därmed värmeförlusterna från VV/VVC-rören. Detta är viktigt då byggnaden har en mycket lång livslängd och VV/VVC-systemet är i drift 8760 timmar per år och en stor del av året kan värmeförlusterna inte tillgodogöras i byggnaden utan skapar ett kylbehov.

Det är en fördel om energiiberäkningarna redovisar, vilken energi respektive delsystem använder samt hur stor verksamhetsenergin är. Då exempelvis en högre verksamhetsel ger en lägre värmeanvändning under vintern, men en större kylanvändning under sommaren. Mätningar på delsystemens energianvändning med jämförelser mot beräknat energibehov, för delsystemen gör att avvikelser syns tydligare.

En erfarenhetsbaserad insikt är att utgå ifrån att en byggnad och dess installationssystem nästan alltid innehåller felaktiga inställningar, mindre lämpligt utförda detaljer, då de flesta byggnader är unika. Främst är det brister inom installationssystemen: värme-, kyl- och ventilationssystemen. Ofta vet man inte förrän efter ett/ några år att man ligger för högt i energianvändning och förstår ibland inte varför, för drift- och energiuppföljning inte är tillräckligt detaljerad. Driftoptimeringen blir därmed inledningsvis en fråga om hur man till en låg kostnad kan upptäcka dessa brister snabbt och åtgärda, så att möjligheten ökar att erhålla förväntad energiprestanda. Det kan även vara brister i det projekterade. Viktiga detaljer kan vara försummade eller behandlade schablonmässigt.

Det är särskilt viktigt för energieffektiva byggnader med låg energianvändning att ha god kontroll på installationernas funktion. När den totala energianvändningen är låg får små fel och brister en relativt sett större betydelse. I värsta fall kan en större obalans i ventilationen, ge undertryck, vilket ger ett större effektbehov i vissa rum pga. luftläckage genom klimatskalet. Detta högre luftläckage kan ge effektbrist och problem med inneklimatet (låg inomhustemperatur).

Erfarenheter från aktiv driftoptimering visar på möjlighet att minska lite mer komplicerade byggnaders energianvändning med i storleksordningen 20-25 % jämfört med energianvändning efter slutbesiktningen med en väl genomförd idrifttagning och samordnad funktionsprovning. Dvs. när den första drift- och energianalyserna på byggnaden pekar den på en energianvändning, som är ca 20 %

över en realistisk energisimulering och med en aktiv driftoptimering under 12 – 18 månader erhålls ofta energianvändning till strax under den beräknade energianvändningen.

Verifiering av önskad energiprestanda och funktionsanalys bör starta upp i projektets start, systemhandlingen, där förutsättningarna bestäms för driftoptimeringen. Speciellt viktigt är i detalj bestämma hur verifieringen av funktionskrav och energiprestanda skall utföras. I det ligger var och hur man mäter upp funktion och prestanda samt med vilken noggrannhet. Detta för att kunna placera in mätare och givare med rätt förutsättningar: raksträckor, horisontellt, etc. under projekteringen.

I slutet av projekteringen går samtliga funktioner driftkorten igenom gemensamt med alla discipliner. Driftkorten (KB, VS, VV, LB, Rumskort) redovisar systemens funktioner, börvärden samt drifttider. Genomgången är för att verifiera att alla funktioner kan verifieras, delsystem kan kommunicera med varandra i tillräcklig utsträckning och att inget har blivit bortglömt.

I idrifttagningen är det viktigt att givare, mätare etc. blir verifierade, att datainsamlingen fungerar samt att rutiner för arbetet finns, så att rätt förutsättningar finns för uppföljning av byggnadens funktion och energiprestanda. Fungerar inte internet i byggnaden under idrifttagningen kan 3G-modem krävas för att kunna verifiera att kommunikationen med fastighetsägaren överordnade system fungerar. Ju tuffare energikrav, desto högre krav ställs på kvalitet i bygg-processen, detaljlösningar, mätningar, etc.

Det är viktigt att loggningen av mätdata från byggnadens olika system är i drift före slutbesiktningen, och uppkopplat mot överordnat system. Så att besiktningsmannen kan verifiera en del funktioner via mätdata samt att driftoptimering startar direkt efter slutbesiktningen. Blir mätsystemet inte en del av slutbesiktningen är risken stor att det tar mer än 6 månader innan mätsystemet fungerar och värdefull tid för driftoptimering försvinner. Detta beror bl.a. på att underentreprenören med detaljkunskap om systemen efter slutbesiktningen fortsätter på andra projekt och det tar betydligt längre tid att få svar på frågor.

Drift- och energiuppföljningen bör vara kopplad till byggnadens driftpersonal, för de har bäst koll på vad som händer i byggnaden. (Stor konferens, "öppet hus", byte av hyresgäst, garantiarbete på fönster, ...) Driftpersonalen har oftast "bara" en ögonblicksbild av hur systemen fungerar och har inte tid, för några större analyser. De kan behöva stöd med vad som händer i ett lite längre tids-perspektiv, under natten, dygnet, veckan, månad. Exempelvis är tiderna för nattkylan rätt satta eller ligger nattkylan på för länge, så att radiatorsystemet måste värma lite extra på morgonen/förmiddagen, för att nattkylan släppte för nära dagdriften (normaldriften).

Under garantitiden bör entreprenörens installationssamordnare arbeta med driftoptimering av byggnaden och dess installationssystemers funktion samt energiprestanda då det är entreprenörens ansvar. Fördelen är att installationssamordnaren kan systemen i byggnaden från design och installationsarbetet. Installationssamordnaren kan hur systemen ska fungera och hen känner de flesta av konsulterna samt installatörerna, så hen kan relativt lätt hämta kompletterande information ifall något inte skulle fungera. Dessutom kommer installations-samordnaren att bevaka att förutsättningarna för driftuppföljningen inte försämras under entreprenaden. Dessutom är det en bra erfarenhetsåterföring till kommande projekt för entreprenören.

### 3.3 Kunskapsläge

Drivkrafterna för en energieffektiv drift av byggnader är ofta inte tillräckligt stora, för att energin är relativt sett billig. Det tar för mycket tid och blir därigenom för dyrt att arbeta med driftoptimering av byggnaders installationssystem. För att få ned kostnaderna behöver driftuppföljningen behöver bli mer automatiserad, så det behövs en struktur i system för insamling av mätdata, som ger möjlighet att samla in data i byggnaden och skicka den vidare till olika aktörer för analys. Data för olika delsystem bör analyseras automatiskt och vid avvikelse bör driftpersonal och förvaltare få en automatgenererad rapport. Det behövs goda exempel för fastighetsägare om andra fastighetsägare, som hittat arbetssätt för driftoptimering och fått bra resultat.

De projekt där en detaljerad driftuppföljning används idag är främst projekt som har:

- Miljöcertifiering med uppföljning av energiprestanda.
- Köpeavtal med ”stora” viten kopplade mot funktionskrav och energiprestanda. Viten är satta för att säkerställa att bristerna i installations- och energisystem åtgärdas.

Däremot i processindustrin arbetar man med att få en bra drift, för där innebär ett produktionsbortfall stora inkomstförluster. Det betyder att det finns kunskap, teknik och programvaror, vilka även bör kunna användas även på byggnaders installationssystem.

Så det finns ett stort behov av att vidareutveckla och automatisera driftuppföljning och driftoptimering av byggnaders installationssystem, så byggnadernas energianvändning har möjlighet att komma i närheten av sin realistiska energiberäkning.

#### 3.3.1 Mätning och uppföljning av byggnadsprestanda

Då det finns avvikelse i byggnadens energiprestanda i jämförelse med den realistiska energiberäkningen kan det vara svårt att se orsaken. Men då en byggnads energianvändning är summan av dessa olika systems energianvändning kan en granskning av de olika systemens energianvändning ge vilket system, som använder för mycket energi. Det förutsätter dock att energiberäkningen redovisar hur mycket energi respektive system använder. Finns önskemål på en detaljerad driftuppföljning, behöver de givare, mätare, börvärden etc. redovisade på driftkorten loggas samt referensgivare för inneklimate. Beroende på vilka funktionskrav och önskemål på tidsupplösning i mätdata ställer det olika krav på mätare, givare, mätvärdesinsamlingssystem, etc.

##### 3.3.1.1 Krav på mätningar

Kraven på mätutrustning är delvis något beroende vilken nivå/ detaljeringsgrad drift- och energiuppföljning skall utföras. Är man endast intresserad av månadsvärden på debiteringsmätarna samt någon undermätare kan värmemängdsmätare med något enklare integreringsverk användas. Vissa integreringsverk har sämre upplösning och mindre mängd mätdata den kan kommunicera med överordnat system. Detta kan vara en begränsning vid insamling av timvärden och högre tidsupplösning av mätdata.

För övrigt måste värmemängdsmätarnas, VMM, integreringsverk och flödesmätare vara anpassade för att ge mätvärden med tillräcklig upplösning och noggrannhet. En energieffektiv, mindre kontorsbyggnad kan ha en dimensionerande värmeeffekt på 20 – 30 kW och då kan inte en

värmemängdsmätare med en upplösning på 10 kWh användas. Med en sådan mätare erhåller man en värmeenergimängd per timme på 0, 10, 20 eller 30 kWh. Med en sådan upplösning kan inga vettiga analyser genomföras på timbasis utan analyserna blir då på dygnsbasis. I detta fall skulle det behövas en upplösning på åtminstone 1 kWh för att kunna göra analyser med energisignatur på timbasis.

Vidare ska man vara observant om man har värme- eller kylmängdsmätare på system som innehåller vätskor som inte är vatten, dvs. blandade vätskor (Mix). Då dessa vätskor bl.a. har avvikande densitet och värmekapacitet. Dessutom kan dessa blandade vätskor ändras över tid i blandningsförhållanden, vilket då kan ge missvisningar.

Önskar man analysera system med en något lägre dimensionerad värmeeffekt kan upplösningen 0,1 kWh behövas. Så det gäller att välja värmemängdsmätare med omsorg, så att man inte slarvar bort möjligheten till att göra detaljerade analyser och tidigt se avvikelser i funktion och energiprestanda.

Ofta i drift- och energiuppföljningsprojekt blir det diskussioner om dålig upplösning på grund av att mätarna valdes lika ett annat projekt, där endast månadsvärden var intressanta. Detta för att systemhandling och detaljprojektering inte var tillräckligt tydlig med vad som skulle mätas och hur byggnaden skulle drift- och energiuppföljas. Drift- och energiuppföljningen börjar i systemhandlingen där man fastställer byggnadens funktionskrav och energiprestanda samt med vilka metoder dessa skall verifieras.

I detaljprojekteringen projekteras mätarna och givare in med rätt raksträckor etc. vilket erfordras för små mätfel i den önskade drift- och energiuppföljningen.

Förutom krav på värmemängdsmätare behövs även krav på övriga givare i mätsystemet, så att inte komponenter med dålig noggrannhet och upplösning används i mätsystemet. Temperatur och fuktgivare kan behöva samkalibreras (parkalibreras) om de exempelvis skall mäta upp en förändring av luftens tillstånd, absoluta fuktinnehåll, före och efter ventilationsaggregatet vid exempelvis geotermisk förvärmning respektive förkylning. Verifiering av givare och mätare samt kvalitetsäkning av mätdata ska ske under idrifttagningen.

Byggnadens mätdata bör tillhöra byggnaden, så fastighetsägaren kan göra mätdata tillgänglig för annan (entreprenör/ tillverkare) att analysera, överläts på ny ägare vid försäljning, etc.

För god läsbarhet i driftoptimeringsarbetet bör signalnamn (Tag) vara 10-14 tecken långa och utgå från system, vad i system, etc. Exempelvis: LA01-GT11-BV; system LA01; vad i systemet GT11; Börvärde (BV); Mätvärde (MV).

I redovisningar/ diagram skall byggnadens namn stå i ena hörnet som en kvalitetssäkring, så att diagram inte blandas ihop mellan byggnader.

### 3.3.1.2 Mätdata för uppföljning av kontorsbyggnads olika system

Nedan ges exempel på vilken typ av mätdata, som kan vara relevant för en kontorsbyggnads olika system och ett större fokus behövs för byggnadens elanvändning. Nu när BBR ställer krav på byggnadens Primärenergital blir byggnadens elanvändning betydligt viktigare, då el har en betydligt högre primärenergifaktor än andra energislag. Det är mycket viktigt att dela upp elanvändningen mellan byggnadsenergi (driftenergi) och hyresgäst/verksamhetsenergi. Se Sveby Brukarindata kontor.

Värmeanvändningens fördelning behöver följande värmeenergimätare för utvärdering

- FJV (köpt värme)
- Eftervärme ventilation
- Eventuell markvärme
- VV-energi
- VVC-energi
- Samt utomhustemperaturen

Kylanvändningens fördelning behöver följande kylenergimätare för utvärdering (ej blandade vätskor)

- FJK (köpt kyla)
- kylbatteri ventilation; Komfortkyla (VAV eller kylbafflar)
- Processkyla

Elanvändningen (elmätare)

- Fastighetselenergin med undermätning på större förbrukare (elcentraler)
- Elenergi till ventilation
- Elektrisk golvvärme, "kallrasskydd", "Rännvärme" eller annan ej försumbar elanvändning, som är del av fastighetselen

Brukarpåverkan

- Referenstemperatur på våningsplanen (timmedelvärden)
- Summa hyresgästel (elmätare timvärden)
- VV-användning (från VMM VV-energi alternativt kallvatten till VV-produktion). VV-energi är att föredra då inkommande kallvatten varierar (exv. 2 °C – 20 °C), vilket gör att energin för att producera VV varierar över året.
- Koldioxidmätning, etc.

Nedan ges exempel på mätningar med minutupplösning (1 – 10 min) och vad som fordras för detaljerad analys.

Ventilationsaggregat:

- Temperaturer
- Luftflöden
- Lufttryck
- Styr signaler/ driftindikering
- Börvärden

Undercentral:

- Temperaturer



- Tryck
- Styrsignaler/ driftindikering
- Börvärden

Värmepumpar:

- Elanvändning
- Tillskottsenergi
- Producerad värmeenergi
- Temperaturer värmesystem
- Temperaturer köldbärarsystem
- Flöde värmesystem
- Styrsignaler

Exempelvis när ventilationsaggregatets inbyggda mätning används, bör kompletterande mätning utföras av det som levereras till och från ventilationsaggregatet. Luftens temperatur och relativa fuktighet, värmeenergi, kylenergi, elenergi, ...

### 3.3.2 Arbeta med drift- och energiuppföljning

Det är viktigt i energieffektiva byggnader med låg energianvändning att ha god kontroll på installationernas funktion. Med en detaljerad drift- och energiuppföljning kan man åskådliggöra installationssystemens funktion och energianvändning. De olika delsystemens funktion enligt driftkortet kan verifieras och sakliga diskussioner om systemens funktioner kan föras med olika aktörer.

Om man inte mäter hur de tekniska systemen fungerar, så tror och gissar man att de har en viss funktion. Skulle man inte få den energiprestanda som önskas, så kan man bara gissa att något inte fungerar som det ska. Då är det svårt att visa på brist i funktion. Dvs. man har ett antal "zinkgrå" lådor i byggnaden, som man TROR har viss funktion och energiprestanda. Har man inga mätvärden, vet man inte hur de fungerar och kan inte ha en konstruktiv diskussion, för att åtgärda eventuella funktions- och energiprestandaproblem hos installationssystemen. Finns mätningar kan man visa att det tekniska systemen har korrekt (avtalad) funktion alternativt har brister och ta diskussion om hur dessa skall åtgärdas till korrekt (avtalad) funktion.

De signaler man önskar i uppföljningen är de relevanta signalerna på driftkortet samt ett antal referensgivare för inneklimatet i byggnaden. Relevanta signaler är temperaturer, styrsignaler, tryck, flöden, börvärden, värme-, kyl-, el och vattenmätare, etc.

För att kunna göra de mindre respektive detaljerade energi- och driftuppföljningarna behövs att mätdata från byggnaden automatiskt lagras i databas. Mycket av arbetet med driftuppföljning är lika, så det finns stor potential för att effektivisera med automatisering och snabbt göra om samma beräkningar och diagram, vecka för vecka och månadsuppföljning för månadsuppföljning.

### 3.3.2.1 Nivåer för drift- och energiuppföljning

Om man endast har en energiuppföljning (månadsvärden) på fastighetsmätarna, kan man bara konstatera, vilken energianvändning man erhöll och förstår inte varför. Eventuellt finns energier med, som inte tillhör byggnadens energianvändning: markvärme, gårdsbelysning, motorvärmare. Finns energiuppföljning på den energi som olika delsystem använder kan man se att ett delsystem använder för mycket energi, men troligast inte orsaken. Då kan driften om det finns historiska data i byggnadens styrsystem söka efter orsaken till den högre energianvändningen. Har man en detaljerad energi- och driftuppföljning kan man analysera hur de olika systemen fungerar samt ge förslag på hur man kan korrigera problemet, som försämrar energiprestandan och installationernas funktion.

Det finns egentligen ytterligare en nivå och det är exakt hur respektive apparat fungerar internt, men det berör främst installatörer och tillverkare. Exempel värmepump. Den "fjärde" nivån handlar om temperaturer och tryck på köldmediet och andra interna saker i värmepumpen, som tillverkare och/eller installatör arbetar med för att optimera värmepumpens drift. För de som arbetar med detaljerad uppföljning av byggnaden och installationssystemens drift omfattar delsystemet värmepump oftast det utanför värmepumpen: temperaturer och flöde på värmebäraren samt temperaturer på köldbäraren, värmepumpens elanvändning samt eventuellt tillskottsvärme.

### 3.3.2.2 Relationsenergiberäkning

Det är viktigt att energiberäkningen är realistisk och verklighetsnära, då energiberäkningarna är utgångspunkten för vilken energiprestanda byggnaden kan erhålla, vilken mäts upp i verklig drift. Så i samband med slutbesiktningen när relationshandlingarna tas fram skall även en relationsenergi-beräkning tas fram. Det är fördelaktigt om delsystemens energianvändning redovisas. Har ventilationsaggregat bytts ut eller fått andra driftsförutsättningar behöver aggregatkörningarna uppdateras, så nya indata till relationsenergiberäkningen erhålls.

Då energiberäkningen är utgångspunkt för vilken energiprestanda, som skall kunna erhållas för byggnaden är det viktigt att energiberäkningen revideras med data för hur byggnaden blev byggd (relationshandling). Det kan av olika skäl blivit förändringar av den projekterade byggnaden och det är viktigt att relationsenergiberäkningen tar hänsyn till dessa ändringar. Exempelvis kan det i entreprenaden ha blivit utbyte av fönster, ventilationsaggregat samt en del börvärden i styrsystemet.

Det är viktigt att skilja på byggnadens respektive verksamhetens energianvändning. Stöd till indata till energiberäkningarna samt definitioner av vad som är byggnadens respektive verksamhetens energianvändning etc. finns i Svebys Brukarindata bostäder (Sveby 2012), Svebys Brukarindata kontor (Sveby 2013), respektive Sveby Brukarindata undervisningslokaler (Sveby 2016). I Boverkets föreskrift BEN (Boverket 2017) finns det brukardata för normalisering, men den är inte lika detaljerad som Sveby Brukarindata.

Ändras verksamheten i byggnaden, dess närvarotider eller ändringar i installationssystemens funktioner kan relationsenergiberäkningen behöva uppdateras, så man får rätt teoretisk energianvändning att jämföra/ korrigera byggnadens energianvändning med.

### 3.3.2.3 Visualisering av mätdata

Har man en god installationsteknisk systemkunskap ger visuell granskning av mätdata med jämförelse av systemets driftkort information om systemet fungerar i enlighet med designen eller om det finns avvikelser.

För en mer detaljerad analys av mätdata kan dataprogram, som BELOK Driftanalys användas. I BELOK Driftanalys kan snabbt diagramsidor byggas upp, för olika delsystem i byggnaden, så att mätdata för systemen snabbt kan granskas. Möjlighet finns att lätt zooma in från månadsredovisning till dygnsredovisning av intressant dygn.

I framtiden bör detta automatiseras och rapporter skapas automatiskt varje vecka/månad, så kan tiden avseende mätdataadministration kraftigt reduceras.

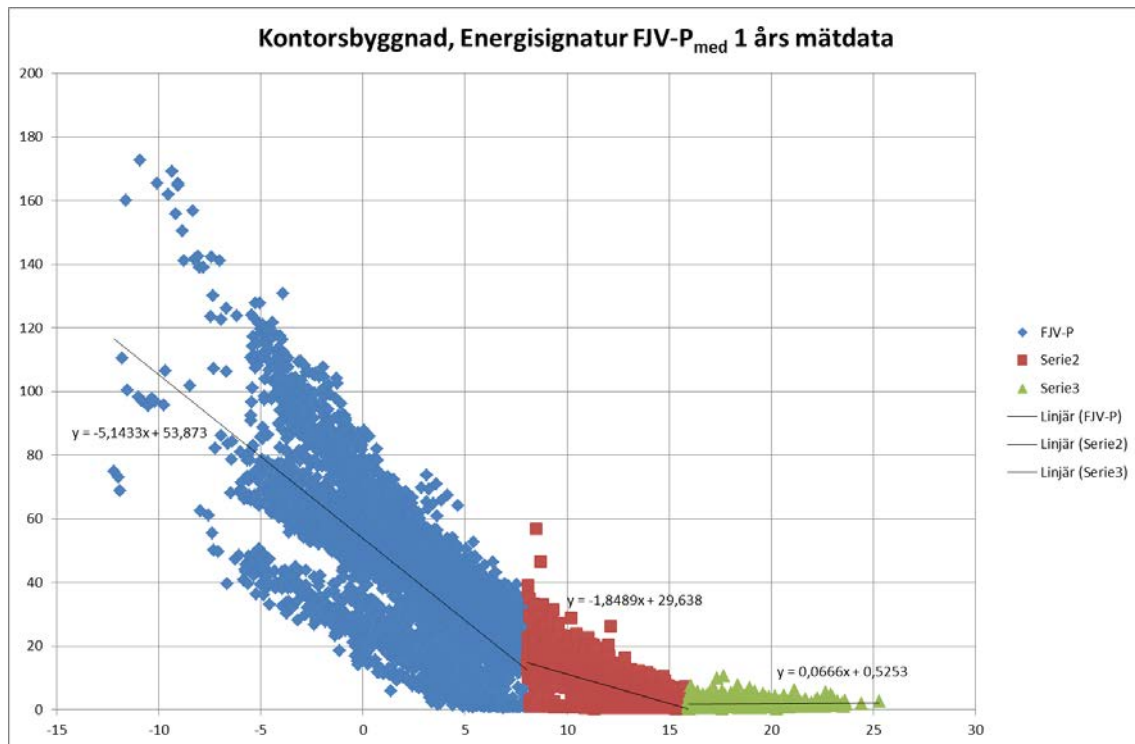
### 3.3.2.4 Beräkning av årsvärmeanvändning från energisignatur

Beräkning av en byggnads årsenergianvändning av värme kan utföras på åtminstone två sätt. Dels utgående från månadsanvändningen av FJV och VV, markvärme etc. dras bort. Därefter normaliseras varje månads värmeanvändning med Energiindex alternativt graddagar, för att beräkna den normaliserade månadsvärmeanvändningen. Summan av alla månaders normaliserade värmeanvändning är den normaliserade årsenergianvändningen av värme. Alternativt en energisignatur för köpt fjärrvärme vs utomhustemperaturen användas. Då det normalt inte finns energimätare för värmesystemet i byggnaden och FJV-, VV-, markvärmemätarnas upplösning är oftast för dålig för att beräkna värmeenergin timme för timme utan man får nyttja FJV-mätaren för att ta fram en energisignatur FJV och beräkna en normaliserad FJV-användning och sedan dra av VV, markvärme etc. I figur 3.1 visas en energisignatur för FJV till en kontorsbyggnad.

Energisignaturen delas upp i två till fyra delar. Om all ventilation har samma drifttider och bara är i drift under normal kontorstid får man två ben på energisignaturen när det är kallt ute. När det är mer renodlat finns även möjlighet att ha energilarm om det blir en större avvikelse för energisignaturen. Men i figuren nedan går ventilationen på normal drift under kontorstid, halv fart/ utökad drift via forcerings-knappar, samt är avslagen övrig tid, så i figuren nedan används bara en medelkurva för när det är kallare ute.

Årsenergianvändningen för uppvärmning beräknas med hjälp av för Sveby/SMHI typår och kurv-anpassningarna i figur 3.1 nedan. Därefter måste man dra av energierna för VV, markvärme etc.

När tim-värden används är det viktigt att upplösningen på värmemängdsmätaren är tillräcklig. I detta fall var upplösningen 10 kWh, vilket är betydligt större än sommarvärmeanvändningen, på några kWh/tim. Så därför har medeleffekt FJV beräknats för varje timme utgående från 10-min-värden på FJV-effekten. Alternativt hade beräkningarna kunnat utföras på dygnsmedelvärden av FJV-energi.



Figur 3.1 Energisignatur FJV-P<sub>med</sub> vs utomhustemperaturen, för en kontorsbyggnad.

### 3.3.2.5 Exempel energirapport

I tabellerna nedan redovisas ett exempel på en förstasida till energirapport. På de följande sidorna i energirapporten analyseras de olika posterna och resultatet förs in på förstasidan.

#### Analys av de olika energiposterna.

Vid analys av de olika energiposterna är det en fördel att analysera delsystemens energianvändning om mätningar finns samt den teoretiska energianvändningen finns redovisad i relationsberäkningen. Då eventuell felfunktion på ett delsystem syns tydligt på tidserie och energisignatur för det delsystemet. Exempelvis kan "rännvärmens" styrning vara felaktig och den ligger på för länge, så dess energianvändning blir för hög. Om inte mätningar finns på rännvärmens kan det vara svårt att se att det är orsaken att fastighetens elanvändning är exv. 10 % för hög. Hade mätningar på "rännvärmens" funnits hade man kunnat se att den var mer än dubbelt så stor.

Tabell 3.1 Exempel förstasida energirapport

## Byggnad och Mätningar

Byggnad	Kontorsbyggnad X-köping
Tempererad Area	Atemp
Inflyttning	Aug. 2016
Tidsperiod Mätdata	1 sep 2016 – 31 jul 2017

## Energianvändning Kontorsbyggnad X-köping

	Relations energiberäkning 2016-07-01	2017-04-04	2017-06-04	2017-08-04
Uppvärmning	31,5	34	33	33
Varmvatten	2	2	2	2
Komfortkyla	16	14	13	13
Fastighetsel	15,6	21,4	21,3	21,0
Summa	65	71,4	69,3	69,0
Medelluftflöde	0,54	0,65	0,65	0,65
Krav BBR 21	93,3	101	101	101
75 % av BBR	69	77,8	77,8	77,8
Markvärme		1,1	1,1	1,1
Hyresgästel		37	38	38
Processkyla		12	12	12
Egenproducerad energi (sol, vind)				

### 3.3.3 Drift- och energiuppföljning i byggprocessen

Då byggnader är i drift under mycket lång tidsperiod är byggnaden och dess installationssystemens funktion och energianvändning mycket viktig. Det finns behov av att gå från utförandeentreprenad till funktionsentreprenad och därmed en funktionsorienterad byggprocess.

Då delar viktiga för att driftuppföljning och energieffektiv drift ibland glöms bort/ försummas i den vanliga byggprocessen tas i detta avsnitt upp vad som behöver hända i byggprocessen för att skapa goda förutsättningar, för en energieffektiv drift. Detta gäller för både beställare och entreprenör.

Tyvärr är ett vanligt förfarande att man när det är några månader kvar till slutbesiktningen går igenom handlingarna, för att inte ha glömt något till slutbesiktningen. Då inser man att man även skall leverera mätdata till en driftuppföljning och försöker ta reda på vad som ska mätas. Då blir det att gå igenom vilken mätdata finns i systemen, är dess noggrannhet och upplösning lämplig, finns det möjlighet att klämma in några saknade värmemängdsmätare, måste några extra mätare monteras för att det är en olämplig design på installationssystemen, så man inte kan särskilja fastighetsenergi från verksamhetsenergi och processenergi.

Det ideala är att när man tidigt i projektet sätter upp ett antal funktionskrav även påbörjar ett arbete med hur dessa funktionskrav skall verifieras, vilka metoder skall användas, vilka givare och mätare erfordras, krav på raksträckor etc. Dessa saker skall bestämmas i systemskedet för att sedan kunna projekteras in på rätt plats och med rätt förutsättningar.

#### 3.3.3.1 Organisation

Funktionskraven för energi och installationssystem måste ges större utrymme från början, styrningen mot god driftsekonomi ges högre prioritet och byggas in i organisationen från första början. I programskedet ska funktionskraven formuleras så de blir verifierbara. Totalentreprenörens ansvar bör formuleras så att det också omfattar utfallet på byggnadens energianvändning.

Det är viktigt med ett stort engagemang hos beställarens projektledare. Beställarens byggprojektledningen borde vara med minst under garantitiden, för att ta en större hänsyn till driftfrågorna. För närvarande är det dåligt med erfarenhetsåterföring, byggprojektledningen släpper projektet och går vidare och de projekterande konsulterna ses inte i en fastighet efter den är byggd.

Styrfrågorna behöver prioriteras liksom handläggaren av drift och uppföljning. De bör finnas med i projekten från början. Se till att styranläggningen projekteras och handlas upp tidigt i projektet samt att handläggarna är delaktiga i projektet. Slutligen bör en särskild besiktning införas även i mindre projekt, för styranläggningen med en kompetent besiktningsman.

#### 3.3.3.2 Ekonomi

Det ekonomiska ansvaret för projektet bör inkludera ansvar för drift och energianvändning. Då byggnaden kommer att brukas under mycket lång tid. Svebys Energiavtal 12 är ett steg i den riktningen.

### **3.3.3.3 Tidplan**

Projektet måste styras väl vad gäller tidsanvändning. Detta gäller i särskilt hög grad slutfasen av projektet. Se till att datum för slutbesiktning, avprovning, samordnad provning, slutstädning m.m. finns med i tidplanen samt att de inte äts upp av andra aktiviteter i projektets slutfas. Se till att ha bättre tidplaner för installationsdelarna. Det är viktigt att installationerna kommer rätt i förhållande till varandra, så att de inte blockerar varandra. Besiktiga installationsdelar som ska byggas in innan de byggs in, sedan är det svårt att se hur de ser ut och få dem åtgärdade. Injustering, uppmätning av flöden och OVK utförs av oberoende entreprenör. Eventuellt tidigarelägg slutbesiktning, för att få tid för efterjusteringar innan hyresgästernas inflyttning.

### **3.3.3.4 Programskede (Förstudie)**

Energi- och installationssystemen måste vara i fokus under hela projektet. I programskedet skall man formulera funktionskraven, så att de blir verifierbara. Vilka parametrar krävs, för att kunna verifiera kraven? Hur ser inneklimatekraven ut sommar och vinter?

### **3.3.3.5 Systemhandling**

Brister i systemhandlingarna ger stor påverkan på det som blir utfört. Det är viktigt att mätsystem för verifiering av funktionskraven tas fram och bestäms, för de valda installationssystemen. Se till att projektet har tillräckliga resurser med systemkunskap och systemförståelse, för installations- och energisystem. Detta gäller alla delsystem och deras betydelse för andra system men särskilt viktigt är att styr och regler frågor är med tidigt i projektet. VV/VVC-systemen bör få ett större fokus, då de är i drift hela året och skall ha en temperatur på minst 50°C.

Om man väntar för länge med installationerna i byggprocessen, så de kommer in för sent och en stor del av byggnaden är redan bestämd, vilket betyder att installationslösningarna kan få en sämre funktion och bli dyrare. Se även till att tillräckligt med yta finns för schakt och installationsutrymmen.

### **3.3.3.6 Bygghandling**

Se till att mätningen av installationssystemens energianvändning är uppdelad i byggnadsenergi (driftenergi) och verksamhetens energianvändning. Det förekommer ganska ofta att en del av verksamhetens energianvändning felaktigt redovisas byggnadsenergi.

Kraven på mätningar, verifiering och dokumentation ska finnas med tidigt i byggprocessen och förändringar skall dokumenteras. I slutfasen av projekteringen innan man går över i produktionsfasen bör man genomföra en samordnad funktionsprovning (torrövning), för att verifiera att alla funktioner finns med och att man inte i handlingarna har glömt något. Man går bl.a. igenom driftkortet och hittar en del småsaker. Det är väl investerade timmar samt att man får ett ansikte på övriga aktörer. Detta gör att man erhåller en betydligt bättre bygghandling.

### **3.3.3.7 Upphandling**

Det gäller att formulera funktionskrav i upphandlingsunderlaget och skriva in vilken metod som ska användas för verifiering. Dessutom bör det göras klart att komponenterna ska vara enhetliga och utbytbara och att reservdelar och verktyg ska finnas tillgängliga hos lokal/regional VVS-grossist.

Beskriver man inte tillräckligt bra i upphandlingsunderlaget, får man inte det man önskar. Det är viktigt att kunna formulera funktionskrav samt hur de skall mätas och verifieras. Det gäller att skriva in i upphandlingen, vilken metod som ska användas vid verifiering.

Entreprenörer bör upphandlas med 5 års driftansvar, så att de ser till att man erhåller en korrekt drifttagning av deras installationssystem med en bra och energieffektiv drift. Kompetenskrav på styr är mycket viktigt, för att få bra fungerande installations- och energisystem.

Dagens installationsutrustning innehåller styrfunktioner, som bör kopplas ihop via överordnat system.

### **3.3.3.8 Genomförande (Entreprenad)**

I entreprenaden skall byggnaden och dess installationssystem uppföras enligt handlingar. Men Entreprenören kommer ibland med förslag på andra lösningar, leverantörer, etc. Det gäller då att kunna analysera hur den förändringen kommer att påverka funktionen för byggnaden och dess installationssystem innan förändringen godkänns eller inte.

### **3.3.3.9 Idrifttagning och samordnad funktionsprovning**

Idrifttagning ges inte den tid och betydelse, för att erhålla bra fungerande installations- och energisystem, som de borde erhålla. Minst X veckor för normala projekt och med närvaro av besiktningsmän och lämpliga specialister. Se till att bearbeta mallar för alla dokument så att man direkt kan jämföra värden och verifiera funktionerna. Injusteringsprotokoll skall t.ex. innehålla inställningar och tryck, så ser man direkt om man får ut rätt flöde och om det är riktiga och rimliga värden.

Det är viktigt att alla system för kommunikation och datalagring är en del av drifttagningen inklusive alla givare. Det är viktigt att datakommunikation (internet) finns till driftutrymmena under idrifttagningen samt se till att systemen kommunicerar med varandra i tillräcklig omfattning. Finns inte möjlighet till trådbunden/fiber får 3G-modem användas initialt.

Verifiera att givare och mätare visar korrekta värden och sitter på rätt plats/ rätt adresserade. Detta är viktigt för att kunna lita på de mätvärden som systemet samlar in.

### **3.3.3.10 Slutbesiktning**

Vid slutbesiktningen kontrolleras att arbetet är utfört enligt överenskommelse (kontraktshandlingar) och enligt BBR Boverkets Byggregler, branschregler samt fackmässigt inom de toleranser som är föreskrivna i branschen. För att få bättre styr och mätinstallation bör en styrbesiktningsman vara med på förbesiktning samt utföra kontroller under projektets gång.



### **3.3.3.11 Drift och uppföljning**

Mäta är att veta och det gäller att mäta rätt samt att man vet vad och hur man vill verifiera funktionskraven. Förståelse för fysikaliska förloppen för installations- och energisystem är mycket viktig vid uppföljning, så att man exempelvis inte blir lurad av kondenseringsvärme vid mätning av temperaturverkningsgrad eller avkyllningen i återvinningsbatteri.

Det är viktigt att driftuppföljningen blir ett stöd för driften som vet vad som händer i byggnaden. Arbete med driftuppföljning måste vara enkelt för att bli utfört. Helst bör driftuppföljningen vara automatiserad och vid avvikelse skicka autogenererade rapporter till drifttekniker och förvaltaren.

### **3.3.4 Verktyg för drift och energiuppföljning**

Nedan är några exempel på verktyg, för att driftoptimera byggnaders installations- och energisystem.

#### **3.3.4.1 BELOK Driftanalys**

BELOK Driftanalys (BELOK 2017) är utvecklat från forskarprogramvaran PIA, men har inte fått så stor användning trots att det är ett kraftfullt verktyg att visuellt analysera installations- och energisystemens funktion samt inneklimat. Med verktyget kan man aktivt driftoptimera byggnaden genom att bl.a. identifiera felfunktioner, trasiga komponenter, felaktiga styralgoritmer, etc.

För att säkerställa att de tekniska systemen i en fastighet driftas så bra som möjligt samlar man via givare och mätare in information om temperatur, tryck, luftfuktighet, effekt etc. Dvs. de givare och mätare som normalt finns på driftbilder i styrsystemen loggas och läses in i BELOK Driftanalys. Med många mätpunkter genereras snabbt stora mängder data. BELOK Driftanalys gör dessa data användbara och hjälper användaren att spåra energislöseri och att kunna säkerställa att fastigheten driftas optimalt.

Genom att urskilja de parametrar, som anses intressanta och visualisera olika samband mellan parametrarna upptäcks enkelt förbättringsmöjligheter i fastighetsdriften.

BELOK Driftanalys är ett viktigt verktyg för att förstå funktionen hos de installerade installations- och energisystemen. För att kunna utföra analyserna är det viktigt att signaler och mätare loggas med minutupplösning. Annars är risken att man bara ser att man har dålig energiprestanda och inte detaljerna till orsaken.

Driftanalys är ett kraftfullt och bra verktyg för analys av installationssystemens funktion, men det tar lite för lång tid att komma igång pga. initial dataadministration. Databrowser och "matta"-diagrammen är mycket kraftfulla verktyg att söka efter avvikelser i systemens funktion. Vid en avvikelse är det lätt att kontrollera övriga signaler som kan ha en påverkan, för att snabbt hitta en trolig orsak.

Det finns ett behov av att vidareutveckla BELOK driftanalys och få fler sätt att läsa in mätdata etc.

#### **3.3.4.2 Excel AddIn Historian**

Excel AddIn Historian (Novotek 2017a) är ett tilläggsprogram till Excel, som hjälper till att skapa databasanrop till GEs databas Proficy Historian. Tillägget ger val av system/databas (byggnad), Tags (signalnamn), starttid, stopptid, tidssteg och hämtar sedan aktuella mätdata, vilka sedan kan vidarebearbetas med Excel. Om man en månad senare vill se på en ny period av samma analyser behöver endast start- och stopptid ändras, så görs nya databasanrop och beräkningar samt diagram uppdateras.

#### **3.3.4.3 Webbapplikation "Report Plus"**

Webbapplikation Report Plus (Novotek 2017b) från Novotek som gör anrop och hämtar mätdata från GEs Historian och redovisar som diagram, tabeller etc. Ett alternativ till Excel AddIn Historian där olika typer av rapporter kan skapas i en webbapplikation, så att användaren går in och väljer rapporttyp och system samt tidsperiod.

#### **3.3.4.4 Export från styrsystem till Excel för fortsatt analys**

De flesta styrsystem innehåller en funktion att exportera ut textfiler som kan läsas in av Excel. Så kan mätdata sedan bearbetas vidare och redovisas. Det tar en del tid, men fungerar relativt bra om lite större datamängder kan hämtas från styrsystemet, annars blir det för mycket klickande och det är för lång tid att få ut mätdata från systemet.

Dock är det en fördel om det kan automatiseras, så mantimmar till analyserna av installationssystemen och byggnadens energianvändning kan sparas.

#### **3.3.4.5 Automatiserad analys**

Det finns ett behov av en automatiserad analys för att spara mantimmar och kunna ha en mer kontinuerlig analys av de olika delsystemens funktion.

För en automatiserad analys behövs en struktur i mätsystemet som samlar energivärden och mätdata i byggnaden och skickar det vidare till databas, men även till olika aktörer. Denna struktur kan vara en industri-PC som sitter i byggnaden och kommunicerar med alla mätare och olika styrsystem i byggnaden. Den gör viss grundläggande bearbetning och skickar vidare data.

Analyser bör automatiskt utföras på de olika delsystemen och vid avvikelse bör en autogenererad rapport skickas till drifttekniker och förvaltare.

Det finns lite algoritmer för analys av olika delsystemens funktioner, men det behövs ett systematiskt arbete att ta fram fler och verifiera dem, så att de kan komma att nyttjas i en större omfattning än idag.

### 3.3.5 Forskning

Det finns mycket forskning som pågår för att förbättra olika delsystems funktion (VP, FJV, solceller, etc.). Men när det gäller att få en fungerande helhet för byggnaden och dess installationssystem är det få eller inget arbete som pågår beroende på vad man lägger i fungerande helhet.

Det finns även mycket forskning kring energieffektiva byggnader, vilken är relaterat till designen av byggnaden, men inte att säkerställa att installations- och energisystem kan fungera som projekterat och skapa goda möjligheter för en energieffektiv drift. Dvs. huvudsakligen teoretiska studier hur man skapar energieffektiva byggnader och inte hur det praktiskt ska säkerställas i byggprocessen och i verklig drift av byggnaden och dess installationssystem.

Det utfördes det en del IEA ECBCS-forskning 1990-2004 (Annex 25, 34, 40), där man visa hur man kan bearbeta mätdata och vilka fel som kan identifieras, men det används inte eller används i mycket begränsad omfattning i fastighetsbranschen.

I det korta perspektivet behöver man forska/ vidareutveckla:

- Förstå varför drift och energiuppföljning inte används i någon större utsträckning och vad som krävs för att den skall öka i användning, för att förbättra byggnaders energiprestanda utan att behöva göra dyra "energireoveringar".
- Skapa goda exempel utgående från mätdata från ett antal konorsbyggnader nyttjande kunskap från bl.a. tidigare IEA-forskning.
- Tillse att studenterna får bättre komponent- och systemkunskap samt hur installationerna samverkar med byggnaden.
- Tillse att studenterna får kunskap om driftoptimering av byggnader och dess installationssystem samt lämpliga verktyg för driftoptimering.
- Ta fram/ vidareutveckla verifieringsmetoder för olika delsystem.
- Identifiera metoder och produkter som kan hjälpa större fastighetsägare att hämta in mätdata från sina olika byggnader utan att behöva byta ut styrsystem i vissa byggnader först.
- Byggprojektledaren måste se till att kunskap om installations- och energisystem finns med tidigt i projekt, så att det finns en möjlighet att byggnaden kan bli så energieffektiva som planerat/ projekterat.

### 3.3.6 Fallstudier

Fallstudierna är ett antal relevanta svenska rapporter om analys av installations- och energisystem i energieffektiva byggnader. Då man inser att det finns ett stort behov av att samla mätdata och analysera funktionerna för byggnadens olika delsystem. Detta för att verifiera byggnadens delsystems funktion samt feldetektering av delsystemen. Vidare tas det upp internationellt samarbete de senaste 25 åren samt fem intervjuer med några av de större fastighetsägarna om hur de arbetar med drift- och energiuppföljning samt vad de ser behov av för att blir ännu bättre i sitt arbete.

### 3.3.6.1 Drift och energiuppföljning - litteraturexempel

#### **Idrifttagning av Installationssystemen i Stockholmsprojektet** (Wånggren. 1990)

Stockholmsprojektet genomfördes under 80-talet och de jämförde olika sätt att bygga energisnåla flerbostadshus. Nya byggmetoder och installationssystem testades i sex byggnader. Det man testade var dels förbättring av befintlig teknik, men även relativt ny avancerad teknik och detta utvärderades av EHUB (EnergiHushållning i Byggnader) på Kungliga Tekniska Högskolan. När de började analysera mätdata från de första byggnaderna upptäcktes stora skillnader mellan verklig och avsedd funktion hos många av installationssystemen. Det var det som gjorde att idrifttagningsprojektet startades upp.

Drifttagningsprojektets arbete startade efter slutbesiktningen och med hjälp av aktiv idrifttagning och boendesynpunkter hittades en stor mängd av "fel". Med aktiv idrifttagning avser de omfattande analys av insamlade data, tester och mätningar ute i anläggningen.

I rapporten ges följande rekommendationer för att minska antalet fel i installationssystemens funktion och energiprestanda:

- Utgå från att alla byggnader innehåller fel
- Ge installations och energifrågan större vikt genom hela projektet
- Analysera funktionen för de projekterade systemen
- Funktionskrav verifieras under idrifttagning och drift
- Mätningarna för verifieringen måste förberedas under projekteringen

#### **Metodik för uppföljning av VVS-tekniska system och energiförbrukning** (Carling, Isaksson, 2009)

Enligt Pär och Per är det mycket som måste göras rätt för att ett flerbostadshus ska bli, så energisnålt som önskat. Systemval, projektering, produktion och drifttagning är alla viktiga. Idag är det vanligt att sista länken i kedjan brister och att en rad triviala fel och misstag förstör aktörernas goda avsikter att åstadkomma en energisnål byggnad.

SBUF-projektet visar metoder för att säkerställa avsedda funktioner samt optimera installationernas funktion. De viktigaste slutsatserna är att energianvändningen i de två aktuella flerbostadshusen var hög på grund av en rad enkla fel, att detaljerad kunskap om byggnadens energitekniska funktion ger fördelar samt att uppföljning baserad på intensiv trendloggning och interaktiv analys av mätdata är ekonomiskt möjligt i flerbostadshus med hjälp av lämpliga datorprogram.

Pär och Per visar även på ett arbetssätt som bygger på visualisering av mätdata med verktyget, PIA, som bygger på Matlabs kraftfulla visualisering.

## Installationssystem i energieffektiva byggnader – förstudie (Kempe 2013)

I rapporten tas erfarenheter från 15 års felsökningar genom att beskriva de fysikaliska förloppen som har varit orsak till olika problemen. Rapporten tar upp en rad orsaker till att man kan få försämrade energiprestanda i en energieffektiv byggnad.

Energieffektiva byggnader har mycket låga värmeeffektbehov, vilket leder till att även små fel och brister märks betydligt mer i en energieffektiv byggnad än i en BBR-byggnad (med max tillåten energianvändning enligt BBR). Dessa små fel och brister kan bero på att man inte är van att ta hänsyn till dessa, då de aspekterna har liten betydelse i en BBR-byggnad.

Vanligtvis önskas ett litet underskott på tilluft, för att erhålla ett undertryck i byggnaderna. Man brukar eftersträva en luftflödesbalans på 90 – 95 %.

Luftflödesbalansen kan påverkas av utomhustemperaturen, då frånluftsfläkten normalt sitter sugande och då sitter den kallt på vintern. Detta betyder att luften har en högre densitet vilket ger ett större massflöde frånluft går genom frånluftsfläkten på vintern om inte fläktarna är tryckstyrda. Densitetsskillnaden på avluften påverkar luftflödes-balansen med ca 5 %.

Distributionsförlusterna från kanaler och rör beror på fyra saker: temperaturdifferens, arean (rörlängden), isoleringens värmemotstånd på rören och drifttiden. Drifttiden kan reduceras i lokaler där exempelvis komfortkyla endast primärt behövs under kontorstid. Man måste dock beakta tiden då börvärdena i kylsystemet skall återtas, så att kyleffektspik undviks.

Erforderlig temperaturnivå på värmesystemet beror på vilken typ av värmesystem som byggnaden har installerat, dvs. ju större värmeavgivande yta värmesystemet har desto lägre framledningstemperatur kan användas. Det finns fördelar med att hålla upp radiatorytan i energieffektiva byggnader och hålla ner temperaturnivån. Dels får man lägre värmeförluster från värmedistributions-systemet. Man erhåller också ett högre värmevattenflöde, vilket ger högre kv-värden för radiator-ventilerna och mindre risk för problem med radiatorventilerna pga. partiklar i värmevattnet.

Värmeförluster från VV/VVC-distributionsrör kan minskas med hjälp av arkitekten. Lämpligt placerade kök och badrum ger korta VV/VVC-rördragningar, vilket minskar värmeförlusterna från VV/VVC-rören.

Om man endast har en energiuppföljning (månadsvärden) på fastighetsmätarna, kan man i efterhand endast konstatera vilken energianvändning man erhöll, men man förstår inte varför. Har man energiuppföljning på den energi som olika delsystem använder kan man se att ett delsystem använder för mycket energi, men troligast inte orsaken. Med en detaljerad energi- och driftuppföljning blir det möjligt att analysera hur olika system fungerar enskilt och tillsammans vilket leder till en djupare kunskap. Med denna som grund kan man ge förslag på hur problem i installationer som försämrar energiprestandan och installationernas funktion kan åtgärdas. Men även påvisa för entreprenör och tillverkare vid brist i funktion, så att de har bättre möjligheter att förstå och åtgärda funktionsproblem.

## **Teknikupphandling av värmeåtervinningssystem i befintliga flerbostadshus (Wahlström, Å. 2013)**

Teknikupphandling är mycket intressant ur idrifttagningssynpunkt, för den visar på att det finns brister i idrifttagningen av system i flerbostadshus trots att det är en tävling, då man rimligtvis borde ha stort fokus på korrekt funktion. Enligt Åsa är de föreslagna systemlösningarna i teknikupphandlingen inte helt färdigutvecklade och krävde en stor arbetsinsats av beställarnas egen driftpersonal. I rapporten konstaterar Åsa att systemen fungerar, men det finns möjligheter att göra systemen ännu bättre.

Två olika systemlösningar för värmeåtervinning ur frånluft gick man vidare med till installation i demonstrationsbyggnader. Systemlösningarna var kondenserande frånluftsvärmepumpsteknik samt FTX med ett nyutvecklat kanalsystem för tilluftskanaler i lägenheter. Dessa installerades i fyra respektive tre demonstrationsbyggnader.

Utvärderingen konstaterade att båda systemlösningarna för värmeåtervinning fungerar, men att det fortfarande finns utvecklingspotential. Utvärderingen kunde inte visa att den ena systemlösningen är bättre än den andra, så vid val av system för värmeåtervinning är det viktigt att se på byggnadens förutsättningar. Utvärdering av de installerade systemlösningarna fick förlängd tid, för att det tog längre tid att installera och justera systemen i de sju demonstrationsbyggnaderna än planerat. De första mätningarna visade inte på tillfredställande prestanda, vilket enligt Åsa förmodligen beror på det svåra att göra teknikupphandling på systemlösning och inte bara en komponent. Detta har inneburit en del frågeställningar, som inte kunde förutses och detaljer har behövts utvecklas efterhand. Man har bland annat haft problem med lufttätheten i befintliga ventilationskanalerna. Den inläckande luften har gett större elanvändning för frånluftsfälkten samt sjunkande temperatur till ventilationsaggregat. Detta visar på behov av fortsatt utveckling av billigare och effektivare tätningsmetoder för befintliga frånluftskanaler.

FTX-aggregatens avfrostningsfunktion fick modifieras för att man hade från början ett onödigt stort by-pass flöde under långa perioder. Värmepumparna hade stora intrimningsproblem till en början med flera driftstopp, vilket åtgärdades. Detta visar på att idrifttagning är fortsatt ett problem och det kommer även framöver att finnas behov av kunnig driftpersonal, som i samverkan med entreprenören kontrollerar systemens prestanda och vid behov gör nödvändiga justeringar under de första årens drift.

Enligt Åsa är nödvändiga med kontinuerliga och detaljerade mätningar under det första årets drift i framtida projekt. Helst bör uppföljning ske under två år. Här är det också av största vikt att det finns bra förmätningar som beskriver hur byggnaden fungerade innan installation av värmeåtervinning. Det är viktigt med ett tydligt idrifttagningsåtagande för entreprenören i framtida projekt.

## Vidareutveckling av metoder för idrifttagning och driftuppföljning (Kempe 2014)

Erfarenheter från om- och nybyggnader visar att de ofta inte uppfyller förväntad energiprestanda. Främst är det brister inom installationssystemen, värme- och ventilationssystemen. Ofta vet man inte förrän efter ett/ några år att man ligger för högt i energianvändning pga. att man inte har ett mätdatasystem eller inte har fått igång mätdatasystemet.

Förstudien består av litteraturstudie samt nio djupintervjuer med projektorganisationer, förvaltare etc. där ca 25 personer deltog. Djupintervjuerna gjordes hos respektive företag och tog ca 2 timmar.

Det är viktigt att få bättre upphandlingsunderlag med verifierbara funktionskrav, som man lätt kan modifiera till det aktuella projektet och återanvända. Dels behövs mer systemkunskap om installationssystem och hur de samverkar med byggnaden, för att kunna få bättre fungerande installationssystem och energiprestanda. Det är även viktigt att förstå hur styrningen av installationssystemen och dess börvärden påverkar funktion och energiprestanda. Detta är speciellt viktigt för energieffektiva byggnader, där de små detaljerna får en större betydelse. Nedan är några exempel på vad man behöver förbättra förutom att höja den installationstekniska systemkunskapen:

- Viktigt att få fram bättre förfrågningsunderlag och ramhandlingar
- Ta fram relevanta verifierbara funktionskrav
- Projektera hur de verifierbara funktionskraven skall mätas och verifieras. Mätssystem för verifiering av funktionskrav skall vara del av entreprenad.
- I slutet av projekteringen skall handlingarna gås igenom samt alla driftkort och funktionskrav skall kontrolleras (Teoretisk samordnad funktionsprovning)
- Bättre kontroll att konsulter och entreprenörer följer byggherrens ramhandling
- Entreprenören skall ha ett utökat funktionsansvar och energiprestandansvar
- Signaler och mätare till mätsystemet skall verifieras under idrifttagningen
- Se till att det finns tillräckligt med tid och resurser för idrifttagning och samordnad funktionsprovning
- Arbeta för att få en funktionsorienterad besiktning i stället för en installationskontroll som det ofta blir idag
- Besiktningsmannen skall nyttja mätsystemet för verifiering av funktionskrav under slutbesiktningen
- Direkt efter slutbesiktningen skall arbetet påbörjas att verifiera och optimera olika delsystems funktion och energiprestanda. Så att första året kan användas för att få korrekt funktion och god energiprestanda, för att sedan år två (och år tre) bevaka funktion och prestanda.

Dessutom skall man utgå ifrån att alla byggnader innehåller fel och fundera över vad man kan göra för att minska antalet fel samt att de fel som uppstår hur man kan hitta dem snabbt och utan alltför stor arbetsinsats.

### **Förstudie vidareutveckling BELOK Driftanalys (Kempe 2015)**

Det finns ett stort behov av att arbeta med aktiv driftoptimering av/ följa upp energieffektiva byggnader, för att få den beräknade energiprestandan eller förstå varför man inte erhöll den och förmedla den erfarenheten till andra.

BELOK Driftanalys är ett viktigt verktyg för att förstå funktionen hos de installerade installations- och energisystemen. För att kunna utföra analyserna är det viktigt att signaler och mätare loggas med minutupplösning. Annars är risken att man bara ser att man har dålig energiprestanda, men man ser inte detaljerna till orsaken.

För att få den avsedda funktionen samt kunna mäta och verifiera bör man:

- Beskriva de funktionskrav som gäller i projektet i systemskedet samt hur de ska verifieras. Mätutrustningen för verifieringen av funktionskraven projekteras in. Om de inte projekteras in kan det bli svårt att verifiera funktionskraven och det blir svårt att mäta med tillräckligt litet fel.
- Beskriv funktionen hos systemen på driftkort, som lever genom projektet. Hur verifieras funktionskraven?
- Tillse att mätsystem och dataloggning är en del av entreprenaden
- Tillse att mätsystemet startas upp och signalerna verifieras under idrifttagningen senast en månad före slutbesiktningen.
- Tillse att besiktningsmannen under slutbesiktningen verifiera funktionskraven med mätningar från mätsystemet.

Förbättringsförslag för att effektivisera arbetet med BELOK Driftanalys presenterades samt några olika aktiviteter för att utöka antalet användare av BELOK Driftanalys föreslogs.

### **BELOK samordnad funktionskontroll (Andersson 2015)**

BELOK samordnad funktionskontroll är ett BELOK fokusprojekt som fokuserat på att de energi-besparingar, som har räknats fram i BELOK Totalprojekt skall erhållas i genomförda projekt. Projektet har samverkat med Sveby och innehåller en detaljerad beskrivning av processen med checklistor, mallar, samt exempeltexter till AF, AB04 och ABT06.

Rapporten har skrivits för att vara direkt tillämpbar i projekten som följer BELOKs totalprojekt. Men andra projekt har även nytta av de mallar, upphandlingsunderlag, mätbeskrivningar etc., som de har tagit fram.

Metodik är generell och bör kunna användas i de flesta typer av projekt, där man önskar säkerställa att funktionskrav och energianvändning följs upp samt kvalitetssäkras.



## **Drift- och Energiuppföljning (Kempe 2016)**

Rapporten syftar till att ge viktiga insikter om drift- och energiuppföljning samt att sätta fokus på vad som är viktigt för att uppnå god funktion och energiprestanda hos byggnader och deras installationssystem. Då det ibland görs missar i detaljer, som gör att driftuppföljningen får problem tas en del detaljer upp i denna rapport.

Erfarenheter från många projekt visar att de ofta inte uppfyller förväntad energiprestanda om man inte arbetar seriöst med idrifttagning och samordnad funktionsprovning samt aktivt med drift- och energiuppföljning från projektets start, systemhandlingen. Detta är speciellt viktigt i mycket energieffektiva byggnader, NNE, för där kommer små avvikelser att relativt sett få betydligt större konsekvenser.

Verifiering av önskad energiprestanda och funktionsanalys bör starta upp i projekteringen, där förutsättningarna bestäms för driftoptimeringen. Speciellt viktigt är hur i detalj verifieringen av funktionskrav och energiprestanda skall genomföras. I det ligger var och hur man mäter upp funktion och prestanda samt med vilken noggrannhet. I slutet av projekteringen skall samtliga funktioner i alla driftkort gemensamt gås igenom med alla discipliner. Detta för att verifiera att alla funktioner kan verifieras, delsystem kan kommunicera med varandra i tillräcklig utsträckning och att inget har blivit bortglömt. Det är viktigt att loggningen av mätdata från byggnadens olika system är i drift före slutbesiktningen, så att besiktningsmannen kan verifiera en del funktioner via mätdata samt att driftoptimering startar direkt efter slutbesiktningen. Blir mätsystemet inte en del av slutbesiktningen är risken stor att det tar mer än 6 månader innan mätsystemet fungerar och värdefull tid för driftoptimering försvinner. Byggnadens energiprestanda skall verifieras för en 12-månadsperiod inom 24 månader från idrifttagningen. Det betyder att man använder första året för driftoptimering och andra året för verifiering av energiprestandan. I Energiavtal 12 är även det tredje årets drift viktig. Det finns ett behov av bättre verktyg till drift- och energiuppföljning, så att den dataadministrations-tiden minskar. Erfarenhet från driftoptimering är att administration av mätdata tar mycket tid. Detta på grund av att driftuppföljningsverktyg inte är delvis automatiserade. Dvs. man måste utföra samma handgrepp i verktygen 10 – 50 ggr i ett driftuppföljningsuppdrag på 18-24 månader.

I drift- och energiuppföljning utgår man från energiberäkningen. Se till att energiberäkningen är uppdaterad till relationshandlingarna, dvs. hur det blev byggt. Se till att det finns goda förutsättningar för uppföljning (t.ex. mätare och rutiner). Ju tuffare energikrav, desto högre krav ställs på kvalitet i byggprocessen, detaljlösningar och mätningar.

Dessutom om man inte mäter hur de tekniska systemen fungerar, så tror och gissar man att de har en viss funktion. Skulle man inte få den energiprestanda man önskar, så kan man bara gissa att något inte fungerar som det ska. Då kan det vara svårt att visa på brist i funktion. Finns mätningar kan man visa att de tekniska systemen fungerar korrekt alternativt har brister och kan då ta en diskussion om hur det skall åtgärdas till korrekt funktion.

## **Intervjuer från Förstudien om vidareutveckling av BELOK Driftanalys (Kempe 2015)**

### **Frekventa användare av BELOK Driftanalys**

#### **Fastighetsbolag**

De ser ett behov av ett större arbete med driftoptimering, men har en stor spridning i typ av styrsystem i byggnader sprida över stora delar av Sverige, så det är svårt att samla in data från byggnaderna. Det har även svårt att få till den typ av export, som BELOK Driftanalys önskar. Byte av styrsystem är en stor investering, så det blir då ingen/ bristfällig datainsamling från ett antal byggnader. Så de skulle behöva ett system/ programvara som kan hämta data från ett stort antal olika styrsystem och samla ihop data i en central databas för analyser av deras olika byggnader. Systemet skall ha en låg kostnad och vara lätt-konfigurerat.

Olika nivåer på analyser diskuterades och en mindre veckoanalys var att föredra, för då fick man indikationer om något hade hänt och då kunde man återkoppla till driften och de kommer ihåg om något speciellt hänt under föregående vecka. Om en djupare analys erfordras kan man nyttja BELOK Driftanalys på sparade data.

Men detta bygger på en kontinuerlig överföring av data till en central databas.

#### **Byggbolags teknikavdelning**

Det var knöligt i början med BELOK Driftanalys, men när man kom in i arbetssättet, så är det ett bra verktyg som fungerar i verkligheten.

Man har haft problem med att få exporten enligt BELOK Driftanalys, man har tappat decimaler på energimätare, samt problem med mätdatakvalité.

Bra med ett gemensamt gränssnitt när man skall göra analyser på olika byggnader.

Det kom upp en mängd olika frågor samt förbättringsförslag.

Vem har programansvar, sköter uppdateringar, support?

Fler sätt att läsa in mätdata. Gärna från databas.

Funktion som ger korrekt utläsning av timvärden, dygnsvärden, veckovärden, månadsvärden samt beräknar korrekta timmedelvärden, dygnsmedelvärden på temperaturer, så man kan ta fram energisignaturer på tim- och dygnsvärden.

Men även att man får ut korrekta månadsvärden till exempelvis Sveby verifieringsmall. Korrektioner för processenergier.

Enheter på de olika signalerna, så att man kan få enheter på axlarna i diagrammen.

Betjäningsområden (Atemp) för energimätare, så att man kan göra omräkningar från kWh på energimätare till medeleffekter i W/kvm.

### **Användare som använt BELOK Driftanalys "en" gång**

#### **Fastighetsägare som har installationstunga byggnader.**

I deras byggnader finns ett stort antal ventilationsaggregat, kylmaskiner mm., som de behöver få bättre kontroll på.

De har en hög kompetensnivå på sin driftorganisation, då de är installationstunga, men trots detta har de svårt att komma igång med analyser med BELOK Driftanalys.

Det är en hög tröskel att komma igång med BELOK Driftanalys, så de behöver hjälp/stöd av en coach, som hjälper dem att komma igång med analyser på ett par av deras installationssystem, för att lära sig jobba med BELOK Driftanalys.

De ser gärna att man har workshops om BELOK Driftanalys samt användargrupp.

#### **Mellanstort Bostadsbolag**

Har laddat ner programmet och installerat det, men kom inte igång med att använda BELOK Driftanalys. Ser gärna en demo, där man nyttjar programmet på en av deras byggnader.

#### **Styr- och reglerföretag**

Testa programmet för kunds räkning, men programmet var inte det kunden önskade. Så man tog fram ett enklare alternativ åt kunden.

#### **Kommunalt fastighetsbolag**

Man har laddat ner programmet, men har begränsningar i vad man får installera på kommunens datorer. Så man beslutar att lägga ut eventuella analyser på konsulter.

#### **Bostadsstiftelse**

Man har laddat ner programmet och testat det, men det motsvarade inte deras behov, så man valde en annan lösning.

#### **Kommunalt fastighetsbolag**

BELOK Driftanalys är lite för omfattande för deras primära behov. De är i behov av ett verktyg som snabbt kan göra övergripande analyser, för att se var man bör satsa sina resurser. Om man har svårt från den övergripande analysen att se vad som är problemet kan BELOK Driftanalys vara verktyget att titta lite djupare på funktionen hos de olika systemen i den byggnaden.

### 3.3.6.2 Drift och energiuppföljning – Internationella samarbeten

#### IEA ECBCS Annex 25 Real Time HEVAC Simulation (1991-1995) (IEA Annex 25, 1995)

Annex 25 handlar om att detektera fel i byggnadens installationssystem utifrån simulering av byggnaden och dess installationssystem samt olika fel i installationssystemen.

Projektet omfattade:

- att utvärdera lämpliga modelleringsmetoderna för simulering av installationssystem i realtid
- att utveckla metoder för kvalitativ tillgänglighetsanalys av installationssystem
- att samla databas över de viktigaste problemen och felen i installationssystem
- att demonstrera genomförandet av begreppen i samband med ett verkligt överordnat system

Byggnadsoptimering och feldiagnos (BOFD) är processen att minimera byggnadens driftskostnader (dvs. energibehov, underhållskostnader etc.) med bibehållt bra inomhusluftkvalitet och termisk komfort. Det syftar till att uppnå optimal kontroll och tidig feldetektering/ korrigerande av byggnadens värme, ventilation och komfortkylsystem. Ett sådant tillvägagångssätt kan leda till en betydande minskning av onödig energianvändning.

Extrakostnaden för att lägga till BOFD behöver inte vara speciellt stor då energihanteringssystem redan är tillräckligt bra för feldetektering samt ett stort antal givare. Lyckligtvis är automatiserade feldetekteringstekniker väl etablerade inom områdena industriell automation och processer, såväl som inom andra tillämpningsområden. Således var avsikten att anpassa befintliga metoder till problemet med byggnader och deras system snarare än att utveckla nya tekniker.

Deltagare: Kanada, Tyskland, Finland, Frankrike, Japan, Nederländerna, Schweiz, Storbritannien, USA  
Observatörer: Belgien, Italien, Sverige

#### IEA ECBCS Annex 34 Computer Aided Evaluation of HVAC System Performance (1997-2001) (IEA Annex 34, 2001)

Projektet har visat att 20 - 30 % av energibesparingarna i kommersiella byggnader kan uppnås genom förnyad drifttagning/ optimering av VVS-systemen, för att åtgärda felaktig drift. Aktuella strategier optimerar inte prestanda explicit och kan inte svara på förekomsten av fel som gör att prestanda försämras. Syftet med projektet var att arbeta med styr- och reglerföretag, industripartners och fastighetsägare och driftoperatörer för att visa fördelarna med datorstödda feldetekterings- och diagnostiksystem. Metoder skulle vara möjliga att köra på en fristående "PC" -baserade system eller inbyggda i en framtida generation av "smarta" överordnade system.

I Annex 34 konstruerades en valideringsutrustning för att vara ett stöd i idrifttagningen av byggnaden och dess installationssystem. Testprocedurer utformades för att kontrollera efter korrekt drift och avsaknaden av särskilda fel i den mekaniska utrustningen och att bedöma prestanda.

Övervakningssystemen utformades för att upptäcka otillfredsställande prestanda genom att jämföra nuvarande prestanda med det som förutsetts av referensmodell. Test och demonstrera prestationsvaliderings- och övervakningssystem i reella byggnader. Fältförsök gjordes för både nya, obebyggda byggnader nära färdigställande och byggnader som varit i bruk under en tid. Långsiktig uppföljning utfördes också för att bestämma deras effektivitet vid detektering och diagnostisering av fel som uppstår under normal drift.

Deltagare: Kanada, Finland, Frankrike, Tyskland, Japan, Nederländerna, Sverige, Schweiz, Storbritannien och USA

### **IEA ECBCS Annex 40 Commissioning of Building HVAC Systems for Improving Energy Performance (2001 - 2004)** (IEA Annex 40, 2004)

Det primära målet att bygga idrifttagning, ur ett energiperspektiv, var att verifiera och optimera prestandan hos energisystemen i en byggnad. Syftet var att utveckla, validera och dokumentera verktyg, för idrifttagande av byggnader och byggnadstjänster, som skulle bidra till att uppnå detta mål. Dessa verktyg innehåller riktlinjer för driftsättningsprocedurer och rekommendationer för förbättring av driftsprocesser, samt prototypprogramvara som kan implementeras i fristående verktyg och/ eller inbyggas i överordnande styrsystem. Arbetet är fokuserat på VVS-systemen och deras tillhörande reglersystem.

Deltagare: Belgien, Kanada, Finland, Frankrike, Tyskland, Hongkong Kina, Ungern, Japan, Korea, Nederländerna, Norge, Sverige, Schweiz, USA

### **iSERVcmb (2011 – 2014)** (Iserv, 2014)

iSERVcmb är ett IEE forskningsprojekt (2011-14) som har samlat in mätdata från 330 byggnader, 2831 installationssystem, 7685 installationskomponenter, 2230 mätare till en databas och analyserat mätdata. Den totala golvarean dessa system betjänar är över 1 500 000 kvm. De har kunnat automatisera analyserna med hjälp av ett Excelark, som beskriver byggnaderna, deras installationssystem, mätare, givare samt olika verksamheter.

Projektet har gett ett unikt sätt att förstå och minska den byggnadens energianvändning inom i hela Europa. iSERV har samlat en unik uppsättning mätdata för att installationssystem/ komponenter under sin 3-åriga period. Projektet samlade mätdata från 16 länder runt om i Europa.

Projektet är ett fortsättningsprojekt på IEE-projektet Harmonac, där man med energiinventeringar försökte identifiera energibesparingar, men kom till slutsatsen att det behövdes loggade mätdata för att kunna identifiera energibesparingsmöjligheter. iSERV-projektet har tagit fram en unik uppsättning av mätdata om energianvändning och effektbehov i installationskomponenter. Energibesparingsmöjligheterna har identifieras från 15-min mätdata.

Metodiken som de har använt är mycket intressant, dock kan de faktiska resultaten för olika aktiviteter energianvändning skilja något för södra och mellan Europa där huvuddelen av mätdata kom från jämfört mot det som används i Norden.

### 3.3.6.3 Djupintervjuer av fastighetsägare

Fem fastighetsägare har intervjuats. Fastighetsägarna har intervjuats hur de arbetar med drift- och energiuppföljning samt vad de ser behov av för att bli ännu bättre i sitt arbete. Varje intervju har tagit 1,5 – 2 timmar och har sammanfattats på 1-2 sidor nedan, där det viktigaste har redovisats i korta stycken för att sammanställningarna inte skall bli för långa.

Intervjuerna visar att många av fastighetsägarna inte har kommit så långt i sin automatisering av driftoptimeringen, men många av dem har något spjutprojekt där de har en mer detaljerad mätdatainsamling.

En del av de intervjuade fastighetsägarna önskar ”moduler” som kan analysera olika delsystems funktion och ge automatgenererade rapporter till förvaltarna/ driftteknikerna.

Pådrivande för att arbeta med detaljerad driftuppföljning kan vara att inte tappa Miljöbyggnads-certifiering.

Det behövs mer kunskap till både drifttekniker, förvaltare och hyresgästernas förhandlingskonsulter. Det förekommer påtryckningar från hyresgäster att ha ett smalt spann inom vilken temperatur de kontraktsmässigt skall erhålla på det kontor de hyr från fastighetsägaren vilket kommer att dra mer energi.

#### **Akademiska Hus**

Akademiska Hus har ca 3 miljoner kvm, som är jämnt fördelade på labbhus, kontor samt utbildningslokaler med en stor spridning på byggår och utrustningsnivå samt deras marknadsandel är ca 60 %. Dock har Akademiska Hus under åren haft sina tekniska plattformar, som man jobbar efter. Det skiljer en del mellan orterna de är verksamma på. I Stockholm har Akademiska Hus ca 1 miljon kvm.

Huvudsakligen är Akademiska hus nuvarande uppföljning av energi uppföljning på månadsvärden med rullande tolvmånadsvärden. När man får avvikelser går man in i mer detalj för att förstå varför man fått avvikelser.

Energisignatur användes tidigare men försvann från deras analysverktyg vid en uppdatering, men man ska försöka få igång den igen. Nu använder man mest leverantörernas värden och ser om effekterna drar iväg. Har ingen större systematik i eventuell djupare analys, finns troligast bara i några enstaka projekt och är då mer personberoende.

Akademiska Hus har ca 25 certifierade byggnader och verifierar ungefär 5 byggnader per år. När återrapporteringen av den Miljöbyggnadscertifierade byggnaden Aula Medica började närma sig var man tvungen att göra en driftanalys, för att man låg högt över energiberäkningen. Dels hade man nyligen slutat med utvärderingen (kontinuerlig drift av ventilationen i en första fas) och man hade ännu inte finjusterat anläggningen. Så det var ett stort arbete som omfatta analyser av installationernas funktion etc., men även mer administrativt att sortera energierna som byggnadsenergi (driftenergi) respektive verksamhetsenergi behövde genomföras.

Akademiska Hus anser att de behöver bli bättre på att skilja på byggnadsenergi (driftenergi) och verksamhetsenergi i projekten. Detta för att få en korrekt energianvändning relaterat till BBR och det som behöver återrapporteras till Miljöbyggnad. Orsaken till att det inte har varit så stort fokus på

detta tidigare är att hyresgästen betalar både verksamhetsenergi och fastighetsenergin. Akademiska Hus anser att miljöcertifiering i slutändan ger tillbaka pengar med effektivare drift.

Det finns mycket att göra i driftuppföljning och att göra rätt tidigt i byggprojekten samt att de behöver förbättra metodik att verifiera funktionen och energianvändningen i nybyggda byggnader. Energiberäkningar kan behöva uppdateras för hur det blev byggt till s.k. relationsenergiberäkning.

De litar mycket på driftingenjörerna som finns i byggnaderna och kan byggnaderna. I vissa områden har de månatliga uppföljningsmöte där man diskuterar driftfrågor.

Akademiska hus är intresserade av projekt där man kan utveckla driftanalys, som därigenom kan utveckla driftoptimering och då finns en massa pengar att tjäna på en energieffektivare drift. I sådana utvecklingsprojekt har Akademiska Hus lättare motivera att gå in med delfinansiering.

Akademiska hus hoppas att man snart skall kunna öppna för forskare på KTH i att arbeta med och ta fram bra arbetssätt för Akademiska hus. Akademiska Hus håller på att utveckla öppna API gränssnitt för sin timvärdesdatabas, vilket underlättar om exempelvis KTH forskare önskar nyttja några av Akademiska Hus byggnader i projekt.

Akademiska Hus planerar även att anställa en doktorand, som skall arbeta med analys av data från bl.a. Living Lab. Det finns även marklager och andra byggnader att analysera, jämförelser mellan olika byggnader, etc. Så det finns ett stort material, för den blivande doktoranden att arbeta med.

KI's laboratoriehus har troligtvis en jättestor potential, som Akademiska Hus inte kommer åt idag. Man har för närvarande inte kunskapen att gå in och korrigera driften, för man har inte tillräcklig kunskap om KI's verksamhet och relevansen i KI's krav på byggnaderna.

## **AMF Fastigheter**

AMF jobbar kontinuerligt med uppföljning via Momentum. De tar in mätdata via leverantörer och styrsystemet. Första analys är på månadsvärden och sedan kan man använda timnivå, där exempelvis energisignaturer användas. Om det skulle behövas kan man gå in på Duc-nivå i byggnaden och då har man minutupplösning.

AMF har långsiktigt mål 2019, som är uppdelat på årliga mål. De har en plan för varje fastighet med delmål. Olika projekts mål läggs även in. Energimålen de har idag bygger på genomgång av varje fastighet samt respektive fastighet handlingsplan, vilket ger hur långt man kan komma med energi-effektiviseringsarbetet under perioden.

AMF försöker i sitt interna arbete få upp energifrågan hela tiden. Jobbar mycket med LCC för olika åtgärdsförslag. Då personalen är mycket viktig för resultatet arbetar AMF mycket med struktur i arbetet. De har ett antal olika forum, där varje forums syfte är angett samt olika deltagares ansvar är väl definierat.

- AMF har hållbarhetsråd, energigruppsmöten, månadsanalysmöten teamvis, driftmöten inom teamen, etc.
- Månadsmötet det viktigaste mötet, där är det möjligt att tidigt hitta när det börjar skena iväg. Fel i systemet, värmen drar i väg, etc.

- Varje månad uppföljningsmöten med varje teknisk förvaltare och fastighetstekniker
- Har olika forum för tekniska förvaltare varje kvartal
- Forum för tekniker
- Kvartsvis möten för fastighetstekniker med olika teman och blandar mellan olika team för att kunna utbyta erfarenheter mellan teamen.
- Därutöver förekommer olika arbetsgrupper vars sammansättning beror på vilken fråga som tas upp.

Mäta är grunden till det mesta av den information de behöver. Uppföljning med mätdata samt ha tillgång till historiska data är mycket viktigt. Driftoptimering är ett iterativt arbete med kontinuerliga förbättringar. AMF tittar numera även på effekter, då de börjar bli en viktig del av "energi"-kostnaderna. Energibolagen lägger om avtalen, så nu gäller det att hitta rätt effektnivå för de byggnader de skall lägga om i en närtid. Hamnar man för lågt blir det straffavgifter.

För närvarande orkar man inte med att korrigera till normalt brukande med avseende på drifttider på ventilationen mm. så för interna mål på energianvändningen gör man det bästa möjliga med de förutsättningar man har. Däremot kan man göra ett överslag på betydelsen för avvikelsen och vara del av förklaring till avvikelsen.

De funderar på att analysera ventilationsaggregaten i mer detalj och har installerad mer mätutrustning på några aggregat för att kunna analysera deras funktion i större detalj.

De komplexa anläggningarna kräver mycket handpåläggning och uppföljning, för att de ska fungera som avsett. Det är en utmaning med tidsåtgången för driftsuppföljning, men även kompetens, internutbildning, intresse, samt att driftpersonalen är delaktiga till 100 %.

Miljöklassning är ett bra styrmedel, bra påtryckningsmedel i projekt, håller frågan levande i projektet, frågan får mer tyngd och tappas inte bort. Då blir det inte i projektet, nu är det inte så mycket pengar kvar, det där stryker vi.

Förändringar på de hyresgäster man har i byggnaden kan påverka luftflöden och drifttider.

Exempelvis:

- Öppettider för butiker
- Restauranger

De krav de ställer på utökade luftflöden kan kräva ombyggnationer av ventilationen i byggnaden.

AMF har ingen egen nyproduktion utan köper in fastigheter och främst förädlar man sina fastigheter. I ombyggnationen av Gallerian har man även en del där det byggs nytt och i det projektet har man med Sveby Energiavtal 12 och då kommer man att följa upp energikraven som ställts i entreprenaden. Man håller (augusti 2017) på med strukturen för mätinsamlingen i den ombyggda Gallerian.

Vid ombyggnation ställer AMF miljökrav, energikrav, krav på mätarstruktur etc. och man jobbar på att bli lite bättre på att följa upp det de har beställt. Att de olika systemen i byggnaden fungerar på avsett sätt.

Vid startmöte signeras av både beställare och entreprenör de miljökrav mm. som ställts och sedan följs det upp efter projektet. AMF anser att det måste bli lite bättre på att följa upp energikrav.



I framtiden ser AMF ett behov av i större utsträckning använda byggnadens tröghet och ha mer flytande reglering. Tekniken fungerar bra om man har rätt förutsättningar i byggnaden. Det är en utbildningsfråga att höja kompetensen hur man jobbar med en byggnad som nyttjar sin tröghet.

Vidare gäller i framtiden att flytta energi, för att få ner effekterna och hitta de system som inte arbetar så bra med varandra. Det finns egentligen inte idag någon riktigt bra effektstyrning. Det behövs mycket större kunskap för hur byggnaden fungerar med olika installationssystem. Det behövs mer detaljerade mätning hur olika system fungerar för att hitta vilket som drar mer effekt och varför.

Kostnadseffektivitet är mycket viktigt för de lösningar som man arbetar med.

## **Skandia fastigheter**

Skandia fastigheter har totalt 200 byggnader som är kontor, flerbostadshus, köpcenter samt samhällfastigheter. Kontorsfastigheterna är 44 stycken.

Energiuppföljningen är ganska traditionell som har varit i många år och håller nu på med en pilot och bygger upp ett system för att samla in timvärden automatiskt till en databas från leverantörer och egna mätare. Idag förekommer mycket manuell avläsning och inläggning i datasystem.

Skandia fastigheter har alla hus uppkopplade utom ett. Så de har möjlighet att gå in i systemen utifrån och se vad som händer i de olika delsystemen i byggnaden. Det är bra att man kan kontrollera saker utan att vara på plats. Ibland ser man ganska mycket genom att bara titta på trender. Men man måste även ut i anläggningen och rondera, kolla och lyssna om allt funkar som det ska. Där är en genomgång av trender innan en bra förberedelse och sedan tittar man lite extra på vissa saker.

I den senaste byggnaden har de ett Scada-system med alla aktiva punkter loggade (ca 20000) och från dem kan de sätta upp de trender de önskar. Man loggar alla signaler för de är bra för att analysera eventuella driftstörningar och skulle man inte ha loggat den, så blir det svårt att förstå orsaken. Har man inte en historik är det meningslöst med loggningarna.

Skandia fastigheter har i en byggnad med ca 200 temperaturgivare per plan där kontroller har visat att givarna visar rätt, men placeringen av temperaturgivare är mindre lämplig, så mätvärdena är inte representativt för det man är intresserad av.

Skandia fastigheter brukar granska trendloggningar för sina fastigheter någon gång i veckan, för att fånga upp om det finns några konstigheter. Granskning av trendloggningar varje morgon finns det inte tid till.

Vid trendgranskningar gör man lite olika saker och tittar på olika grejer. Man skulle behöva ha något, typ BELOK Driftanalys, för att få lite bättre översikt. En standardiserad trend som man har överallt.

Skandia fastigheter har byggnader som loggar det mesta, men man har inget system sätter ihop värdena och skapar trender utan man går in och tittar bara på vissa delar efter behov.

Man bör ha en visuell återkoppling från systemen typ ett trafikljus. När det är rött vet man att man ska gå in och granska det delsystemet.

Verktyg skall vara ett stöd till driften, för verktyg ser bara hur temperaturer och styrsignaler ändras men vet inte veta vad som är orsaken. Indikering i verktyget kan ibland komma vid korrekt drift, men det får driften verifiera.

Verktygen skall vara enkla att applicera och inte binda dem till en specifik leverantör.

Alla har inte förutsättning att förstå det man ser i mätdata, så man bör ha olika roller i driftorganisationen.

En optimering är kontinuerlig för om man efter optimeringsarbetet inte tittar mer på byggnaden kommer den att degenerera.

De jobbar en del med begränsning av effekttoppar, men på elsidan är det lite svårt för där har elbilsaddning tillkommit, som ger effekttoppar högre än någonsin tidigare.

Skandia fastigheter brukar slå från shuntgrupperna för ventilationens eftervärme under sommaren för att man inte ska riskera att värme ligger på under sommaren. Utan värmeåtervinningen får se till att de kan hålla tilluftstemperaturen.

De arbetar med paket av åtgärder som de tar fram sina energiplaner enligt BELOK Totalmetodik.

Ett exempel på hur energileverantörens taxe-sättning påverkar energiåtgärdsförslag. För en lösning hade de 6,1 års payoff och efter leverantörens taxejustering blev payoff ca 10 år, så troligast kommer man inte att genomföra det projektet.

Risken finns vid större ROT-projekt att det kan finnas delsystem som inte fungerar som de ska. Man drunknar i alla förändringar som gjorts och har inte tid att titta lite noggrannare på anläggningen till en början och då finns risken att man missar ett felaktigt delsystem.

Det förekommer att allt inte fungerar efter en entreprenad och hyresgästerna exempelvis har problem med exempelvis varmvattnet, som entreprenören inte lyckas åtgärda. Då har Skandia fastigheters egen drift fått felsöka och åtgärda för att deras kunder ska få fungerande varmvatten.

IOT: Hur säkerställer man noggrannheten i alla givare som kanske bara visar halvgrader? Det blir en massa givare som hyresgästerna litar på där de kan vara stor skillnader på några tiondels grader för upplevelsen av inneklimatet. Vilket kan betyda att blir en del diskussioner.

Kunder i centrala lägen kan kräva smala spann på temperaturen och hyresrepresentant förhandlar fram åt dem. Normalt kan temperaturen vara 21– 24 °C, men kan bli framförhandlad till 23 °C. Då blir det driften som får höjda kostnader i att hålla temperaturen inom ett smalt temperaturspann.

Vissa hyresgäster jobbar udda tider om de exempelvis arbetar mycket mot USA, vilket innebär i princip dygnet runt drift i byggnaden.

Stor avvikelse från beräknad energiprestanda i byggnader kan härröras till andra typer av hyresgäster och andra drifttider för ventilation än de som användes i beräkningarna.

## Stena Fastigheter

80 % av Stena fastigheters bestånd i Sverige är bostäder och då är 20 % kommersiellt, då de inte får gå över 30 % kommersiellt och allt utländskt är kommersiellt.

Stena fastigheter ser behov att få automatiska rapporter om byggnaden och dess delsystems status.

Tyvärr håller högskolan och RISE inte så mycket på med de saker, som de uppfattar som viktigt för att få möjlighet till en energieffektiv drift av byggnaderna.

Idag jobbar Stena fastigheter alldeles för grovt. De jobbar på fastighetsnivå och tittar på månadsupplösning av främst debiteringsmätare.

Tidigare har de inte haft uppkopplade mätare, men nu ska de uppdatera sina system och göra rätt från början. De har skaffat ett nytt energistatistikprogram som kan graddagskorrigerar och hantera ner till timvärden.

Stena fastigheter jobbar med att bygga upp en infrastruktur, som är decentraliserad och från respektive byggnad skickar de relevant mätdata/information till respektive mottagare av mätdata/information som byggnaden har. Till detta system kan man använda olika moduler, för att göra olika analyser.

De kommer i Göteborg att jobba mer med rapportgenerering om något avviker. De skall inte lägga ned tid på att konstantera att det funkar, som det skall utan endast titta på det som avviker.

När de ser att det avviker i energiuppföljningen går de in i det överordnade styrsystemet och tittar samt kan åka ut och göra funktionstester på systemen.

I framtiden kommer de att hämta in mätvärden för energianvändningarna samt signaler från styrsystemet och låta olika moduler i deras analysystem analysera mätdata och göra larmrapporter.

Förvaltare skall få automatiska energirapporter

All förbrukning skall mätas på fastighetsnivå samt differenstryck för alla värmesystem. Allt kallvatten till varmvatten skall mätas och i vissa fall VVC-energi, läsa in all modbusdata från ventilationsaggregat och annan utrustning.

I alla byggnader skall de installera en smart enhet, Industriell PC, som kan skicka upp vad som helst och kan skicka många olika rapporter, larm etc. Den smarta enheten kommunicerar bara med fördefinierade IP-adresser eller MAC-adresser och kan parallellt skicka till en massa olika användare/mottagare. Den hämtar alltid all tillgänglig information i MBus-mätarna etc.

Parameterhantering ska ske lokalt och systemen som gör mätinsamling ska inte kunna ändra i husen.

När statistiken kommer igång skall de starta med driftmöten igen.

Tag-struktur är A och O på styr och regler men även mätning samt indexering

När data läses in i industri PC sätta taggarna.

## Vasakronan

De som arbetar i en byggnad är drifttekniker som sköter anläggningarna i byggnaden och teknisk förvaltare (fastighetschef) som ska hålla ekonomin och investera i rätt tekniska system, budgetering etc. De ingår i ett team som för en större fastigheter kan vara två drifttekniker, en fastighetschef och biträdande fastighetschef samt en uthyrare och några till, som arbetar med kunder. Kundnöjdhet är mycket viktigt, men även energi är en viktig fråga. Där ser en del ett motsattsförhållande där de tror att mer energi ger bättre kundnöjdhet, men så är det inte utan man skall ställa in byggnaden korrekt.

Vasakronan har sedan 2009 halverat energianvändningen och samtidigt ökat kundnöjdheten med inneklimaten i nästan samma takt. Varefter som Vasakronan har sänkt energianvändningen har kundnöjdheten ökat med inneklimatet i nästan lika hög grad. Det som det egentligen innebär är att man exempelvis överventilerar och använder för mycket energi vid fel tillfälle. Värme och kyla används samtidigt i en ambition att skapa ett bra inneklimat blir det tvärtom. Ventilerar de för mycket kommer kunderna att uppleva att det blir dåligt inneklimat pga. drag. Vasakronan har i sitt kontor på Mäster Samuelsgatan nästan halverat energianvändningen. Med att ställa in grejerna rätt har energianvändningen minskat med mer 20 % samt ytterligare 20 % med värmepump och sedan några andra tekniska åtgärder.

Exempel på hyresgäster som kan påverka befintliga byggnaders energianvändning är dygnet-runt-gym och då behöver man göra olika åtgärder, så att deras ventilation inte skall påverka resten av byggnaden.

Hur definierar du en byggnads energianvändning egentligen, för man kan ha låg energianvändning med få drifttimmar och liten närvaro och något helt annat när man har ett callcenter eller ett dygnet-runt-gym i byggnaden.

Man borde egentligen mäta hur många mantimmar som hyresgästerna är i byggnaden och ett jämförelsetal skulle kunna vara byggnadens energianvändning per mantimme, så då får man ett jämförelsetal hur effektivt huset är. Man pratar mycket om vilken skillnad det kan vara på energianvändningen mellan ett kontor med persontätheten en person per 20 kvm och ett kontor med en person på 10 kvm, men man har ännu inte mätt upp det, vilket skulle vara mycket intressant.

Med den teknikutveckling som är nu är vi snart där så att vi kan mäta upp sådant. Vasakronan har satt upp sex gateways, som täcker alla deras hus i Stockholm, så nu har Vasakronan möjlighet att till liten kostnad sätta in extrasensorer. Exempelvis har de i en byggnad på Drottninggatan med äldre system satt in 65 extrasensors (temp, CO2, RF, närvaro, ljus) nyttjande sina gateways.

Vasakronan har ett test med en hyresgäst i Kista, där man använder närvarosensorer från VAV-systemet, för att hjälpa kunden att se hur de använder sina lokaler. Så kunden kan se hur de använder lokalen på bästa sätt. Kunden kan då optimera sin lokalanvändning.

Vasakronan funderar på hur de kan få husen att bli smarta. Vasakronan har exempelvis i sitt kontor på Mäster Samuelsgatan närvarosensorer, temperatur, luftflöde, fuktighet, luftkvalité, TVOC, CO2-givare, väderstation på taket, väderprognoser, vind, etc. Egentligen kan huset i en förlängning bli självlärande och när det börjar se trender och mönster kan det att lära sig att nu är det skärtorsdag och tidigare skärtorsdagar har beteendemönstret varit så här med en viss avvikelse och då kan byggnaden börja justera efter de förutsättningarna.

På liknande sätt när man bokar konferensrum så ser byggnaden hur många som skall komma på mötet och förbereda rummet för mötet. Då kan man använda AI för att skapa ett bra inneklimat till en låg energianvändning.

Vasakronans teknikstöd och IT driver några interna projekt med att göra huset smartare. Dock måste man vara lyhörd för eventuella risker med tekniken.

Vasakronan har aktivitetsbaserat kontor och i början hade man problem att hitta sina kollegor på kontoret, så efter ett halvår införde man ett system där man kan se varandras telefoner på kontoret om funktionen är aktiverad i telefonen. Detta är för att man skall hitta varandra i det aktivitetsbaserade kontoret.

När man kommer till kontoret på morgonen kan de se var kollegor är, på vilka arbetsplatser de är inloggade samt vilka arbetsplatser som är lediga. Man kan även se vilka konferensrum som är bokade, lediga samt om någon sitter i ett icke bokat konferensrum. Systemet ger hela tiden statistik på hur konferensrum samt hur arbetsplatser nyttjas. Vilka är platser som används mest samt vilka platser används minst. Det kan finnas ett behov av att möblera om på kontoret.

Vasakronan har en erfarenhetsbank vad de föredrar och de kommer med ett nytt "byggarekrav" där Vasakronan föreskriver t.ex. att det skall vara VAV, det skall vara den här typen av styr med öppen standard enligt en viss standard gällande både hårdvara och mjukvara. Önskar man frångå VAV måste en utvärdering göras VAV mot CAV och starkt motivera m.a.p. ekonomi, inneklimat, etc. varför de önskar göra en avvikelse. På det sättet vill de få sina konsulter att väl motivera sina val.

Vasakronan önskar att de som arbetar för dem kontinuerligt skall reflektera över sina teknikval och vad som är det bästa för Vasakronan just nu. Det är ett kontinuerligt lärande och en snabb teknikutveckling. Man behöver även ta hänsyn till hur energipriser och effektkostnader förändras och hur det påverkar systemlösningarna. Hur kan man dämpa effektbehovet, när det är som varmast under sommaren och när det är som kallast under vintern? Hur påverkar en geoenergianläggning designen av systemen och energikostnaderna?

Ett problem är att det blir mer komponenter och mer komplicerade anläggningar, vilket ger mycket enheter att hålla reda på. Funkar de olika delsystemen? När skall de olika delsystemen gå? Problemet är att veta om systemen funkar som tänkt. Vad är husets driftstrategi? Det är det som är utmaningen framöver. Här finns ett behov av att systemen kan kontinuerligt kontrolleras att systemen fungerar som de skall.

Driften är duktig att hålla ordning på systemen under kontorstid, men vad händer under natten?

Vasakronan installerar väldigt mycket givare i sina nya byggnader, som samlas ihop i deras databas. Men än så länge analyseras den mätdata i lite större omfattning endast i några få byggnader.

Det är viktigt att man följer upp sina energirenoveringar så att man kan verifiera att de fungerar som avsett.

All energistatistik hämtas in till deras databas, vilket är ca 500 mätare via leverantörer samt via Mbus-system 4500 egna mätare.

### 3.3.7 Regelverk/ Standarder

Det finns Standarder för värmemängdsmätare, flödesmätare, temperaturgivare, MID krav på elmätare för debitering, standarder för kommunikationsprotokoll etc. För verifiering av byggnadens energiprestanda finns Sveby som bland annat omfattar Brukarindata, Energianvisningar, mätföreskrifter etc.

När det gäller fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och normalår finns Boverkets föreskrift BEN.

### 3.4 Aktörer och nätverk (nat/internat)

I sektion 3.3.6.2 redovisas några internationella samarbetsprojekt och deltagare i dessa projekt är:

IEA ECBCS An25, An34, (An40)

- Belgien: Fondation Universitaire Luxembourgeoise, Univeristy of Liege,
- Canada: CANMET, Energy Diversification Research Laboratory
- Finland: VTT Building and Transport
- Frankrike: Centre Scenentifique et Technique du Batiment, EDF Pole Industrie Dision R&D
- Japan: Kyoto University, Nagoya University, Mie University, Tsinghua Universty,
- Kina: The Hong Kong Polytechnic University
- Nederländerna: TNO Building and Construction Research
- Schwesiz: ETHZ Energy system Laboratory, Siemens Building Technolgy, Landis&Staefa Division, Zug
- Storbritannien; Oxford University, Loughborough University, Building Reaserch Establishment
- Sverige, KTH Installationsteknik, SP (Rise)
- Tyskland: University of Stuttgart
- USA; NIST, United States Military Academy, University of Colorado, Purdue University, Massachusetts Institute of Technology, Montgomery Collage Rockville Maryland,

iSERVcmb:

- Cardiff University and Welsh school of Architecture
- Austrian Energy Agency
- Chartered institution of Building Services Engineers
- Dener - Politecnico di Torino
- K2N
- National and Kapodistrian University of Athens
- University of Pécs
- REHVA – Federation of European HVAC Associations
- Université de Liège
- University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering
- University of Porto

### 3.5 Slutsatser

Det är en mycket stor skillnad av vad som utförs i byggnader hos större fastighetsägare och det som internationella forskare har arbetat med de sista 25 åren, samt hur arbetet utförs inom processindustrin.

I de flesta byggnader utförs uppföljningen på månadsvärden och om man får avvikelser försöker man granska mätdata i byggnadens styrsystem. Drivkrafterna för en energieffektiv drift av byggnader är ofta inte tillräckligt stora, för att energin är relativt sett billig. Det tar för mycket tid och blir därigenom för dyrt att arbeta med driftoptimering av byggnaders installationssystem. Det behövs goda exempel på fastighetsägare, som hittat arbetssätt att arbeta med driftoptimering och fått bra resultat.

Då det inte finns tid för några djupare analyser av avvikelser är det en del fastighetsägare som börjar fundera på automatiserade system, som behöver utvecklas vidare. Exempelvis sätter de in en industri-PC som hämtar energivärden samt mätdata från modbus-system i ventilationsaggregat och andra utrustningar i byggnaden. Viss bearbetning av data kan förekomma och sedan skickas data till fastighetsägarens databas samt olika aktörer som hjälper till med analyser. De har för avsikt att bygga upp moduler som kontinuerligt skall kunna analysera de olika delsystemen och vid avvikelser skickas autogenererad rapport till drifttekniker och förvaltare.

Analysverktyget PIA togs fram vid KTH Installationsteknik och har sedan vidareutvecklats av BELOK till BELOK Driftanalys. BELOK Driftanalys är ett kraftfullt verktyg att visualisera installationssystemens funktion. Tyvärr anses det svårt att lära sig arbeta med BELOK Driftanalys, så det kan behöva en viss vidareutveckling.

För att öka arbetet med driftoptimering, driftuppföljning etc. krävs att det finns goda exempel på hur man skall arbeta med drift- och energiuppföljning. När antalet personer som jobbar med drift- och energiuppföljning ökar finns det underlag att vidareutveckla verktygen för drift- och energiuppföljning.

De projekt där en detaljerad driftuppföljning används idag är främst projekt som har:

- Miljöcertifiering med uppföljning av energiprestanda.
- Köpeavtal med "stora" viten kopplade mot funktionskrav och energiprestanda. Vitena är satta för att säkerställa att bristerna i installations- och energisystem åtgärdas.



### 3.6 Utmaningar, möjligheter samt utvecklings- och forskningsbehov

Utvecklings- och forskningsbehov:

- Varför drift och energiuppföljning inte används i någon större utsträckning och vad som krävs för att den skall öka i användning, för att förbättra byggnaders energiprestanda utan att behöva göra dyra "energirenoveringar".
- Skapa goda exempel utgående från mätdata från ett antal konorsbyggnader nyttjande resultat från IEA-samarbeten.
- Utveckla användandet av system/strukturer i byggnader som samlar in energidata och mätdata från modbus-system i ventilationsaggregat och andra utrustningar. Dessa data önskar de skall automatiskt analyseras för avvikelser från normal drift och skall då generera automatiska avvikelserapporter. Till detta behöver moduler tas fram som kan analysera om systemen har en normal funktion eller om de har en avvikelse.
- Utveckla underlag till system med dashboards som visar att byggnader har avsedd funktion på sina installationssystem och klickar man på en byggnad så får man upp en dashboard för den byggnaden och dess olika delsystem som redovisar om alla system fungerar som avsett. Skulle ett system visa på avvikande funktion, så klickar man på den så visar systemet varför det har angett att det delsystemet har en avvikenade funktion.
- Det behöver även analyseras vilka funktionskrav som normalt sätts upp för byggnader. För de olika funktionskraven, vilka typer av metoder finns för att verifiera funktionskraven och vilka krav ställer de på mätutrustningen.
- Hur kan besiktningarna gå från mer utförandebesiktning mot mer funktionsbesiktning

Kunskapsuppbyggnad:

- Byggprojektledare måste ha mer kunskap om betydelsen av att installations- och energisystem finns med tidigt i projekt, så att det finns en möjlighet att byggnaden kan bli så energieffektiva som planerat/ projekterat.
- Tillse att studenterna får bättre komponent- och systemkunskap samt hur installationerna samverkar med byggnaden.
- Tillse att studenterna får kunskap om driftoptimering av byggnader och dess installationssystem samt lämpliga verktyg för driftoptimering.

### 3.7 Referenser

- Andersson, G. (2015): BELOK samordnad funktionskontroll, BELOK-rapport
- BELOK (2017) <http://belok.se/verktyg-hjalp/driftnalys/>, 2017-11-18
- Boverket (2017) <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/ben---bfs-201612/> 2017-11-18
- Carling, P, Isaksson, P. (2009): Metodik för uppföljning av VVS-tekniska system och energiförbrukning, SBUF rapport 11815
- IEA Annex 25 (1995) <http://www.ecbcs.org/annexes/annex25.htm> 2017-11-18
- IEA Annex 34 (2001) <http://www.ecbcs.org/annexes/annex34.htm> 2017-11-18
- IEA Annex 40 (2004) <http://www.ecbcs.org/annexes/annex40.htm> 2017-11-18
- Iserv (2014): <http://www.iservcmb.info/> 2017-11-18
- Kempe, P. (2013): Installationssystem i energieffektiva byggnader, SBUF rapport 12541
- Kempe, P. (2014): Vidareutveckling av metoder för idrifttagning och driftuppföljning av installationssystem i flerbostadshus, BEBO-rapport
- Kempe, P. (2015): Förstudie vidareutveckling BELOK Driftnalys, BELOK-rapport
- Kempe, P. (2016): Drift- och Energiuppföljning, SBUF rapport 12746
- Novotek (2017a) <https://www.novotek.com/sv/produkter/informationssystem/proficy-historian>, 2017-11-18
- Novotek (2017b) <https://www.novotek.com/sv/produkter/informationssystem/novotek-components> 2017-11-18
- Sveby (2012) [http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2012/10/Sveby\\_Brukarindata\\_bostader\\_version\\_1.0.pdf](http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2012/10/Sveby_Brukarindata_bostader_version_1.0.pdf), 2017-11-18
- Sveby (2013) <http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2013/06/Brukarindata-kontor-version-1.1.pdf>, 2017-11-18
- Sveby (2016) <http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2016/05/Sveby-Brukarindata-undervisning-1.0-160525.pdf>, 2017-11-18
- Wahlström, Å. (2013): Teknikupphandling av värmeåtervinningssystem i befintliga flerbostadshus, BeBo-rapport
- Wånggren, B. (1990): Idrifttagning av Installationssystemen i Stockholmsprojektet, BFR-rapport R42:1990

## 4 Brukarrelaterade aspekter

### 4.1 Sammanfattning

För att nå Parisavtalsmålet, att begränsa den globala uppvärmningen till under 2°C, krävs att energibesparing inom byggbranschen ökar med 50%, eller mer, fram till 2050. Sverige har även målsättningen att sänka energiförbrukningen per ytenhet med 20% fram till 2020 och med 50% fram till 2050. Det finns inget tvivel om att vi redan bygger om fastigheter till nära-nollenergibyggnader (NZEB) med prestanda bättre anpassad för behoven de kommande årtiondena, t ex gröna fastigheter, hållbara fastigheter och certifierade fastigheter. Likväl, har vi sedan energikrisen under 1970-talet, fokuserat mer och mer på energieffektivitet och varit mindre uppmärksamma på att förbättra inomhusklimatet. Åtminstone är detta sällan i fokus. Det är välkänt att inomhusmiljön är en viktig del för att människor skall kunna leva ett hälsosamt liv och må bra inomhus. Trots standardiserad design- och driftinformation om önskvärt inomhusklimat, påträffas fortfarande flera resultatskillnader mellan den planerade och den uppmätta inomhusmiljökvaliteten (IEQ) samt den planerade och verkliga energiförbrukningen i byggnader. Vi har uppmanat arkitekter, maskin- och civilingenjörer, samt driftschefer, etc., att säkerställa hög prestanda i byggnader genom alla faser från design till underhåll. Dock blir inte resultatet alltid vad vi tänkt oss, dvs lågenergi- eller gröna byggnader är inte alltid speciellt drägliga att bo i, och det är svårt att anpassa inomhusklimatet för brukares verkliga behov. Överlag, för bästa byggnadsprestanda från ett energi- och inomhusklimatperspektiv, måste vi sätta brukare i centrum utan att göra avkall på deras trevnad och välmående. Användarcentrerad byggnadsforskning och utveckling måste fördjupas för att minska resultatskillnaderna samt minska klyftan mellan brukares krav och byggnadsprestanda. Därför vill vi granska och belysa sambandet mellan brukare och smarta, samt hållbara byggnader, vad gäller framtida forskning och utveckling.

#### 4.1.1 Rapportens omfattning

Målsättningen med rapporten är att tillhandahålla en högkvalitativ rapport om vikten av brukare och brukares inflytande för att skapa byggnader (kontor) med bättre prestanda. Innehållet utvecklas från omsorg för brukares välbefinnande och hälsa i byggnader, till motsvarande finansiella värden, med hänsyn till anställdas produktivitet på arbetet. Inomhusmiljökvalitet (IEQ) är en avgörande faktor som påverkar brukares välmående och som granskats systematiskt för att bilda en uppfattning om vilken roll den har, samt vilken kunskap saknas, för att tillhandahålla vetenskapligt baserade rekommendationer inför framtida byggdesign, drift och optimering. Vid granskning av byggprestanda lyfts frågor med särskild hänsyn till byggregler, certifieringssystem samt kvantifierade och kvalitativa metoder. Relaterade standarder och normer har samlats in och diskuteras. Brukares inflytande på en byggnads energiförbrukning samt IEQ ses över som avgörande faktorer för prestandautvärderingar. I nuläget, jämte forskningsresultaten, kommer verkliga ekonomiska utmaningar och berörda aktörers aktiviteter adresseras. Ett antal forskningsgrupper, inte begränsade till Europa utan från hela världen, kommer att upprättas. Till exempel kommer fallstudier som undersökt hur brukare upplever inomhusklimatet och energiprestandan i två kontorsbyggnader presenteras. Slutligen, kommer vi att ge förslag på forskningsfrågor och utmaningar kring framtida utveckling.

#### 4.1.2 Kapitlets huvudslutsatser

- Sammanfattningsvis dras slutsatsen att brukares betydelse för energiprestanda och IEQ; 1) är de mest avgörande faktorerna för energiförbrukning och IEQ förhållandena; 2) minskar prestandaklyftan; 3) att de gör den slutliga betygsättningen av högprestandabyggnader; och 4) är drivande i utvecklingen av högprestandabyggnader.
- Användarcentrerad byggnadsforskning måste fördjupas för att sammanlänka brukares krav och byggnadsprestanda. Befintliga klyftor mellan planering och pågående projekt kan endast förminskas genom att ta hänsyn till brukares krav, beteende och arbetsmönster i relation till energiförbrukning och uppfattad IEQ.
- Inomhusmiljö är en avgörande faktor som kan bidra till brukares produktivitet och välbefinnande inomhus, speciellt i kontorsbyggnader. Ett tydligt ramverk krävs för att etablera samband mellan, samt bidra till, olika IEQ indikatorer.
- Brukares beteende spelar större och större roll för energiförbrukningen i nära-nollenergibyggnader. I byggnader klassificerad som LEED, BREEAM, DGNB, Miljöbyggnad, t ex, är energiförbrukningen ofta upp till 20% högre än beräknat under planeringsfasen.
- Ofta är brukare omedvetna om energibesparande åtgärder under en byggnads användningsfas. Kontinuerlig information och stimulation verkar vara nödvändigt för att verkligen uppnå varaktiga beteendeförändringar.
- Bättre arbetsplatser resulterade i högre investeringsavkastning pga produktivitetsökning. Fördelar och kostnader för förbättrade kontor kvantifieras i form av att sjukfrånvaro pga sjuka hus-sjukan / sjukahus-sjukan avtar samt ökad arbetsproduktivitet.
- Personalkostnader står för 90% av driftkostnaderna för ett typiskt företag. Om våra ansträngningar förminskar personalkostnaden med 10%, kan en 9% kostnadsbesparing förverkligas under en byggnads livstid.
- Ekonomiska förmåner för berörda aktörer kan tas hänsyn till när livscykelkostnad (LCC) införs som metod för att bedöma den totala kostnaden inberäknad i en byggnads konstruktions-, drifts-, och bortskaffningsfas, snarare än att fokusera på investeringskostnaden.
- Det blev tydligt att tendensen att brukares behov och användarcentrerad forskning uppmärksammas mer samt tilltar. Trots det, saknas helhetsperspektivet för att optimera energiförbrukning och sambandet med IEQ, mer uppmärksamhet och insatser behövs för att finna passande åtgärder.

Nyckelord:

IEQ, Energiprestanda, Brukarinflytande, Trivsel, Hälsa, Välmående, Produktivitet

## 4.2 Inledning/ bakgrund

### 4.2.1 Kapitelöversikt

Detta kapitel innefattar fem delar som handlar om introduktion, nuläge, berörda intressenter och nätverk, slutsatser och långtidsperspektiv.

- Del 1 handlar om användarorientering i samband med ombyggnation av byggnader till högpresterande och nära-nollenergi för att möta behoven de närmaste årtiondena. Samhälleliga värderingar kring hälsosamma och produktiva arbetsplatser i kontorsbyggnader diskuteras. Dessutom diskuteras vetenskapliga bevis och värderingar kring forskningsarbete baserat på befintliga argument.
- Del 2 är en systematisk presentation av det toppmoderna som börjar med en översikt över hur vi skapar önskvärd inomhusmiljö genom en process som omfattar design, konstruktion, drift, och underhåll under en byggnads livscykel. Även hur vi tar hand om inomhusklimatets prestanda samt brukares hemtrevnad och välbefinnande genom kvalitativa och kvantitativa metoder tas upp. Ekonomiska angelägenheter beträffande investeringar och fördelen av att vara vid god hälsa samt ha hög arbetsproduktivitet behandlas också. Hur brukare påverkar energieffektivitet och IEQ, samt en förteckning på betydelsefulla EU och IEA forskningsprojekt finns också med. Längre ner finns en sammanställning på vanliga nationella och globala standarder och normer för formgivning och utvärdering av byggnadsprestanda. Slutligen visas två fallstudier som exempel på kontorsbyggnader i Sverige, där inomhusklimatprestanda utvärderas baserat på uppmätta och upplevda resultat. Således, uppvisas ett bra exempel samt ett exempel på vad som inte fungerar för att uppnå trevnad och välmående i lågenergibygnader.
- Del 3 tar upp olika nätverk med betydelsefulla intressenter och aktörer inom byggbranschen som strävar efter bättre prestanda inom konstruktion och utveckling. Viktiga resultat från några av de mest ansenliga forskargrupperna inom branschen, samt deras resultat, studeras.
- Del 4 sammanfattar utvecklingen och resultaten vi uppnått hittills på vägen mot att åstadkomma högprestanda för låg energiförbrukning och förbättrad inomhusmiljö, dvs normerna, utvärderingsmetoderna, vetenskapliga resultat, lärdomar och möjliga framtida ekonomiska affärsidéer samt fördelarna med att skapa intressent-, samt statliga organisationer.
- Del 5 diskuterar forskningsfrågor samt behov av både kort- och långsiktig framtida utveckling för högprestanda inom NZEBs. Framtida arbete och utmaningar ses framemot med tillförlit

## 4.2.2 Vetenskapliga och samhällliga värderingar angående brukares trivsel och välmående

Inomhusmiljö är mycket viktig för att garantera bra livs- och arbetslivskvalitet för människor. Bland andra angelägenheter för hållbara byggnader, är inomhusmiljö en viktig del som påverkar fördelarna för miljö, samhälle och ekonomi, när man tillhandahåller ett passande inomhusklimat. Vanligen anses det avgörande att göra inomhusmiljön så behaglig och hälsosam som möjligt för att bidra förmånligt till de anställdas välmående [CEN, 2004; WHO, 2004]. Nyligen, meddelade Sweden Green Building Council att ett samarbete med WELL Building Institute införts för att förbättra rutinerna kring människors hälsa och välmående i byggnader (<https://www.sgbc.se/>). Å andra sidan, kan konsekvenserna av att brukare vantrivs eller mår dåligt pga dålig inomhusmiljö kvalitet (IEQ) resultera i låg arbetsprestation och fler frånvarotillfällen. Detta gäller särskilt i kontorsbyggnader, som står för 6% av hela Europas golvyta, och som märkbart påverkar resurser och energiförbrukning. Vikten av hur inomhusmiljön påverkar en välmående, hälsosam och produktiv arbetsplats borde uppmärksammas mycket mer.

Dessvärre, står detta sällan i fokus. Sedan 1970-talet, har Sverige ökat fokus på energieffektivitet och förnybar energi, och inte uppmärksammat IEQ på samma sätt. Historiskt sett, har utvecklingen inom byggbranschen de senaste 50 åren lett till positiva men även utmanande förändringar inom inomhustrivsel och hälsa, dvs termisk komfort och sjukahussjukan [Zalejska-Jonsson and Wilhelmsson, 2013]. Sveriges målsättning är att uppfylla kravet om nära-nollenergi inom nybyggnation innan 2020 [EPBD, 2013]. Vid denna banbrytande tidpunkt inom byggbranschen, måste vi ha tid att undersöka och förbättra IEQ för att uppfylla byggprestandabehoven.

Trots att befintliga normer fastställer hur inomhusklimat skapas, finns det fortfarande så kallade prestandaklyftor mellan planerad och upplevd IEQ, samt planerad och uppmätt energiefterfrågan, även i byggnader som har blivit Miljöbyggnad, LEED, BREEAM, etc., certifierade [Abbaszade et al., 2006]. Ytterligare forskning krävs för att förminska prestandaklyftorna samt övervinna tekniska hinder för att åstadkomma högpresterande byggnader. Det är oerhört viktigt att systematiskt undersöka hur brukare påverkar IEQ och energiprestanda under en byggnads hela utvecklingsprocess från design, certifiering, konstruktion, drift och underhåll till utvärdering från utflyttade brukare.

## 4.3 Kunskapsläge

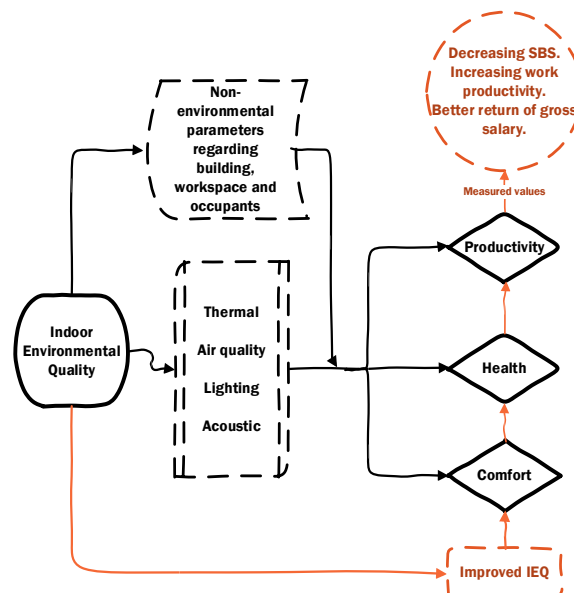
### 4.3.1 Kvalitetsperspektiv för inomhusmiljö

Vedertagen uppfattning av IEQ innefattar åtminstone fyra avgörande aspekter däribland termisk miljö, inomhusluftkvalitet, akustik och belysning [Nilsson, 2003]. IEQ spelar en viktig roll för personer i kontorsbyggnader. Fullgod IEQ minskar antalet sjukfrånvarodagar och förbättrar anställdas produktivitet. För ett hälsosamt och angenämt arbetsliv är det därför centralt att garantera att det faktiska inomhusklimatet på arbetsplatser är bra. Det är också väsentligt att bedöma kontorslokalers IEQ när man ritat nya, eller renoverar befintliga, byggnader.

Forskning har visat på olika IEQ faktorer med hänsyn till termiskt klimat, luftkvalitet, ljud och belysning som påverkar människors välmående [Frontczak and Wargocki, 2011; Wolkoff, 2013; Yousef et al., 2016]. Många studier har visat ett direkt samband mellan belysning, ljud, termisk komfort och brukares hälsa [Bluyssen et al., 1996; Marino et al., 2012]. Faktiska

inomhusklimatvariabler som påverkar väsentligt, dvs CO<sub>2</sub>, PM2.5, driftstemperatur och belysning, har identifierats i tidigare studier [Fanger, 1998]. Samspelet mellan komplicerade faktiska inomhusparametrar har uppmärksammats i senare riktlinjer [ASHRAE, 2010] och studier [Pellerin, 2004] för att bättre förstå och kunna planera behaglig inomhusmiljö. Bortsett från människors trivsel har flera studier påbörjats pga att kunskapen om sjuka hus-sjukan (SBS) samt arbetsproduktivitet bland kontorsanställda har ökat. Enligt riskstudier utförda av EPA i USA, har inomhusluftkvalitet (IAQ) rangordnats som en av de fem värsta miljöriskerna för folkhälsan [EPA, 1994]. En lista över omfattande indikatorer, pekar ofta ut faktiska IEQ parametrar vid bedömning av brukares hälsa [Chiang and Lai, 2002]. Bortsett från kemikalier, dvs formaldehyd och kolmonoxid som är direkt farliga för människors hälsa [Wolkoff, 2013], har det också visat sig att koldioxidkoncentrationer är viktiga för att förstå IAQ [ASTM, 2003]. Dock är det ganska krävande att forska på ospecifika hälsosymtom som utmattning och retningar i ögon och andning beroende på att det kan finnas flera orsaker [Nilsson, 2003]. Enligt WHO hälsokoncept under 1990-talet, igenkänns en sund byggnad på dess nära koppling till byggnadsprestanda [WHO, 2004]. Utöver hälsa och trevnad, är IEQ nära relaterat till arbetsproduktivitet. Det finns bevis på att SBS kan sänka arbetsprestation [Fisk,2000]. Hur kontorsarbetares produktivitet påverkas har även belysts i grön byggnadsforskning [Yudelsen, 2008]. Påtaglig ökad belåtenhet med IEQ, vilket ledde till självrapporterad ökad produktivitet, har också studerats i en grön byggnad [Singh et al., 2010]. Utöver faktisk inomhusmiljö, har även andra icke-miljömässiga parametrar betydelse för en byggnad, såsom arbetsplats, brukare samt vilken sorts verksamhet som bedrivs i byggnaden”

[Kim and de Dear, 2013; Collinge et al., 2013]. En del studier har påvisat att kontorets planlösning påverkar trivseln i LEED och non-LEED certifierade byggnader [Schiavon and Altomonte, 2014]. Därför bör icke-miljömässiga parametrar beaktas vid utformning och drift av kommersiella kontorslokaler. Fig. 4.1. Visar en överblick över hur IEQ påverkar brukares prestation i kontorsbyggnader.



Figur 4.1 Överblick över hur IEQ påverkar brukares trivsel, hälsa och produktivitet i kontorsbyggnader

Det är viktigt att förstå sambandet mellan olika faktorer och IEQ. Trots det, så har samspelet mellan olika inomhusmiljövariabler ännu inte analyserats och kunskapen är fortfarande marginell [Bluyssen et al., 2011; Steinemann et al., 2017]. Därför måste olika faktorer, från det faktiska klimatet till icke-miljömässiga parametrar, övervägas från ett arkitektoniskt, arbetskaraktäristiskt och

organisationskulturellt perspektiv, för att försöka erbjuda ett helhetsperspektiv av sambandet mellan inomhusmiljö och brukares trivsel och välmående.

#### 4.3.2 Ekonomiska aspekter beträffande energieffektivitet samt inomhustrivsel och välmående

Energikostnaden är oftast endast en liten del av hela driftskostnaden i byggnader. Energipriserna är låga och ekonomiska stimulansåtgärder för att skapa betydande energieffektiva åtgärder kan vara ottydliga, framförallt då investeringsinstitut förväntar sig avkastning samt återbetalning inom 7-10 år. Ibland finns det andra stimuleringsåtgärder, t ex övertygelsen att man bidrar till en bättre värld, dvs genom certifiering, som också måste tas hänsyn till för att motivera storslagna energiåtgärder. För länder med energifattigdomsproblem och snabbt utvecklande tillväxtmarknader, är energieffektivitet av stort värde då sänkt energiförbrukning och effektiv energiförbrukning kan skapa bättre energiflöde till befolkade områden runt om i hela landet. Tack vare energieffektivitet, kan tydliga ekonomiska besparingar uppnås pga lägre bränsleförbrukning. Samtidigt kan bruttonationalprodukten (BNP) ökas genom en produktiv ekonomi och högre ekonomisk avkastning.

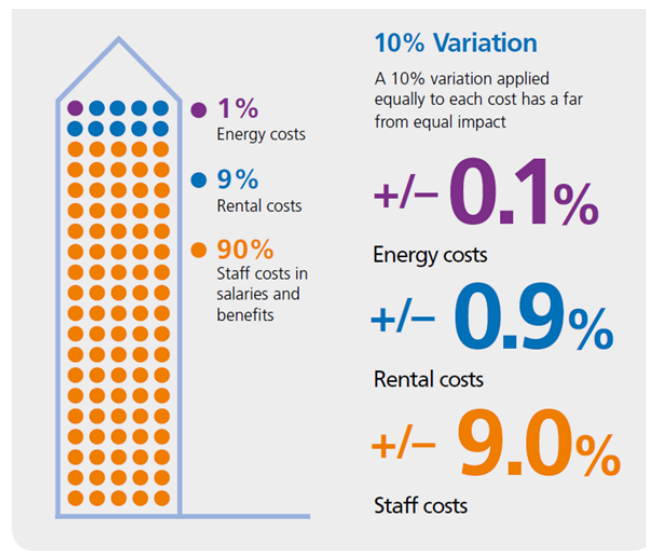
Energipriserna är låga och har inte höjts nämnvärt trots vad forskare förutsagt sedan 70-talet [NCM, 2007; van de Ven, 2017]. I vissa fall skapar låga energipriser orimlig energiförbrukning, samt ökad energiförbrukning, vilket kan leda till att användandet av förnybar energi släpar efter. Ett jämt energiflöde har i uppgift att skapa ett trivsamt och hälsosamt inomhusklimat, men faktum är att den förbrukade energin inte alltid resulterar i tillfredställande IEQ. Väsentliga skillnader har upptäckts mellan beräknad och upplevd IEQ prestanda, samt mellan beräknad och uppmätt energiförbrukning. Följaktligen behöver mer pengar investeras i renovation och diagnostisering av byggnader.

Förutom energikostnader, måste tekniska system underhållas på rätt sätt för att hålla underhållskostnaderna för att reparera och modernisera tekniska komponenter i byggnader så låga som möjligt. Likväl, utförs inte detta på rätt sätt i många fall pga kunskapsbrist, speciellt i bostäder

Beslut i privata hem baseras inte enbart på ekonomi och återbetalningstiderna är inte så viktiga. Oftast är privathushåll dåligt informerade om befintliga möjligheter eller så investerar man i ett nytt fint kök eller badrum, och inte i energieffektivitet och förnybar energi. Det är andra värderingar som styr individuellt beteende och beslutsprocesser.

Framförallt kan kontorsanställdas arbetsproduktivitet och sjukfrånvaro ses som beslutsgrundande (se Fig. 4.2). Om vi i driftsfasen kan bidra till att personalkostnaderna påverkas positivt genom energieffektiva åtgärder och bättre IEQ, då kan vi argumentera för högre/andra investeringar som prioriterar IEQ åtgärder. Fig. 4.2 visar driftkostnaden för ett representativt företag samt respektive procentsats för energi-, hyres- och personalkostnad. Slutsatsen är, att om endast en förminskning av 10% av personalkostnaden uppnås, kan man åstadkomma en besparing på totalt 9%.





Figur 4.2 Ett representativt företags driftskostnader för energi, hyra och personal. Källa: Health, Well-being & Productivity in Offices, World Green Building Council, Sep. 2014 [WGBC, 2014].

Hittills, har man fokuserat mer på investeringskostnader än livscykelkostnader. Faktum är att investeringskostnad inte alltid borde vara den beslutande faktorn och är ofta ett hinder. Energieffektiv teknik och avancerade inomhusmiljöer kan inte prioriteras om det framförallt är investeringskostnaderna som är betydande för beslutsfattarna. Därför behövs livscykelkostnadsanalyser (LCCA) för att fastställa den totala kostnaden, inräknad i en byggnads initiala-, drifts och bortskaffningskostnad. Samtidigt bör man ta hänsyn till den ekonomiska nyttan för olika aktörer, t ex fördelarna med bättre energiprestanda för fastighetsägare samt värdet av en bättre arbetsmiljö för byggnadens brukare. År 2013 rapporterades det att ca. 15 miljoner m<sup>2</sup> blivit BREEAM, DGNB och HQE certifierade, vilka är några av de mest välkända byggnadscertifieringarna. Detta visar på att dagens marknadstrender kräver högpresterande byggnader i framtiden, som tar hänsyn till energieffektivitet såväl som brukares trivsel och välmående.

#### 4.3.3 Brukares inflytande på energiprestanda och IEQ

Tekniska lösningar, material samt kunskap om hur man bygger och driver (befintliga/nya) energieffektiva byggnader finns. Trots det, så ser vi en klyfta i prestanda när vi jämför energiefterfrågan (uträknad) med energiförbrukning (uppmätt). Olika faktorer bidrar till detta fenomen, dvs avsaknad av kvalitetskontroll, försvunna/felaktigt kalibrerade mätinstrument, ansvarig personal har inte fått rätt utbildning eller är obehörig, samt att brukares beteende varierar. I verkligheten har brukares inverkan stor betydelse för optimering av energiprestanda och förbättrad IEQ

Energirelaterat brukarbeteende, t ex brukares rörelse och närvaro samt agerande, såväl som hur brukare reagerar, är viktiga frågor relaterade till energiförbrukning, driftoptimering samt energisimulering. En studie som utforskat energiförbrukning i 28 identiska hus, fann att den högsta förbrukningen var tre gånger så hög som den lägsta, samtidigt som 71% av den oförklarade skillnaden berodde på olikartade brukarbeteendemönster [Sonderegger, 1977]. Beteendet att ändra inställningen på termostaten kan spara så mycket som 10% på uppvärmning och nedkylning på ett år genom att sänka termostaten 7-10 °F i 8 timmar per dag från normalläget [DOE, 2017]. Dessutom

kan beteendet att öppna ett fönster på vintern bidra till ökad energiförbrukning, även om det räcker att öppna fönstret helt 2-3 ggr/dag i fem minuter i privata bostäder. Användning av apparater varierar även bland brukare. En studie har påvisat att energiförbrukningen var högre utanför arbetstid än under arbetstid, dvs fönster lämnas öppna och konstgjord belysning är tänd [Masoso and Grobler, 2010]. Beteendet bland brukare spelar en ökande roll för energiförbrukning i NZEB [Jeeninga et al., 2001; Guerra-Santin and Itard, 2010]. Många olämpliga beteenden sker pga att rätt kunskap och vägledning saknas. Om brukare har uppfattningen att de bor i en energismart byggnad, bryr de sig mindre om sitt eget beteende vilket med tiden leder till att energiförbrukningen blir högre i byggnader som blivit energieffektivitetscertifierade. Det är därför betydelsefullt att utbildningsmaterial, användarvänlig information och kommunikation upprepas för att behålla människors intresse av att vara energieffektiva. Det har noterats att byggnader med renoveringsbehov i snitt förbrukar mindre energi än teoretiskt beräknats, och att energiförbrukningen i nya byggnader är 20% högre än nödvändigt [Majcen et al., 2016]. Beträffande energirelaterat brukarbeteende i byggnader, har 10 frågor diskuterats den senaste tiden [Hong et al., 2017], en av frågorna omfattar särskilda brukarbeteenden som påverkar energiprestandan i byggnader. Framförallt i NZEB där samspelet mellan brukare och byggnad är mer komplicerad varför bra kommunikation bör övervägas väl.

Brukarbeteende kan i hög grad störa viktiga IEQ faktorer, t ex, temperatur, koldioxid, rumsbelysning och luftflöde. I dessa avseende är det vanligt att urskilja samspelet mellan människa och kontrollsystem, dvs reglera inomhusförhållanden såsom lufttemperatur och belysning. Olika driftförhållandeval beror ofta både på utomhusklimat som personliga preferenser. Samtidigt är IAQ väldigt beroende av IEQ. För att tillhandahålla bra inomhusluftskvalitet är det viktigt att luftflödet är godtagbart. Beteende kring fönsteröppning är den viktigaste variabeln för att fastställa luftflöde. Man har dragit slutsatsen att fönsteröppningsbeteende är det som påverkar luftflöde mest och kan öka två luftombyte per timma [Wallace et al., 2002]. Visst brukarbeteende är medvetet och utförs som ett försvar mot oönskad inomhusmiljö samtidigt som man bevarar ett hälsosamt och behagligt klimat. Endast små anpassningsskillnader krävs för att bevara inomhusvärme samtidigt som man får in frisk luft genom att öppna fönster. Därför bör anpassningsbeteende [de Dear et al., 1998] övervägas noggrant för hela utformningen och driften av kontor som följd av låg energiförbrukning och bättre upplevd IEQ. Detta är extra viktigt under utformningsfasen eller renoveringar, för har man vetenskap om brukares önskemål och krav i förväg, kan en hög tillfredsställdhetsgrad uppnås.

Likväl, i många fall, t ex vid renovering – tas brukares krav ofta inte på allvar. De känner sig överkörda av tekniska system. Av den orsaken är det värre att få brukare att känna sig hjälplösa och utan möjlighet att påverka IEQ prestandan. Brukarbeteende kan vara följderna av både fysiologiska och psykologiska gensvar på den faktiska inomhusmiljön. Drivkraften är komplicerad och vanligtvis ett gensvar på fysiska faktorer, fysiologiska och andra faktorer i sammanhanget, etc. [Fabi et al., 2012]. Sålunda, en förståelse för brukares behov, gensvar och beteende är nyckeln till att minska klyftan mellan den uppmätta och den planerade inomhusklimatprestandan.

#### **4.3.4 IEA, EU forskningsprojekt samt nationella program**

Programmet IEA Energy in Buildings and Communities (IEA-EBC) har möjliggjort innovation- och forskningssamarbete för energieffektivitet och bevaring av sunda, lågenergi, samt hållbara byggnader och samhällen. Målsättningen är inte enbart att undersöka befintliga projekt utan också att inleda

nya strategiska områden. Hittills har 75 individuella projekt lanserats och en del av dem fokuserar mest på energieffektivitet och IEQ. En lista över relevanta projekt har gjorts för att skapa en tydlig bild av tidigare och pågående forskningsområden.

- Annex 8: Inhabitants behavior with regard to ventilation (<http://www.ecbcs.org/annexes/annex08.htm>)
- Annex 18: Demand controlled ventilation systems (<http://www.ecbcs.org/annexes/annex18.htm>)
- Annex 29: Daylight in buildings (<http://www.iea-ebc.org/projects/completed-projects/ebc-annex-29/>)
- Annex 58: Reliable building energy performance characterization based on full scale dynamic measurements (<http://www.kuleuven.be/bwf/projects/annex58/index.htm>)
- Annex 66: Definition and simulation of occupant behavior in buildings (<https://www.annex66.org/>)
- Annex 68: Indoor air quality design and control in low energy residential buildings (<http://www.iea-ebc-annex68.org/>)
- Annex 69: Strategy and practice of adaptive thermal comfort in low energy buildings (<http://www.iea-ebc.org/projects/ongoing-projects/ebc-annex-69/>)

EU Research & Innovation inför riktlinjer för att uppnå Europa 2020 målen. Långtidsmålet är att hantera befintliga och framtida samhälleliga utmaningar. I sammanhanget är bland annat miljö och energi nyckelområden som fokuseras på. Målsättningen för de finansierade projekten är att bidra till att innovationsteknik och strategier förverkligas. Följande R&I-program projekt är starkt kopplade till inomhusmiljö i lågenergibyggnader.

- FP4-NNE-JOULE C: Energy Performance, Indoor environment Quality, Retrofit ([http://cordis.europa.eu/project/rcn/37140\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/37140_en.html))
- FP4-NNE-JOULE C: Passive retrofitting of office buildings to improve their energy performance and indoor working conditions ([http://cordis.europa.eu/project/rcn/37160\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/37160_en.html))
- FP5-EESD: Health optimization protocol for energy-efficient buildings: pre-normative and socio-economic research to create healthy and energy-efficient buildings (<https://hope.epfl.ch/>)
- FP7-Environment: Improving indoor climates in retrofitted buildings ([http://cordis.europa.eu/result/rcn/92528\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/92528_en.html))
- FP7-Environment: Monitoring indoor air quality for a healthier environment ([http://cordis.europa.eu/result/rcn/92619\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/92619_en.html))
- FP7-Environment: Performance indicators for health, comfort and safety of the indoor environment ([http://cordis.europa.eu/project/rcn/89309\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/89309_en.html))
- FP7: Cost-effective tools for better indoor environment in retrofitted energy efficient Buildings ([http://cordis.europa.eu/project/rcn/100571\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/100571_en.html))
- FP7: Integrated air quality sensor for energy efficient environment control ([http://cordis.europa.eu/result/rcn/159001\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/159001_en.html))
- H2020-EU.3.3&2.3.1: Art modular underfloor heating system for energy and thermal comfort optimization ([http://cordis.europa.eu/result/rcn/195079\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/195079_en.html))

- H2020-EU.2.1.5.3: DREEAM- demonstration of an integrated renovation approach for energy efficiency at the multi building scale  
([http://cordis.europa.eu/project/rcn/198766\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/198766_en.html))
- EU EIT Climate-KIC: Building Technologies Accelerator \_smart and sustainable offices  
([http://bta.climate-kic.org/innovation\\_projects/sso/](http://bta.climate-kic.org/innovation_projects/sso/))

Boverket, den svenska myndigheten för samhällsplanering, byggande och boende samt den svenska Energimyndigheten är viktiga finansieringsorgan som stödjer forsknings- och utvecklingsprogram med särskilt fokus på både energieffektivitet och inomhusmiljö på byggnads- och distriktsnivå. Kommun- och klimatöverskridande byggkonstruktionsinformation från olika sorters byggnader har samlats på rikstäckande nivå sedan 1960 till 2008, med hänsyn till energiförbrukning, tekniska uppfinningar, inomhusluftkvalitet och upplevd inomhusmiljö. De följande två stora projekten omfattade över 1,000 exempel på byggnader var.

- STIL2\_ Energimyndigheten: Statistik i lokaler  
(<http://www.energimyndigheten.se/statistik/bostader-och-lokaler/forbatttrad-energistatistik-i-bebyggelsen-och-industrin/statistik-i-lokaler-stil2/>)
- BETSI\_ Boverket and Sweden Statistics: Statistiska urval och metoder i Boverkets projekt  
(<http://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2009/sa-mar-vara-hus/>)

#### 4.3.5 IEQ standarder och normer

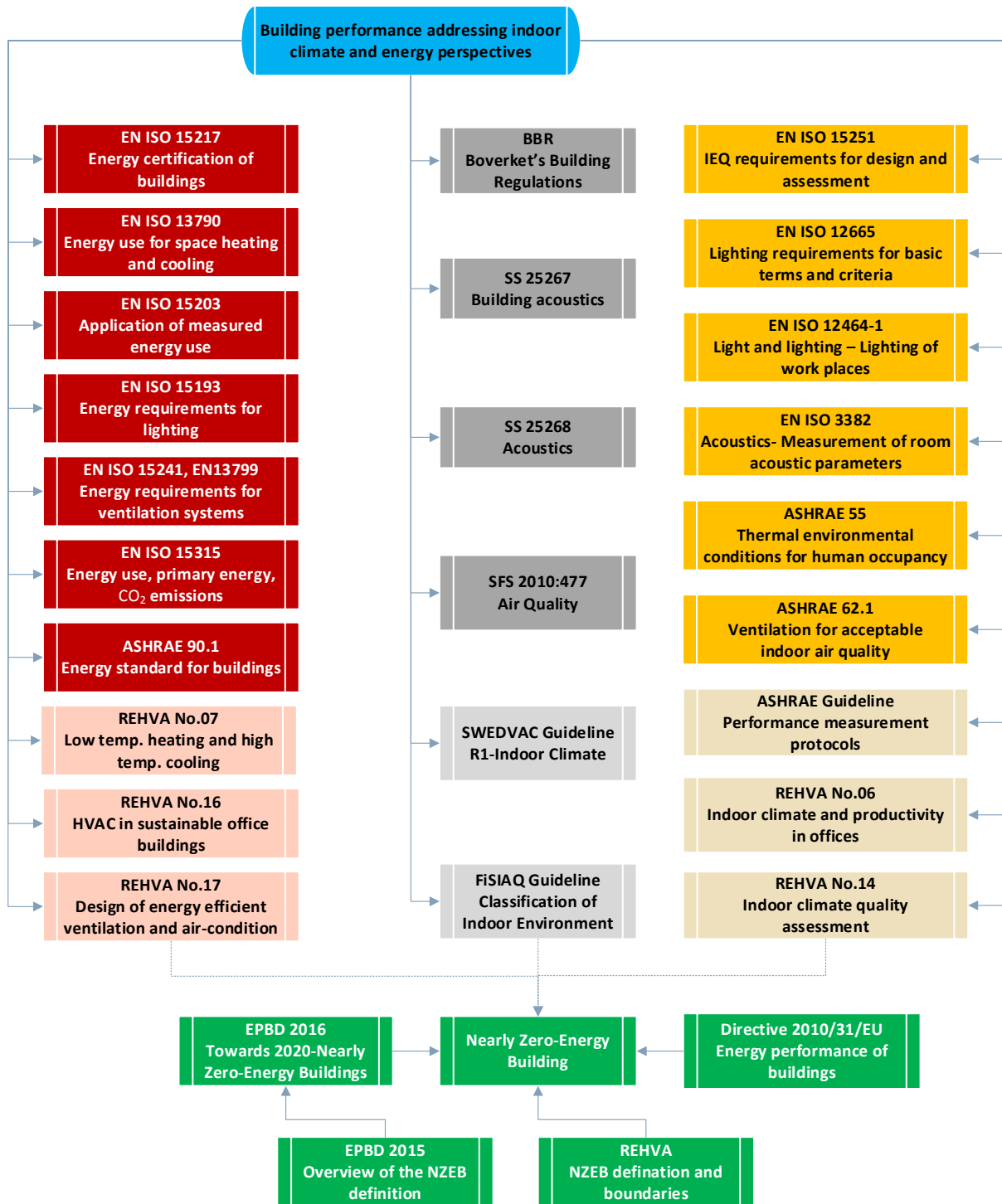
I nuläget finns nationellt och internationellt publicerade standarder, normer och riktlinjer för att hjälpa samhällen anpassa sig till detaljerade villkor och strategier för att skapa byggnader med bättre prestanda. Vanligen tillämpade nationella och globala standarder, normer och riktlinjer för energiprestanda och inomhusklimat finns sammanfattade i Fig. 4.3.

Från ett globalt perspektiv har ISO (Internationella standardiseringsorganisationen), CEN (Europeiska standardiseringsorganisationen), REHVA (Föreningen för värme, ventilation och luftkonditioneringsorganisationer i Europa) and ASHRAE (Amerikanska samfundet för värme-, kylning- och luftkonditioneringsingenjörer) publicerat en serie normer och riktlinjer på krav i samband med energiförbrukning och inomhusmiljö i kontorsbyggnader. Däribland EN ISO 13790, EN ISO 15241 & EN ISO 13799 and EN ISO 15193, respektive standard är speciellt inriktad på uppvärmning och nedkylning av utrymmen, ventilation och belysning. Övergripande energiprestanda i byggnader och energicertifiering beskrivs i EN ISO 15315 och EN ISO 15217 normerna. Motsvarande krav för termiska förhållande, ljus och belysning, akustik, samt inomhusluftkvalitet specificeras i respektive standard EN ISO 12464-1 & EN ISO 12665, EN ISO 3382, ASHRAE 55, och ASHRAE 62.1. Bredvid ovannämnda standarder, finns det även riktlinjer för särskilda områden. En serie vägledningsböcker som REHVA publicerat resonerar kring utvärdering av inomhusklimatsproblem [REHVA No.14, 2011], brukarproduktivitet [REHVA No.06, 2006] samt energieffektiv uppvärmning och nedkylning [REHVA No. 16, 2012; REHVA No.17, 2012; REHVA No. 07, 2007]. ASHRAE riktlinjer [ASHRAE, 2010] för mätprotokoll för byggandens prestanda beskriver detaljerade kriterier och riktlinjer för mätningar på prestanda. Dessutom var den finska föreningen för inomhusluftkvalitet, som inrättat vägledningsmålsättningar för utformning av trivsamma inomhusmiljöer [FiSIAQ, 2010],

bland de första att föreslå riktlinjer och klassificering för inomhusmiljöer. Vidare information om samspelet mellan EUs energinormer och IEQ normer återfinns i EN ISO 15251 (Fig.4.3).

Ur ett nationellt perspektiv, har byggnormen BBR inrättats av Boverket, som omfattar nybyggnation och renoveringar. Särskilda krav för maximal energiefterfrågan, isolationsnivåer och lufttäthet, med hänsyn till IEQ energieffektivitet, samt termiska förhållanden, inomhusluftkvalitet, ljus, och akustik. Den svenska standarden SS25267, delar upp akustik i byggnader i olika nivåer enligt byggnadskaraktär, samt standard SS25268 som omfattar akustik i olika byggnadsutrymmen [Byggakustik, 2015; Byggakustik, 2008]. Den lokala normen SFS2010-477 specificerar kraven på inomhusluftkvalitet [SFS, 2010]. Den svenska HVAC föreningen, SWEDVAC, har utfärdat riktlinjer för inomhusklimat i Sverige anpassade till EU och svenska normer [SWEDVAC, 2015].

Baserat på normer och riktlinjer, har målsättningen för byggprestanda blivit fastställd till en hög nivå. År 2010 antog Energy Performance of Buildings Directive (Direktivet för Energieprestanda i Byggnader) (Directive 2010/31/EU-EPBD) nära-nollenergibygnadsbegreppet och publicerade tidsplaneringen: att alla nya byggnader skall vara nära-nollenergibygnader (NZEBS) innan 31 december 2020, samt alla nya byggnader som ägs och utnyttjas av offentliga myndigheter, innan 31 december 2018. I april 2015 publicerade EPBD en rapport som beskrev medlemsländernas nationella NZEB definitioner [EPBD, 2015]. Även i augusti 2015 utfärdades en överblicks- och resultatrapport för nära-nollenergibygnader för att främja ett så effektivt införande av EPBD som möjligt [EPBD, 2015]. Så tidigt som 2013 samarbetade REHVA med CEN och publicerade tekniska definitioner och energiberäkningsprinciper för NZEB för att införa energieprestanda i byggnader på ett fördelaktigt sätt [REHVA, 2013].



Figur 4.3 Globala och nationella normer, riktlinjer och rapporter med hänsyn till byggnadsprestanda och NZEB. Respektive innehåll i de röda och gula sektionerna handlar om energi och IEQ aspekter. Nationella normer är i den grå sektionen. Resten av riktlinjerna är i den ljusfärgade sektionen. I de gröna sektionerna visas NZEB-relaterade rapporter.

### 4.3.6 Prestandautvärdering

För att utvärdera trivsel, hälsa samt energiperspektiv, med hänsyn till byggnadsprestanda, ställer normer och riktlinjer krav på benchmarking för det faktiska inomhusklimatet och energiförbrukning. Flera gröna och hållbara byggnadscertifieringssystem har poängsatt olika aspekter och faktorer för att rangordna byggprestanda.

- Byggregler och normer

EN ISO 15251 [EN, 2007], EN ISO 12665 [EN, 2002], EN ISO 3382 [EN, 2012], ASHRAE 55 [ASHRAE, 2013], ASHRAE 62.1 [ASHRAE, 2013], ASHRAE 90.1 [ASHRAE, 2016] och Boverkets BBR [Boverket, 2016] är de mest populära och tillämpas på global och nationell nivå. De omfattar lagstadgade krav på IEQ parametrar för att garantera ett godkänt inomhusklimat för brukares trivsel och hälsa. I EN ISO 15251 är inomhusmiljö uppdelad i fyra klasser: I, II, III och IV från trivselnivå och förväntad procentsats missnöjda med hänsyn till olika sorters byggnadstypologi.

- Certifieringssystem

Populära certifieringssystem tillämpade i befintliga byggbranscher har undersökts, dvs WELL, LEED, BREEAM, GREEN STAR, DGNB och Miljöbyggnad. IEQ tilldelas i LEED, GREEN BUILDING STAR, och Miljöbyggnad. BREEAM riktas uttryckligen mot hälsa och välmående. WELL omfattar välmående och trivsel och är det senaste certifieringssystemet, för certifiering och tillsyn av byggnadsattribut.

- Faktiska miljömätningar

För att undersöka brukares faktiska trivsel- och hälsoförhållanden, rekommenderas både mätning på plats samt långtidstillsyn. De mest vanliga nyckelparametrarna i sammanhanget är temperatur, koldioxid, lufthastighet, belysning, ljudtrycksnivå samt andra saker på kontrollistan såsom ventilationsgrad, flyktiga organiska ämnen, partiklar, speech privacy, etc. I allmänhet, beroende på användarbehov och projektbudget, kan man utföra mätning av faktiska byggnadsprestandavärden på olika detaljnivåer t ex grundläggande, mellan och avancerade protokoll. ASHRAEs riktlinjer för resultatmätningssystem beskriver olika system för resultatmätning i kommersiella byggnader med hänsyn till energi och IEQ [ASHRAE, 2010]. Omfattar även lämpliga mätinstrument. EN ISO 15251 standarden omfattar även grundläggande riktlinjer med hänsyn till miljö, inomhusluftkvalitet och belysningsförhållanden.

- Brukarundersökningsmätningar

POE (Post occupancy evaluation) metoden används oftast för att utvärdera upplevd trivsel samt brukares självrapporterad hälsa och prestation i både nya och renoverade byggnader. Hittills har brukarutvärderingar utförts med POE-metoden med olika målsättningar för att få återkoppling av brukare.

BUS-undersökningen (<http://www.busmethodology.org.uk/>) som utvecklades under 1990-talet, fokuserar på återkoppling beträffande brukares iakttagelseförmåga och behov, för att kunna förbättra servicen i byggnader baserat på deras långtidsobservationer. Den tillhör brittiska byggnadsprestandastudier som ofta refereras till. BUS-databasen omfattar i dagsläget studier från 650 byggnader i 17 länder.

CBE-undersökningen utförd på Berkeley (långtids- och nutidsutvärdering) uppmärksammar byggprestandautvärderingar från byggnaders utmärkande egenskaper och IEQ perspektiv (<http://www.cbe.berkeley.edu/research/briefs-survey.htm>). IEQ-undersökningen har genomförts i 1,000 byggnader och fått över 100,000 enskilda brukarsvar. Det är en av de mest omfattande byggnadsdatabaserna i världen.

Chalmers SSO User Insight Tool utvecklades först år 2016 och används i kontorsbyggnader samt framtida bostadshus, vårdcentraler och sjukhus med hänsyn till IEQ, arkitektonisk utformning och arbetsmönster ([http://bta.climate-kic.org/innovation\\_projects/ss/](http://bta.climate-kic.org/innovation_projects/ss/)).

Ett allmänt frågeformulär och granskning av dagboksanteckningar har studerats vilket har resulterat i brukarvänliga lösningar för att skapa byggnader som släpper ut låga koldioxidhalter. I dagsläget har 6,600 individuella svar samlats in från 30 kontorsbyggnader och 33 organisationer i Europa. Den nationella databasen i Sverige är under utveckling.

#### 4.3.7 Fallstudier

I denna sektion, presenteras två kontorsbyggnadsfallstudier som har undersökt inomhusmiljö kvalitet samt energiprestanda. För att skapa en uppfattning om dagsläget samt befintliga problem i byggnader för en viss grupp brukare, utfördes fysiska mätningar på termiska förhållanden, luftkvalitet, akustik och belysning. Dessutom användes insiktsenkäter för att undersöka brukares subjektiva bedömningar beträffande miljö och sunda förhållanden. I nedanstående text är Byggnad 1 Miljöbyggnadsmärkt. Byggnad 2 är en vanlig byggnad som följer BRR-kraven.

##### **B1 - kontorsbyggnad 1**

Byggnadsinformation:

- Göteborg, byggd 2015
- Miljöbyggnad – Guld
- Mekanisk ventilation
- Automatiserat ljus- och solskydd
- Öppna och delade kontor, 1058 m<sup>2</sup>

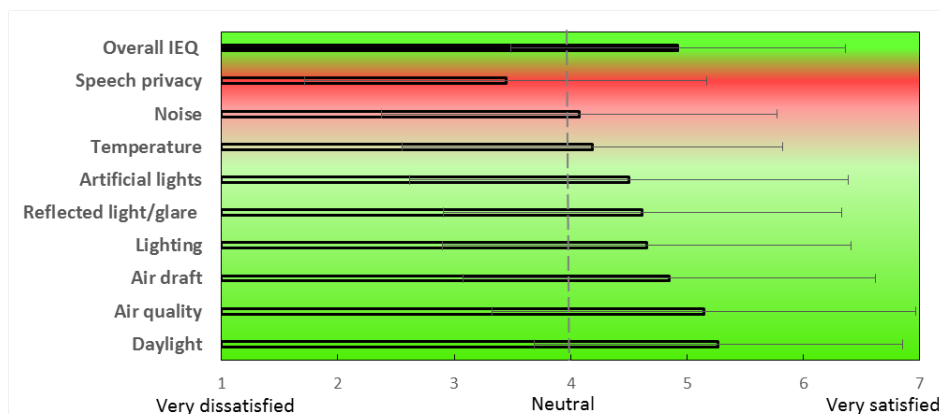
B1 har Guldcertifiering och hög energiprestanda har uppnåtts. Typisk energiförbrukning för byggnaden är lägre än 43 kWh/m<sup>2</sup> a, vilket motsvarar en lågenergibyggnad.

På motsvarande sätt mättes nyckelfaktorer för inomhuskomfort på arbetsplatser. Resultaten jämfördes med resultatmätningvärdena i EN ISO 15251 standarden. Under vintern är lufttemperaturen över 20° C. Koldioxidkoncentrationen är lägre än 1,000 ppm. Ljudnivån är lägre än 50 dBA. Belysningsnivån är högre än 500 lux.

Åsikter om brukarkomfort samlades in via frågeformulär. Fig. 4.4 visar resultaten av hur nöjda brukare är med olika IEQ-faktorer med hänsyn till inställning till omgivningen. Diagrammet visar det genomsnittliga resultatet av hur brukare röstade. Brukare är nöjda med IEQ-faktorer förutom



möjlighet till speech privacy. Denna parameter är starkt relaterad till kontorsplanlösningen. I detta fall som handlar om ett kontor med öppen planlösning, är möjlighet för speech privacy sämre. I sin helhet är belåtenhetsnivån något nöjd. Brukarna tillfredsställelse med dagsljus och luftkvalitet är högre än andra IEQ-faktorer.



Figur 4.4 Brukares belåtenhet med inomhusmiljön i B1

B1 är ett bra exempel på inomhuskomfortsprestanda samt låg energiförbrukning. I denna lågenergicertifierade byggnad, är brukare i det stora hela nöjda med inomhusklimatet. Framförallt från en ventilations-, belysnings och temperatursynpunkt, vilka är nära besläktade med energiförbrukning i byggnader, är tillfredsställelsenivån ännu högre. Dagsljuskomfort uppfattas som bäst och motsvarar uppenbara energibesparingar med hänsyn till konstgjord belysning. Således, när grön teknologi övervägs väl och brukares krav iaktas, kan vinsten med hänsyn till energi- och inomhusklimatprestanda fördubblas.

## B2 - kontorsbyggnad 2

- Göteborg, renoverad 2010
- Boverkets byggregler (BBR)
- Mekanisk ventilation och naturlig ventilation
- Inomhusklimatkontroll med termostater och öppningsbara fönster.
- Öppen kontorsplanlösning, 1700 m<sup>2</sup>

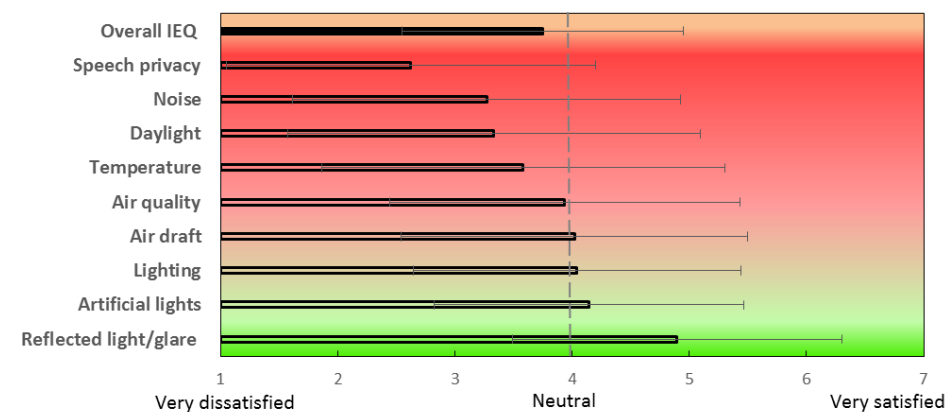
B2 är en byggnad som renoverades år 2010 för att möta BRRs energikrav. För närvarande är byggnadens typiska energiförbrukning 107 kWh/m<sup>2</sup> a. Till skillnad från B1, har inte B2 energicertifierats.

Inomhusklimat, lufttemperatur, kyligt drag, akustisk komfort samt belysning och ljusförhållanden, uppmättes detaljerat på arbetsplatserna. Under undersökningens vinterperiod var lufttemperaturen 20° C, koldioxidhalten lägre än 1,000 ppm, belysning över 300 lux, och den A-vägda lufttrycksnivån högre än 50dBA för 25% av arbetstiden.

Brukare röstade om hur de upplevde inomhusklimatet. Resultaten från enkäterna visas i Fig. 4.5. Hur specifika faktorer upplevs framhävs i färg, ju grönare desto mer positivt och ju rödare desto mer

negativt. Den rödfärgade zonen visar brukares missnöje och den gröna representerar tillfredsställda röster. Det är uppenbart att övergripande är brukare missbelåtna med inomhusklimatets akustiska, termiska och dagsljusfaktorer.

Trots att B2 renoverades på energisparande grunder genom att byta till fönster med lågt U-värde, hög lufttätthet, samt välisolerade golv- och takfundament, så är den verkliga prestandan för inomhuskomfort inte lika bra som förväntat. Brukares belåtenhet med inomhusluftkvaliteten är, t ex precis under neutralt, vilket pekar på att det finns utbrett missnöje.



Figur 4.5 Brukartillfredsställe med det fysiska inomhusklimatet i B2.

Baserat på ovanstående fallstudier, är både fördelar och nackdelar uppenbara. B1 är ett bra exempel på energiförbrukning och inomhusklimat med hög prestanda. B2 är ett bra exempel från ett energiförbrukningsperspektiv men mötte dock inte brukares behov. Även om energirenoveringen uppfyller reglerna, så har inte brukares trivsel och intryck uppmärksammats.

Det finns flera lösningar för att möta kraven om certifiering av högprestandabyggnader, t ex har dagsljus, naturlig ventilation samt högre lufttätthet vanligen utnyttjats i nydesign. När man tillämpar gröna lösningar är det viktigt att säkerställa att de uppfyller brukares krav och syn på trivsel. Annars blir resultatet ensidigt istället för att alla vinner på användarvänliga högprestandabyggnader.

## 4.4 Aktörer och nätverk (nat/internat)

### 4.4.1 Samhälleliga värderingar och relevanta intressenter

Det har varit utmanande att mäta värdet av brukares förbättrade trivsel, hälsa och produktivitet. BOSTI-undersökningen visar att bättre arbetsplatser ger bättre investeringsavkastning, pga att produktiviteten ökar med hänsyn till bruttolön [Brill, 2001]. Fördelar och kostnad för förbättrad IEQ på kontor i USA kan påvisas lägre sjukhussjukafall, sjukfrånvaro och ökande arbetsproduktivitet [Fisk, 2000]. Enligt ovan beskrivning, bidrar brukartrivsel och välmående till såväl produktivitet och prestation som lägre frånvaro. Om detta inte kan uppfyllas, blir de ekonomiska kostnaderna för samhället tydliga. Kostnad för sjukfrånvaro kan uppgå till 4% av bruttonationalprodukten [EurWORK, 2010; Sveriges Officiella Statistik, 2016]. Följaktligen är detta även förmånligt för företag och den allmänna sjukvården pga lägre sjukfrånvaro och högre arbetsprestation vilket resulterar i kostnadsbesparingar. Man har även studerat att produktivitet och effektivitet på arbetet är det som slutligen är mest fördelaktigt för fastighetsägare [Kats, 2003]

Jämte brukare och hyresgäster, vilka är de största aktörerna involverade i utvecklingen, och hur kan de påverka byggnation av högprestandabyggnader? I varje fall är det inte svårt att hitta namn i byggbranschen bland arkitekter och ingenjörer samt fastighetsägare, etc.

- Byggbranschen

Konkurrenskraften i att skapa byggnader lämpliga för 'grön' märkning och certifiering, dvs BREEAM och LEED, har blivit ett nytt försäljningsargument på marknaden som lätt lockar kunder och hyresgäster samt att man har möjlighet att få ekonomiskt stöd från banker och finansinstitutioner.

Företag i byggbranschen spelar en viktig roll för att säkerställa kvaliteten på konstruktionen av byggnaden under byggfasen.

- Arkitekt, civil- och maskiningenjör

En byggnads designfas är avgörande för att säkerställa byggnadsprestandan redan från början. Genom att tillämpa avancerade koncept, t ex hållbar design, beboelig miljö samt lågenergi och lågt koldioxidutsläpp blir de vinnare på marknaden. En behaglig inomhusmiljö påverkas inte enbart av planlösningar utan även av design and företagskultur. Framtida ingenjörer har till uppgift att förvandla omfattande kunskap till design-, drift- och underhållfaser, samtidigt som de måste hitta tåliga lösningar för att förverkliga innovativa koncept.

- Fastighetsägarna

Fastighetsägarna kanske blir de som vinner stort på utvecklingen då högpresterande inomhusklimat och energi i slutändan kan öka fastigheters värde, samt den slutliga ekonomiska vinsten på brukare som villigt betalar mer för bättre inomhusklimat. Fastighetsägare ligger i framkant bland aktörer som samarbetar med akademi och ingenjörer för att förverkliga en marknad som drivs av efterfrågan.

#### 4.4.2 Globala och nationella forskningsgrupper

- Sustainable Building Research (Architecture and Civil Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden, <https://www.chalmers.se/en/projects/Pages/Climate-KIC-Building-Technologies-Accelerator-Q-Smart.aspx>)

Forskningsgruppen har fokuserat på den utmaningsinriktade forskningsfrågan om hur man integrerar olika sorters bygghusdesign, byggsystem med diverse angelägenheter som påverkar brukares trivsel, hälsa och välmående i hållbara byggnader. En stor mängd data om olika IEQ faktorer, brukarbeteende och arbetskaraktär har samlats för att skapa anpassade klimatzonmodeller för smarta och hållbara byggnader.

- ICIEE (International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark, <http://www.iciee.byg.dtu.dk/>)

En aktivitet de fokuserat på är hur inomhusmiljö påverkar hälsa, trivsel och människors prestation, dvs brukarprestation samt beteende, och termisk komfort. Stora undersökningar, som omfattar fysiska mätningar och personliga enkäter, har utförts i danska fastigheter. Brukare har möjlighet att testa sin prestationsförmåga genom att registrera sig och logga in på ett internetbaserat frågeformulär.

- SenseLab (Architecture and the Built Environment, TU Delft, <https://www.tudelft.nl/en/architecture-and-the-built-environment/research/research-facilities/senselab/>)

SensLab är en mycket sofistikerad lekplats för sinnen, med fyra olika testrum inriktade på lukt, akustik, temperatur och ljus, för att bättre förstå olika viktiga aspekter för en hälsosam arbetsmiljö. I HOPE projektet har man undersökt 164 byggnader, kontors- samt bostadshus, i nio EU-länder genom fysiska IEQ-mätningar och brukarenkäter angående trivsel och sjukahussjukan.

- CBE (Centre for the Built Environment, University of California, Berkeley, <https://www.cbe.berkeley.edu/research/index.htm>)

Utvecklar metoder för att mäta prestanda i fullbelagda byggnader med hänsyn till brukartrivsel, arbetsplatseffektivitet samt byggnadsdrift. IEQ och byggnadshållbarhet är några av fokusområdena. CBE databasen är baserad på brukarundersökningar för forskning och kommersiellt bruk. Ett nätbaserat rapporteringsverktyg, har utvecklats på olika nivåer, för kundbehov.

Forskarteamet ställer frågan "Hur optimerar vi inomhusmiljön för hälsa, välmående och produktivitet?". Denna satsning har nyligen belysts i arbetet "the CogFx Study", där gruppen forskar på hur gröna byggnader påverkar kognitiv funktion.

- Exposure Assessment Science (Center for Health and the Global Environment, Harvard, <http://www.chgearvard.org/category/nature-health-built-environment>)

Laboratoriet omfattar IEQ-labbet, Akustiklabbet och Belysningslabbet, där ytterst noggranna vetenskapliga metoder tillämpas för att identifiera och kvantifiera vad det är som påverkar brukares trivsel, hälsa, välmående samt produktivitet i inomhusklimat. Ur den analysen härrör brukarcentrerade, evidensbaserade designriktlinjer som har betydelse både för designskedet och driftfasen i en byggnads livscykel. BOSSA brukarundersökningssystem skapades för att bedöma hur tillfredsställda brukare är med IEQ i kontorsbyggnader, som är kopplat till det australiensiska prestandaverktyget Green Star.

## 4.5 Slutsatser

Den här lägesrapporten exponerar och belyser brukares roll i mer hållbar utveckling med hänsyn till att skapa lågenergi och hög prestanda i byggnader utan att göra avkall på brukares trivsel, hälsa och välmående. Behoven framgår tydligt från perspektiven vetenskaplig utmaning, samhällelig värdering samt ekonomisk angelägenhet, som även omfattar relevanta aktörer. De tre kapitlen uppmärksammar framförallt: 1. Forskning och social bakgrund till användarcentrerad undersökning; 2. Högkvalitativa forskningsresultat samt aktiviteter, normer, prestandautvärderingar och fallstudier; 3. Relevanta aktörer och forskningsnätverk.

Rapporten har belyst resultat och hinder för hur man skapar lågenergibyggnader och gynnsam inomhustrivsel. Användarcentrerad byggnadsforskning måste fördjupas för att minska klyftan mellan brukarkrav och byggnadsprestanda. Klyftorna mellan det som planerats och ett igångsatt projekt kan endast minskas om vi tar tillräcklig hänsyn till brukares krav, beteende och arbetsmönster i relation till energiförbrukning och upplevd IEQ. Evidensbaserad design kommer bli ett ledande

forskningsområde, där mer forskning krävs för att minska klyftan mellan ingenjörers, arkitekters, fastighetsägares och förvaltares skilda världar.

Resultaten påvisar att gynnsamt IEQ är avgörande för att kunna bidra positivt till produktivitet och trivsel hos brukare inomhus, framförallt i kontorsbyggnader. Det har konstaterats att utöver gynnsamt IEQ är det många andra faktorer som påverkar brukares trivsel och välmående, t ex inredningsdesign och den sociala omgivningen. Därför behövs ett tydligt ramverk för att förstå olika kopplingar och hur olika faktorer bidrar. På senare år har certifiering av byggnadsprestanda blivit populärare vilket har stimulerat debatten kring ren teknologi och innovativa byggnadslösningar. I det avseendet är det den nyaste globala utmärkelsen, WELL, som har i uppgift att uppmärksamma välmående och trivsel. Dessutom finns Miljöbyggnad, det nationella byggnadscertifieringssystemet i Sverige, vilket i första hand uppmärksammar energiefterfrågan och IEQ på den inhemska marknaden. Publicerade normer och riktlinjer över krav på byggnadsrelaterad energiförbrukning och inomhusklimat har introducerats på den globala och nationella marknaden, dvs ISO, CEN, REHVA och ASHRAE. För nära-nollenergibyggnader, har rapporter utfärdats för att förtydliga begreppet och stödja genomförandet. För att fortsätta främja utvecklingen av avancerad byggnadsprestanda med hänsyn till lågenergi, låga utsläpp och trivsam miljö, har finansieringskällorna International Energy Agency och EU Research & Innovation, stadigt ökat antalet program varje år. Den här rapporten har samlat in nära besläktade projekt för att tillhandahålla en omfattande granskning av forskningsområdet. Inblick i rapporten antyder en utvecklingstrend kring betydande och fortsatt ökande fokus på brukares behov och användarcentrerad forskning. Likväl, kan slutsatsen att det holistiska perspektivet saknas dras med hänsyn till optimering av energiförbrukning i byggnader samt kopplingarna till IEQ, och att mer uppmärksamhet och ansträngning krävs för att angripa detta på rätt sätt.

Jämte ovannämnda slutsatser, kan väsentliga ekonomiska fördelar förväntas genom att skapa trivsamma och hälsosamma inomhusmiljöer, med fler produktiva brukare i kontorsbyggnader, samt förbättrad energieffektivitet i byggnader. Det är uppenbart att ekonomiska besparingar kan uppnås genom att använda mindre bränsle, dock kan man förvänta sig mer omfattande ekonomiskt incitament från ej energirelaterade besparingar i driftsfasen av kommersiella byggnader. Bruttonationalprodukten (BNP) skulle definitivt dra fördel av ökad ekonomisk tillväxt. Anställdas arbetsprestation och sjukfrånvaro anses beslutsgrundande med hänsyn till mer hållbara byggnader. Genom att positivt påverka personalkostnaderna i driftsfasen till följd av energieffektiva åtgärder och bättre IEQ, öppnas möjligheten för oss att argumentera för högre och andra investeringar samt prioritera IEQ-åtgärder i ett tidigt design- och renoveringsskede. Studier har påvisat att användare eller brukare ofta är omedvetna om energisparande åtgärder i en byggnads brukarfas, trots att flera åtgärder har presenterats för dem. Majoriteten av brukare har en stark tendens att falla tillbaka i gamla spår en kort tid efter de blivit energimedvetna och anpassar sitt beteende därefter. Det har bevisats att pga diverse beteenden, kan energiförbrukningen vara tre gånger så hög som den lägsta förbrukning i samma byggnad. Brukarbeteende påverkar även fysiska förhållanden, t ex luftflödes hastighet, inomhustemperatur samt koldioxidkoncentration som i sin tur påverkar IEQ-utvärdering och upplevd tillfredsställelse. Drivkraften bakom brukarbeteendena är olikartade och mer omfattande studier behövs i framtiden.

Under byggnadskonstruktion har man hittills mest koncentrerat sig på investeringskostnader snarare än att införa ett systematiskt tillvägagångssätt för att granska värdet under hela livet vilket innefattar design, bygge, drift samt underhåll. Faktum är att det saknas ekonomiska incitament för att ta beslut

om radikala energieffektiva åtgärder. Om det endast är investeringskostnaden som beslutsfattare tänker på, kan energieffektiv teknik och avancerad inomhusmiljö inte prioriteras. Det är därför viktigt att byggbranschen tar med livscykelkostnaden (LCC) i beräkningen av den totala kostnaden för bygg-, drift- och bortskaffandefaserna av en byggnad. Följaktligen, bör de ekonomiska fördelarna för olika intressenter övervägas objektivt.

Det finns tydliga tecken på att det är värt att satsa på högprestandabyggnader för att uppnå ekonomiska vinster. År 2013 rapporterades det att ca. 1,500,000 m<sup>2</sup> nya byggnader hade certifierats, vilket visar en trend på marknaden att framtida byggnadsprestanda måste leverera både energi och inomhuskomfort samt välmående. Detta ökar den samhällsmässiga nyttan för företag och sjukvård genom besparingar för lägre sjukfrånvaro och ökad arbetsprestation. Även centrala aktörer, dvs byggbranschen, arkitekter, civil och mekaniska ingenjörer, fastighetsägare och byggnadsspekulanter kan dra nytta av ett marknadsdrivet byggnadscertifieringssystem såväl som mervärdet en hållbar omgivning ger.

Sammanfattningsvis dras slutsatsen att brukares betydelse för energiprestanda och IEQ är; 1) de som påverkar energiförbrukning och IEQ-förhållandena mest; 2) de som har möjlighet att minska prestandaklyftan; 3) de som slutligen betygsätter högprestandabyggnader; och 4) de som är drivande i utvecklingen av högprestandabyggnader. Med möjlighet att skapa en välmående omgivning med låga utsläpp i byggnader samt ett hållbart samhälle, så har brukare betydelse för att minska klyftorna och införa innovativ teknik inte studerats tillräckligt i verkligheten, såsom brukares behov, beteende och arbetsmönster.

#### 4.6 Utmaningar, möjligheter samt utvecklings- och forskningsbehov

Det är påtagligt i rapporten att många ansträngningar har gjorts för att uppnå låg energiförbrukning och bättre inomhusklimat i byggnader. Trots det så har olika utmaningar inte uppmärksamats och är fortfarande olösta. En ytterligare målsättning med rapporten är att identifiera framtida innovativa möjligheter och forskningsbehov speciella för högprestandabyggnader med låg energiefterfrågan, där inomhusmiljökvaliteten är fördelaktig för att skapa nära-nollenergibyggnader. Av den orsaken rekommenderas följande akuta områden:

- Kunskap och definition
  - Övergripande kunskap om vilka faktorer i en befintlig byggnad som kan påverka den totala energi- och inomhusklimatprestandan från brukares synvinkel;
  - Bilda en gedigen uppfattning om de faktorer som påverkar anställdas produktivitet i kommersiella byggnader.
- Mätdata och insamling
  - Långtidsuppsikt över inomhusklimat och energiprestanda samt ett system för att samla in brukares åsikter;
  - Tillförlitliga exakt data framförallt i relation till större datainsamlingar;

- Användning av smarta givare och Internet of Things (IoT) till framtida byggnads- och brukardatainsamlingar
- Modellutveckling
  - Utveckla och förbättra valideringsmodeller och verktyg lämpliga för de tidiga planeringsskedena så att formgivare och ingenjörer kan förutsäga trivsel och välmående baserat på generella teorier och faktabaserade modeller.
- Byggnadsprestanda för inomhusklimat och energiprestanda
  - Kvantifiera mervärdet av förbättrad trivsel, hälsa och produktivitet med syftet att utvärdera byggnaders prestanda i andra avseenden än endast energi;
  - Skapa indikatorer för byggnadsprestanda för att stötta beslutsfattare att vilja betala för dräglig inomhusmiljöer.

Ovan visas exempel på områden som bör åtgärdas snarast, t ex datainsamling och fullskaliga mätningar. Datainsamling kommer bli en givande resurs för att kunna identifiera kunskapsluckor. En annan viktig fråga som bör adresseras snarast är hur man mäter brukares produktivitet på ett exakt och praktiskt tillvägagångssätt. Datainsamling är avgörande för att noggrant kunna utvärdera fördelarna med förbättrad inomhusmiljö både för samhälle och ekonomi. Det är även avgörande att tillhandahålla lämpligt utbildningsmaterial och träning för brukare, i syftet att öka och behålla kännedom om energisparande möjligheter samt bibehålla ett hälsosamt och bekvämt IEQ. I nya eller renoverade lågenergibygnader kommer brukares inflytande bli mer och mer viktig för att uppnå planerad prestandanivå. En viktig forskningsfråga för allmänheten i stort är att fastställa mönster och drivkraft bakom energi- och trivselprestanda i byggnader. Samtidigt bör man, som utmanadedriven långtidsforskning, satsa på att övergripande kvantifiera och förutsäga brukarcentrerad byggnadsprestanda, och tillhandahålla riktlinjer och metodologier för relevanta aktörer och forskare.

## 4.7 Referenser

- Abbaszade, S., Zagreus, L., Lehrer, D. and Huizenga, C. (2006). Occupant Satisfaction with Indoor Environmental Quality in Green Buildings. In: *Healthy Buildings 2006*. Lisbon, June 4-8.
- ASHRAE. (2010). Interactions affecting the achievement of acceptable indoor environments, second public review. Atlanta GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE 55: 2013. Thermal environmental conditions for human occupancy.
- ASHRAE 62.1: 2013. Ventilation for acceptable indoor air quality.
- ASHRAE 90.1: 2016. Energy standard for buildings except low-rise residential buildings.
- ASTM. Standard guide for using indoor carbon dioxide concentrations to evaluate indoor air

- quality and ventilation, D6245-98, 2003.
- ASHRAE. (2010). Performance measurement protocols for commercial buildings. Atlanta, GA, 2010.
- Brill, M. (2001). Disproving Widespread Myths About Workplace Design. Jasper, IN: Kimball International, 2001.
- Bluyssen, P.M., de Oliveira Fernandes, E., Groes, L., Clausen, G., Fanger, P.O., Valbjørn, O., Bernhard, C.A. and Roulet, C.A. (1996). European indoor air quality audit project in 56 office buildings. *Indoor Air*, 6, pp.221-38.
- Bluyssen, P.M., Aries M. and van Dommenlen P. (2011). Comfort of workers in office buildings: The European HOPE project. *Building and Environment*, 46, pp. 280-288.
- Boverket. (2016). Boverkets byggregler- Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd), BFS 2011:6- BBR 18.
- CEC. (2004). The European environment and health action plan 2004-2010, COM (2004) 416 final, pp. 1-729.
- Chiang, C.M. and Lai, C.M. (2002). A study on the comprehensive indicator of indoor environment assessment for occupants' health in Taiwan. *Building and Environment*, 37: 387-392.
- Collinge, W., Landis, A.E., Jones, A.K., Schaefer, L.A. and Bilec, M.M. (2013). Indoor environmental quality in a dynamic life cycle assessment framework for whole buildings: Focus on human health chemical impacts. *Building and Environment*, 62: 182-190.
- CA EPBD. (2015). Overview of national application of the Nearly Zero-Energy Building (NZEB) definition. EPBD.
- CA EPBD. (2015). Towards 2020: Nearly Zero-Energy Buildings \_ Overview and Outcomes. EPBD.
- de Dear, R.J., Brager, G.S. and Cooper, D. (1998). Developing an adapting model of thermal comfort and preferences, ASHRAE RP-884 final report. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- EPBD. (2013). Implementing the Energy Performance of Buildings Directive: Featuring country reports. Porto: ADENE.
- EurWORK. (2010). Absence from work-Sweden. [Online] Available at:



<https://www.eurofound.europa.eu/observatories/eurwork/comparative-information/national-contributions/sweden/absence-from-work-sweden> [Accessed 4 Apr.2017].

EN 15251. (2007). Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustic.

EN 12665. (2002). Light and lighting – Basic terms and criteria for specifying lighting requirements.

EN ISO 3382-3. (2012). Acoustics- Measurement of room acoustic parameters.

Fanger, P.O. (1998). Olf and decipol: new units for perceived air quality. *Building Services Engineering Research and Technology*, 9, 155–157.

Fisk, W.J. (2000). Health and productivity gains from better indoor environments and their relationship with building energy efficiency, *Annu. Rev. Energy Environ.*, 25, 537–566.

Frontczak, M. and Wargocki, P. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment*, 46(4), pp.922-937.

Fabi, V., Andersen, R.V., Corngnati, S. and Olesen, B.W. (2012). Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. *Building and Environment*, 58, pp. 188-198.

FiSIAQ (Finnish Society of Indoor Air Quality and Climate). (2010). *Classification of Indoor Climate 2008: Target Values, Design Guidance and Product Requirements*, Espoo, Finland.

Guerra-Santin, O. and Itard, L. (2010). Occupants' behavior: determinants and effects on residential heating consumption. *Building Research and Information*, 38 (3), pp. 318-338.

Hong, T.Z., Yan, D., D'Oca S., Chen, C. (2017). Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture. *Building and Environment*, 114, pp. 518-530.

REHVA associations, Federation of European Heating and Air conditioning Associations. (2013).

REHVA nZEB technical definition and system boundaries for nearly zero energy buildings. Belgium, REHVA.

REHVA associations, Federation of European Heating and Air conditioning Associations. (2012). Design of energy efficient ventilation and air-conditioning systems. Belgium, REHVA.

REHVA associations, Federation of European Heating and Air conditioning Associations. (2012).HVAC

in sustainable office buildings. Belgium, REHVA.

REHVA associations, Federation of European Heating and Air conditioning Associations. (2011).  
Indoor Climate Quality Assessment - Evaluation of indoor thermal and indoor air quality.  
Belgium, REHVA.

REHVA associations, Federation of European Heating and Air conditioning Associations. (2007). Low  
temperature heating and high temperature cooling. Belgium, REHVA.

REHVA associations, Federation of European Heating and Air conditioning Associations. (2006).  
Indoor climate and productivity in offices. Belgium, REHVA.

Jeeninga, H., Uyterlinde, M. and Uitzinger, J. (2001). Energy Use of Energy Efficient Residences,  
Report. ECN and IVAM, Pelten.

Kats, G, Alevantis, L, Berman A, Mills, E. and Perlman, J. (2003). The costs and financial benefits of  
green buildings. Report to California's sustainable building task force. Washington DC, USA.

Kim, J. and de Dear, R.J. (2013). Workspace satisfaction: the privacy-communication tradeoff in  
open-plan offices. *J Environ Psychol*, 2013, 36:18-26.

Marino, C., Nucara, A. and Pietrafesa, M. (2012). Proposal of comfort classification indexes suitable  
for both single environments and whole buildings. *Building and Environment*, 57, pp.58- 67.

Masoso, O.T. and Grobler, L.J. (2010). The dark side of occupants' behaviour on building energy  
use. *Energy and Buildings*, 42 (2), pp. 173-177.

Majcen, D., Itard, L. and Visscher, H. (2016). Actual heating energy savings in thermally  
renovated Dutch dwellings. *Energy Policy*, 97, pp. 82-92.

Nilsson, P.E. (2003). Achieving the desired indoor climate. Denmark: Studentlitteratur.

Nordic Council of Ministers. (2007). TemaNord, ISSN 0908-6692:613, pp. 72-73. Denmark:  
Ekspresen Tryk & Kopicenter Pressed.

Pellerin, N. and Candas, V. (2004). Effects of steady-state noise and temperature conditions on  
environmental perception and acceptability, *Indoor Air*, 14 (2): 129–136.

Sveriges Officiella Statistic. (2016). Table and graphs. [Online] Available at:  
[http://www.scb.se/en/finding-  
statistics/statistics-by-subject-area/labour-market/sick-pay/short-term-business-statistics-on-  
sick-pay/](http://www.scb.se/en/finding-statistics/statistics-by-subject-area/labour-market/sick-pay/short-term-business-statistics-on-sick-pay/) [Accessed 4 Apr.2017].

- Singh, A., Syal, M., Grady, S.C. and Korkmaz, S. (2010). Effects of green buildings on employee health and productivity. *Am J Public Health*: 100 (9), pp. 1665.
- Schiavon, S. and Altomonte, S. (2014). Influence of factors unrelated to environmental quality on occupant satisfaction in LEED and non-LEED certified buildings. *Building and Environment*, 77, pp. 148-159.
- Sonderegger, R.C. (1977). Movers and stayers: the resident's contribution to variation across houses in energy consumption for space heating. *Energy and Buildings*, 1 (3), pp. 313-324.
- Steinemann A., Wargocki P. and Rismanchi B. (2017). Ten questions concerning green buildings and indoor air quality. *Building and Environment*, 112, pp. 351-358.
- SS 25267: 2015 Byggakustik Ljudklassning av utrymmen i byggnader. Bostäder.
- SS 25268: 2008. Byggakustik - Ljudklassning av utrymmen i byggnader - Vårdlokaler, undervisningslokaler, dag- och fritidshem, kontor och hotel.
- SFS 2010: 477. Luftkvalitetsförordning.
- SWEDVAC, (2013). R1-Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav, VVS Tekniska Föreningen, SWEDVAC, Stockholm, Sweden.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1994). *Indoor Air Pollution: An Introduction for Health Professionals*. U.S. Government Printing Office Publication, EPA 402-R-94-007.
- US Department of Energy official website, 2017. [Online] Available at: <https://energy.gov/energysaver/thermostats> [Accessed 12 November.2017]
- van de Ven, D. J. and Fouquet, R. Historical energy price shocks and their changing effects on the economy. (2017). *Energy Economics*, 62, pp. 204-216.
- WHO. (2004). Regional office for Europe. Declaration, EU/04/5046267/6.
- Zalejska-Jonsson, A. and Wilhelmsson, M. (2013). Impact of perceived indoor environment quality on overall satisfaction in Swedish dwellings. *Building and Environment*, 63, pp.134-144.
- Wolkoff, P. (2013). Indoor air pollutants in office environments: assessment of comfort, health, and performance. *Int. J. Hyg. Envir. Heal*, 216 (4), pp.371–394.
- World Green Building Council. (2014). *Health, Well-being & Productivity in Offices\_ the next chapter for green building*.

Wallace, L.A., Emmerich, S.J. and Howard-Reed, C. (2002). Continuous measurements of air change rates in an occupied house for 1 year: The effect of temperature, wind, fans, and windows. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 12, pp. 296-306.

Yousef, A. H., Mohammed, A., Martha, K., Ahmed, M., Amit, K. and Esam, E. (2016). Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5, pp.1-11.

Yudelsen, J. (2008). *The green building revolution*. Washington, DC, USA: Island Press.

## 5 Hållbar Renovering

### 5.1 Sammanfattning

Renovering är varken risk- eller invändningsfritt särskilt i samband med energieffektivisering. Även enkla åtgärder kan rubba byggnadens funktion, påverka fuktbalanser, orsaka komfortbekymmer och påverkar byggnadens estetiska kvaliteter. Byggnader behöver heller inte vara särskilt gamla för att ha ett kulturhistoriskt värde som ska tas till vara. Vid renovering eller ombyggnad är det därför nödvändigt att kunna analysera huset som en helhet med brukare, fastighetsförvaltare, byggnadsteknik, installationstekniska system, styr- och reglersystem, energisystem, ombyggnadsprocess och samhällskrav utifrån krav på exempelvis funktion, energianvändning, inomhusklimat, fuktsäkerhet, konvertering och kulturskydd. Många olika slags byggnader behöver renoveras och därför har i detta kapitel jämförelser gjorts mellan kontor och framför allt bostäder och skolor. Skillnader finns men likheterna är också många, speciellt om frågeställningarna kopplar till mätning och automatisering. Framför allt behövs forskning där mätningar och erfarenheter från empiri, alltså verkliga renoveringsprojekt, ligger till grund för att tillsammans med teori optimera renoveringsprocessen i allt från statusbestämning till drift. För att nå hit behövs dessutom ett statistiskt betraktelsesätt där många utvärderade projekt måste vara med och bygga upp kunskapen. Även forskning om driftsfasen är ett vitt fält och det gäller såväl kontor som andra byggnadstyper.

Nyckelord: Informationsbehov, gap, holistisk, tvärdisciplinär, drift, underhåll, hållbarhet,

### 5.2 Inledning/ bakgrund

Över en miljon lägenheter i flerbostadshus i Sverige behöver renoveras inom en relativt snar framtid. Flerbostadshusen från rekordåren runt 1961-1975 de närmar sig en ålder när den tekniska livslängden är slut. Dessutom är de många. Ungefär en miljon bostäder behöver renoveras inom de kommande tjugo åren. Renoveringsindustrin omsätter stora belopp. Motsvarande renoveringsbehov finns bland lokalbyggnader bland annat eftersom den kommunala expansionen med skolor, dagis, fritidsanläggningar var som störst under 60- och 70-talet liksom utbyggnaden av sjukhus. Installationssystemen har kortare livslängd än stomme och klimatskal och utlöser ofta renoveringsbehovet, vilket bland annat handlar om stambyten och att ersätta uttjänta system för ventilation och värme. Samtidigt ligger en stor del av energibesparingspotentialen i installationssystemen och de VVS-tekniska komponenterna. Därmed spelar dessa en viktig roll i renoveringsprocessen och hållbarheten samtidigt som automation och moderna styr- och reglersystem ger oanade möjligheter. De ombyggnadstillfällen som uppstår till följd av uttjänta installationssystem bör utnyttjas för byggnadsteknisk upprustning och för att genomföra energiåtgärder så att vi har en chans att klara energi- och klimatmål

Renovering är varken risk- eller invändningsfritt särskilt i samband med energieffektivisering. Även enkla åtgärder kan rubba byggnadens funktion, påverka fuktbalanser, orsaka komfortbekymmer och påverkar byggnaders estetiska kvaliteter. Byggnaderna behöver heller inte vara särskilt gamla för att ha ett kulturhistoriskt värde som ska tas till vara. Vid ombyggnad är det därför nödvändigt att kunna analysera huset som en helhet med brukare, fastighetsförvaltare, byggnadsteknik, installationstekniska system, styr- och reglersystem, energisystem, ombyggnadsprocess och samhällskrav utifrån krav på exempelvis funktion, energianvändning, inomhusklimat, fuktsäkerhet, konvertering och kulturskydd. Riskerna med att energieffektivisera utan tillräckliga utredningar och kunskap blev vi varse under energikrisen på 70-talet. Energibesparande åtgärder gav snabbt resultat

men gav också oönskade konsekvenser i form av problem som fuktrelaterade skador, mögel, dålig luftkvalitet, buller, ökat elberoende och förfulning.

Kunskap, erfarenheter och praktiska exempel saknas inte när det gäller renovering och energieffektivisering. Det är fullt möjligt att nå långt i en lyckad renoveringsprocess, men få har kompetens att hålla ihop och genomföra en optimalt planerad renovering. Under 70- och 80-talet satsades på forskning och utvecklingsarbete vid universitet, högskolor och industri och fram till 90-talet fanns kunskapen i projekten. Idag är kunskapen starkt fragmenterad och svåråtkomlig för yrkesverksamma förvaltare, projektledare, projektörer och entreprenörer och det har skapats kunskapsluckor. Under ett drygt decennium har effektiviseringskunskaper inte efterfrågats på grund av låga energipriser och därmed låga driftkostnader. Även om det är installationerna som utlöser renoveringsbehovet är det nödvändigt med tvärvetenskapliga kopplingar och samarbete mellan discipliner för att skapa en fungerande och optimal helhet. Tyvärr är det sällan som en renovering föregås av alla nödvändiga analyser med tanke på att energibesparing ska optimeras utifrån lönsamhet tillsammans med kvaliteter som fuktsäkerhet, inomhusmiljö, funktioner, utförande och förvaltning. Det kommande stora renoveringsbehovet innebär nya krav på förvaltare, konsulter, byggtreprenörer, installationsentreprenörer och materialleverantörer. Detta gäller inte bara när det gäller val av tekniker utan också att utifrån en helhet inkludera ekonomi, ombyggnadsmetoder, projekteringsmetoder och socioekonomiska frågor. Möjligheterna med styr- och reglersystem med inbyggda funktioner för mätning och analys borde underlätta denna process och inte minst lärandet och optimerandet från projekt till projekt.

Olika typer av byggnader behöver renoveras. Exempel på byggnadstyper som behöver renoveras är flerbostadshus, småhus, kontor, skolor och industribyggnader. Dessa olika typer har olika förutsättningar även om många förutsättningar är samma. När det gäller kontor är det troligt att det är lättare att finansiera åtgärder samtidigt som byten av hyresgäster sker på ett sådant sätt att större ombyggnader krävs och då följer renoveringen med på köpet. För kontor som används i näringslivet är byggnadens livscykelkostnad liten i förhållande till verksamhetens kostnad. För skolor är detta förhållande annorlunda så att omsättningen i verksamheten inte är så stor i förhållande till byggnadens livscykelkostnad och för bostäder, där potentialen är stor för hållbara åtgärder genom den mängd som finns i samhället, kan man inte riktigt prata om någon verksamhetsomsättning utan all kostnad är byggnadens livscykelkostnad och den ska tas från de boendes skattade pengar. Detta innebär rimligen en större experimentlust vid renovering av kontor, men inte nödvändigtvis att uppföljningar blir gjorda bara för att de mer installationstunga kontoren normalt erbjuder bättre mätmöjligheter.

Detta kapitel avser att kartlägga aspekter kring hållbar renovering med en del jämförelser mellan framför allt lokaler, bostäder och skolor samt peka ut luckor och möjligheter, inte minst med tanke på framtida understöd för mätningar genom byggnadsautomation.

### 5.3 Kunskapsläge

Litteratur har sökts för renoveringsfrågor med avseende på hållbarhet och olika byggnadstyper. På så sätt kan vissa jämförelser mellan lokaler och bostäder göras. I följande underkapitel presenteras resultat från litteraturstudien.

Det finns flera litteraturrecensioner som är relevanta för renovering av flerfamiljshus. Studier av Haapio och Viitaniemi (2008) samt av Thuvander et al. (2012), behandlar befintliga metoder för att uppnå en hållbar byggd miljö. Den förra fokuserar på miljöcertifieringssystem för flerfamiljshus i tempererat klimat, men inte specifikt tillämpat på renoveringar. Den senare fokuserar emellertid på renoveringar speciellt om flerfamiljshus i tempererat klimat. Som tidigare ingår även miljöcertifieringssystem, men innehåller dessutom andra strategier som kan tillämpas i renoveringsprojekt. De strategier som ingår i Thuvander et al. syftar till att underlätta beslutsprocessen i ett renoveringsprojekt. Förutom de ovan nämnda recensionerna finns också referenser som fokuserar på specifika problem som är relevanta för renoveringar, till exempel specifika faser av byggnadens livslängd eller renovering som en process. En sådan studie av Friege och Chappin (2014) syftar till att förstå vad som behövs för att öka antalet renoveringar som syftar till energieffektivisering.

Den litteratur som rör bostäder som sammanfattas här går att ta del av med fullständig referenslista (Abdul Hamid, 2017). Tanken har varit ett bredare tillvägagångssätt än de ovan nämnda studierna genom att inkludera fler aspekter som är relevanta för renovering. För renovering är ett typiskt första steg att bestämma byggnadens status, den andra är vanligtvis att besluta om en renoveringsstrategi och den tredje att bestämma om den specifika renoveringsåtgärden.

Vi har valt ut publikationer som vi har funnit direkt eller indirekt relevanta för renovering inkluderande vetenskapliga artiklar, accepterade manuskript, svenska avhandlingar och rapporter från projekt i Sverige. All litteratur som granskats har skrivits på engelska eller svenska. Här redovisas endast sammanfattningar av resultaten. Genom provsökningar har Science Direct och Scopus valts ut. Sökord har varit ord som kopplar till system, holistisk, hållbar och renovering, och publikationer från och med 1999 har tagits med. Därefter har informationen kategoriserats så att man kan bedöma var i renoveringsprocessen studien är relevant respektive vilka åtgärder som behandlas. Vad gäller flerbostadshus hittas 234 publikationer som uppfyller alla sökkriterier, och de flesta publikationerna kommer från senare delen av perioden. Vad gäller kontorsbyggnader hittas 310 publikationer som uppfyller alla sökkriterier medan 174 av dessa innehåller ord som kopplar till automation eller mätning. Sökning om renovering av skolor genererar 101 publikationer och av dessa kopplar 74 till ord som kopplar till automation och mätning.

Sammanlagt 57 referenser för flerbostadshus studerar statusbestämning, där mätningar har en viktig roll, där majoriteten avser byggnader i Nordeuropa följt av Väst- och Östeuropa samt Nordamerika. De flesta publikationer berör energiprestanda följt av inomhusmiljö medan frågor som vattenskadesäkerhet lyser med sin frånvaro. Ekonomiska aspekter är också vanliga. En del publikationer visar statistiska indata, som är viktigt vid en statusbestämning. Statusbestämningar på byggnadsskala respektive komponentskala behövs för stöd till nya lagstiftningar och policies, val av renoveringsstrategier samt fastställande av lämpliga renoveringsåtgärder. Dessutom kan indata som tas fram vara ett underlag för simuleringar och beslutsstödsverktyg. Ett exempel på sådan studie är Boverkets Betsi-undersökning. De simuleringar som utförs har stort fokus på energi. Fukttransport, inomhusmiljö, ekonomi, livscykelkostnader etc. har ett betydligt mindre fokus.

Det kan konstateras att en tydlig skillnad mellan studier som behandlar renoveringsstrategier är fokus på bred eller djup. Ett brett, holistiskt tillvägagångssätt riskerar att bli för grunt för att lösa upp de detaljer som är viktiga. Totalt 115 referenser kopplade till flerbostadshus behandlar renoveringsåtgärder. Huvuddelen av dessa gäller renoveringsåtgärder som på något sätt påverkar byggnadsskalet som isolering och förbättring av lufttäthet. Något ovanligare är studier på åtgärder på

installationerna som uppgraderingar till mekaniska ventilationssystem med värmeåtervinning, installation av varmvattenanvändningsmätare och utbyte av gamla värmepumpar. Andra åtgärder består till största del av solteknologi, både vad gäller el och värme, samt LED-belysningsåtgärder. Enstaka studier berör estetiska förändringar, hyresgästers beteende och hyresgästers engagemang.

Förbättring av byggnadsskalet samt värmeåtervinning i ventilationssystem är viktiga för hållbarhet, energianvändning och effektbehov, men också inom miljön.

En hållbarhetsaspekt som är ganska viktig för renoveringar i tempererat klimat är fuktsäkerhet. Detta är särskilt viktigt för åtgärder på byggnadsskalet som skiljer inomhus- och utomhusklimatet. Det finns få publikationer som analyserar hygrottermiska effekter av renoveringsåtgärder. Det finns ännu färre som faktiskt analyserar fuktriskerna.

Även om konstantflödeventilation med värmeåtervinning är den vanligaste installationstekniska åtgärden som har analyserats i publikationerna för flerbostadshus, är det med den som med andra energiåtgärder ytterst få referenser som utvärderar nyttan baserat på mätningar före och efter. Behovet av detta är stort eftersom den komplexa process som det innebär att göra åtgärder med brukare ger stora statistiska variationer och därmed ett behov av omfattande empiriska resultat. Detta innebär en stor möjlighet om man har automatiska mätsystem och datoriserade möjligheter för utvärdering, och om man betraktar renoveringsåtgärder på lokaler så har det funnits fler sådana system att tillgå, och det finns också fler sådana publikationer som visar på utvärderingar där mätningar har använts.

I allmänhet är det dominerande syftet med forskningen i de undersökta publikationerna att minska energianvändningen. Energibesparing globalt är utan tvivel viktigt för all mänsklighet. Med minskning av energianvändningen reduceras även förorenande utsläpp och dess effekt på den yttre miljön. Energimålet kan därmed också betraktas som ett miljömål, men miljömål kan vara mer än så. Mängden publikationer har ökat med tiden och topparna på senare år i antalet publikationer kopplar till fokus på hållbar renovering och olika krav från bland annat EU och byggreglerna i Sverige.

De mätningar som har utförts verkar huvudsakligen avse temperatur och energi för flerbostadshus medan det finns fler parametrar för lokaler. Detta gäller både publikationer om statusbestämning och renoveringsåtgärder. I de analyserade renoveringsstrategierna är det ovanligt att inkludera mätningar. Att det mäts ganska lite kan bero på att det tar tid och innebär komplikationer i att många parametrar behöver mätas för att man ska kunna hantera tillräckligt många termer i effektbalansen. Så gott som alltid är parametrarna i effektbalansen ofullständigt mätta vilket innebär att man måste uppskatta eller gissa återstående parametrar och att det därmed är svårt att dra säkra slutsatser om åtgärders effekter. Det simuleras mer, troligen eftersom det är billigare och snabbare att utföra, men vi vet från jämförelser att simuleringar ger ett gap som det behöver forskas mer om mellan simulerat och verkligt utfall.

Nästan alla statusbestämningar har inkluderat data från databaser av nationell karaktär. Dessa data är viktiga för forskning, standarder och lagstiftning, och ännu behövs mycket data för att skapa förutsättningar för statistiskt arbete med hållbar renovering såväl som nybyggnad. Automatiserade mätsystem kommer att underlätta denna datainsamling i alla typer av byggnader.

Vad gäller renoveringsstrategier visar publikationerna på ett stort antal olika strategier. Detta förklaras delvis av att det finns olika behov hos olika aktörer och på grund av komplexiteten i ett renoveringsprojekt kan både breda och mer djupgående strategier vara fördelaktiga vid renovering.



Hur väl dessa strategier implementeras i renoveringsprojekt, utöver fallstudier, är inte tydligt i de analyserade publikationerna, men utan praktisk användning av strategierna går fördelen av dem förlorade. Kunskap från tidigare forskning och utförda renoveringar skulle kunna hindra framtida renoveringsprojekt från att upprepa gamla misstag. Vår studie visar att få av strategierna innehåller litteraturstudier som en del av strategimetodiken. Detta indikerar att kunskap från forskning sällan tas tillvara i strategierna. Det finns andra sätt att dra nytta av kunskap från tidigare forskning men hur väl detta sprids är oklart.

Inte många publikationer studerar driftsfasen, som trots allt spänner över den allra största delen av en byggnads livscykel. Mer forskning skulle behövas på driftsfasen, och det är under driftsfasen som möjligheten att samla data finns. Många strategier för renovering har ägarfokus, vilket kan vara naturligt eftersom renovering ofta initieras av ägaren i ett tidigt skede av byggprocessen.

Vad gäller renoveringsåtgärder som tas upp är kombinationer installationstekniska åtgärder och solteknik mer populära än passiva åtgärder som fasadisolering, läckagetätning, solskydd eller självdragsventilation. Vad gäller åtgärder på byggnadsskalet föredras utvändiga åtgärder framför invändiga, vilket oftast är bättre är fuktsäkerhetssynpunkt, men ändå bör fuktsäkerheten analyseras, vilket är mycket ovanligt i publikationerna som har hittats. Fukttillskottet är ånghalten inne minus ånghalten ute och det som driver fukttransport genom byggnadsskalet. Den beror på fuktproduktionen inne samt ventilationsluftflödet. I kontorslokaler visar mätningar på lägre fukttillskott än för bostäder, men skolor kan ha förhållandevis höga fukttillskott, vilket är att vänta med tanke på belastning och ventilationsflöde i respektive byggnadstyp. Därmed är kontor mindre känsliga för åtgärder i skalet med tanke på fuktrisker. Ytterst få mätningar av ånghalter och ångkvoter i skalet har utförts i samband med renoveringsprojekt. Sådana data skulle vara intressanta att få mer av med hjälp av automatiserade system, bland annat för att utröna spridningen beroende på utförandet av renoveringen.

Värmeåtervinningsåtgärder fokuserar på FVP- och FTX-system och värmepumpslösningar vad gäller bostäder, där väldigt lite går att hitta om behovsstyrda system. För lokaler fokuserar forskningen mycket mer på behovsstyrda system. Detta indikerar tydligt att forskningen är betald eller delvis betald eller styrd av industrin eftersom det rimligen är ett betydligt större behov av forskning på behovsstyrda system för bostäder än för lokaler där mycket kunskap redan finns, samtidigt som bostäder är många och potentialen stor. Dock kan man tro att marknaden anser att pengar saknas för sådana system. Behovsstyrda system har ofta givare som kan generera data för reglering, driftuppföljning och lagring vilket ger stora möjligheter. Dessa möjligheter utnyttjas i långt fler studier på lokaler än på bostäder, framför allt eftersom systemen finns i långt fler lokaler. Behovsstyrd ventilation i bostäder verkar vara vanligast i Norge. Å andra sidan är besparingspotentialen större med värmeåtervinning än med behovsstyrning, vilket kan förklara att fokus ligger i att repetera detta med tanke på bostäder, där också eventuellt inomhusmiljövinster kan göras med förvärmad tilluft.

Denna litteraturstudie har fokuserat på publikationer gjorda efter 1999 och mer kan säkert hittas om man gör en litteraturstudie som genomförs med fler databaser eller genomförs på landspecifik forskning samt undersöker befintliga nationella databaser för landspecifika byggmaterial och deras inverkan på renoveringsprocessen i dessa länder.

Till slut visas nedan titlar för pågående eller avslutade forskningsprojekt om hållbar renovering som har samlats på [renoveringsinfo.se](http://renoveringsinfo.se) för att sprida information om pågående svensk renoveringsforskning.

- Energy measures in a culturally protected concert hall
- Business models in sustainable public housing renovation
- Renoveringsprocessen
- Renoveringsbarometern
- Om-renovering: Helhetsperspektiv på energieffektivitet, kulturvård, bruk och förvaltning när flerfamiljshus skall renoveras för andra gången
- Renovation of brick buildings constructed 1870-1930: Investigations of the thermal envelope in renovated and re-renovated dwellings
- A Framework for Sustainable Renovation in the Inventory Phase: A case study in Gamlestaden, Gothenburg
- Consequences of deviations between simulated and measured energy use in retrofitted projects
- Energimässig och geografisk jämförelse av FTX och FX system
- Olika uppvärmningslösningars klimat- och resurspåverkan beroende på renoveringsstrategi och geografisk lokalisering inom Dalarna
- Nyanländas hushållsenergianvändning inom miljonprogramområdet
- Synsättet på förnyelsebara elkällor inom fastighetsbranschen
- Lufttätthet vid renovering: Identifiering av luftläckage samt åtgärdsförslag
- Energieffektivisering av klimatskal – miljonprogrammets flerbostadshus, Tjärna Ängar, Borlänge
- Förstudie - Energieffektivisering och bevarande av modernismens flerbostadshus (1945-1960)
- Boendes acceptans av omfattande energirenovering av flerbostadshus – IEA EBC Annex 56
- Kostnadseffektiv energi- och CO<sub>2</sub>-emissionsoptimering av renovering av byggnader – IEA EBC Annex 56
- Energy efficient retrofit measures State-of-the-art and the renovation potential of a Million program multi-storey buildings in Sweden
- Systematisk utvärdering av hållbarhet vid renovering (Renobuild 2)
- Förslag på justeringar av ByggaF för att förbättra nuvarande användning samt anpassa den till renoveringsprocessen
- Co-designing Safety –Using co-creation processes to approach gender and safety issues.
- Business models in sustainable public housing renovation
- Ventilationsåtgärder i kulturbyggnader
- Energy-efficient renovation and thermal comfort assessment of Swedish single-family residential buildings from the Million Program
- Renovering av småhus till passivhus
- LEAF - Low Energy Apartment Futures
- EFFESUS - Energy Efficiency for EU Historic Districts' Sustainability
- Potential och policies för energieffektivisering i svenska byggnader byggda före 1945
- Förbättrade simuleringar och uppföljning av energianvändning i byggnader genom regression
- Energy retrofit of an office building in Stockholm: current primary system performance analysis and strategies to optimize its operation

- Varsam energieffektiv renovering -Tjärna ängar
- Energy retrofit of an office building in Stockholm: feasibility analysis of an external wall insulation system
- Arvet efter BFR - skanning av R-serien
- Arvet efter BFR - katalogdatabas
- Renew School
- Plattformsorganisation för renoveringsprocesser
- Retrokit – Toolboxes for systemic retrofitting
- TURIK Rationell isolering av ytterväggar och fasader för befintliga flerbostadshus
- Indikatorer och verktyg för utvärdering av sociala aspekter på olika renoveringsscenarier
- Milparena – innovativa åtgärder för energieffektivisering av byggnadsskal och installationer
- BEEM-UP – Building Energy Efficiency for a Massive market Uptake
- H-HOUSE – Heathier Life with Eco-Innovative Components for Housing Constructions
- Hållbar renovering av miljonprogrammets fasader – Utvärdering av textilarmerad betong
- SESBE – Smart Elements for Sustainable Building Envelopes
- THUVA II - Temperatur, hushållsel och tappvatten
- THUVA – Innetemperatur, hushållsel och tappvatten
- Tillståndsbedömning av våtrumsinstallationer och tätskikt med hjälp av förstörande provning
- Skadeförebyggande processer och teknik för rörinstallationer och våtrum för minskade vattenskador i byggnader
- Behovsstyrd ventilation med väremåtervinning
- UPPGRADERING AV DEN BEFINTLIGA BEBYGGELSENS ENERGI
- Produktivitet och hållbar ombyggnad
- Miljöstyrning av renoveringsprocessen
- Kapillärstyrt putssystem
- Renobuild – Hållbar renovering av byggnader med hjälp av ett beslutsverktyg
- Square
- Byggnadstillstånd som underlag för renovering

## 5.4 Aktörer och nätverk

### 5.4.1 Information och målgrupper

Vid intervjuer av personer i näringslivet framgår att det finns ett stort behov av kvalitetssäkrad information för att det ska bli bättre renoveringsprocesser. Många har också intresse av nyhetsinformation, men då det är viktigt att man kan förstå att nyhetsinformationen kan sakna generaliserbarhet. Även om energianvändning ofta är i fokus inser allt fler att de behöver information om helhetsperspektivet.

Fastighetsägarna och brukarna är särskilt viktiga målgrupper. Fastighetsägare väldigt olika förutsättningar för att genomföra goda projekt beroende på om man verkar i en tillväxtort eller centralort alternativt förort eller avfolkningsort med vikande marknad. Behoven av stöd, nätverk och kompetens är olika beroende på var man verkar samt vilka möjligheter rent ekonomiskt och organisatoriskt som man har.

Beslut om att bygga eller renovera tas i företagsledningen. Det bedöms därför att det har avgörande betydelse att utforma och rikta information till styrelser och företagsledningar. Sådan information bör innehålla beskrivningar av tekniska möjligheter, hur synergi kan uppnås med lämpliga åtgärds-kombinationer, hur byggprocessen kan genomföras med hyresgästerna kvar och hur brukarfrågor kan hanteras, ekonomiska förutsättningar, innemiljö- och inneklimatkonsekvenser av olika åtgärder, hur en byggnads framtida underhåll påverkas, hur en byggnad blir attraktivt, hur kulturhistoriska värden bevaras och hanteras mm. Hållbarhetsfrågor behöver lyftas ur alla perspektiv. En företagsledning måste också försäkra sig om att de företag och medarbetare som ska svara för genomförandet har erforderlig kunskap och kompetens. En företagsledning behöver råd om hur kravspecifikationer för upphandling formuleras och tydliga instruktioner om hur olika prestanda ska verifieras.

Information behöver anpassas olika för olika typer av företag beroende på storlek och vilken kompetens som finns. Särskilt stort informations- och kunskapsbehov bedömer vi finns hos mindre fastighetsägare och fastighetsförvaltare, i huvudsak mindre kommunala bolag, bostadsrättsföreningar och villaägare.

Nedan följer exempel på olika typer av fastighetsägare som har olika kompetens och behov av riktad information.

- Kommunala/allmännyttiga fastighetsbolag
  - Speciellt de stora har ofta kunskap och erfarenheter, som det är av vikt att försöka inhämta och ta med i informationen.
  - Behovet av kunskap bedöms i första hand vara kvalitetssäkrad information, där bland annat synergieffekter mellan olika åtgärder behandlas. Vad blir rätt och vad blir fel?
  - Brukarna av byggnaderna behöver adresseras
- Privata fastighetsbolag, där de, om de är stora, har behov som liknar de kommunala.
- Mindre, privata fastighetsägare
  - Förutom kvalitetssäkrad information behövs information om vart man vänder sig i olika frågor.
- Bostadsrättsföreningar – rör ej kontor eller lokaler i någon större omfattning
  - Bostadsrättsföreningar saknar ibland byggteknisk kunskap och ofta också kunskap i övriga ämnesområden som ekonomi och brukaraspekter. Det gör att det både behövs kvalitetssäkrad information och information om lämpliga processer och tillvägagångssätt, som vart man vänder sig.

Information måste också riktas direkt till utförare. Varje utförare har ofta ett begränsat ansvarsområde och särskild specialistkompetens. För ett bra resultat vid en renovering krävs god kunskap om hur olika åtgärder ska utföras men också hur de påverkar och samverkar med varandra. Det är viktigt att både se vilka möjligheter men också vilka risker som finns. Förståelsen mellan olika specialiteter behöver förbättras. Nedan följer exempel på aktörer som behöver kunskap.

- Entreprenörer
  - Vid renoveringar och energieffektiviseringar samverkar i allmänhet ett stort antal entreprenörer med olika uppgifter. Även stora entreprenörer anlitar oftast flera mindre underentreprenörer. Exempel på olika entreprenörer är bygg- och installationsentreprenörer, våtrumsentreprenör, fasadentreprenör och

målningstreprenör. Ett bra resultat förutsätter viss kunskap och kännedom om varandras kompetenser. Samverkan är angelägen och förståelse för konsekvenser av olika ingrepp i ett hus har avgörande betydelse. T.ex. håltagningar för ledningar måste göras så att brandsäkerhet och luftläckning förhindras mellan lägenheter för annars kan såväl inneklimat (luktspridning) som funktion hos en ventilationsanläggning äventyras. Det är också viktigt att utveckla byggprocessen så att störningar för boenden begränsas och att byggtider kan kortas.

- Även här återkommer behovet av kvalitetssäkrad information. Fokus för denna kategori måste vara information om kvalitet och noggrannhet utförandedet. Med bra information och kunskapsuppbyggnad för entreprenörer stärks branschens konkurrenskraft.
- Konsulter och arkitekter
  - Konsulterna – bygg, VVS m.fl. – dimensionerar och konstruerar tekniska lösningar. Kvalitetssäkrad information behövs som ett underlag för kvalitet på lösningar samt nytänkande och möjligheter. Djup kunskap behövs för att förstå hur olika tekniska lösningar samverkar till ett i alla avseenden ett bra hus.
  - Konsulter och arkitekter bedömer vi behöver adresseras så att enskilda anställda kan dra nytta av informationen.
- Material- och komponentleverantörer
  - Materialindustrin är ofta aktiv med att marknadsföra sina produkter. Det är angeläget att deras produkter och komponenter används på ett korrekt sätt och att de fungerar tillsammans med övriga material och produkter speciellt i renoveringssammanhang tillsammans med äldre bygg- och installationsteknik.
- Drift- och förvaltning
  - Drift- och förvaltningspersonal har nyckeluppgifter för en väl fungerande drift av husen. För bra resultat måste kunskapen hos dessa anpassas till de tekniska och organisatoriska lösningar som tillämpas vid renoveringen. Det är därför angeläget att kommunicera lösningar och åtgärder med driftspersonalen så att optimal drift kan förväntas. Det är nödvändigt att olika konsulter kommunicera och säkerställer rätt skötsel av föreslagna åtgärder.

Vi bedömer att olika samhällsorgan och aktörer som berörs av renoveringsprocessen har nytta av fördjupade kunskaper och bättre förståelse för vad nybyggnad och renovering kan innebära och vilka konsekvenser det kan få för t.ex. ett bostadsområde. Nedan följer exempel på

- Myndigheter
  - Kvalitetssäkrad information med bas i resultat från projekt ger underlag för regelverk, standarder och eventuella stimulerande åtgärder.
- Kommuner
  - Genom de kommunala energi- och klimatrådgivarna, som ändå bör adresseras separat på olika sätt i informationsspridningen, ges råd till allmänheten och då är det återigen kvalitetssäkrad information, framför allt om småskaliga lösningar.
  - Kommunerna ägnar sig också åt plan-, bygglovs- och uppföljningsprocesser av bebyggelse och behöver kvalitetssäkrad information om sådant som rör dessa processer. Speciellt intresse bör finnas av sociala aspekter.
- Brukare

- Brukarna är en viktig aktör i byggprocessen, inte minst vid renovering, eftersom hela byggnaden syftar till att uppfylla deras behov. Information bör riktas direkt till brukare så att de förstår konsekvenserna av åtgärder och genomförandeprocessen bättre.
- Forskare
  - Forskarna behöver kvalitetssäkrad information i ett led att utveckla kunskapen, men att forskare inte behöver fokuseras på särskilt utan att de får ta till sig av andra målgruppers information.
- Finansierings- och värderingsinstitut samt försäkringsbolag
  - Det är av vikt att de aktörer som värderar och finansierar åtgärder och byggnation har en kunskap om olika åtgärders resultat. Även här är intresset stort för kvalitetssäkrad information, speciellt med fokus på ekonomi och kostnadseffektivitet. Detsamma gäller försäkringsbolag, vars fokus bedöms vara mer på funktion, underhållsbehov och hållbarhet över tiden.

Övriga intressanta målgrupper är

- Politiker, långsiktiga beslut, forum för att informera om underlagen för dessa beslut
- Bygghandeln
- Byggnämnder i kommuner
- Länsstyrelser
- Besiktningsmän, kontrollansvarig, energideklaranter
- Branschorganisationer
- Antikvarier
- 

#### 5.4.2 Nätverk

Kompetenser är viktiga och här blir inte minst det nya Informationscentrum för bebyggelse som är en fortsättning på Renoveringsinfo en avgörande källa genom alla nätverk som detta centrum har tillgång till. Direkt eller indirekt deltagande organisationer i detta nationella informationscentrum med fokus bland annat på renovering är

- Svensk Byggtjänst
- NRC – Nationellt Renoveringscentrum
- IVL
- RISE
- SUST
- Sveriges Energikontor

Exempel på deras tillgängliga nätverk är

- SIREn
  - Lunds universitet, LTH, Chalmers, KTH, LTU, UMU, Rise, Högskolan i Dalarna, Uppsala universitet, Malmö högskola,
  - Archidea, Bengt Dahlgren, Boverket, Byggherrarna, Formas, Framtiden-koncernen, Förbo, Göteborgs stadsmuseum, Imtech, ISU, Malmö stad, NCC, Omreda, PEAB, Riksantikvarieämbetet, Rotpartner, SBUF, Skanska, Stamfast, Sto, Stockholmshem,

Sweco, Sweden research, Swegon, VKAB, Installatörsföretagen, Västra götalsregionen, White, WSP

- SABO
- Hyresgästföreningen
- Beställargruppen bostäder
- Beställargruppen lokaler
- Beställargruppen livsmedelsbutiker
- Energimyndigheten
- Boverket
- Lågan
- Gripen – energideklarationsregistret
- Nils Holgersson
- Energibolagen
- Statistiska centralbyrån
- Lantmäteriets fastighetsregister
- Feby
- Sveby
- Fuktcentrum
- Passivhuscentrum
- Spara och bevara-programmet
- E2B2-programmet
- Svenskt vatten
- Säker Vatten
- Svensk våtrumskontroll
- Svensk fjärrvärme
- Svensk ventilation
- Byggmästareföreningarna
- Nätverken för hållbart byggande och förvaltande runt om i Sverige
- Nordiskt Renoveringscentrum
- REHVA
- ASHRAE

### 5.4.3 Arenor

Arenor är viktiga för att nå ut med kunskaper och få en bred kunskapsuppbyggnad som bygger på empiri, teori och forskning. Arenor för spridning av information om hållbar renovering är

- Svensk Byggtjänsts web
- Nätverksträffar
- Regionala renoveringsdagar som innehåller akademi, praktik och politik
- Web-TV och andra moderna kanaler som LinkedIn, twitter, Youtube, Facebook, Whatsapp
- Webinarier
- TV, radio
- Almedalen
- Årets bygggala
- Nordbygg
- Cold Climate HVAC 2018
- Andra konferenser

- Fastighetsdagarna
- Stadsarkitektträffar – stadsarkitektdagarna
- Utbildningar
- Undervisning i olika sammanhang bland våra aktörer, gästföreläsningar
- Energirådgivare och Energikontorens regionala och lokala träffar och uppsökande verksamhet.
- Lokala bomässor
- Energibyggarna och deras Svebuilt osv

## 5.5 Slutsatser

Alla aktörer i byggsektorn behöver bättre kunskap. Det gäller beslutsfattare i styrelser, arkitekter, tekniska konsulter, entreprenörer, ekonomer och yrkesarbetare som medverkar vid renovering av byggnader. Ett betydande problem är bristen på kompetens avseende hur energieffektivisering på bästa sätt kan göras i samband med renovering så att man säkerställer gott inneklimat med bra energiprestanda och bra övrig funktion. Förvaltare och fastighetskötare behöver också tillföras ny kunskap för att till fullo kunna utnyttja modern teknik. Kompetens- och kunskapslyft är troligen avgörande för att få igång en lyckad omfattande renoveringsverksamhet i Sverige samtidigt som det är brist på rekryteringsbar personal. Det har resonerats om ett stort behov av något som liknar Bygga-Bo-Dialogen, och namnet Renovera-Rätt-Dialogen har föreslagits. Nationellt Renoveringscentrum menade att just detta koncept bör vara det som bäst leder till framgång. Syftet är att utbilda utbildare för att nå stor spridning. Utbildningsverksamheten bör bland annat riktas mot yrkesverksamma så att kunskaper når långt ut i utförandedet, men också på hög nivå behövs utbildning. En forskarskola med doktorandkurser med inriktning på renoveringsfrågor anses behövas och en sådan kurs har getts under senaste året. Då höjs den vetenskapliga kompetensen om renovering som kan och bör implementeras i den grundläggande universitetsutbildningen. Utbildning innebär också en intensifierad satsning för att påverka universitetens och högskolornas grundutbildningar att i större utsträckning ta med avsnitt om renoveringsfrågor.

Dessutom behövs forskning om tvärvetenskapliga kopplingar och hur statistiska variationer ska beskrivas och hanteras i såväl projektering som uppföljning och drift. Allmänt finns inte mycket gjort på driftsfasen.

## 5.6 Utmaningar, möjligheter samt utvecklings- och forskningsbehov

Varje renoveringsprojekt är unikt och genererar olika former av kunskaper och erfarenheter. Ofta utvärderas specifika frågor i respektive projekt som inte direkt kan tillämpas i nästa utan bearbetning. Förutsättningarna är oftast olika i varje projekt. Det finns därför risker med att utan kritisk granskning tillämpa kunskaper från ett projekt till ett annat. En mycket viktig uppgift för att få hållbara renoveringar är att ta hänsyn till alla aspekter av hållbarhet och inte fastna i delar. Social, ekonomisk och ekologisk hållbarhet måste vara en del av hela processen. Renovering ger också möjlighet att sanera för ämnen som radon, asbest etcetera. Efterhand som ämnen byts kommer troligen dokumentationen att vara bättre så att en framtida renovering underlättas. Idag ska ändrad eller ombyggd del av en byggnad uppfylla nybyggnadskraven i BBR.



### 5.6.1 Att mäta är att veta

Att utnyttja mätningar och automatiserade sådana skulle öka förutsägbarheten och förbättra resultatet vid framtida hållbara renoveringar. Gör man energiåtgärder behöver man hålla koll på fuktrisker och inomhusmiljöprestanda samtidigt, åtminstone. Även andra problemställningar kan uppstå som till exempel påverkad arkitektur eller tillgänglighet. Primärt för energirelaterade åtgärder behöver allt som har med effektbalansen mätas före och efter åtgärder och ett upplägg som har använts i vissa studier är att dessutom mäta i byggnader som har lika förutsättningar men som inte åtgärdas. Typiska parametrar som blir väsentliga i samband med renovering för uppföljning och idrifttagning är

- Energier och effekter. Dessa behöver delas på energislag med tanke på effektbalansens olika delar.
  - Uppvärmning – beroende på energislag behöver både tillförd och avgiven effekt mätas.
  - Tappvarmvatten – i bostäder är detta en stor del, i kontor en mindre, medan i lokaler, som exempelvis hotell, en mycket stor del. VVC-förluster kan inkluderas och bör inkluderas om analysen berör denna fråga
  - Kyla – om kylsystem finns behövs både tillförd och avgiven energi
  - Verksamhetsel – det behöver utredas i vad man denna tillfaller rummens effektbalans. Abonnemangen kan ibland ägas av hyresgästerna. Mätningarna behövs vare sig de är juridiskt otillgängliga eller inte.
  - Närvaro – detta har mätts med hjälp av koldioxid som indikator i flera fall. Alternativ
  - Läge på solavskärmning etc som påverkar effektbalansen för rummen.
- Innomhusmiljöparametrar
  - Flyktiga organiska föreningar, koldioxid och partiklar
  - Drag, lufthastigheter, luftåldrar och buller
  - Ljus och belysning
- Fuktsäkerhet
  - Fuktkvoter och ånghalter genom relativa fuktigheter i lämpliga konstruktionsdelar. Känsliga områden är kalla vindar och väggkonstruktioner samt kryppgrunder om sådana finns. ByggaF är ett ramverk som kan användas för detta.
- Uteklimat för att kunna normalårskorrigera, vilket är ett outvecklat område i moderna byggnader med låg energianvändning där utetemperaturen spelar en mindre roll för effektbalansen.
  - Utetemperatur
  - Global och direkt solinstrålning
  - Vindfart och vindriktning
  - Nederbörd
  - Relativ fuktighet
- Statiska parametrar om byggnadens utformning och användning

Mätintervallet behöver vara så kort att det som önskas analyseras går att lösa upp. Typiskt kan var minutnivå på beteenderelaterade parametrar och timnivå på resten.

### 5.6.2 Robusta mätsystem

Ett vanligt förekommande problem som har uppstått i många forskningsprojekt kopplade till projekt i kontor i synnerhet är att det påstås samlas mätdata som aldrig finns att finna i verkligheten. Det är troligt att det i projektorganisations tidiga fas har funnits en ambition att det ska göras mätningar men att det aldrig följs upp att så görs, och ibland kan felet ligga sent i processen, exempelvis att en ruta i ett datorprogram inte har kryssats i för att data ska sparas, att givare har kopplats fel, att givare saknas, att datornätverksrättigheter inte har retts ut, att dataformat inte är kompatibla eller att möjligheter att lagra data inte finns. Det är viktigt att det antingen utvecklas system för att automatisera detta eller att det finns en ansvarig i renoveringsprocessen som har till uppgift att ta fram mätdata. Förhoppningsvis blir dessa problem bättre med tiden men exempel finns där ett helt mätsystem för webbaserad drift har tagits fram för ventilationssystem och detta system har lagrat data tolv gånger per timme för 60 000 parametrar men det har saknats verktyg för att ta fram dessa data. Annan industri har uppfattat nyttan av att mäta och så behöver både renoverings- och nybyggnadsbransch göra. I en utvecklad bransch så har vi förhoppningsvis tillgång till tillräckligt med relevanta data för både drift och forskning inför mer optimal projektering.

### 5.6.3 Holistisk kunskap

Information om hållbar renovering finns både i akademien genom olika forskningsprojekt och i näringslivet genom utförda projekt och praktisk erfarenhet. Akademiens resultat är förhållandevis lätta att nå, men inte alltid lätta att tillgodogöra sig. Näringslivets erfarenheter är normalt inte publicerade, sällan tillgängliga för andra och inte bedömda kvalitetsmässigt. Därmed finns med stor sannolikhet ganska mycket dold information i näringslivet. Renovering är en komplex process där empiri från det verkliga utförandet och riskhantering är nödvändigt för att göra rätt. Ju fler fall att hämta data från desto säkrare blir kunskapen. Det räcker inte med enstaka demonstrationsfall utan insamlingen av information måste syfta till att få in så stora mängder exempel och projektresultat som möjligt. Förhoppningsvis kommer detta att ske i framtiden. Mätsystem är en viktig del av en sådan process och kan underlätta den till stor del och ge stora möjligheter. Det är i detta sammanhang viktigt med information om bland annat:

1. effektanvändning, eftersom effektbristen kommer att öka i framtiden (Fransson, 2017)
2. vattenskador och rörsystem, där kostnaden för vattenskador i byggnader uppgår till 10 miljarder kronor per år (Johansson et al, 2015)
3. ekonomisk hållbarhet, där bristen på lönsamhet och höga kostnader är ett hinder för nybyggnad och renovering (Lind, 2014)
4. social hållbarhet där framtiden bär med sig förändrade krav på brukande (Lind och Mjörnell, 2015)

Information behövs om många olika ämnesområden och hur de påverkar varandra för att skapa en långsiktigt hållbar renoveringsprocess. Kunskap om följande måste finnas för att göra bra bedömningar:

- byggnadsteknik och hållfasthet – byggnaderna måste stå kvar över lång tid och personsäkerhet får inte äventyras
- byggnadsfysik och fuktsäkerhet – värme och fukttransport kan leda till dyrbara problem med fuktskador. Mätteknik för att följa fuktrisker är önskvärd i ett hur med automatiserade system

- byggnadens installationssystem inklusive it-system – it-systemen är de som ger mätdata och måste fungera tillsammans för att mätdata ska bli användbara
- energieffektivisering och effekteffektivisering – kunskap i energiteknik är avgörande för att uppnå resultat vad gäller energianvändning och effektbehov som är mest avgörande för hållbarheten
- energisystem, energiförsörjning, reglerteknik – byggnadens försörjning av energi samt byggandens roll i stadsdelen och staden spelar stor roll för val av optimala lösningar. Reglerteknik är särskilt viktigt i kontorsbyggnader med mycket kylsystem och i en framtid där energisystemet ska hantera saker som solceller och elbilsladdning
- brandsäkerhet – en osannolik händelse som måste tas på allvar är brand och mycket av brandforskningen är baserad på gamla byggnader, vilket kan tänkas vara bristfälligt om renovering innebär att byggnaden moderniseras. Inte minst påverkas ventilationssystem vid brand.
- miljövetenskap – kunskaper om den yttre miljön kopplar ihop energiproblematiken med ekologisk hållbarhet
- tekniska, ekonomiska och sociala egenskapskrav – vid en renovering behöver rätt krav uppnås i förhållande till en optimering, varken högre eller lägre, och detta avser både ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet
- framtida klimatscenario och deras inverkan på byggnader och byggprocess – det gäller att optimera rätt med tanke på byggnadens livscykel
- livscykelanalyser och livscykelkostnadsanalyser för byggprodukter, byggnader och system – livscykelanalyser är ett verktyg för miljöbelastningsanalys, men mycket forskning återstår för att öka precisionen i dessa analyser
- känslighetsanalys, riskanalys och riskvärdering – byggande och brukande av byggnader innefattar parametrar med mycket stor spridning. Exempelvis varierar hushållselanvändningen i lägenheter i Sverige mellan 0 och 120 kWh/(m<sup>2</sup>·år), och i renoverade byggnadsskal med värmeåtervinning är denna variation helt avgörande för effektbalansen. Det behövs ett statistiskt angreppssätt för att hantera dessa variationer.
- Inomhusmiljö – huvudskälet till att upprätta byggnader är att erhålla en bra inomhusmiljö
- beteendevetenskap med inriktning på boende och brukande av byggnader – dels är beteendet en viktig indata, dels är det viktigt att möjliggöra lämpliga beteendeförändringar för hållbarhet
- sociala värden och problem – sociala frågeställningar har ökat i vikt speciellt för bostäder men även för kontor är det relevant
- kulturvärden – det finns ett antal byggnader med formaliserat kulturvärde. Energimyndighetens Spara- och bevaraprogram har hanterat dessa frågeställningar under ett antal år.
- brukarperspektiv och metoder för samverkan – ibland byts hyresgäster vid renoveringen men om inte måste detta beaktas
- miljöinformation om byggprodukter
- återbruk – att återanvända material och produkter är ett sätt som, med stöd av en livscykelkostnadsanalys, kan ge ökad hållbarhet
- tillgänglighet och handikappanpassning
- byggprocessen – utförandet av renoveringsprocessen kan ske på olika sätt och troligen behövs fler nya idéer

- företagsekonomi/fastighetsekonomi i livscykelperspektiv, cirkulär ekonomi i byggprocessen, blå ekonomi och blå tillväxt – dessa är alla delar i ekonomisk hållbarhet och det gäller att definiera vems ekonomi som ska vara i fokus vid ett renoveringsprojekt
- finansieringssystem och bankverksamhet kopplat till byggande – traditionellt verkar kunskapen om hållbara åtgärder och hur det kan eller borde påverka en byggnads värde vara låg hos finansiärerna.
- förvaltning och drift av byggnader både tekniskt, juridiskt och ekonomiskt
- metodik för statistik – för att möjliggöra generaliserbarhet i forskningsresultat, råd och riktlinjer behöver statistiska metoder implementeras i större utsträckning i forskningen om renovering
- metodik för fallstudieuppföljning – många forskningsinsatser vid renoveringsprojekt blir studier av ett eller få fall och då är det en komplicerad uppgift
- problemet med gapet i prestanda mellan vad som lovas och renoveras för både nya och renoverade byggnader – här ligger troligen en stor del av lösningen i mer omfattande mätningar och bättre statistiskt angreppssätt
- framtida renoveringsbarhet – hållbar renovering i ett livscykelperspektiv bör innefatta även renoveringen som kommer efter renoveringen
- modeller, beräkningsverktyg, mallar, teori, programhjälpmedel, instruktioner, råd och system för att analysera och hantera data och simuleringar för att få bra livscykelanalyser och i slutändan hållbara byggnader
- byggregler och övriga relevanta regelverk och tolkningar – dels är regelverk, standarder och tolkningar randvillkor för renovering och byggande, dels behöver dessa dokument ses över baserat på vad som är lämpligt i samhällsbyggnation
- nationella och internationella mål för energi- och klimatpolitiken
- nationella miljö kvalitetsmål
- miljöcertifieringssystem och andra märkningssystem som används för byggnader
- arbetsmiljöfrågor
- rekryteringsfrågor, utbildningsfrågor, hänvisning till utbildningar – det väntas enligt ett pågående forskningsprojekt bli allt större brist på utförare och projektörer vad gäller renovering
- detaljplaneläggning och bygglovshantering – ett stort problem med kostnadsbilder och möjlighet att bygga till ligger hos kommunerna i deras markhantering
- regionala och lokala skillnader – olika delar av landet, och eventuellt andra länder, har olika förutsättningar och önskemål både med tanke på fysiska parametrar som uteklimat och markförutsättningar, och med tanke på sociala behov och ekonomi
- kunskap om renovering i ett internationellt perspektiv för att tillvarata internationella kunskaper och för att möjliggöra en konkurrenskraft utomlands

Framför allt behövs forskning där mätningar och erfarenheter från empiri, alltså verkliga renoveringsprojekt ligger till grund för att tillsammans med teori optimera renoveringsprocessen. För att nå hit behövs dessutom ett statistiskt betraktelsesätt där många utvärderade projekt måste vara med och bygga upp kunskapen. Robusta mätsystemet har i många forskningsprojekt varit ett problem. Mätdata finns helt enkelt inte trots att så skulle vara fallet, och detta problem måste adresseras.

## 5.7 Referenser

Abdul Hamid, A. 2017, Method for evaluation of renovation measures with regard to moisture and emission loads - Based on risk assessments TVBH-3067, Building Physics, Lund University

Fransson, V. (2017) Investigating Dwellings' Response to Heating Power Cuts -Simulations and Field Tests, TVIT-3007, Building Services, Lund University, Lund

Friege, J., Chappin, E. (2014) Modelling decisions on energy-efficient renovations: A review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 39, pp. 196–208

Haapio, A., Viitaniemi, P. (2008) A critical review of building environmental assessment tools, *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 28, no. 7, pp. 469–482

Johansson, D., Ericson, J., Hjalmarsson, M., Israelsson, C., Larsen, K. (2015) Skadeförebyggande processer och teknik för rörinstallationer och våtrum för minskade vattenskador i byggnader, TVIT-7096, Lunds universitet, Lund

Lind, H. ed, Mjörnell, K. ed (2015) Social hållbarhet med fokus på bostadsreovering, Sustainable Integrated Renovation, Byggnadsfysik, Lunds universitet, Rapport 2015:4

Lind, H. (2014) Ekonomiska aspekter på reoveringar av bostäder – en översikt, Sustainable Integrated Renovation, Byggnadsfysik, Lunds universitet, Rapport 2014:1

Thuvander, L., Femenías, P., Mjörnell, K., Meiling, P. (2012), Unveiling the Process of Sustainable Renovation, *Sustainability*, vol. 4, no. 12, pp. 1188–1213

## 6 Effektiv Belysning

### 6.1 Sammanfattning

Det pågår en snabb teknikutveckling inom belysningsområdet, vilket ger stora möjligheter men samtidigt står området inför stora utmaningar. Vi använder c:a 20 % av den elektriska energin till belysning och det finns förutsättningar att minska detta till hälften. Mycket av det elektriska ljuset som används är onödigt, dels på grund av att vi använder det fel, dels på grund av att vi inte utnyttjar dagsljuset. Orsakerna till detta är många. En viktig aspekt är svårigheterna att mäta ljusets kvalitet. Emellertid har forskningsfronten flyttats fram både avseende teknikutveckling av nya ljuskällor och vår kunskap om vilket ljus som är bra för människor har utvecklats. Detta behöver nu omsättas i praktiken genom standarder och riktlinjer. Vidare måste vi nu utveckla hur vi hanterar samspelet mellan dagsljus och elektriskt ljus. Här befinner vi oss bara i början och mycket finns kvar att göra. Vi vet idag att dagsljuset är det bästa ljuset för att styra vår vakenhet och sömn och att det elektriska ljuset skall fungera som ett komplement. Detta förutsätter att belysningsfrågorna blir en integrerad del i byggprocessen.

Idag är kunskapen om ljus och belysning för låg både hos projektörer, förvaltare och brukare. Utbildning är därför nödvändig pusselbit, både vid högskolor men också som vidareutbildning. Vidare måste ljusfrågorna komma in tidigt i byggprocessen för att man på ett tidigt stadium kan utveckla samverkan mellan dagsljus och elektriskt ljus.

Standarder och riktlinjer behöver utvecklas och hänsyn tas till den nya kunskapen både inom teknikområdet och inom humanforskningen. Det pågår idag arbeten i den riktningen, men förändring av internationella standarder tar tid. Certifieringssystem har ofta med ljus och belysning, men oftast på en mycket basal nivå. Här finns också möjligheter till förbättringar. Genom kontinuerlig mätning får vi möjlighet att kontrollera de nya systemen vilket inte minst är viktigt när det gäller dagens dynamiska belysningssystem. Dessa måste verifieras och detta kan endast ske om man över tid följer systemens funktion.

En stor utmaning som idag föreligger är att hitta bättre mått för att beskriva ljuset. Här finns ansatser på flera håll, men det är viktigt att ledande aktörer medverkar till att implementera de bästa mätmetoderna. Det är därför viktigt att en samverkan sker mellan alla inblandade aktörer. En andra utmaning är hur dagsljus och belysning blir en integrerad del i byggnadens styrsystem. Vi har idag möjligheter att styra på helt nya sätt vilket kan medverka till att skapa bättre inomhusmiljöer. Genom att utnyttja den kunskap vi har om människors behov tillsammans med de styrmöjligheter som finns avseende såväl intensitet som spektral sammansättning som kan göra att ljusmiljöerna kan bli bättre till en lägre kostnad.

Nyckelord: Belysningsstyrning; Dagsljus; Elektriskt ljus; Flervetenskap; Icke-visuell betydelse; Visuell betydelse

## 6.2 Inledning/ bakgrund

Den elektriska belysningens utveckling har skett i språng sedan de första användbara glödlamporna såg dagens ljus mot slutet av 1870-talet. Nästa stora utvecklingssteg var gasurladdningslamporna främst representerade av lysröret. Denna typ av ljuskällor blev också vanligare när den första diskussionen angående glödlampans energieffektivitet uppstod på 1980-talet. Man började då utveckla kompaktlysrör som ersättare för glödlamporna. Idag pågår ytterligare ett språng. Det är en helt ny teknik som används, nämligen elektroluminiscens. I dagligt tal ljusemitterande dioder (LED). Denna nya teknik har medfört att möjligheterna till att energieffektivisera har ökat avsevärt. En glödlampa ger ca 5 % av insatt energi som ljus, medan en LED kan ge upp till 80 % av energin som ljus. Emellertid är inte detta så enkelt då en LED-lampa är en mer komplicerad produkt än en glödlampa. Det krävs elektronik för att driva en LED-lampa och denna elektronik måste därför vara av god kvalitet. Det är svårt i samband med upphandling att ha full kontroll på alla detaljer vilket kan medföra att man får produkter av låg kvalitet. Emellertid finns det också ytterligare fördelar nämligen möjligheterna att styra och kontrollera ljuset har ökat avsevärt. Belysningssystemen kan bli "smarta" med den nya tekniken.

I och med diodutvecklingen har helt nya aktörer dykt upp på marknaden. Klassiska företag inom belysningsbranschen utmanas av företag med bakgrund inom elektronikutveckling av olika slag. Detta ställer högre krav på beställare. Försäljare av belysningssystem har inte alltid den kompetens som behövs. De har ofta mycket god kännedom om de tekniska aspekterna av systemet men mindre kunskap om hur ljusbilder och belysningskvaliteten ser ut. Till detta hör också att vi idag inte bara kan tala om ljusets betydelse för vårt seende. Ljuset har också icke-visuell betydelse som vi idag har större kunskap om och därför bör man i samband med nyinstallationer och renovering ta detta i beaktande.

Varför är då belysning en viktig fråga när det gäller energieffektivitet? Ett svar är omfattningen, ca 20 % av all elektrisk energi går åt till belysning (Dubois & Blomsterberg, 2011). Sambandet mellan fönsteröppningar och behov av elektrisk belysning är också något som i högsta grad berör en byggnad. Utnyttjande av dagsljus är i sig en stor besparing, men utbyte av ljuskällor är också av stor betydelse. Samspelet mellan dagsljus och elektriskt ljus är av essentiell betydelse både från energisynpunkt och upplevelsemässigt. Vi vet idag också att människor påverkas av ljus. Goda förutsättningar avseende belysning medverkar till att arbetet blir mer effektivt, man minskar risken för hälsoproblem och skapar en positiv atmosfär på arbetsplatsen (Veitch et al 2008). Under senare år har som tidigare nämnts ljusets icke-visuella egenskaper också uppmärksamats i allt högre grad, något som man måste ta hänsyn till vid belysningsplanering. Sammantaget gör detta att belysning är en viktig del av miljöupplevelsen på en arbetsplats. Detta gäller i allra högsta grad i Sverige som är ett land långt från ekvatorn och där vi under långa perioder av året är helt hänvisade till elektriskt ljus, som därför måste vara av hög kvalitet.

Idag är belysning väldigt fristående från övriga delar av byggprocessen. I vissa fall kommer belysning in väldigt sent i processen och många gånger är det brukaren som står för belysningen i byggnaden. Detta är inte bra då det handlar om ett intimt samspel mellan dagsljus och elektriskt ljus. Vi bör därför sträva efter att belysning blir en del av byggprocessen i ett tidigt skede och med tanke på den högteknologiska nivån på komponenterna att dessa också inordnas i byggnadens övriga styrsystem. Detta ställer större krav på kunskap i utförandet, men också hos beställarna, och är en förutsättning för att vi i framtiden skall kunna dra fullständig nytta av de möjligheter som finns med den nya tekniken.

Den viktigaste funktionen hos allt ljus är att kommunicera. Genom ljuset får vi information om var vi befinner oss, vilken tid på dygnet det är och vi får också information om olika förhållanden genom ljuset. Med dagsljus tillfredsställer vi samtliga dessa behov (Galasiu & Veitch, 2006). Emellertid behöver vi komplettera dagsljuset med elektriskt ljus, men vi skall endast göra det i den omfattning som är nödvändig och hur kan vi uppnå detta? Enligt Energimyndigheten kan vi energieffektivisera på i huvudsak tre olika sätt:

- a) teknikutveckling av ljuskällor
- b) ljusstyrning inkluderande system dagsljus/elektriskt ljus
- c) brukarbeteende

### 6.2.1 Teknikutveckling

Avseende teknikutveckling kan vi konstatera att möjligheterna till att minska energianvändningen är avsevärda med LED. En LED-ljuskälla kan dra c:a 80 % mindre el än en glödlampa med motsvarande ljusutbyte. LED-ljuskällan har också en betydligt längre livslängd en motsvarande glödlampa, upp till 15 gånger längre håller en LED-ljuskälla. Emellertid behöver dioden styras och den elektronik som återfinns i olika LED-ljuskällor kan ha mycket varierande kvalitet. Elektroniken kan gå sönder tidigare än ljuskällan, och därmed förkorta livslängden. Det är omöjligt att använda LED-ljuskällan utan dess elektronik. Därför måste systemet studeras och värderas som en helhet. Det finns sedan 2014 skärpta krav avseende kvaliteten på LED-ljuskällor avseende hur mycket av det ursprungliga ljusflödet som skall finnas kvar efter 6000 h. Detta mått är vanligt inom belysningsindustrin då man vet att ljusflödet hos en ljuskälla minskar över tid.

Som nämnts är LED-ljuskällan beroende av elektronik. Ljuskällan placeras också i en armatur. Här finns också begränsningar. Man kommer att förlora en del av det ljusflöde som en ljuskälla ger när den placeras i en armatur. De två begreppen komponentlumen och armaturlumen börjar bli allt vanligare för att beskriva en ljuskällas verkningsgrad. Komponentlumen är det ljusflöde som ljuskällan ger och armaturlumen är när ljuskällan placerats i en armatur. Andra fördelar med LED-ljuskällor är den variabla färgtemperaturen, dvs. att det vita ljuset kan innehålla olika delar av blått eller rött. Dagsljuset är dynamiskt i detta avseende. Det innehåller som bekant "alla regnbågens färger". Mitt på dagen har vi en ganska hög färgtemperatur c:a 5500 K, medan färgtemperaturen är betydligt lägre i gryning och skymning. Hittills har de flesta ljuskällor varit statiska i detta avseende, men idag finns teknik där man steglöst kan variera såväl ljusintensiteten som färgtemperaturen. Man får då en möjlighet att efterlikna dagsljuset på ett sätt som man inte kunnat göra tidigare. I detta sammanhang är det också viktigt att nämna färgåtergivningen som är en andra kvalitetsfaktor som är av stor betydelse. Det är möjligt att få fram en god färgåtergivning, men det finns inte total enighet om hur detta skall mätas. Hittills har vi använt oss av ett system baserat på 8 färger som senare vidareutvecklats med ytterligare 8 färger, dvs. totalt 16 färger och erhållit ett färgåtergivningsindex CRI. Det har framlagts andra förslag för att beskriva färgåtergivningen. Vi återkommer till detta under diskussionen rörande standarder. Förutom utvecklingen av LED pågår också utveckling av andra ljuskällor, men för närvarande befinner sig dessa inte på en nivå som gör att det är rimligt anta att de kommer att spela en roll på marknaden under den närmaste tioårsperioden.



### 6.2.2 Ljusstyrning/System

Utvecklingen av teknik för ljusstyrning har gått snabbt under det senaste årtiondet. Man kan dela upp styrning i olika delar. Dels finns det närvaro och frånvarostyrning av belysning, dels har man dagsljusstyrning och avslutningsvis har man brukaranpassad styrning. Den enklaste formen av styrning är en enkel strömbrytare. När man anländer till ett rum tänds man belysningen och när man lämnar släcker man manuellt belysningen. Det har utvecklats många system där man med hjälp av sensorer kan styra belysningen till att enbart tändas när någon kommer in i rummet och när någon lämnar rummet. Forskning har genomförts på många håll avseende energivinsterna med denna typ av styrning. Av resultaten framgår att brukarbeteendet är viktigt. Bland annat har det visat sig att i kontorsmiljöer är det en bra lösning om man använder manuell tändning av belysning och automatisk släckning av belysningen hellre än att allt är automatiskt (Mattsson, P. & Laike, T. 2015). Annan forskning visar att från energisynpunkt är det fortfarande mycket effektivt att använda manuell strömbrytare då man inte får några standby-effekter från systemet som annars alltid måste vara igång (Gentile et al 2016). Detta innebär att man måste vara noga när man väljer typ av styrsystem och att vi inte får glömma brukarbeteendet.

På så sätt kan styrning, använd på rätt sätt medverka till att minska energianvändningen. Emellertid handlar inte styrning enbart om energibesparing. Styrningen kan också medverka till att skapa bättre belysningsförhållanden på arbetsplatsen. Dagens vanliga system tar inte hänsyn till individuella behov. Med skräddarsydd styrning för den enskilde finns det möjligheter att anpassa belysningsförhållandena. Med den kunskap vi har om ljusets inverkan på människor kan detta vara ett sätt att förbättra arbetsförhållandena.

### 6.2.3 Brukarbeteende

Människan har alltid en möjlighet att påverka. När det gäller belysning är strävan att vi vill att brukare skall använda belysningen så effektivt som möjligt. Vi vet från forskningen att om användarinterfacet är för komplicerat kommer brukarna inte att använda systemet på avsett sätt. Det föreligger till och med risk att brukarna kör över systemet för att man uppfattar att det inte fungerar tillfredställande. Detta ger upphov till irritation och kommer i förlängningen att påverka produktivitet och välbefinnande på arbetsplatsen. När man utvecklar systemen är det därför av mycket stor vikt att hänsyn tas till de mänskliga aspekterna. Om dessa inte tas med i bedömningen kan det vara bättre att enbart använda sig av strömbrytare. Detta är dock synd då det finns så många möjligheter med den nya tekniken. Här kommer också dagsljuset in. Finns det tillräckligt med ljus kommer man inte att behöva utnyttja det elektriska ljuset, men finns det för mycket dagsljus kommer brukaren att använda sig av solavskärmning och detta kan leda till att den elektriska belysningen används istället (Aries et al, 2010). Därför är det av yttersta vikt hur dagsljuset förs in i kontorsmiljön. Att undvika bländning och andra negativa faktorer måste noga studeras.

## 6.3 Kunskapsläge

Man kan dela upp forskningen till den som handlar om teknikutveckling, systemfunktioner samt brukarupplevelse. När det gäller teknikutveckling pågår det ständigt en utveckling av nya typer av ljuskällor. Idag är utvecklingen av gröna dioder det som tilldrar sig mest uppmärksamhet inom forskningsområdet Solid State Lighting (SSL). I Sverige arbetar man vid Lunds universitet under ledning av professor Lars Samuelson med denna utveckling (Monemar et al, 2016). Andra typer av

Ljuskällor som håller på att utvecklas är både plasmalampor och nya typer av glödlampor. Inom överskådlig tid är troligen LED-ljuskällorna som kommer att tilldra sig störst uppmärksamhet. Dagsljuset studeras från den tekniska sidan i huvudsak inom materialområdet där man arbetar med nya typer av fönsterglas med avancerade system för genomsläpplighet. Ett område där utvecklingen kommit ganska långt under det senaste årtiondet. Emellertid är priserna för de avancerade glastyperna fortfarande höga vilket gör att de av många inte ses som ett alternativ.

### 6.3.1 Forskning

Systemforskning har som tidigare nämnts blivit alltmer intressant. Vid Lighting Research Center Rensselaer Polytech, Troy NY (LRC) har man utvecklat ett system som tar emot information om vilken mängd ljusstrålning en individ har utsatts för och anpassar belysningen efter detta (Rea, 2013). Detta system innefattar trådlös kommunikation mellan individen och belysningsystemet. Detta får också ses som experimentell verksamhet och inget som är etablerat på marknaden. Stora belysningsföretag som t. ex Philips har tagit fram system som styrs från mobiltelefoner, men funktionaliteten är fortfarande inte helt utvecklad. De används i huvudsak för att ställa in belysningsnivåer och för att hantera tidpunkter när systemen sätts på och stängs av. En annan viktig aspekt är underhåll och här finns det möjlighet att ha större kontroll på belysningsystemen. System kan styras från en lokalisering långt från belysningsystemet och detta gör att större företag kan ha en central varifrån flera belysningsystem styrs. Stora besparingar avseende underhåll kan därmed göras. Man har hela tiden kontroll på systemets funktion och dess energianvändning. Information om systemets komponenter levereras kontinuerligt och om något behöver bytas ut kommer meddelanden direkt. Man har också möjlighet att kontrollera hur mycket energi som används för belysningen vilket gör att man direkt får feedback på vidtagna åtgärder. Det finns idag företag som använder detta på en nationell nivå och därmed gör större energibesparingar.

Ljusets kommunikativa betydelse måste alltid beaktas och på olika sätt har vi också lärt oss hur vi kan använda oss av det infallande dagsljuset för att få en god visuell miljö. Emellertid har kunskapen om hur dagsljuset kan användas minskat alltsedan det elektriska ljuset gjorde sitt intåg. Vi behöver ljuset för att se. Låga belysningsnivåer får direkt negativa konsekvenser. Emellertid finns det också indirekta effekter av dålig belysning. Dessa har betydelse för:

- ergonomi
- välbefinnande
- produktivitet
- hälsa

En viktig faktor som tidigare inte uppmärksammats avseende brukarna är ljusets icke-visuella effekter. Vi vet idag att ljuset medverkar till att styra människor vakenhet och sömn. Det är dock först på 2000-talet som man kunnat beskriva vad som händer. Den amerikanske forskaren David Berson och hans kollegor fann att vissa celler på näthinnan som inte är tappar eller stavar utan gangliaceller (iprgc) är ljuskänsliga (Berson et al 2002). Denna upptäckt ledde till en ökad förståelse för hur ljuset medverkar till att styra vår vakenhet och sömn. Det finns idag en modell som är allmänt accepterad som utsäger att när ögat träffas av ljus går signaler inte enbart till syncentrum i hjärnan. Det sker också en avledning av signalen som når epifysen (tallkottkörteln) där vi producerar sömnhormonet melatonin. Ljussignalen talar om att produktionen av melatonin skall upphöra och detta ger i sin tur upphov till att binjurebarken börjar producera ett annat hormon, kortisol, och vi blir vakna. Att ljuset

behövs beror bland annat på att vår interna biologiska klocka går inte ett varv på 24 timmar. Istället tar det för de flesta av oss lite längre tid. På så sätt skulle vi om vi inte utsattes för ljus förskjuta dygnet. Ljuset gör att "klockan ställs rätt". Hur mycket ljus och av vilken typ beror på vilket ljus vi har utsatts för tidigare under dagen. Vad vi också vet är att ljus inom våglängdsområdet 460 – 480 nm är det ljus som bäst blockerar melatoninproduktionen. Denna kunskap är viktig att ta till sig inom all ljusplanering speciellt på våra nordliga breddgrader där vi under stora delar av året har väldigt lite dagsljus. Eftersom vi vistas upp till 85 % av vår vakna tid inomhus är ljuset viktigt för vårt välbefinnande. Det finns också forskning som pekar på att ljuset kan medverka till att påverka vårt humör. En del av oss är mer känsliga än andra och brist på ljus kan leda till vad man brukar kalla årstidsrelaterad nedstämdhet, som i sin allvarligaste form är en klinisk depression.

För att tillfullo förstå hur man på bästa sätt skall använda sig av dagsljus och elektriskt ljus behövs kunskap både från teknikområdena, medicin och psykologi. Flera forskargrupper vid olika lärosäten har också påbörjat sådan forskning. Ofta sker denna forskning i en tillämpad miljö där förändringar genomförs i offentliga miljöer som skolor, sjukhus eller äldreboenden (Engvall et al, 2015; Figueiro et al 2014; Gentile et al, 2016).

Belysningsområdet är komplext och avsaknaden av tydliga riktlinjer och den snabba implementeringen av ny teknik gör att kunskapsbasen behöver breddas. I vissa fall är det nödvändigt med specialkompetens och trenden är att det inom de större konsultföretagen idag att det finns specialistkompetens inom området ljus och belysning.

### 6.3.2 Regelverk/ Standarder

Standarden inom belysning är en grundläggande utgångspunkt och inte på något sätt "best practice". SS EN 12464-1 har utvecklats och försöker få med mer av de senaste forskningsrönen. Emellertid är världsstandard inte inom räckhåll än. Tyvärr tar standarden endast begränsad hänsyn till dagsljus. I Sverige använder vi oss av dagsljusfaktorn som är ett relativt trubbigt mått för att beskriva dagsljusförhållandena i en miljö. Emellertid är detta bättre än att man inte har något mått alls (Dubois et al, 2015).

De ledande certifieringssystemen har ofta med belysning som en parameter och även dagsljus som en parameter, men måtten är oftast underutvecklade och behöver förbättras avsevärt. En viktig aspekt förutom ljusets kvantitet är den kvalitet som ljuset har. I huvudsak handlar det om tre faktorer, ljusets färg, färgåtergivning samt flimmar. Avseende ljusets färg finns ett bra mått nämligen färgtemperatur (°K). För färgåtergivning används Färgåtergivningsindex (CRI), men detta mått är inte tillräckligt. I USA har man utvecklat ett nytt system som tar större hänsyn till färgens alla aspekter TM 30-15 (David et al, 2015). För flimmar finns det idag inget mätsystem som har utvecklats till standard, men flera förslag föreligger (Wilkins et al, 2010).

Det är viktigt att detta arbete fortsätter och att man kommer till gemensamma lösningar. Grunden för att kunna värdera är att det finns accepterade mått som utgångspunkt. Det finns förutsättningar för att så sker inom de närmaste åren, men det är av stor vikt att forskningen finns med i detta arbete, annars är risken stor att det blir ett urvattnat och betydelselöst resultat.

De för närvarande gällande regelverken i Sverige är:

Ekodesigndirektiv förordningarna nr 244 och 245

AFS 2009:02 - Arbetsplatsens utformning

SS-EN 12464-1 utgåva 2 2011 Belysning av arbetsplatser inomhus

SS-EN 15193 utgåva 1 2007 Energy requirements for lighting

SS-EN 13032-1, 13032-2 Mätning och presentation av fotometriska data

SS-EN 12665 Grundläggande termer och begrepp

SS-EN 1838 Nödbelysning

Svensk planeringsguide för tillämpning av ovanstående standarder, se Ljus och Rum utgåva 2010

Boverket hänvisar till standarden SS 91 42 01 **"Byggnadsutformning – Dagsljus – Förenklad metod för kontroll av erforderlig fönsterglasarea"**, för att beräkna fönsterglasarea för dagsljus. När andra förutsättningar gäller kan fönsterglasarean beräknas enligt standardens bilaga och med dagsljusfaktorn 1,0 procent. Som metod för beräkning av fönsterglasarea med dagsljusfaktor hänvisar standarden till rapporten **Räkna med dagsljus** (Löfberg, 1987)

### 6.3.3 Mätning och uppföljning av byggnadsprestanda

En kontinuerlig uppföljning av belysningsförhållandena är idag möjlig och bör utnyttjas i högre utsträckning. Speciellt när dynamiskt ljus installeras är det viktigt att kunna följa variationen över dygnet och att kunna kontrollera att de krav som ställs på systemet uppfylls. På samma sätt är det viktigt att kontrollera hur närvaro- och frånvarosensorer fungerar och om de ger den tänkta energibesparingen.

## 6.4 Aktörer och nätverk (nat/internat)

I Sverige har Energimyndigheten sedan 2008 genomfört två forskningsprogram för energieffektiv belysning, och i höst påbörjas ett tredje. Under den här tiden har den svenska forskningen kartlagts och vi kan konstatera att det har skett en ordentlig utveckling av den svenska forskningen under den här perioden. Det senaste forskningsprogrammet utvärderades 2015 och utvärderingen gav vid handen att forskningen utvecklats sedan 2008 framför allt med avseende på flervetenskaplighet. Mycket av den forskning som utvecklats har varit av en tillämpad karaktär och har behandlat flera olika aspekter av belysning. Ett viktigt område har varit den störning av elnäten som kan förekomma och som genomförts vid Luleå tekniska universitet (Lundmark et al, 2012). Vidare har man vid Lunds universitet arbetat med brukarfrågor och hur människor påverkas av belysning (Johansson et al 2014; Mattsson et al, 2016). Vid Göteborgs universitet har ett flervetenskapligt projekt genomförts med deltagande grupper från såväl neurofysiologi, som optik och arkitektur deltagit i syfte att ta fram underlag för beskrivning av upplevelse av olika belysningslösningar för människor med synnedsättningar (Löfving et al, 2015).

Den kanske allra viktigaste frågan när det gäller belysning är hur vi definierar vad som är en tillräckligt god belysning. De mått som finns idag är mycket gamla och beskriver inte den komplexitet som belysning innehåller. Det finns därför ett stort behov av förändring. Inte minst då vi idag har så mycket större kunskap om ljusets betydelse för människan. Det är därför av yttersta vikt att hitta mått som är relevanta. Emellertid är detta ett mycket granlaga och svårt arbete. Det finns idag ingen enighet kring vilka mätetal som skall användas. Inte ens när det gäller basala mått som belysningsstyrka kan vi säga att de belysningsstyrkor som anges i standarden är de mest relevanta. I många fall är kraven för höga. Vi behöver inte den mängd ljus som avses och i andra fall är de för låga. Frågan är också om belysningsstyrka är det bästa måttet för att beskriva belysningens kvalitet. Det behövs därför forskning kring människans behov av ljus både från ett perceptuellt och synergonomiskt perspektiv, men också från det icke-visuella perspektivet. Ett annat kvalitetskrav handlar om flimmer från ljuskällor, och inte ens här har man lyckats enas runt ett mått för att beskriva flimmer från ljuskällor. För att skapa förståelse och finna gemensamma svar måste forskningen som bedrivs ske i ett flervetenskapligt sammanhang. Sådana ansatser har tagits där studierna avser såväl färg som ljus och från olika perspektiv. Ett projekt bekostat av KK-stiftelsen mynnade ut i en antologi som nu används som kurslitteratur för studenter inom arkitektur (Fridell Anter & Klarén, 2017)

Avseende de grundläggande måtten för belysning pågår bland annat forskning som tar hänsyn till vår kunskap om hur perceptionen faktiskt fungerar. Kunskap om ögat och dess verkningsgrad är essentiell i detta sammanhang och forskningen bedrivs ofta inom denna disciplin. Andra forskare försöker vidareutveckla de befintliga måtten. Det har framkommit flera nya förslag på kvantitativa mått på belysningsstyrka som är bättre relaterade till människans syn. I USA har Mark Rea utvecklat en ny metod för att mäta ljusintensitet och lagt fram förslag på detta nya mått (Rea, 2013). För att detta mått skall bli accepterat är det flera organisationer som måste fatta beslut. Först har vi den internationella belysningsorganisationen CIE som är den organisation som arbetar med vilka enheter ljus skall mätas i. Naturligtvis är det ett långsamt arbete att förändra vilka enheter som skall användas. Efter CIE finns den internationella standardiseringsorganisationen ISO som består av representanter för många länder, dock inte alla. Svårigheten här är att även företagen finns med här och det finns även affärsintressen som måste tas till vara. ISO består sedan av organisationer i de enskilda länderna som röstar om förslag till förändringar av standard. Det pågår ett arbete i Europa, och arbete i såväl USA som i Asien, men en gemensam standard tycks för tillfället inte vara i sikte.

Var finns det forskning?

Det finns forskning vid flera lärosäten. Nedanstående lista är på intet sätt fullständig. De nedan nämnda är de där ljus och belysning har en framträdande plats i verksamheten.

### **Forskargrupper Nationellt**

Högskolan i Jönköping

KTH Ljuslaboratoriet, Stockholm

Lunds Tekniska Högskola

Chalmers , Göteborg (färg)

Luleå Tekniska Universitet

Stressforskningsinstitutet, Stockholm

### **Forskargrupper Internationellt**

Lighting Research Center, Rensselear Polytech, Troy

Fukouka Women's University

ENTEPE National Engineering School of State Public Works , Lyon

UCL, London

University of Sheffield

Aalborgs universitet, Köpenhamn

## 6.5 Slutsatser

Belysningsområdet genomgår en snabb teknikutveckling för tillfället där ljuskällorna blir mer energieffektiva. De moderna ljuskällorna kan också styras på helt nya sätt vilket kan vara mycket positivt för brukarna. Det finns också möjligheter till att utnyttja dagsljuset på ett bättre sätt än tidigare och att se det elektriska ljuset som komplement till dagsljuset. Kunskapen om människors behov av ljus har också gått framåt under de senaste decennierna. Vår förståelse av ljusets betydelse för såväl ergonomi, välbefinnande, produktivitet och hälsa har ökat. I samband med certifiering av olika slag finns dagsljusstillgång och belysning ofta med, men i mycket begränsad omfattning. Det finns standarder och riktlinjer, men dessa har inte hunnit uppdateras i takt med den tekniska utvecklingen och den ökade kunskapen om ljusets betydelse för människan. Belysning kan idag vara en del av byggnadens totala system, men ofta sker inte detta. Behovet av integrering mellan olika system har ökat. Detta gör att det behövs ökad samverkan i samband med byggnadsprojekt mellan olika aktörer. Samtliga komponenter i systemen måste kunna kommunicera felfritt vilket förutsätter att samverkan sker. När det gäller forskning är utveckling av flervetenskaplig tillämpad forskning det som kan bidra till en positiv utveckling. Endast genom att basera rekommendationer och riktlinjer på tillgänglig verifierad forskning kan acceptans för nya standarder och riktlinjer erhållas.

## 6.6 Utmaningar, möjligheter samt utvecklings- och forskningsbehov

Belysning har gått från att vara en ganska statisk verksamhet oberoende av byggnaden i övrigt till att bli en integrerad del i byggnaden, där samspelet mellan elektriskt ljus och dagsljus är av stor betydelse. Den tekniska utvecklingen inom belysningsområdet har också gjort att kompetenshöjande åtgärder måste fram både hos beställare och förvaltare. Regelverken för belysning är också många gånger föråldrade och relevanta parametrar för att mäta ljuskvalitet saknas (Enger & Davoodi, 2015). De befintliga standarder som finns genomgår nu stora förändringar och nya mått är på väg. Något som är svår rörande ljus och belysning är att hitta tydliga, enkla och relevanta mått på kvalitativa aspekter av ljuset. För att till fulla kunna utnyttja den potential som finns i och med det genomförda teknikgenombrottet måste branschen därför enas om hur man bäst mäter ljus från olika utgångspunkter. Som exempel kan nämnas standarden för inomhusmiljöer SS 12464-1 som är under omarbetande för tillfället. Då man idag tar hänsyn till icke-visuella egenskaper hos ljuset måste man mäta det ljus som faller direkt på näthinnan. Att då enbart mäta horisontell belysningsstyrka ger inte tillräcklig information. Därför bör även vertikal belysningsstyrka mätas. Detta är dock enbart ett första steg. Det behövs också tydliga anvisningar rörande ljusets spektrala sammansättning. I nästa avsnitt görs en kort genomgång av den kunskap vi idag har om ljusets icke-visuella effekter på människan. God belysning och ljusförhållanden kan också vara ett konkurrensmedel. Eftersom det finns mycket forskning som pekar mot att ljuset kan påverka produktivitet och välbefinnande kan god belysning ses som en konkurrensfördel när det gäller lokaler. Kunskapen måste dock föras ut till beställare och brukare.

## 6.7 Referenser

Aries, M., Veitch, J. & Newsham, G. (2010). Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *Journal of Environmental Psychology*, 30, 533–541

Berson, DM., Dunn, FA. & Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 295, 1070-1073

David, A., Fini, P., Houser, K., Ohno, Y., Royer, M., Smet, K., Wei, M & Whitehead, L. (2015) Development of the IES method for evaluating the color rendition of light light sources. *Optics Express*, 23, 15888-15906

Dubois, M-C., Bisegna, F., Gentile, N., Knoop, M., Matusiak, B., Osterhaus, W. & Tetri, E. (2015). Retrofitting the electric lighting and dahyighting systems to reduce energy use in buildings: a literature review. *Energy Research Journal*, 6, 25-41

Dubois, M.-C., & Blomsterberg, Å. (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review. *Energy and Buildings*, 43, 2572-2582.

Enger, J. & Davoodi, D. (2015). Visual Perception and Criteria for Good Lighting. In: H. Yaguchi, K. Okajima, T. Ishida, K. Araki, M. Doi & Y. Manabe (eds.) *Color and Image: Midterm Meeting of the International Colour Association (AIC)*, Tokyo, 19-22 May, 2015.

Engwall, M., Fridh, I., Johansson, L., Bergbom., I. & Lindahl, B. (2015). Lighting, sleep and circadian rhythm: An intervention study in the intensive care unit. *Intensive and Critical Care Nursing*, 31, 325-335

Figueiro, M., Plitnick, B., Lok, A. Jones, G., Higgins, P., Hornick, T & Rea, M. (2014) Tailored lighting intervention improves measures of sleep, depression, and agitation in persons with Alzheimer's disease and related dementia living in long-term care facilities *Clinical Interventions in Ageing* 1527–1537

Fridell, Anter, K. & Klarén, U. (2017) *Colour and Light – Spatial Experience*. NewYork: Routledge

Galasiu, A. & Veitch, J. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review. *Energy and Buildings* 38, 728–742

Gentile, N., Laike, T. & Dubois, M-C. (2016). Lighting control systems in individual offices rooms at high latitude: Measurments of electricity saving and occupants' satisfaction. *Solar Energy*, 127, 113-123

Gentile, N., Govén, T. & Laike, T. (2016). A field study of fluorescent and LED classroom lighting. *Lighting Research and Technology* (published online)

Johansson, M., Pedersen, E., Maleetipwan-Mattsson, P., Kuhn, L. & Laike, T. (2014). Perceived outdoor lighting quality (POLQ): A lighting assessment tool. *Journal of Environmental Psychology*, 39, 14-21

Lundmark, M., Bollen, M., & Larsson, A. (2012). Projekt: Minskad livslängd av energieffektiv belysning på grund av höga nivåer av elektromagnetiska störningar. Retrieved from <http://urn.kb.se>



Löfberg, H-A. (1987). *Räkna med dagsljus*. Stockholm: Byggeforskningsrådet

Löfving, B., Billger, M. & Thaug, J. (2015). Visualization of Disability Glare Due to Veiling Luminance. *Energy Procedia*, 6th International Building Physics Conference (IBPC), Torino, ITALY, June 14-17

Mattsson, P. & Laike, T. (2015). Optimal office lighting use: A Swedish case study. *Facilities*, 33, 573-587

Mattsson, P., Laike, T. & Johansson, M. (2016). Factors affecting optimal lighting use in shared hospital environments: A case-study. *Building and Environment*, 96, 260-269

Monemar B., Ohlsson, B., Gardner, N. & Samuelson L. (2016). Nanowire-based visible light emitters, present status and outlook. In: S. A. Dayeh, A. F. i Morral, and C. Jagadish (eds.): *Semiconductors and Semimetals, 94: Semiconductor Nanowires II: Properties and Applications*, pp. 227–271, New York: Elsevier/Academic Press,

Rea, M. (2013) *Value Metrics for Better Lighting* (SPIE Press Monograph PM228) Washington: SPIE

SS-EN 12464-1 utgåva 2 2011 Belysning av arbetsplatser inomhus

Veitch, J., Newsham, G., Boyce, P., & Jones, C. (2008). Office lighting appraisal, performance, and well-being, a linked mechanisms approach. *Lighting Research & Technology*, 40, 133–151.

Wilkins, A., Veitch, J. & Lehman, B. (2010). *LED Lighting Flicker and Potential Health Concerns*. IEEE Standard PAR1789 Update

## 7 Syntes/sammanfattning

### 7.1 Sammanfattning från delområden

#### 7.1.1 Effektiv byggnadsdrift

##### 7.1.1.1 Kunskapsläge

Det är en mycket stor skillnad mellan vad som utförs i byggnader hos större fastighetsägare och det som internationella forskare har arbetat med de sista 25 åren, samt hur arbetet utförs inom processindustrin.

I de flesta byggnader utförs uppföljningen på månadsvärden och om man får avvikelser försöker man granska mätdata i byggnadens styrsystem. Drivkrafterna för en energieffektiv drift av byggnader är ofta inte tillräckligt stora, för att energin är relativt sett billig. Det tar för mycket tid och blir därigenom för dyrt att arbeta med driftoptimering av byggnaders installationssystem. Det behövs goda exempel på fastighetsägare, som hittat arbetssätt att arbeta med driftoptimering och fått bra resultat.

Då det inte finns tid för några djupare analyser av avvikelser är det en del fastighetsägare som börjar fundera på automatiserade system, som behöver utvecklas vidare. Exempelvis sätter de in en industri-PC som hämtar energivärden samt mätdata från modbus-system i ventilationsaggregat och andra utrustningar i byggnaden. Viss bearbetning av data kan förekomma och sedan skickas data till fastighetsägarens databas samt olika aktörer som hjälper till med analyser. De har för avsikt att bygga upp moduler som kontinuerligt skall kunna analysera de olika delsystemen och vid avvikelser skickas autogenererad rapport till drifttekniker och förvaltare.

Analysverktyget PIA togs fram vid KTH Installationsteknik och har sedan vidareutvecklats av BELOK till BELOK Driftanalys. BELOK Driftanalys är ett kraftfullt verktyg att visualisera installationssystemens funktion. Tyvärr anses det svårt att lära sig arbeta med BELOK Driftanalys, så det kan behöva en viss vidareutveckling.

För att öka arbetet med driftoptimering, driftuppföljning etc. krävs att det finns goda exempel på hur man skall arbeta med drift- och energiuppföljning. När antalet personer som jobbar med drift- och energiuppföljning ökar finns det underlag att vidareutveckla verktygen för drift- och energiuppföljning.

De projekt där en detaljerad driftuppföljning används idag är främst projekt som har:

- Miljöcertifiering med uppföljning av energiprestanda.
- Köpeavtal med hot om och utdömning av kännbara viten kopplade mot funktionskrav och energiprestanda. Vitena är satta för att säkerställa att bristerna i installations- och energisystem åtgärdas.

### 7.1.1.2 *Utmaningar, möjligheter samt utvecklings- och forskningsbehov*

- Varför drift och energiuppföljning inte används i någon större utsträckning och vad som krävs för att den skall öka i användning, för att förbättra byggnaders energiprestanda utan att behöva göra dyra "energirenoveringar".
- Skapa goda exempel utgående från mätdata från ett antal konorsbyggnader nyttjande resultat från IEA-samarbeten.
- Utveckla användandet av system/strukturer i byggnader som samlar in energidata och mätdata från modbus-system i ventilationsaggregat och andra utrustningar. Dessa data önskar de skall automatiskt analyseras för avvikelser från normal drift och skall då generera automatiska avvikelserapporter. Till detta behöver moduler tas fram som kan analysera om systemen har en normal funktion eller om de har en avvikelse.
- Utveckla underlag till system med dashboards som visar att byggnader har avsedd funktion på sina installationssystem och klickar man på en byggnad så får man upp en dashboard för den byggnaden och dess olika delsystem som redovisar om alla system fungerar som avsett. Skulle ett system visa på avvikande funktion, så klickar man på den så visar systemet varför det har angett att det delsystemet har en avvikenade funktion.
- Det behöver även analyseras vilka funktionskrav som normalt sätts upp för byggnader. För de olika funktionskraven, vilka typer av metoder finns för att verifiera funktionskraven och vilka krav ställer de på mätutrustningen.
- Hur kan besiktningarna gå från mer utförandebesiktning mot mer funktionsbesiktning
- Kunskapsuppbyggnad:
- Byggprojektledare måste ha mer kunskap om betydelsen av att installations- och energisystem finns med tidigt i projekt, så att det finns en möjlighet att byggnaden kan bli så energieffektiva som planerat/ projekterat.
- Tillse att studenterna får bättre komponent- och systemkunskap samt hur installationerna samverkar med byggnaden.
- Tillse att studenterna får kunskap om driftoptimering av byggnader och dess installationssystem samt lämpliga verktyg för driftoptimering.

## 7.1.2 Brukarrelaterade aspekter

### 7.1.2.1 Kunskapsläge

Den här lägesrapporten exponerar och belyser brukares roll i mer hållbar utveckling med hänsyn till att skapa lågenergi och hög prestanda i byggnader utan att göra avkall på brukares trivsel, hälsa och välmående. Behoven framgår tydligt från perspektiven vetenskaplig utmaning, samhällelig värdering samt ekonomisk angelägenhet, som även omfattar relevanta aktörer. De tre kapitlen uppmärksammar framförallt: 1. Forskning och social bakgrund till användarcentrerad undersökning; 2. Högkvalitativa forskningsresultat samt aktiviteter, normer, prestandautvärderingar och fallstudier; 3. Relevanta aktörer och forskningsnätverk.

Rapporten har belyst resultat och hinder för hur man skapar lågenergibyggnader och gynnsam inomhustrivsel. Användarcentrerad byggnadsforskning måste fördjupas för att minska klyftan mellan brukarkrav och byggnadsprestanda. Klyftorna mellan det som planerats och ett igångsatt projekt kan endast minskas om vi tar tillräcklig hänsyn till brukares krav, beteende och arbetsmönster i relation till energiförbrukning och upplevd IEQ. Evidensbaserad design kommer bli ett ledande forskningsområde, där mer forskning krävs för att minska klyftan mellan ingenjörers, arkitekters, fastighetsägares och förvaltares skilda världar.

Resultaten påvisar att gynnsamt IEQ är avgörande för att kunna bidra positivt till produktivitet och trivsel hos brukare inomhus, framförallt i kontorsbyggnader. Det har konstaterats att utöver gynnsamt IEQ är det många andra faktorer som påverkar brukares trivsel och välmående, t ex inredningsdesign och den sociala omgivningen. Därför behövs ett tydligt ramverk för att förstå olika kopplingar och hur olika faktorer bidrar. På senare år har certifiering av byggnadsprestanda blivit populärare vilket har stimulerat debatten kring ren teknologi och innovativa byggnadslösningar. I det avseendet är det den nyaste globala utmärkelsen, WELL, som har i uppgift att uppmärksamma välmående och trivsel. Dessutom finns Miljöbyggnad, det nationella byggnadscertifieringssystemet i Sverige, vilket i första hand uppmärksammar energiefterfrågan och IEQ på den inhemska marknaden. Publicerade normer och riktlinjer över krav på byggnadsrelaterad energiförbrukning och inomhusklimat har introducerats på den globala och nationella marknaden, dvs ISO, CEN, REHVA och ASHRAE. För nära-nollenergibyggnader, har rapporter utfärdats för att förtydliga begreppet och stödja genomförandet. För att fortsätta främja utvecklingen av avancerad byggnadsprestanda med hänsyn till lågenergi, låga utsläpp och trivsam miljö, har finansieringskällorna International Energy Agency och EU Research & Innovation, stadigt ökat antalet program varje år. Den här rapporten har samlat in nära besläktade projekt för att tillhandahålla en omfattande granskning av forskningsområdet. Inblick i rapporten antyder en utvecklingstrend kring betydande och fortsatt ökande fokus på brukares behov och användarcentrerad forskning. Likväl, kan slutsatsen att det holistiska perspektivet saknas dras med hänsyn till optimering av energiförbrukning i byggnader samt kopplingarna till IEQ, och att mer uppmärksamhet och ansträngning krävs för att angripa detta på rätt sätt.

Jämte ovannämnda slutsatser, kan väsentliga ekonomiska fördelar förväntas genom att skapa trivsamma och hälsosamma inomhusmiljöer, med fler produktiva brukare i kontorsbyggnader, samt förbättrad energieffektivitet i byggnader. Det är uppenbart att ekonomiska besparingar kan uppnås genom att använda mindre bränsle, dock kan man förvänta sig mer omfattande ekonomiskt incitament från ej energirelaterade besparingar i driftsfasen av kommersiella byggnader. Bruttonationalprodukten (BNP) skulle definitivt dra fördel av ökad ekonomisk tillväxt. Anställdas arbetsprestation och sjukfrånvaro anses beslutsgrundande med hänsyn till mer hållbara byggnader.

Genom att positivt påverka personalkostnaderna i driftsfasen till följd av energieffektiva åtgärder och bättre IEQ, öppnas möjligheten för oss att argumentera för högre och andra investeringar samt prioritera IEQ-åtgärder i ett tidigt design- och renoveringsskede. Studier har påvisat att användare eller brukare ofta är omedvetna om energisparande åtgärder i en byggnads brukarfase, trots att flera åtgärder har presenterats för dem. Majoriteten av brukare har en stark tendens att falla tillbaka i gamla spår en kort tid efter de blivit energimedvetna och anpassar sitt beteende därefter. Det har bevisats att pga diverse beteenden, kan energiförbrukningen vara tre gånger så hög som den lägsta förbrukning i samma byggnad. Brukarbeteende påverkar även fysiska förhållanden, t ex luftflödes hastighet, inomhustemperatur samt koldioxidkoncentration som i sin tur påverkar IEQ-utvärdering och upplevd tillfredsställelse. Drivkraften bakom brukarbeteendena är olikartade och mer omfattande studier behövs i framtiden.

Under byggnadskonstruktion har man hittills mest koncentrerat sig på investeringskostnader snarare än att införa ett systematiskt tillvägagångssätt för att granska värdet under hela livet vilket innefattar design, bygge, drift samt underhåll. Faktum är att det saknas ekonomiska incitament för att ta beslut om radikala energieffektiva åtgärder. Om det endast är investeringskostnaden som beslutsfattare tänker på, kan energieffektiv teknik och avancerad inomhusmiljö inte prioriteras. Det är därför viktigt att byggbranschen tar med livscykelkostnaden (LCC) i beräkningen av den totala kostnaden för bygg-, drift- och bortskaffandefaserna av en byggnad. Följaktligen, bör de ekonomiska fördelarna för olika intressenter övervägas objektivt.

Det finns tydliga tecken på att det är värt att satsa på högprestandabyggnader för att uppnå ekonomiska vinster. År 2013 rapporterades det att ca. 1,500,000 m<sup>2</sup> nya byggnader hade certifierats, vilket visar en trend på marknaden att framtida byggnadsprestanda måste leverera både energi och inomhuskomfort samt välmående. Detta ökar den samhällsmässiga nyttan för företag och sjukvård genom besparingar för lägre sjukfrånvaro och ökad arbetsprestation. Även centrala aktörer, dvs byggbranschen, arkitekter, civil och mekaniska ingenjörer, fastighetsägare och byggnadsspekulanter kan dra nytta av ett marknadsdrivet byggnadscertifieringssystem såväl som mervärdet en hållbar omgivning ger.

Sammanfattningsvis dras slutsatsen att brukares betydelse för energiprestanda och IEQ är; 1) de som påverkar energiförbrukning och IEQ-förhållandena mest; 2) de som har möjlighet att minska prestandaklyftan; 3) de som slutligen betygsätter högprestandabyggnader; och 4) de som är drivande i utvecklingen av högprestandabyggnader. Med möjlighet att skapa en välmående omgivning med låga utsläpp i byggnader samt ett hållbart samhälle, så har brukare betydelse för att minska klyftorna och införa innovativ teknik inte studerats tillräckligt i verkligheten, såsom brukares behov, beteende och arbetsmönster.

### ***7.1.2.2 Utmaningar, möjligheter samt utvecklings- och forskningsbehov***

Det är påtagligt i rapporten att många ansträngningar har gjorts för att uppnå låg energiförbrukning och bättre inomhusklimat i byggnader. Trots det så har olika utmaningar inte uppmärksamats och är fortfarande olösta. En ytterligare målsättning med rapporten är att identifiera framtida innovativa möjligheter och forskningsbehov speciellt för högprestandabyggnader med låg energiefterfrågan, där inomhusmiljö kvaliteten är fördelaktig för att skapa nära-nollenergibyggnader. Av den orsaken rekommenderas följande akuta områden:

- Kunskap och definition
  - Övergripande kunskap om vilka faktorer i en befintlig byggnad som kan påverka den totala energi- och inomhusklimatprestandan från brukares synvinkel;
  - Bilda en gedigen uppfattning om de faktorer som påverkar anställdas produktivitet i kommersiella byggnader.
- Mätdata och insamling
  - Långtidsuppsikt över inomhusklimat och energiprestanda samt ett system för att samla in brukares åsikter;
  - Tillförlitliga exakt data framförallt i relation till större datainsamlingar;
  - Användning av smarta givare och Internet of Things (IoT) till framtida byggnads- och brukardatainsamlingar
- Modellutveckling
  - Utveckla och förbättra valideringsmodeller och verktyg lämpliga för de tidiga planeringsskedena så att formgivare och ingenjörer kan förutsäga trivsel och välmående baserat på generella teorier och faktabaserade modeller.
- Byggnadsprestanda för inomhusklimat och energiprestanda
  - Kvantifiera mervärdet av förbättrad trivsel, hälsa och produktivitet med syftet att utvärdera byggnaders prestanda i andra avseenden än endast energi;
  - Skapa indikatorer för byggnadsprestanda för att stötta beslutsfattare att vilja betala för dräglig inomhusmiljöer.

Ovan visas exempel på områden som bör åtgärdas snarast, t ex datainsamling och fullskaliga mätningar. Datainsamling kommer bli en givande resurs för att kunna identifiera kunskapsluckor. En annan viktig fråga som bör adresseras snarast är hur man mäter brukares produktivitet på ett exakt och praktiskt tillvägagångssätt. Datainsamling är avgörande för att noggrant kunna utvärdera fördelarna med förbättrad inomhusmiljö både för samhälle och ekonomi. Det är även avgörande att tillhandahålla lämpligt utbildningsmaterial och träning för brukare, i syftet att öka och behålla kännedom om energisparande möjligheter samt bibehålla ett hälsosamt och bekvämt IEQ. I nya eller renoverade lågenergibyggnader kommer brukares inflytande bli mer och mer viktig för att uppnå planerad prestandanivå. En viktig forskningsfråga för allmänheten i stort är att fastställa mönster och drivkraft bakom energi- och trivselprestanda i byggnader. Samtidigt bör man, som utmanandedriven långtidsforskning, satsa på att övergripande kvantifiera och förutsäga brukarcentrerad byggnadsprestanda, och tillhandahålla riktlinjer och metodologier för relevanta aktörer och forskare.

### 7.1.3 Hållbar renovering

#### 7.1.3.1 Kunskapsläge

Alla aktörer i byggsektorn behöver bättre kunskap. Det gäller beslutsfattare i styrelser, arkitekter, tekniska konsulter, entreprenörer, ekonomer och yrkesarbetare som medverkar vid renovering av byggnader. Ett betydande problem är bristen på kompetens avseende hur energieffektivisering på bästa sätt kan göras i samband med renovering så att man säkerställer gott inneklimat med bra energiprestanda och bra övrig funktion. Förvaltare och fastighetskötare behöver också tillföras ny kunskap för att till fullo kunna utnyttja modern teknik. Kompetens- och kunskapslyft är troligen avgörande för att få igång en lyckad omfattande renoveringsverksamhet i Sverige samtidigt som det är brist på rekryteringsbar personal. Det har resonerats om ett stort behov av något som liknar Bygga-Bo-Dialogen, och namnet Renovera-Rätt-Dialogen har föreslagits. Nationellt Renoveringscentrum menade att just detta koncept bör vara det som bäst leder till framgång. Syftet är att utbilda utbildare för att nå stor spridning. Utbildningsverksamheten bör bland annat riktas mot yrkesverksamma så att kunskaper når långt ut i utförandedet, men också på hög nivå behövs utbildning. En forskarskola med doktorandkurser med inriktning på renoveringsfrågor anses behövas och en sådan kurs har genomförts under senaste året. Då höjs den vetenskapliga kompetensen om renovering som kan och bör implementeras i den grundläggande universitetsutbildningen. Utbildning innebär också en intensifierad satsning för att påverka universitetens och högskolornas grundutbildningar att i större utsträckning ta med avsnitt om renoveringsfrågor.

Dessutom behövs forskning om tvärvetenskapliga kopplingar och hur statistiska variationer ska beskrivas och hanteras i såväl projektering som uppföljning och drift. Allmänt finns inte mycket gjort på driftsfasen.

#### 7.1.3.2 Utmaningar, möjligheter samt utvecklings- och forskningsbehov

Varje renoveringsprojekt är unikt och genererar olika former av kunskaper och erfarenheter. Ofta utvärderas specifika frågor i respektive projekt som inte direkt kan tillämpas i nästa utan bearbetning. Förutsättningarna är oftast olika i varje projekt. Det finns därför risker med att utan kritisk granskning tillämpa kunskaper från ett projekt till ett annat. En mycket viktig uppgift för att få hållbara renoveringar är att ta hänsyn till alla aspekter av hållbarhet och inte fastna i delar. Social, ekonomisk och ekologisk hållbarhet måste vara en del av hela processen. Renovering ger också möjlighet att sanera för ämnen som radon, asbest etcetera. Efterhand som ämnen byts kommer troligen dokumentationen att vara bättre så att en framtida renovering underlättas. Idag ska ändrad eller ombyggd del av en byggnad uppfylla nybyggnadskraven i BBR.

Att utnyttja mätningar och automatiserade sådana skulle öka förutsägbarheten och förbättra resultatet vid framtida hållbara renoveringar. Gör man energiåtgärder behöver man hålla koll på fuktrisker och inomhusmiljöprestanda samtidigt. Även andra problemställningar kan uppstå som till exempel påverkad arkitektur eller tillgänglighet. Primärt för energirelaterade åtgärder behöver allt som har med effektbalansen mätas före och efter åtgärder och ett upplägg som har använts i vissa studier är att dessutom mäta i byggnader som har lika förutsättningar men som inte åtgärdas. Typiska parametrar som blir väsentliga i samband med renovering för uppföljning och idrifttagning är

- Energier och effekter. Dessa behöver delas på energislag med tanke på effektbalansens olika delar.
  - Uppvärmning – beroende på energislag behöver både tillförd och avgiven effekt mätas.

- Tappvarmvatten – i bostäder är detta en stor del, i kontor en mindre, medan i lokaler, som exempelvis hotell, en mycket stor del. VVC-förluster kan inkluderas och bör inkluderas om analysen berör denna fråga
- Kyla – om kylsystem finns behövs både tillförd och avgiven energi
- Verksamhetsel – det behöver utredas i vad man denna tillfaller rummens effektbalans. Abonnemangen kan ibland ägas av hyresgästerna. Mätningarna behövs vare sig de är juridiskt otillgängliga eller inte.
- Närvaro – detta har mätts med hjälp av koldioxid som indikator i flera fall. Alternativ
- Läge på solavskärmning etc som påverkar effektbalansen för rummen.
- Innemiljöparametrar
  - Flyktiga organiska föroreningar, koldioxid och partiklar
  - Drag, lufthastigheter, luftåldrar och buller
  - Ljus och belysning
- Fuktsäkerhet
  - Fuktkvoter och ånghalter genom relativa fuktigheter i lämpliga konstruktionsdelar. Känsliga områden är kalla vindar och väggkonstruktioner samt kryppgrunder om sådana finns. ByggaF är ett ramverk som kan användas för detta.
- Uteklimat för att kunna normalårskorrigera, vilket är ett utvecklat område i moderna byggnader med låg energianvändning där utetemperaturen spelar en mindre roll för effektbalansen.
  - Utetemperatur
  - Global och direkt solinstrålning
  - Vindfart och vindriktning
  - Nederbörd
  - Relativ fuktighet
- Statiska parametrar om byggnadens utformning och användning

Mätintervallet behöver vara så kort att det som önskas analyseras går att lösa upp. Typiskt kan vara minutnivå på beteenderelaterade parametrar och timnivå på resten.



## 7.1.4 Effektiv belysning

### 7.1.4.1 Kunskapsläge

Belysningsområdet genomgår en snabb teknikutveckling för tillfället där ljuskällorna blir mer energieffektiva. De moderna ljuskällorna kan också styras på helt nya sätt vilket kan vara mycket positivt för brukarna. Det finns också möjligheter till att utnyttja dagsljuset på ett bättre sätt än tidigare och att se det elektriska ljuset som komplement till dagsljuset. Kunskapen om människors behov av ljus har också gått framåt under de senaste decennierna. Vår förståelse av ljusets betydelse för såväl ergonomi, välbefinnande, produktivitet och hälsa har ökat. I samband med certifiering av olika slag finns dagsljusstillgång och belysning ofta med, men i mycket begränsad omfattning. Det finns standarder och riktlinjer, men dessa har inte hunnit uppdateras i takt med den tekniska utvecklingen och den ökade kunskapen om ljusets betydelse för människan. Belysning kan idag vara en del av byggnadens totala system, men ofta sker inte detta. Behovet av integrering mellan olika system har ökat. Detta gör att det behövs ökad samverkan i samband med byggnadsprojekt mellan olika aktörer. Samtliga komponenter i systemen måste kunna kommunicera felfritt vilket förutsätter att samverkan sker. När det gäller forskning är utveckling av flervetenskaplig tillämpad forskning det som kan bidra till en positiv utveckling. Endast genom att basera rekommendationer och riktlinjer på tillgänglig verifierad forskning kan acceptans för nya standarder och riktlinjer erhållas.

### 7.1.4.2 Utmaningar, möjligheter samt utvecklings- och forskningsbehov

Belysning har gått från att vara en ganska statisk verksamhet oberoende av byggnaden i övrigt till att bli en integrerad del i byggnaden, där samspelet mellan elektriskt ljus och dagsljus är av stor betydelse. Den tekniska utvecklingen inom belysningsområdet har också gjort att kompetenshöjande åtgärder måste fram både hos beställare och förvaltare. Regelverken för belysning är också många gånger föråldrade och relevanta parametrar för att mäta ljuskvalitet saknas (Enger & Davoodi, 2015). De befintliga standarder som finns genomgår nu stora förändringar och nya mått är på väg. Något som är svårt rörande ljus och belysning är att hitta tydliga, enkla och relevanta mått på kvalitativa aspekter av ljuset. För att till fullo kunna utnyttja den potential som finns i och med det genomförda teknikgenombrottet måste branschen därför enas om hur man bäst mäter ljus från olika utgångspunkter. Som exempel kan nämnas standarden för inomhusmiljöer SS 12464-1 som är under omarbete för tillfället. Då man idag tar hänsyn till icke-visuella egenskaper hos ljuset måste man mäta det ljus som faller direkt på näthinnan. Att då enbart mäta horisontell belysningsstyrka ger inte tillräcklig information. Därför bör även vertikal belysningsstyrka mätas. Detta är dock enbart ett första steg. Det behövs också tydliga anvisningar rörande ljusets spektrala sammansättning. I nästa avsnitt görs en kort genomgång av den kunskap vi idag har om ljusets icke-visuella effekter på människan. God belysning och ljusförhållanden kan också vara ett konkurrensmedel. Eftersom det finns mycket forskning som pekar mot att ljuset kan påverka produktivitet och välbefinnande kan god belysning ses som en konkurrensfördel när det gäller lokaler. Kunskapen måste dock föras ut till beställare och brukare.

## 7.2 Sammanfattande slutsatser

Denna kunskapssyntes utfördes under perioden 160901-171130 i nära samverkan mellan ledande aktörer från akademi, näringslivet, branschorganisationer och den offentliga sektorn, däribland Kungliga Tekniska högskolan, Blekinge Tekniska högskola, Chalmers Tekniska högskola, Lunds Universitet, Malmö Högskola, Jönköpings Universitet, Akademiska Hus, AMEM Konsulter, AMF Fastigheter, CIT Energy Management, Helenius, Humlegården Fastigheter, Installatörsföretagen, Intel, Nationellt Renoveringscentrum för bebyggelse, NCC, NODA, Nordomatic, Novotek, PEAB, Projektengagemang, Rise, Skandia Fastigheter, Skanska Kommersiell Utveckling Norden, Stena Fastigheter, Stockholms stad, Sustainable Innovation, Sustainable Integrated Renovation (Siren), Vasakronan samt White Arkitekter.

Inom ramen för arbetet etablerades kontakter med BELOK- och SVEBY-programmen med målsättningen om utökad samverkan framöver.

Samarbetet skapade en stark gruppering med bred och djup tvärvetenskaplig och tvärsektoriell kompetens inom bl a bygg- och installationsteknik, inomhusklimat, energiteknik, datavetenskap, miljöpsykologi, brukarspekter, projektutveckling/produktion, byggnadsförvaltning och andra byggnadsdriftrelevanta områden. Samtidigt skapades även en kritisk massa av aktörer med möjlighet att hantera komplexare systemfrågor med relevans till brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift. I det fortsatta arbetet avses konsortiet utvidgas till att inkludera aktörer från ytterligare relevanta områden (t ex andra teknikområden, medicin, psykologi, beteendevetenskap mfl), samt andra kategorier av branschaktörer som t ex energibolag, kommunala aktörer, branschorganisationer m fl.

Internationellt har projektet lett till ett fördjupat samarbete med bl a Aalto University, Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations (REHVA), Hokkaido University (Sapporo, Japan), HTW-Berlin, Tallinn University, University of Melbourne samt Waseda University (Tokyo, Japan). En gemensam workshop kring effektiv byggnadsdrift är planerad att hållas vid University of Melbourne under februari 2018. Ett industridoktorandprojekt kring effektiv byggnadsdrift och byggnadsautomatisering har under hösten 2017 initierats i samarbete med Universitetet i Timisoara samt med finansiering från PRODAO-Ing SRL, Timisoara (doktorand: Andrei Litiu). En första konferensartikel med titeln "Continuous optimization of HVAC-system and building performance through performance visualization" är planerad att presenteras vid Roomvent/Ventilation 2018 (Espoo, Finland) i samarbete med bl a Skanska och Projektengagemang.

Ytterligare ett industridoktorandprojekt kring effektiv byggnadsdrift har initierats under hösten 2017 i samarbete med Akademiska Hus (blivande doktorand: David Hälleberg).

Sammanlagt 5 examensarbeten med relevans till byggnadsdrift, inomhusmiljö och energiprestanda är planerade att genomföras under våren 2017 i KTH:s nya Undervisningshuset (<https://www.akademiskahus.se/vara-kunskapsmiljoer/byggprojekt/vara-byggprojekt/stockholm/undervisningshuset/>) i samarbete med Projektengagemang och Akademiska Hus.

Samverkan med Blekinge Tekniska högskola (BTH) och Universitetet i Jönköping (JU) kring frågor rörande digitalisering, OT-system, machine learning och AI (artificiell intelligens) med relevans för byggnadsdrift har resulterat i att Professor Niklas Lavesson (JU) samt Professor Tony Gorschek (BTH)

har blivit föreslagna att utnämnas till affilierade professorer vid KTH Installations- och energisystem vilket förväntas stärka det interdisciplinära samarbetet inom området digitalisering-byggnadsdrift.

Studien påvisade ett starkt intresse bland branschaktörerna (akademi, näringsliv, branschorganisationer och offentliga aktörer) för frågor rörande effektiv, hållbar byggnadsdrift, samt stor enighet i uppfattningen att det inom byggsektorns alla led råder ett betydande kunskapsbehov kring relaterade frågor. Särskilt bristfällig anses vara förståelsen kring kopplingarna mellan brukarrelaterade, tekniska, energi- och miljörelaterade, ekonomiska och andra parametrars påverkan på byggnaders systemprestanda i livscykelerspektiv. Behovet av ett välstrukturerat och sektorsövergripande kunskapslyft betonades, inte minst mot bakgrund av ökande kvalitets- och prestandakrav i byggsektorn. Behovet att effektivare anpassa byggnadsdriften till specifika brukarbehov framhövdes särskilt, såsom behovet av en betydligt djupare förståelse kring kopplingarna mellan byggnadsprestanda, brukarnöjdhet och produktivitet. Implementeringen av EPBD-direktivet och kraven på nära-noll energiprestanda i den byggda miljön kommer inte kunna ske med framgång utan tillgång till erforderlig kompetens på alla nivåer.

Det har länge varit känt att en höjning av produktiviteten hos kontorsanställda med endast 1% kan minska ett företags driftkostnader i en omfattning motsvarande kontorsbyggnadens sammanlagda energikostnader. Mot bakgrund av kända nytto- och vinsteffekter som kan tillskrivas effektiv byggnadsdrift, är det förvånande att nivån på dagens byggnadsdrift och uppföljningen av funktionskvalitet och brukar-/kundnöjdhet släpar långt efter det som under lång tid varit etablerad praxis i många andra branscher. En bättre förståelse kring kopplingarna mellan brukarnöjdhet, produktivitet och byggnadsdrift förväntas ge nya insikter kring byggnaders behovs-/kundanpassning och lönsamhet i systemperspektiv.

För att uppnå en sammanhängande helhetsbild krävs bl a kvalitetssäkrade mätdata med tillräckligt hög upplösning som noggrant återspeglar kontorsbyggnaders funktion och prestanda under olika driftförhållanden samt under längre tidsintervaller. Idag finns få exempel där dessa samband analyseras kontinuerligt för att långsiktigt och i realtid kunna optimera och anpassa byggnadsdriften till brukarnas och byggnaders dynamiska behov.

Långsiktiga mätningar och kvalitetssäkrad information om sambanden mellan byggnadsdrift, brukarbehov, inneklimat, energieffektivitet och andra aspekter av byggnaders övergripande prestanda kommer behövas framöver för att underlätta en behovs- och brukaranpassad byggnadsdrift under byggnadens långa operativa fas. Bättre underlag krävs för utvecklingen av bättre driftanalysmodeller och verktyg. I förlängningen förväntas detta underlätta kontrollen av kravuppfyllelsegraden och uppföljningen av ingångna fastighetsavtal. Kvalitetssäkrade prestandauppgifter kommer samtidigt generera värdefull feedback för framtida systemval och stärka beställarens roll vid upphandlingen av tjänster och installationer. Detta förväntas även ge värdefull återkoppling (kvalitetssäkrad indata) för byggnadssimulering och beslutsprocesser i tidiga skeden, samt kvalitetssäkra faktaunderlaget för framtida krav och byggregler.

För bl a projektutvecklingsbolag och entreprenörer förväntas bättre kunskap om inneklimat och energiprestanda i kontorsbyggnader resultera i:

- Bättre förutsättningar för kundanpassade och kostnadseffektiva systemval vid ny-/ombyggnation (t ex installations- och styrsystem); kostnadseffektivare produktion
- Bättre möjlighet att anpassa byggnadsutformning- och funktion till specifika kundbehov

- Bättre koppling mellan simulerad och levererad/uppmätt byggnadsprestanda
- Effektivare idrifttagning
- Bättre uppfyllelse av specifika kundbehov med högre kundnöjdhet och bättre lönsamhet; därmed bättre förutsättningar för avtalsutformning
- Bättre möjligheter att uppfylla byggnaders funktionskrav i förhållande till önskade byggnadscertifieringsnivåer.

Samtidigt som tillgången till kvalitetssäkrade uppgifter om byggnadsprestanda är en förutsättning för ökad kunskap kring sambanden mellan byggnadsdrift och byggnadsprestanda, är det viktigt att insamlingen och hanteringen av mätdata sker på ett säkert sätt samt med hänsyn till brukares och organisationers integritet.

Allt bättre mätteknik (med noggrannare, smidigare och billigare sensorer), en ökande uppkopplingsgrad och interaktivitet mellan olika system, samt vår snabbt ökande förmåga att effektivt hantera stora och komplexa dataserier (Big Data, Internet of Things) öppnar oanade möjligheter för en bättre brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift. Den accelererande digitaliseringen utgör ett regelrätt paradigmskifte, där framtida applikationer baserade på användningen av artificiell intelligens inte längre hör till det otänkbara. Mot denna bakgrund kommer frågor rörande data- och systemsäkerhet samt relaterade integritetsaspekter onekligen få ökad betydelse i den framtida forskningen, kunskapsutvecklingen och framtagningen av ny teknik och applikationer.

## 8 Fortsatt arbete

Den inledande fokuseringen på effektiv driftanalys och driftoptimering, brukarrelevanta frågor, effektiv belysning och hållbar renovering kommer i nästa steg utvidgas till att omfatta även andra frågeställningar av betydelse för brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift. En viktig målsättning i sammanhanget är att skapa en bättre systemförståelse kring byggnadsprestanda i livscykelperspektiv, samt i förhållande till kund-/aktörsnytta, kundnöjdhet och produktivitet.

Medan denna kunskapssyntes fokuserat på kontorslokaler kommer det fortsatta arbetet utvidgas till att inkludera andra kategorier av byggnader (bl.a. bostadshus, skolor, m.fl.).

Inom ramen för detta projekt togs en ansökan (se bilaga) fram för ett uppföljningsprojekt (förstudie) med det övergripande målet att undersöka randvillkoren för etableringen av en nationell, tvärvetenskaplig samverkans- och innovationsplattform för brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift med fokus på inomhusklimat och energiprestanda i byggnader (CIEB-arbetsnamn). Ansökan beviljades i november 2017 (Energimyndigheten, utlysning "Resurs- och energieffektiva byggnader", projnr 44567-1; 171113) och uppföljningsarbetet är planerat att genomföras under perioden 171201-181231.

Samverkansplattformens (CIEB) syfte är att genom multidisciplinärt samarbete skapa en livscykel- och systembaserad förståelse av hur byggnadsdriften i olika typer av byggnader effektivast bör utformas för att på ett helhetligt hållbart sätt uppfylla brukares specifika och dynamiska behov (inneklimate, funktionskvalitet, välbefinnande, produktivitet mm).

Visionen kring CIEB omfattar en rad verksamhetsområden som avse bedrivs i nära samverkan mellan nationella och internationella aktörer från akademi, näringsliv och samhälle. CIEB avses bland annat:

- Långsiktigt bedriva forskning kring sambanden mellan byggnadsdrift och byggnaders inneklimate och energiprestanda som funktion av resurs- och miljörelaterade, ekonomiska samt brukarrelevanta/sociala faktorer
- Bedriva utbildning (kurser och behovsanpassade utbildningsformer) kring berörda frågor;
- Disseminera kunskap/information kring relevanta frågor i form av vetenskapliga och populärvetenskapliga publikationer samt riktade satsningar som workshops, seminarier, mm.
- Skapa en kunskapsbank baserat på långsiktig mätdata om inneklimate och energieffektivitet, samt driftanalys för olika kategorier av byggnader.

Projektet kommer att drivas med stöd i Innovationsklustrets för energi- och resurseffektiva samhällen (EnReSa, [http://www.sust.se/projekt/innovationskluster\\_resan/](http://www.sust.se/projekt/innovationskluster_resan/)) verksamhet och nätverk med aktörer inom stat, näringsliv och akademi. Särskilt fokus läggs på innovationsklustrets nätverks-, kommunikations- och projektskapande aktiviteter och projektet kommer i detta arbete även söka kunskap och samverkansparter genom etablerade innovationskluster och nätverk som t ex BeBo och BeLok.

EnReSa är ett tvärsektorieellt samarbete för att stimulera energi- och resurseffektiva innovationer (produkter, tjänster, processer, affärsmodeller) för hållbara samhällen i verkliga demonstrationsmiljöer (living labs etc.).

Samverkansplattformens syfte är att genom multidisciplinärt samarbete skapa en livscykel- och systembaserad förståelse av hur byggnadsdrift i olika typer av byggnader effektivast bör utformas och genomföras för att på ett helhetligt hållbart sätt uppfylla brukares specifika och dynamiska behov (inneklimat, funktionskvalitet, välbefinnande, produktivitet mm).

Samverkansplattformens (CIEB) mål är att på kort och på längre sikt skapa mätbar brukar-, verksamhets- och samhällsnytta med särskild fokus på bra inomhusklimat, brukarnöjdhet och produktivitet, välbefinnande samt effektiv energianvändning. Arbetet ska bedrivas med strävan efter genomgående hållbara lösningar där även ekonomiska, miljörelaterade och andra viktiga faktorer noggrant ska beaktas.

CIEB:s verksamhet avses därmed skapa mervärde i närtid (1-3 år), mellanlångt perspektiv (3-5 år) samt långsiktigt (5+ år), t ex i följande sammanhang:

#### ***Närtid (1-3 år):***

- Utveckling av resurs- och kostnadseffektiva metoder för automatiserad sökning av fel och driftstörningar i byggnaders inneklimat- och energisystem;
- Behovsanpassad visualisering av byggnaders inneklimat- och energiprestanda;
- Återkoppling från uppmätt prestanda och driftanalys i byggnader på modellering av inneklimat och energiprestanda;
- Återkoppling från uppmätt prestanda och driftanalys i byggnader på komponent- och systemval i olika typer av byggnader (bättre kravspecifikationer, kunnigare beställare);
- Återkoppling från uppmätt byggnadsprestanda på styrning och reglering av inneklimat- och energisystem i byggnader;
- Utvärdering av inneklimat i byggnader baserat på uppmätt och upplevt klimat;

#### ***Kort till mellanlångt perspektiv (3-5 år)***

- Behovsanpassad byggnadsdrift i olika typer av byggnader; olika komplexitet/omfattning beroende på byggnadstyp; (närtid/mellan)
- Utveckling av en bättre förståelse kring olika inneklimat- och energisystems funktion i olika typer av byggnader; (närtid/mellan)
- Felsökning och funktionsanalys hos inneklimat- och energisystem, aktiv driftoptimering (felsökning/identifiering av felfunktioner, trasiga komponenter, felaktiga styralgoritmer mm); FDD (närtid/mellan)
- Driftsäkerhet; drifttillgänglighet (närtid/mellan)
- Inverkan av bättre byggnadsprestanda på marknadsvärde, driftekonomi samt byggnadscertifiering (mellan)

### **Långsiktigt (5+ år)**

- Etablering av en kunskapsbank (baserat på långsiktig insamling och analys av driftdata från olika kategorier av byggnader)
- Branschövergripande kompetenssäkring (utbildningsinsatser)
- Djup förståelse i system- och livscykelperspektiv kring brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift i olika typer av byggnader
- Ledande forskning CIEB:s syfte är att i nära samarbete med nationella och internationella aktörer från akademi, industri och samhälle:
- Långsiktigt bedriva forskning kring sambanden mellan byggnadsdrift och byggnaders inneklimat och energiprestanda som funktion av resurs- och miljörelaterade, ekonomiska samt brukarrelevanta/sociala faktorer; även på kort sikt (något branschen kan nyttja om något år)
- Bedriva utbildning (kurser och behovsanpassade utbildningsformer) kring berörda frågor;
- Disseminera kunskap/information kring relevanta frågor i form av vetenskapliga och populärvetenskapliga publikationer samt riktade satsningar som workshops, seminarier, mm.
- Skapa en kunskapsbank baserat på långsiktig mätdata om inneklimat och energieffektivitet, samt driftanalys för olika kategorier av byggnader.
- Utveckling av standardiserade mät- och analysmetoder för att kvalitetssäkra benchmarking och byggnadscertifiering
- Användning av digitaliseringsverktyg (t ex Big Data, Internet of Things, automatisering, Machine Learning och i ett längre perspektiv även artificiell intelligens) för effektivare byggnadsdrift

Samverkansplattformens verksamhet avses bland annat omfatta långsiktig uppföljning, mätning och analys av funktionskvalitet och byggnadsprestanda i drift, i olika kategorier av byggnader.

Kvalitetssäkrat mätdata förväntas i detta sammanhang utgöra en grundsten för noggrannare och bättre brukaranpassad driftanalys och driftoptimering.

Samverkansplattformens verksamhet avses dra nytta av medverkande aktörers specifika tvärvetenskapliga expertis (inom teknik, medicin, psykologi, beteendevetenskap mfl), styrkor och resurser för att gemensamt effektivare kunna hantera komplexa utmaningar i ett helhetligt systemperspektiv och för att på så sätt kunna generera bästa brukar- och samhällsnytta.

Arbetet i förstudien omfattar fyra delmål:

#### **Delmål 1 (D1): Kartläggning av nyckelaktörer och pågående projekt**

Kartläggning av nyckelaktörer, organisationer, etablerade nätverk (såsom BELOK, BEBO mfl), innovationskluster (EnReSa mfl) m fl inom akademi/forskningsinstitut, näringsliv och samhälle som arbetar med eller berörs av frågor rörande effektiv byggnadsdrift, inomhusklimat, brukarnöjdhet och

produktivitet, brukarbeteende, funktionskvalitet, byggnadsdrift, energi-/resurseffektivitet mm. Kartläggningen förväntas generera en tidsaktuell multidisciplinär bild av relevanta aktörer, dessas intresseområden, specialkunskaper och styrkor, tillgång till resurser (t ex laboratorier, kunskapsbanker mm) ansvars- och verksamhetsområden, och inte minst intresse för samverkan inom ramen för en multidisciplinär plattform. Aktörskartläggningen avses även omfatta pågående projekt (forskning/innovation, utbildning, informationsinsatser, testbäddar och demonstrationsobjekt mm). Förstudien avses identifiera aktörer, expertis och projekt inom alla discipliner (teknik, medicin, psykologi, beteendevetenskap mfl) med relevans för de berörda frågorna. Medan fokusen i första hand kommer ligga på aktörer och projekt i Sverige, kommer omvärldsanalysen även omfatta ledande internationella aktörer.

### **Delmål 2 (D2): Kartläggning av aktuella utmaningar, kunskapsbehov mm**

Sammanställning i nära samverkan med aktörerna enligt D1 av en översikt över aktuella utmaningar, frågeställningar och kunskapsbehov som skapar ett behov av fördjupad forskning, utbildning, informationsinsatser, testbäddar och demonstrationsprojekt i syfte att skapa en bättre förståelse kring sambanden mellan effektiv byggnadsdrift, funktionskvalitet, brukarnöjdhet och produktivitet, inomhusklimat, energi- och resurseffektivitet mm. Arbetet avses identifiera både befintlig expertis och områden med kompetensbrist och kunskapsbehov. Förstudiens mål är att omfatta alla discipliner (teknik, medicin, psykologi, beteendevetenskap m fl) med relevans för de berörda frågorna. Fokusen kommer i första hand ligga på aktörer i Sverige. Där brist på relevant nationell expertis uppdagas kommer sökfältet utvidgas även till internationella aktörer, till en början inom Norden/EU. Arbetet avses leda till konkreta förslag på tvärvetenskapliga forsknings-, utbildnings-, demonstrations- och informationsinsatser mm som förväntas skapa bättre klarhet kring relaterade frågor och som avses ligga till grund för samverkansplattformens verksamhet såväl i ett kortare perspektiv (1-3 år) som på längre sikt (>3 år).

### **Delmål 3 (D3): Samverkansplattformens verksamhet och organisation**

Undersöka hur en långsiktig samverkan mellan aktörerna enligt ovan effektivt bör utformas och genomföras inom ramen för en tvärvetenskaplig samverkansplattform för brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift med fokus på inomhusklimat och energiprestanda i byggnader för att bemöta rådande forsknings-, kunskaps- och informationsbehov och skapa störst brukar- och samhällsnytta.

### **Delmål 4 (D4): Ansökan – Etablering och uppstart av en tvärvetenskaplig samverkansplattform för brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift med fokus på inomhusklimat och energiprestanda i byggnader**

Baserat på utfallen från D1-D3 ska en ansökan utformas för etablering och uppstart av verksamheten i en tvärvetenskaplig samverkans- och innovationsplattform för brukaranpassad, hållbar byggnadsdrift med fokus på inomhusklimat och energiprestanda i byggnader.