

Behovsstyring av klimatekniske installasjoner i energieffektive kontorbygg

Erlend Bøgwald
Austerheim

Master i energi og miljø

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Vojislav Novakovic, EPT

Medveileder: Tore Wiggenstad, Enova SF

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for energi- og prosesseteknikk

EPT-M-2013-16

MASTEROPPGAVE

for

Stud.techn. Erlend Bøgwald Austerheim

Våren 2013

Behovstyring av klimatekniske installasjoner i energieffektive kontorbygg*Demand control of building services in energy efficient office buildings***Bakgrunn og målsetting**

Energieffektive bygninger kjennetegnes ved lavt energibehov og tilsvarende liten mengde tilført energi. Et viktig grep for å oppnå dette, er innføring av teknologier for styring av ytelse basert på behov, såkalt behovsstyring av de klimatekniske installasjonene, ventilasjon, lys, varme og kjøling. Selv om funksjonen er den samme, erfares det at løsningen på detaljnivå kan være forskjellig fra prosjekt til prosjekt. Videre viser undersøkelser forskjellig grad av måloppnåelse og brukertilfredshet med de ulike løsningene.

På bakgrunn av prosjektoppgaven "Planlagt løsning, oppnådd effekt og brukertilfredshet ved bruk av behovsstyring av klimatekniske installasjoner i passivhus og lavenergibygg. Yrkesbygg" som ble gjennomført med utgangspunkt i databasen hos Enova som inneholder informasjon om over 50 prosjekter innenfor kategorien yrkesbygg, ønskes det en mer detaljert vurdering av teknologi, driftsutfordringer samt muligheter og utfordringer med teknologien i relasjon til bygninger med lavt energi og effektbehov. Oppgaven skal ta utgangspunkt i noen få mest karakteristiske prosjekter fra prosjektoppgaven, hvor inngår både prosjekter som anses som vellykkede og prosjekter som anses som mindre vellykkede.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter

1. Det skal foretas en nærmere undersøkelse rundt hva som kjennetegner prosjektresultatene.
2. Det skal redegjøres for aktuelle teknologiske løsninger innenfor behovsstyring, hvor løsninger i de valgte case settes i relasjon til prosjektresultatene.
3. Det skal nærmere belyses driftsutfordringer samt muligheter og utfordringer med teknologien i relasjon til bygninger med lavt energi og effektbehov.
4. På bakgrunn av innsamlet data og analyse skal oppgaven også inneholde en utredning av alternativ måter å løse behovsstyring på. Det pekes i så måte på mulige teknologiske og brukermessige forenklinger og eventuelle konsekvenser av dette.

” _ ”

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sendte instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesssteknikk.

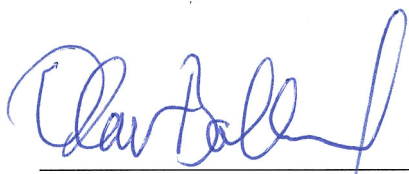
Risikovurdering av kandidatens arbeid skal gjennomføres i henhold til instituttets prosedyrer. Risikovurderingen skal dokumenteres og inngå som del av besvarelsen. Hendelser relatert til kandidatens arbeid med uheldig innvirkning på helse, miljø eller sikkerhet, skal dokumenteres og inngå som en del av besvarelsen. Hvis dokumentasjonen på risikovurderingen utgjør veldig mange sider, leveres den fulle versjonen elektronisk til veileder og et utdrag inkluderes i besvarelsen.

I henhold til "Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet" ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

Besvarelsen leveres digitalt i DAIM. Et faglig sammendrag med oppgavens tittel, kandidatens navn, veileders navn, årstall, instituttnavn, og NTNUs logo og navn, leveres til instituttet som en separat pdf-fil. Etter avtale leveres besvarelse og evt. annet materiale til veileder i digitalt format.

- Arbeid i laboratorium (vannkraftlaboratoriet, strømningssteknisk, varmeteknisk)
 Feltarbeid

NTNU, Institutt for energi- og prosesssteknikk, 14. januar 2013



Olav Bolland
Instituttleder



Vojislav Novakovic
Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder: Tore Wigenstad, Enova SF

FORORD

Denne masteroppgaven er gjennomført vederlagsfritt for Enova SF i tiende semester på sivilingeniørstudiet Energi og miljø ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, retning Energibruk i bygninger, våren 2013, og har en studiebelastning på 30 studiepoeng.

Siden sommeren 2011 har jeg jobbet i energibruk-avdelingen hos Enova SF i Trondheim, først i en sommerjobb og deretter som deltidsansatt ved siden av studiene i Energi og miljø ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Gjennom arbeidet har jeg fått kjennskap Enovas arbeid med å støtte energibesparende prosjekter, blant annet gjennom passivhus og lavenergibygg-programmet.

Høsten 2012 skrev jeg en prosjektoppgave for Enova om passivhus og lavenergibygg med særlig fokus på behovsstyring av klimatekniske installasjoner, energiytelse og brukertilfredshet, og det var naturlig for meg å fortsette dette arbeidet i masteroppgaven våren 2013. Min veileder hos Enova, Tore Wigenstad, var behjelpelig med å finne en problemstilling som dreide fokuset i en retning som hadde større teknisk preg enn prosjektoppgavens problemstilling. Det bør nevnes at Tore sluttet i Enova 28. februar 2013 for å begynne i Skanska, uten at veilederrollen hans overfor meg ble endret.

Jeg vil rette en takk til mine to veiledere, prof. Vojislav Novakovic, Institutt for energi- og prosessteknikk ved NTNU, og dr.ing. Tore Wigenstad, Skanska.

En stor takk rettes også til alle hos Enova som har sørget for et hyggelig og inspirerende miljø å jobbe i gjennom disse månedene.

Trondheim, 17. juni 2013



Erlend Bøgwald Austerheim

SAMMENDRAG

I en undersøkelse av resultatene fra en prosjektoppgave fra høsten 2012 om blant annet behovsstyring av klimatekniske installasjoner, driftserfaringer og brukertilfredshet i 20 passivhus- og lavenergibyggeprosjekter har det blitt funnet at brukernes tilfredshet med behovsstyringsløsningene til en viss grad avhenger av hvor stor kontroll de har, eller tror de har, over inneklimate i sin umiddelbare nærhet. Funn i litteraturstudiet bekrefter at økt kontroll over egen inneklimate gir økt tilfredshet.

Fra prosjektresultatene ble det trukket ut to saker som ble ansett som vellykkede og to som ble ansett som mindre vellykkede, og sakene ble undersøkt nærmere. Fellesnevneren for de to vellykkede prosjektene var at driftspersonalet var involvert helt fra prosjekteringen av bygget de senere skulle drifte, noe som sørget for at de fikk en følelse av eierskap til bygget, og dermed et ønske om å oppnå optimal drift. Problemene i de to sakene som ble ansett som mindre vellykkede var komponentproblemer som førte til temperaturproblemer, og problemer med underleverandører som ikke gjorde jobben sin med igangkjøring og innregulering av de klimatekniske anleggene.

Det har også blitt gjennomgått aktuelle behovsstyringsløsninger, det vil si de løsningene som er vanligst i bransjen, samt at det har blitt gjennomført en utredning av alternative måter å løse behovsstyring på. Fokuset har vært på brukermessige og teknologiske forenklinger. De brukermessige forenklingene har basert seg på større muligheter for individuell kontroll av inneklimate nær brukeren, mens de teknologiske forenklingene har hatt som mål å redusere antall bevegelige deler som trenger vedlikehold, for eksempel ved å bruke en solfilm festet til vinduet i stedet for mekanisk solskjerming. Det viste seg imidlertid at dette ville redusere fordelene man kan få med kontrollert dagslysinnstråling, og at det derfor trolig ikke er en fullgod erstatning for mekanisk solskjerming.

Forslag til videre arbeid er en grundigere teknisk og økonomisk analyse av alternative løsninger for behovsstyring av klimatekniske installasjoner.

SUMMARY

In a survey of the results from a project thesis written in the autumn 2012, which examined the solutions for demand control of indoor climate installations, operational experiences and user satisfaction in 20 passive and low-energy non-residential projects, it has been found that the user satisfaction with regards to the demand control solutions to a certain extent depends on how much control the user has, or think he has, over the indoor environment in their immediate vicinity. Findings in the literature study confirm that increased control over one's own indoor climate zone increases the satisfaction.

From the results of the project thesis, two cases which were considered to be successful, and two that were considered to be less successful, were extracted, and the cases were investigated further. The common denominator for the two successful projects was that the operating personnel were involved all the way from the planning stage of the building they would later be responsible for operating, which ensured that they got a sense of ownership of the building, and thus a desire to achieve the optimum operation conditions. The problems in the two cases that were considered less successful were, in the first case, component problems that led to temperature problems, and, in the second case, problems with subcontractors who did not finish their job commissioning the indoor climate installations.

There has also been done a review of the most common demand control solutions, and there has also been conducted a study to try to find alternative demand control solutions. The focus has been on simplifications, both with regards to the user and with regards to technology. The simplifications for the user are based on the idea that the user should have greater opportunities for individual control of the indoor climate that is close to him, while the technological simplifications have aimed to reduce the number of moving parts that require maintenance, for example by using a window film attached to the window instead of mechanical solar shading. It turned out that this would reduce the benefits one can get when controlling the solar radiation with shading and still making use of the daylight, and therefore it is probably not an adequate substitute for mechanical solar shading.

Suggestions for further work: A thorough technical and economic analysis of alternative solutions for demand control of indoor climate installations

INNHALDSFORTEGNELSE

Forord.....	I
Sammendrag	II
Summary	III
Figurliste	V
Tabelliste.....	V
1. Innledning.....	1
2. Teori og litteratur	3
2.1 Teori.....	3
2.1.1 Begreper	3
2.1.2 Behovsstyring.....	5
2.2 Litteratur	15
3. Prosjektresultater og behovsstyringsløsninger	19
3.1 Undersøkelse av prosjektresultatene	19
3.2 Valgte case.....	23
3.2.1 Vellykkede prosjekter	23
3.2.2 Mindre vellykkede prosjekter.....	25
3.3 Aktuelle teknologiske løsninger	27
3.3.1 Ventilasjon	27
3.3.2 Belysning.....	29
3.3.3 Varme og kjøling.....	31
3.3.4 Solskjerming.....	31
3.3.5 Løsninger i valgte case	32
3.4 Driftsutfordringer, muligheter og utfordringer	33
3.4.1 Driftsutfordringer	33
3.4.2 Muligheter	34
3.4.3 Utfordringer.....	34
3.5 Alternative måter å løse behovsstyring på.....	35
4. Diskusjon.....	37
4.1 Prosjektresultater	37
4.2 Valgte case.....	38
4.3 Behovsstyring av klimatekniske installasjoner.....	40
5. Konklusjon	43

Referanser	44
------------------	----

FIGURLISTE

Figur 1: Sensorplasseringer markert med rød prikk. A: Veggmontert med 180 ° synsfelt. B: Takmontert med 360 ° synsfelt. C: Armaturmontert med 180 ° synsfelt.	6
Figur 2: Prinsippskisse ultrasonisk sensor plassert i hjørnet av et rom.	7
Figur 3: Effekt av dagslyskompensering. Hentet fra Birkeland og Bruun (2008).	8
Figur 4: Prinsippskisse trykkstyring. Tegning: C. Grini (Grini & Wigenstad, 2011).	12
Figur 5: Prinsippskisse mengderegulering. Tegning: C. Grini (2011).	13
Figur 6: Prinsippskisse spjeldposisjonsregulering. Tegning: C. Grini (2011).	14
Figur 7: Prinsippskisse persienner.	15
Figur 8: Relativ energiytelse for prosjektene. Hentet fra Austerheim (2012).	21
Figur 9: Klagefrekvens i prosjektene. Hentet fra Austerheim (2012).	22
Figur 10: Brukernes tilfredshet i prosjektene. Hentet fra Austerheim (2012).	23

TABELLISTE

Tabell 1: Styringsparametere og sensortyper	29
---	----

1. INNLEDNING

Enova SF er et statlig foretak som blant annet jobber med energieffektivisering i Norges bygningsmasse, og har «*en ambisjon om å stimulere og inspirere innovative krefter i ulike grener av byggenæringen til å realisere det stadig større potensialet for energikutt som ligger i lavenergibygg*» (Enova SF).

Gjennom flere år har Enova gitt investeringsstøtte til prosjekter som har satt ambisiøse mål med tanke på lavt energiforbruk i bygninger, blant annet gjennom *Forbildeprogrammet*. Sommeren 2010 ble det lansert en ny versjon av dette støtteprogrammet, *Investeringsstøtte til passivhus og lavenergibygg*, som satte som krav at bygningene skulle oppføres som passivhus eller lavenergibygg for å sørge for at disse bygningstypene fikk en større utbredelse i landet. I prosjektoppgaven *Planlagt løsning, oppnådd effekt og brukertilfredshet ved bruk av behovsstyring av klimatekniske installasjoner i passivhus og lavenergibygg. Yrkesbygg* (Austerheim, 2012) ble 20 avsluttede prosjekter evaluert gjennom en undersøkelse av sammenhengen mellom beregnet energiytelse og målt energibruk, en kartlegging av valgte løsninger for behovsstyring av klimatekniske installasjoner, samt en innhenting av informasjon om driftserfaringer og brukertilfredshet i prosjektene.

Av de 20 prosjektene var det 16 som besvarte det utsendte spørreskjemaet, og materialet ble bearbeidet og analysert. I fortsettelsen av dette arbeidet ble det bestemt at man i denne masteroppgaven skal se nærmere på disse resultatene, og i tillegg trekke ut noen karakteristiske prosjekter for å se nærmere på de valgte løsningene for behovsstyring av klimatekniske installasjoner. Arbeidet skal også inneholde en redegjørelse for aktuelle teknologiske løsninger innenfor behovsstyring, samt en utredning av alternative måter å løse behovsstyring på, med spesielt fokus på teknologiske og brukermessige forenklinger.

I undersøkelsene, redegjørelsen og utredningen skal fokuset være på hvordan disse løsningene for behovsstyring av klimatekniske installasjoner kan brukes i energieffektive kontorbygg.

Rapporten deles opp i fem hovedkapitler. Det første kapitlet er innledningen, der det gis informasjon om bakgrunnen for oppgaven, hva som skal undersøkes, oppgavens omfang og begrensninger. I tillegg gis det en oppsummering av rapportens oppbygning.

I annet kapittel er det først en gjennomgang av en del teoribegreper som skal understøtte leserens forståelse av undersøkelser, analyser og konklusjoner som kommer senere i rapporten. Deretter gis en beskrivelse av behovsstyring av klimatekniske installasjoner, med fokus på sensortechnologier og de vanligste styringsparametere. Til slutt gjennomføres et litteraturstudium, der andres undersøkelser gjennomgås for å gi et godt grunnlag for lettere å forstå resultatene i denne rapporten.

Rapportens tredje kapittel starter med en gjennomgang av resultatene fra prosjektoppgaven, og fortsetter deretter med en beskrivelse av fire utvalgte case-prosjekter som regnes som karakteristiske for resultatene i rapporten, både vellykkede og mindre vellykkede. Videre følger en gjennomgang av aktuelle teknologiske løsninger for behovsstyring av klimatekniske installasjoner, samt en analyse av løsningene i case-prosjektene i relasjon til de gjennomgåtte behovsstyringsløsningene.

Deretter følger en redegjørelse for hvilke driftsutfordringer, samt muligheter og utfordringer som følger hvis man velger en eller flere av disse løsningene i sitt energieffektive kontorbygg. Til slutt i det tredje kapittelet foretas en utredning av noen alternative måter å løse behovsstyring på, med særlig vekt på å finne teknologiske og brukermessige forenklinger.

I fjerde kapittel diskuteres prosjektresultatene, de valgte case, samt behovsstyringsløsninger.

Rapportens femte kapittel består av konklusjonen, der funnene og resultatet av analysen og diskusjonen oppsummeres.

2. TEORI OG LITTERATUR

2.1 TEORI

2.1.1 BEGREPER

Behovsstyring

Det at en installasjon er behovsstyrt vil si at installasjonen ved hjelp av automatikk og predefinerte verdier leverer rett mengde til rett sted og rett tid basert på det behovet som finnes på stedet. En behovsstyrt klimateknisk installasjon skal for eksempel sørge for at brukeren befinner seg i et tilnærmet optimalt inneklime, og det kreves derfor blant annet rett mengde luft og lys, samt riktig temperatur.

Begrepet *behovsstyrt* er egentlig noe misvisende, siden styring ikke nødvendigvis innebærer at feil korrigeres basert på måling på forbruksstedet, slik regulering gjør.

Uttrykket *behovstilpasset* har blant annet blitt brukt av Grini og Wigenstad (2011), og gir et i mange tilfeller riktigere bilde av prosessene. Behovsregulert er også mulig å bruke, men ser ut til å være lite utbredt. I engelsk faglitteratur brukes *demand control*, direkte oversatt *etterspørsel-kontroll*. Ordet *kontroll* indikerer at det undersøkes om den faktiske tilstanden på etterspørselssiden av prosessen er som ønsket, og uttrykket stemmer derfor bra overens med den faktiske prosessen.

Behovsstyring er likevel det begrepet som er mest innarbeidet i litteraturen og bransjen, så det vil bli brukt også i denne oppgaven, samtidig som det anerkjennes at det er noe misvisende i forhold til de faktiske prosessene.

CAV-ventilasjon

Constant air volume, anlegg som leverer en konstant luftmengde gjennom hele driftstiden til anlegget.

Energieffektivt bygg

Et energieffektivt bygg forstås her som et bygg som kjennetegnes av lavt energibehov, samt at det trenger lite tilført energi. Det skal også ha en bygningskropp som med høy lekkasjetetthet og lave varmetapstall skal sørge for lavt varmetap til omgivelsene. I tillegg vil det med tanke på forsyningssikkerhet alltid være ønskelig med lave effekttopper,

særlig når behovet er størst, det vil si på spesielt kalde eller varme dager der varme- eller kjølebehovet blir stort.

Det finnes flere typer begreper for energieffektive bygg som brukes i Norge, der to begreper er offisielt definert i standarder; *passivhus* og *lavenergibyg*. Ellers er det uoffisielle begreper som brukes av forskjellige miljøer i bygge- og rådgiverbransjen, som *aktivhus*, *pluss*, *nullenergi*, *nullutslipp*, og lignende. Det er forskjellige definisjoner på disse begrepene, for eksempel hva *nullenergi* innebærer – null levert energi, eller et visst forbruk med like stor produksjon på bygget som leveres tilbake til nettet, altså netto null. Skillet mellom disse forskjellige konseptene antas å ikke ha nevneverdig betydning for denne oppgaven, så fellesbetegnelsen energieffektive bygg brukes. Dette gjøres også for å unngå å knytte seg til begreper som fortsatt kan endre definisjon. Det skal imidlertid ses på case-prosjekter som Enova har støttet som *passivhus* og *lavenergibyg*, så disse begrepene vil bli benyttet der de er relevante.

Klimateknisk installasjon

En bygningsteknisk installasjon defineres som en installasjon som kan regulere inneklimaet i bygget. Inneklimaet består i følge Verdens helseorganisasjon (WHO), gjengitt av Novakovic, et al. (2007), av de fem faktorene termisk, atmosfærisk, akustisk, mekanisk miljø. Dermed vil inneklimaet omfatte blant annet temperatur, luftfuktighet, stråling, lufthastighet, støy og innhold av uønskede gasser i lufta. For at personer som oppholder seg innendørs skal oppleve inneklimaet som komfortabelt må alle parametere ha verdi innenfor gitte intervaller.

Passivhus og lavenergibyg

To begreper definert av minimumskriterier til oppvarmingsbehov, kjølebehov, varmetapstall, CO₂-utslipp og bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall. Disse kriteriene er for *passivhus* gitt i *NS 3700:2010* (Standard Norge, 2010) for boliger, og i SINTEF Byggforsk *Prosjektrapport 42* (Dokka, Klinski, Haase, & Mysen, 2009) og senere *NS3701:2012* (Standard Norge, 2012) for yrkesbygg. Da *Prosjektrapport 42* ble utarbeidet ble det valgt at kriteriene til *lavenergibyg* skulle ligge på et nivå midt mellom daværende teknisk forskrift, TEK 07, og kriteriene til *passivhus*. (Dokka, Klinski, Haase, & Mysen, 2009)

SD-anlegg

Sentral driftskontroll, anlegg som sørger for at en eller flere av et byggs tekniske installasjoner kan styres sentralt.

VAV-ventilasjon

Variable air volume, anlegg som har mulighet til å variere luftmengdene gjennom driftstiden til anlegget.

2.1.2 BEHOVSSTYRING

Sensorteknologier

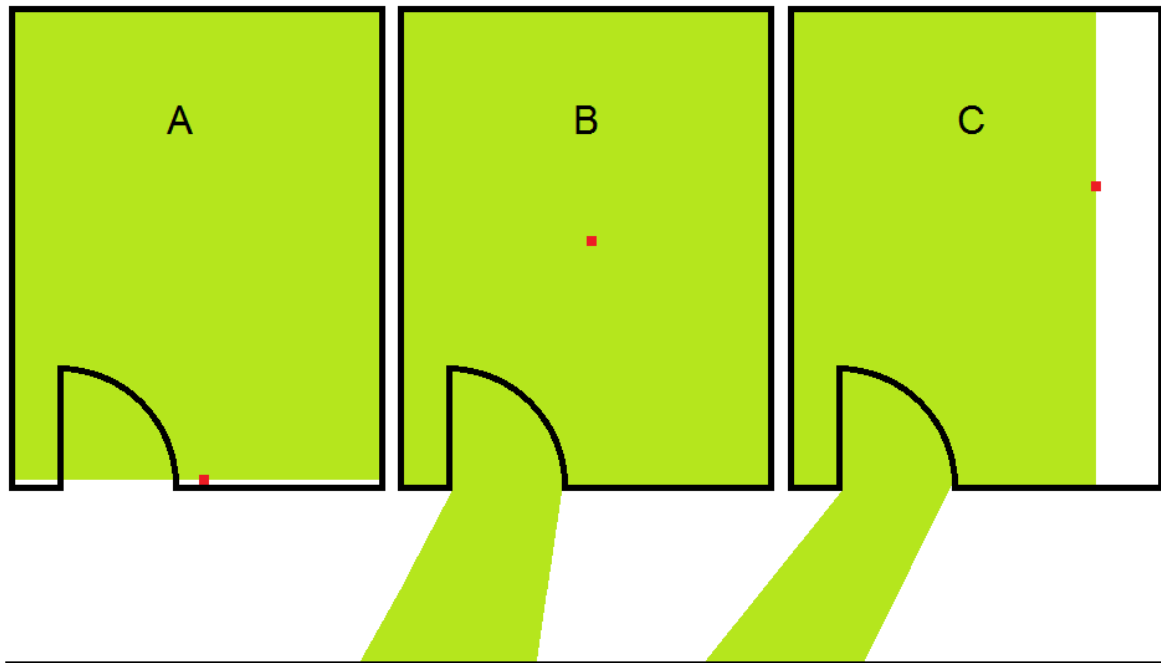
I forbindelse med behovsstyring av klimatekniske installasjoner er det sentralt å hente inn informasjon om tilstander og endringer i tilstander eller tilstedeværelse. Dermed er det nødvendig med sensorer plassert i sonen der inneklimate skal reguleres, og det finnes mange ulike sensortyper og –teknologier som passer til ulike typer reguleringsformer.

Siden behovsstyring baserer seg på det faktiske behovet, som er knyttet til om brukerne er til stede, og hvor mange som er til stede, er det nødvendig å ha sensorer som detekterer dette. Samlebetegnelsen for disse er tilstedeværelsesdetektorer. For rom eller soner der belastningen er nokså jevn, for eksempel cellekontorer, kan dette gjøres kun ved å benytte bevegelsesdeteksjon. Er det varierende belastning må belastningen måles for eksempel ved måling av CO₂-konsentrasjonen i avtrekksluften.

Konsentrasjonen av CO₂ produsert av metabolismen til personene i sonen kan gi et anslag på konsentrasjonen av andre forurensninger fra personene (Nilsson, 2003). Det går an å måle konsentrasjonen av andre forurensninger i avtrekksluften, men CO₂ er enklere å måle, og gir også mulighet for behovsstyring basert på faktisk personbelastning i rommet. For å sikre at resultatet blir best mulig bør man ha en kontinuerlig måling av differansen mellom CO₂-konsentrasjonen i inneluften og den tilførte uteluften, siden nivået i uteluften varierer med årstidene og lokale forurensninger. Måleusikkerheten i sensoren bør også tas hensyn til når man setter grenser for maksimal konsentrasjon, slik at man ikke risikerer å ha CO₂-konsentrasjon som er høyere enn ønsket. Det finnes flere forskjellige sensorteknologier, men den vanligste typen som brukes i bygninger er NDIR-teknologien (*Non-dispersive infra red*, ikke-dispersiv infrarød) (Mysen & Polak, 2010).

Ved bevegelsesdeteksjon er det forskjellige sensorer man kan bruke. Det vanligste er infrarøde sensorer, som detekterer endring i den infrarøde strålingen i sensorens synsfelt,

i praksis om et varmt objekt som har høyere infrarød stråling enn bakgrunnen beveger seg i synsfeltet. Ved plassering av sensorer er det sentralt å prøve å unngå plasseringer som vil gi mange deteksjoner uten at brukeren egentlig går inn i sonen. Se Figur 1 for tre eksempler på forskjellige sensorplasseringer.



Figur 1: Sensorplasseringer markert med rød prikk. A: Veggmontert med 180 ° synsfelt. B: Takmontert med 360 ° synsfelt. C: Armaturmontert med 180 ° synsfelt.

Plasseringene i rom B og C vil gi deteksjon hver gang noen passerer den åpne døren i korridoren, mens i rom A vil det kun være deteksjon når brukeren går inn i rommet. For øvrig vil den veggplasserte detektoren i rom A ikke være like fleksibel som de to andre plasseringene med tanke på eventuell endring av romplanen. Detektoren er da montert på en vegg som må rives.

Det er også mulig å bruke radiobølger i form av radardeteksjon, det vil si at sensoren sender ut radiobølger i en bestemt retning og beregner objektets retning og avstand ved hjelp av tidsforsinkelsen fra utsendt puls til mottatt ekko. Optisk deteksjon ved hjelp av kamerasystemer som registrerer at bildet endrer seg er en annen måte.

Kamerateknologien og bildeprosesseringen utvikles stadig med blant annet ansiktsgjenkjenning, så det er sannsynlig at det vil komme sensorer som teller antall ansikter i et rom.

Ultrasonisk deteksjon er også mulig. Det er en sensor som baserer seg på utsending av lydølger i frekvenser som er høyere enn menneskers hørselsevne, og lytter etter

endringer i de reflekterte lydbølgene. Hvis et objekt beveger seg inn i området der sensoren sender ut lydbølger vil de reflekterte lydbølgene være litt annerledes, og sensoren sender videre et signal om deteksjon. Se Figur 2 for en prinsippskisse av en ultrasonisk sensors virkemåte.



Figur 2: Prinsippskisse ultrasonisk sensor plassert i hjørnet av et rom.

Man kan også velge å bruke sensorer som måler relativ luftfuktighet (RF), siden man ønsker at RF skal holde seg innen et visst intervall av helsegrunner. Siden mennesket avgir en del latent varme, det vil si fuktig luft, burde det være mulig å telle antallet personer som oppholder seg i en sone ved å måle RF. Imidlertid beskriver Sørensen (2002) hvordan en tidsforsinkelse i tillegg til adsorpsjon og desorpsjon gjør at det ikke er noen klar sammenheng mellom målt RF og antall personer i sonen, og fordelen med måling av relativ luftfuktighet faller bort, i hvert fall når det er snakk om kontorbygg. I bygninger eller miljøer der det er avgjørende at RF ikke blir for høy eller for lav er sensoren fortsatt høyst relevant.

Det er også mulig å bruke sensorer som måler innholdet av flyktige organiske forbindelser, engelsk *volatile organic compounds* eller VOC, i inneluften. Disse forbindelsene er avgasser fra utstyr eller materialer i bygget, og er ikke ønsket som en

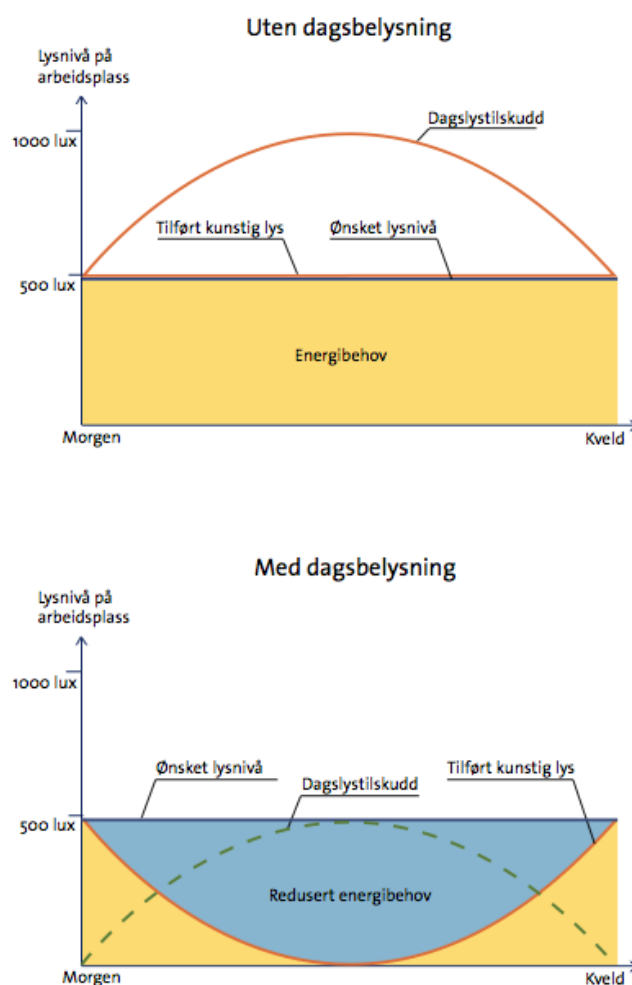
komponent i inneluften. Sensorene som registrerer VOC-nivået i luft er billigere enn CO₂-sensorer, men er ikke egnet for å detektere antallet brukere i sonen.

Behovsstyringsprinsipper

Her presenteres de forskjellige prinsippene innen behovsstyring av klimatekniske installasjoner.

Belysning

Behovsstyring av belysningsanlegget skal sørge for at brukerne får rett mengde og type lys der de trenger det. Det er satt krav til belysningsnivået på arbeidsflaten, 500 lux for vanlig kontorarbeid, og det vil derfor være viktig at belysningsanlegget i samspill med dagslystilgangen sørger for at dette kravet opprettholdes gjennom hele arbeidstiden. Se Figur 3 for en illustrasjon over potensialet for energibesparelse ved bruk av dagslyskompensering.



Figur 3: Effekt av dagslyskompensering. Hentet fra Birkeland og Bruun (2008).

Det er tydelig at sparepotensialet er stort. Styring av lyset basert på tilstedeværelse er også sentralt, og siden behovet for lys er det samme uansett hvor mange brukere som er til stede i sonen er det mulig å bruke helt enkle bevegelsessensorer som ikke klarer å telle antall personer, bare registrere at det er noen tilstede. Belysningsanlegget kan også styres basert på tidspunktet på dagen, for eksempel ved at alle armaturer slås av på natten.

Varme og kjøling

Behovsstyring av varme- og kjøleanlegg skal sørge for at brukeren er termisk komfortabel i rommet eller sonen. For å oppnå termisk komfort må temperaturen være riktig i forhold til brukerens aktivitet og bekleddning, det må ikke være stor strålingsasymmetri fra kalde og varme flater i rommet, og det må ikke være en stor vertikal temperaturgradient i rommet. Dermed kreves det god planlegging av hvordan oppvarming og kjøling skal foregå, samt god regulering av anlegget for å tilfredsstille brukeren.

Oppvarming av en sone kan gjennomføres på flere måter. Strålingsvarme fra forbrenning, for eksempel fra en vedovn, anses ikke å være relevant for denne oppgaven siden kun kontorbygg er i fokus. Oppvarming ved hjelp av direktevirkende elektrisitet eller vannbåren oppvarming er derimot vanlig, og skal beskrives nærmere.

Vannbåren varme er vanlig i nye kontorbygg i Norge, og har fordelen av at det kan bruke flere ulike energikilder for oppvarming av vannet. Det finnes mange forskjellige energikilder, noen mer egnet for energieffektive bygg enn andre, men valg av kilde er ikke fokuset i denne oppgaven og skal derfor ikke behandles videre.

Både gulvvarme og radiatoranlegg er utbredt i kontorbygg, og begge deler har fordeler og ulemper som bør vurderes nøye ved planlegging av nye bygg. Radiatoranlegg er enkle å plassere ut der det er behov, som oftest under vinduer for å dempe kaldras, og det er mulighet for å regulere radiatorene lokalt for brukerne. Man kan imidlertid få et uønsket utseende for bygget hvis for eksempel hvite radiatorer er plassert tett inntil vinduer som går fra gulv til tak, spesielt hvis et lavtemperaturanlegg brukes. På grunn av den lave temperaturen i et slikt anlegg må radiatorene ha stort varmeavgivende areal hvis varmebehovet er stort. Gulvvarme vil derimot gi et tilfredsstillende utseende i samme situasjon, men ulempen er at det er noe større treghet i temperaturreguleringen på grunn av gulvets termiske masse. En annen fordel er at gulvvarmen sørger for en jevn varme, og

man kan bruke lavtemperaturanlegg som muliggjør bruk av flere energikilder som bare kan levere lavtemperert vann.

Man kan også bruke vannbåren varme i vegg- eller takpaneler, selv om dette ikke er anbefalt på grunn av at strålingsasymmetrien raskt kan føles ubehagelig, spesielt ved varmepaneler i taket.

Det er også mulighet for å bruke direktevirkende elektrisitet, enten i panelovner eller i gulvvarme. Dette medfører ulempen ved å være bundet til én energikilde, og i tillegg kan man ved bruk av panelovner få problemer med at støv som har satt seg på varmeelementene brennes og skaper et dårligere inneklima. Panelovner har imidlertid en stor fordel ved sin fleksibilitet, siden det allerede er etablert det nødvendige elektriske nettet i hele bygget for bruk til lys og utstyr, samt at de kan reguleres hurtig og enkelt.

En siste mulighet er å varme opp tilluften ved hjelp av varmebatterier i tilluftskanalen. Med dette menes oppvarming ut over oppvarming kun for å nå ønsket tilluftstemperatur på for eksempel 19 °C. Disse varmebatteriene kan enten basere seg på vannbåren varme eller direktevirkende elektrisitet. Varmebatteriene kan plasseres både sentralt og lokalt i systemet. Hvis varmebehovet er stort er det imidlertid frarådet å bruke luften som energibærer. Dette på grunn av at luft har en lavere spesifikk varmekapasitet enn vann, samt at for varm luft ikke er ønskelig basert på komfortkriterier (Novakovic, et al., 2007). Det vil også være fare for kortslutningsventilasjon hvis tillufts- og avtrekksventil er ugunstig plassert i forhold til hverandre.

Når det gjelder kjøling er det mest aktuelt å bruke vannbårne systemer. Det er vanlig å bruke et eget røranlegg for kaldt vann, såkalt isvann, eller å bruke det samme anlegget som brukes til oppvarming, gitt at man har et kombinasjonsanlegg. Isvannet utnyttes i kjølebatterier i ventilasjonsanlegget eller i passive kjølebafler lokalt i sonene. Ved kjøling av ventilasjonsluften må det være fokus på at temperaturen ikke blir for lav, noe som kan føre til at brukerne kan føle uønsket trekk på grunn av for høye lufthastigheter når den kalde luften faller fra tilluftsventilen.

Vannbårne anlegg vil kunne reguleres ved hjelp av termostatventiler tilkoblet vannkretsen. I radiatoranlegg kan disse plasseres på hver radiator, mens man med et gulvvarmeanlegg må dele opp kretsen i sløyfer som hører til hver sin sone, og styre tilførselen til sløyfene med en termostatventil per sløyfe.

Både for oppvarming og kjøling vil det være aktuelt med behovsstyring i form av nattsenkning av temperaturen. Dette gjøres på enkleste måte ved at settpunktet på termostatene senkes noen grader på natten. Hvis systemet er litt mer avansert kan det ha en optimal start, slik at bygget har ønsket temperatur ved arbeidshagens start. En del bygg har en stor termisk masse som må tas hensyn til ved slik regulering. Tregheten til hele bygget må legges inn i programmeringen av optimal start.

I varme perioder er det også mulighet for såkalt frikjøling på natten. Ved å la ventilasjonsanlegget kjøle ned bygget ved hjelp av friskluft kan det med tilstrekkelig stor termisk masse holdes en innendørstemperatur som er tilnærmet lik ønsket nivå.

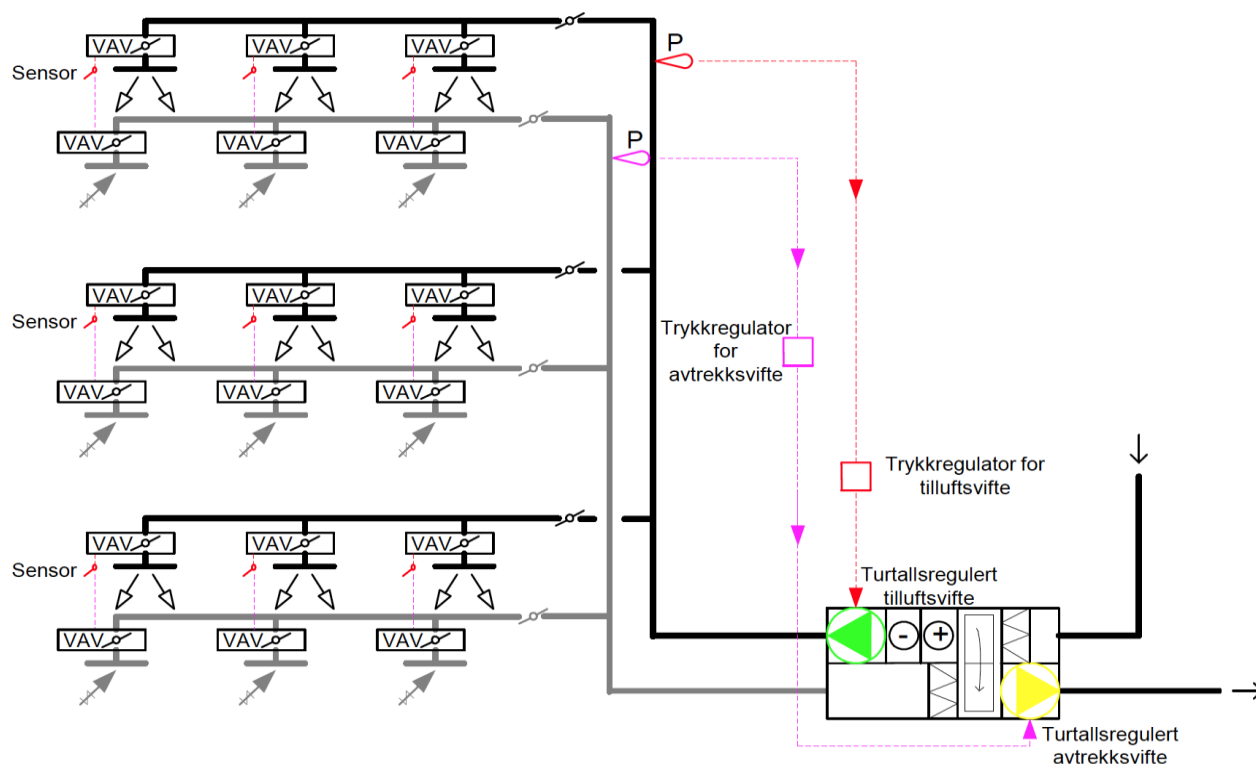
Hvis bygget har mulighet for åpning av vinduer bør det være sensorer som detekterer om vinduet er lukket eller åpent, slik at oppvarming eller kjøling kan slås av for å unngå å varme opp eller kjøle ned luft som forsvinner ut av vinduet. Sensoren bør også være koblet til ventilasjonsanlegget for å unngå det samme problemet med ventilasjonsluften.

Ventilasjon

Behovsstyring av ventilasjon vil si at luftmengden reguleres basert på personer og andre forurensningskilder som oppholder seg i den aktuelle sonen. Det er flere måter å løse dette på, og under presenteres de vanligste prinsippene i bruk i Norge.

Trykkstyring

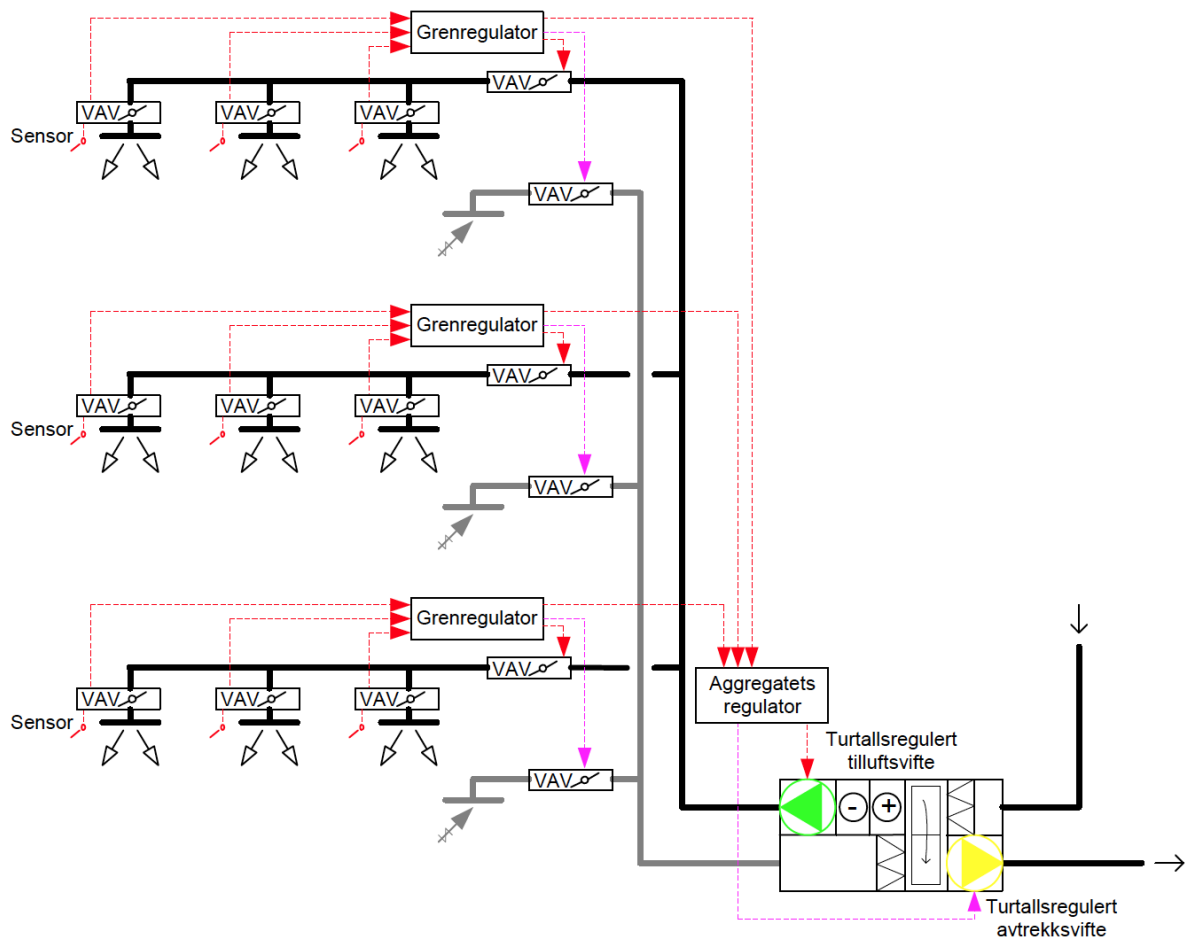
I et system som bruker trykkstyring som reguleringsprinsipp er det plassert trykksensorer i tillufts- og avtrekkskanalene som måler endringene i statisk trykk som oppstår ved endring i spjeldposisjonene i rom- og grenspjeld som følge av endret luftmengdebelastning. Trykksensorene melder endringene til regulatorer som endrer effektpådraget til tillufts- og avtrekksviftene. Det endrede pådraget sørger for at det statiske trykket i kanalene holdes på det ønskede referansenivået. En prinsippskisse av et trykkstyrt system er vist i Figur 4.



Figur 4: Prinsippskisse trykkstyring. Tegning: C. Grini (Grini & Wigenstad, 2011).

Mengderegulering

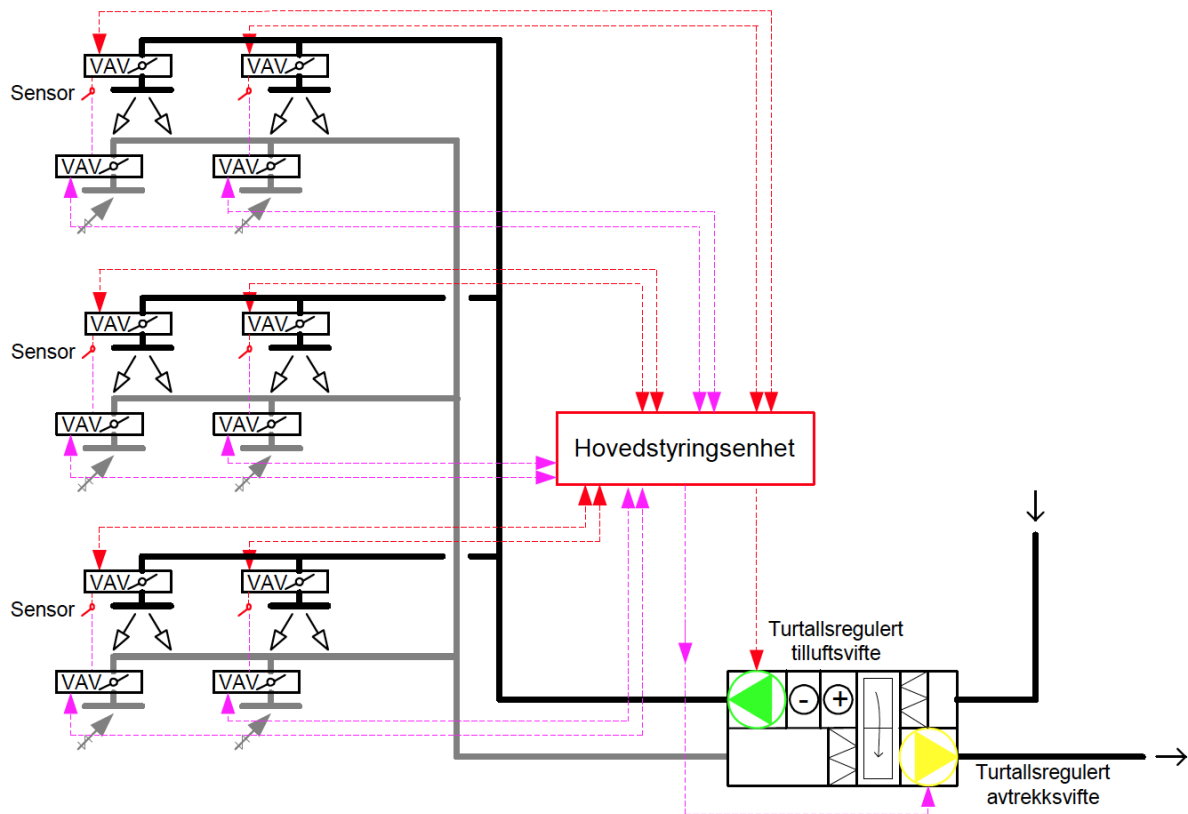
I et mengderegulert system, som også kalles digital behovstilpasset ventilasjon, er det på laveste nivå romspjeld som er såkalte "forenklede VAV-spjeld" som har mulighet til å veksle mellom to spjeldposisjoner. Det vil si at et rom eller en sone kan få tilført en maksimal eller en minimal luftmengde basert på signal fra sensor i rommet. Rommene får luft via grenspjeld som reguleres av en egen grenregulator basert på rommenes behov. Videre melder de ulike grenregulatorene samlet luftmengdebehov til aggregatets regulator, som styrer aggregatet. En prinsippskisse av et mengderegulert system er vist i Figur 5.



Figur 5: Prinsippskisse mengderegulering. Tegning: C. Grini (2011).

Spjeldposisjonsregulering

I et system som bruker spjeldposisjonsregulering kommuniserer alle enheter i systemet med en sentral hovedstyringsenhet, i tillegg til å motta signaler fra sensorer i rom eller soner. Alle spjeld er VAV-spjeld som kan reguleres trinnløst. Hovedstyringsenheten beregner alle spjeldenes posisjon for å oppnå optimalt trykkfall langs den kritiske vei, så hvis det er mange enheter og belastningen i de forskjellige sonene varierer mye kan hovedstyringsenheten få problemer med å holde følge med endringene, og det kan oppstå uønsket pendling i systemet (Grini & Wigenstad, 2011). Dette kan løses ved å ha et hierarkisk system med flere styringsenheter. En prinsippskisse av spjeldposisjonsregulering er vist i Figur 6.



Figur 6: Prinsippskisse spjeldposisjonsregulering. Tegning: C. Grini (2011).

Aktiv tilluftsventil

I et system som benytter aktive tilluftsventiler er alle nødvendige reguleringskomponenter samlet i tilluftsventilen, og luftmengden reguleres dermed lokalt slik at man sparer en del kommunikasjonskabler i forhold til for eksempel et mengderegulert system. Luftmengdene i hovedkanalene reguleres for øvrig som et trykkstyrt system, som vist i Figur 4. Hvis et bygg skal rehabiliteres med konvertering fra CAV- til VAV-anlegg kan det være en enkel løsning å bruke aktive tilluftsventiler, siden det ikke vil være nødvendig å endre på kanalnettet.

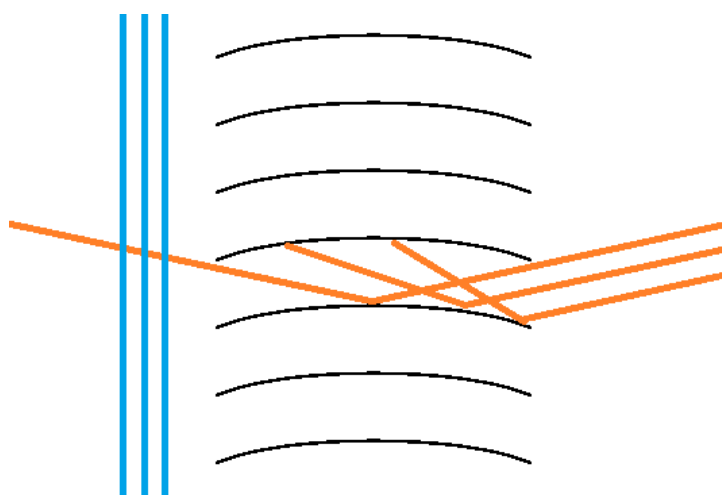
Solskjerming

Behovsstyring av solskjerming vil si at uønsket lys- og varmeinnstråling holdes ute samtidig som man utnytter dagslyset på best mulig måte. Det fokuseres her på utvendig solskjerming.

Ved hjelp av måling av lysinnstråling med fotoceller på solutsatte fasader kan utvendig solskjerming automatiseres, slik at persiener, screens, eller lignende aktiveres når solinnstrålingen overstiger en gitt grenseverdi. Solskjemingsanlegget kan også brukes til

å minimere varmetapet fra bygningen om natten ved å stenge foran vindusflatene slik at utstrålt varme reduseres.

For å utnytte dagslyset selv ved sterk solinnstråling kan man for eksempel bruke et system med persiener der lamellenes vinkel kan justeres mekanisk basert på solens posisjon, slik at brukeren i sonen får tilført diffust dagslys uten å bli blendet av direkte sollys. Se Figur 7 for en prinsippskisse av hvordan sollyset kan kontrolleres ved hjelp av lamellenes vinkel.



Figur 7: Prinsippskisse persiener.

Som en sikkerhetsforanstaltning bør det også være vindsensorer på fasadene der det er solskjerming. Dette for å kunne programmere inn grenseverdier for vindstyrke som overstyrer systemet til å gå til en sikker posisjon ved sterk vind, slik at anlegget ikke ødelegges av vindkast når det står i en utsatt stilling.

2.2 LITTERATUR

Det følgende litteraturstudiet baserer seg på litteraturstudiet som ble gjennomført i prosjektoppgaven Planlagt løsning, oppnådd effekt og brukertilfredshet ved bruk av behovsstyring av klimatekniske installasjoner i passivhus og lavenergibygg. Yrkesbygg (Austerheim, 2012).

Det er gjennomført utallige studier av energibruk og brukertilfredshet i bygninger, men relativt få studier der det er yrkesbygg som er bygget som passivhus eller lavenergibygg. Utbredelsen av denne typen bygg har vært svært begrenset i Norge, men det er likevel foretatt noen analyser.

Thomsen, Hauge, Denizou, Jerkø, Wågø og Berker (2011) tar for seg syv europeiske bygninger. Fem av disse bygningene er yrkesbygg, og to av disse, en skole og en barnehage som begge er passivhus, ligger i Norge. Gjennom intervjuer med både elever, ansatte og driftspersonalet får forfatterne direkte tilbakemelding fra brukerne. I skolebygget har det blant annet vært problemer med at oppvarmingssystemet har respondert for tregt ved hurtige væromslag fra mildt til kaldt, og brukerne har opplevd for lav innetemperatur. Driftspersonalet oppgir kalibreringsfeil i termostaten som en mulig feilkilde. Det at bygget fortsatt er i innkjøringsfasen på intervjutidspunktet må også nevnes, og det kan ventes at mange av problemene som nevnes vil utbedres når anleggene er optimalisert.

Et problem som imidlertid ikke kan forventes at blir løst er at lærerne på skolen ønsker flere muligheter for manuell styring av solskjerming for å kunne løse uheldige lysforhold ved filmvisning, eksamener, og lignende. Det er heller ingen manuell styring av varme, ventilasjon og belysning, noe som enkelte ønsker mer individuell kontroll over.

I barnehagen har forfatterne intervjuet to av de ansatte. Også i dette tilfellet var bygget fortsatt i innkjøringsfasen på intervjutidspunktet. Det hadde blant annet vært problemer med ventilasjonssystemet, noe som hadde ført til temperaturproblemer og problemer med inneluftkvaliteten i en kuldeperiode i desember i det første driftsåret. På gulvet hadde det også vært problemer med for lav temperatur med tanke på at de minste barna (0-3 år) krabber rundt. Temperatursensorenes plassering i 1,5 meters høyde over gulvet, altså ikke en høyde som er representativ for brukerne, ble foreslått som en mulig grunn til disse problemene. De to ansatte uttrykte ingen ønsker om mer individuell kontroll over de tekniske anleggene, og forsto heller ikke fullt ut hvordan systemene fungerte.

Hvis man fjerner begrensningen om at studiene skal omfatte norske forhold er det verdt å nevne et litteraturstudium utført av Hauge, Thomsen og Berker (2010) som gir en oversikt over forskning på brukertilfredsheten i energieffektive bygninger med fokus på inn klimaet, hvordan brukerne interagerer med de tekniske anleggene, brukernes holdninger og tilfredshet. De konkluderer blant annet med at brukertilfredshet kan være avhengig av andre parametere enn de som vanligvis trekkes frem som viktige eller fremragende i forbindelse med energieffektive bygninger, som for eksempel inn klima. Undersøkelsene rundt brukertilfredshet varierer, og Hauge, Thomsen og Berker mener at dette skyldes at de undersøkte byggene er av varierende kvalitet.

Forfatterne peker også på at brukernes oppfatning av hvor stor individuell kontroll de har over anleggene, for eksempel i form av temperaturstyring, påvirker tilfredsheten med systemene og bygget.

Etter undersøkelser av brukernes tilfredshet i 16 energieffektive kontorbygg i Tyskland kan også Wagner, Gossauer, Moosmann, Gropp og Leonhart (2007) konkludere med at individuell kontroll, og spesielt i hvilken grad brukerne oppfatter at endringer de gjør har en effekt, er viktig for tilfredsheten med systemene og bygget.

Gjennom sin undersøkelse av en energieffektiv utdanningsinstitusjon i USA fant Heerwagen og Zagreus (2005) at akustiske forhold, temperaturforhold og blanding på grunn av sollys kunne karakteriseres som kritiske aspekter, selv om brukerne ellers var særdeles fornøyd med bygget. I følge forfatterne var likevel tilfredsheten med de akustiske forholdene i snitt godt over gjennomsnittet for databasen med verdier man brukte til sammenligninger.

Når man skal vurdere energisparepotensialet for anlegg med behovsstyring bruker man anlegg som går for fullt i driftstiden som referanse. For ventilasjonen i en kontorbygning vil det for eksempel si at man ventilerer som om det er personer i alle kontorer hele arbeidstidens lengde. Dette er imidlertid langt fra sannheten. I sin doktoravhandling har Halvarsson (2012) undersøkt samtidigheten i fem norske kontorbygg. I et vanlig cellekontor viser det seg at samtidigheten i snitt er på ca. 0,4, noe som vil si at man med et tradisjonelt system vil ventilere for en person som i snitt kun er til stedet 40 % av arbeidstiden. Dette gir rom for besparelser.

I sin gjennomgang av sparepotensialet for belysningsanlegg i norske kontorbygg foreslår Kolås (2011) åtte tiltak for belysningsanlegg som har potensiale for stor energisparing, og anslår også en størrelse på besparelsene i forhold til et referanseanlegg. Av disse åtte tiltakene er det tre som er relevante for behovsstyring:

- Tilstedeværelsesstyring: Det anslås en besparelse på 40 %
- Dimming basert på dagslys: Besparelse på 15 % (snitt for hele bygningen)
- Automatisk solskjerming og dagslysdimming: Besparelse på minst 15 % (snitt for hele bygningen)

Forfatteren poengterer også at redusert belysning vil føre til at bygningen tilføres mindre varme, noe som kan være en fordel i de månedene av året der det ikke er et oppvarmingsbehov. Den reduserte effekten vil føre til et redusert kjølebehov.

Ved behovsstyring vil inneklimate bli bedre tilpasset brukerne, noe som gir bedre komfort. Hanssen og Høseggen (2009) viser til at en økning i brukernes produktivitet på kun 1 % som følge av bedre komfort tilsvarer en kostnad som kan tilsvare kostnaden ved å ventilere bygget, og at behovsstyring av de klimatekniske installasjonene lønner seg både med tanke på energisparing og med tanke på en økning i produktiviteten.

3. PROSJEKTRESULTATER OG BEHOVSSTYRINGSLØSNINGER

3.1 UNDERSØKELSE AV PROSJEKTRESULTATENE

Her følger en undersøkelse av hva som kjennetegner resultatene fra prosjektoppgaven *Planlagt løsning, oppnådd effekt og brukertilfredshet ved bruk av behovsstyring av klimatekniske installasjoner i passivhus og lavenergibygg. Yrkesbygg* (Austerheim, 2012), heretter kun referert til som prosjektoppgaven.

I prosjektoppgaven ble 20 Enovastøttede passivhus- og lavenergibyggsprosjekter undersøkt for å se på beregnet energiytelse i forhold til faktisk energiytelse, valgte løsninger for behovsstyring av klimatekniske installasjoner, samt driftserfaringer og brukernes tilfredshet med behovsstyringsløsningene. Prosjektene ble valgt ut blant Enovas portefølje av saker som var støttet gjennom ”Forbildeprogrammet” eller programmet ”Investeringsstøtte til passivhus og lavenergibyggs”, siden et av målene fra Enovas side var å få en evaluering av noen av prosjektene som hadde fått støtte gjennom disse to programmene. Undersøkelser av boliger støttet gjennom disse programmene var allerede utført, eller under utførelse, så det ble bestemt helt fra starten at de undersøkte prosjektene måtte være yrkesbygg, også på grunn av at det er uvanlig med stor grad av behovsstyring i boliger. På grunn av at det skulle undersøkes brukertilfredshet måtte det også settes som kriterium at prosjektet var fullført, samt at bygget hadde vært i drift en viss tid.

Med disse kriteriene ble det funnet 21 prosjekter i Enovas saksbehandlingssystemer som var aktuelle å undersøke. Ett prosjekt ble raskt trukket ut da det ble oppdaget at det hadde gått konkurs etter cirka halvannet års drift, og at driftspersonalet dermed jobbet andre steder. De resterende 20 prosjektene bestod av elleve prosjekter på lavenerginiivå, åtte på passivhusnivå og ett som var en kombinasjon av de to nivåene, men i hovedsak lavenerginiivå (ca. 92 % av arealet).

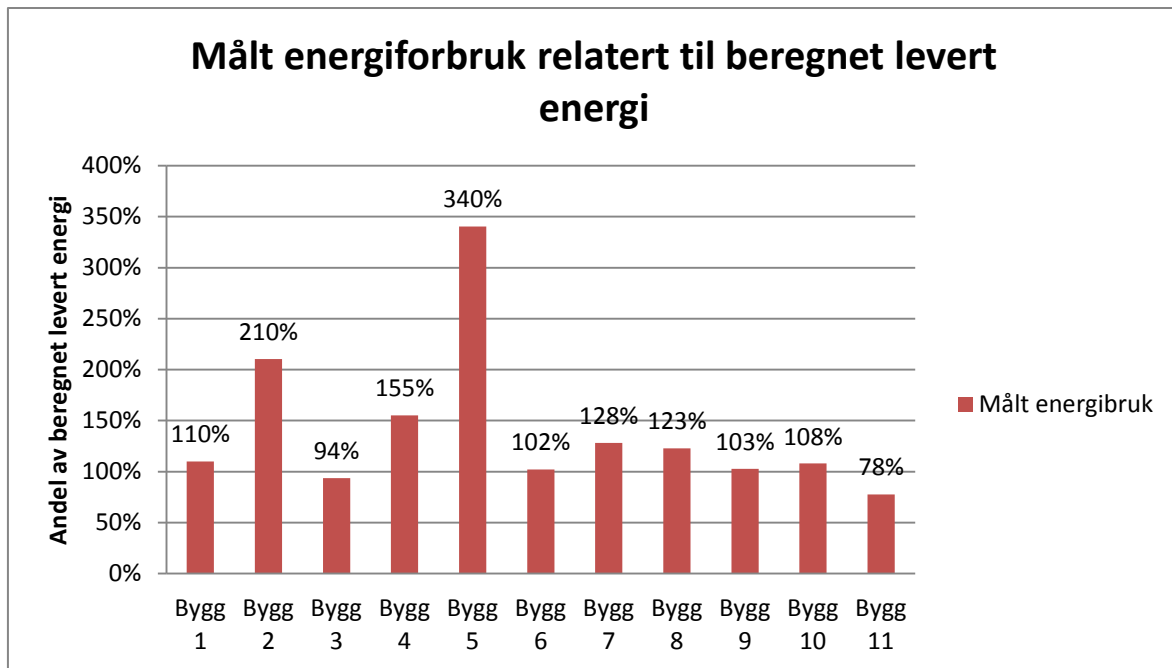
Informasjon om sakene ble hentet inn blant annet ved hjelp av spørreskjema, der svarandelen ble 16 av 20 prosjekter, altså 80 %. Et problem med denne innhenting av informasjon var at personene som besvarte spørreskjemaene i hovedsak var driftsansvarlige. Informasjonen om brukernes tilfredshet var derfor ikke ufiltrert, og det

er en mulighet for at den faktiske tilfredsheten er annerledes enn den som rapporteres i besvarelsen av spørreskjemaet. Dette kan være bevisst eller ubevisst gjort for å ikke få et rykte om et dårlig bygg eller dårlig driftsorganisasjon. Det må påpekes at det ikke var noen indikasjoner på at dette var et problem i sakene i prosjektoppgaven, men det er likevel et usikkerhetsmoment det er verd å nevne.

Et annet problem som må tas hensyn til er at de fleste av prosjektene hadde vært i drift i relativt kort tid, og at en del av problemene prosjektene hadde må kunne regnes som innkjøringsproblemer eller problemer knyttet til at bruk og belastning er noe annerledes enn planlagt. To eksempler på innkjøringsproblemer er at det i et prosjekt der vinkelen på de øverste lamellene på de utvendige persiennene måtte endres litt for å unngå blanding av brukerne, mens det i et annet prosjekt ble problemer da den personen i driftsstaben med mest kunnskap om anleggene sluttet uten å lære opp noen andre.

Flere av prosjektene hadde problemer med komponenter som ikke fungerte som de skulle, eller at selve styringen førte til problemer. En av respondentene svarte at man generelt bør bygge enklere systemer, og at man i det prosjektet hadde valgturstyring av ventilasjonsanlegget i stedet for behovsstyring basert på tilstedeværelse hvis man kunne valgt på nytt. Et annet prosjekt rapporterte om problemer med at underleverandøren som leverte behovsstyringsløsningene gjorde seg ferdig med monteringen, og dermed anså sin del av arbeidet som utført. I det det dukket opp feil på et senere tidspunkt var det kun totalentreprenøren, som ikke har kompetanse om behovsstyringsløsninger, igjen til å rette feilen. Dette vitner om at det bør være en svært klar ansvarsfordeling når det gjelder de klimatekniske installasjonene, og at underleverandører bør ha ansvaret til å sørge for at behovsstyringen fungerer som forventet ved overlevering av bygget.

I undersøkelsen av målt energiytelse i prosjektene var det elleve bygg som rapporterte inn tall som kunne brukes. Disse tallene ble temperaturkorrigerert for å ta hensyn til ulike værforhold forskjellige steder i landet, og for å kunne sammenlikne tallene med beregnet levert energi. Av de elleve prosjektene var det kun to bygg som rapporterte om lavere målt energiforbruk enn beregnet levert energi. Tre bygg rapporterte om avvik på 55 %, 110 % og 240 % høyere enn beregnet, mens resten hadde under 30 % avvik, som ble satt som en grense for hva en kunne forvente av avvik så kort tid etter idriftsettelse. Se Figur 8 for en illustrasjon av resultatene.



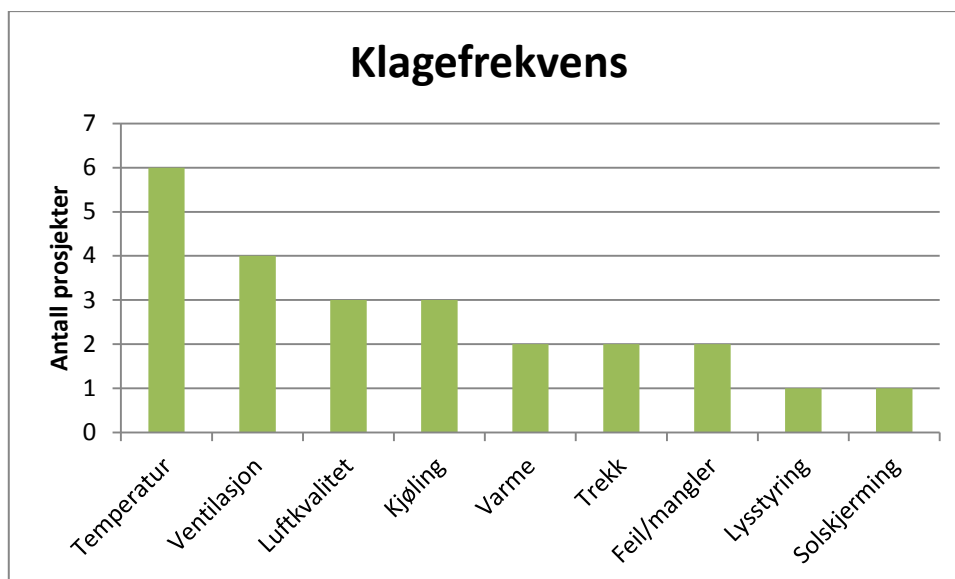
Figur 8: Relativ energiytelse for prosjektene. Hentet fra Austerheim (2012).

De tre dårligste byggene ble analysert, og for det aller verste bygget viste det seg at det hadde vært et langvarig problem med en varmepumpe som ikke fungerte som forventet. I bygget med 110 % avvik hadde et eksternt energirådgivningsfirma analysert hvorfor det ble et så stort avvik. Det viste seg at tre momenter sørget for ca. 70 % av avviket; økt antall driftstimer for utstyret i lokalene, høyere effekt enn ventet til utstyret i standby-modus, samt en lavere virkningsgrad enn beregnet på varmegjenvinneren. Prosjektet med et avvik på 55 % rapporterte om problemer med mengdereguleringen i oppvarmingssystemet som førte til at returtemperaturen i vannkretsen ble for høy i forhold til hva varmepumpen var lagd for.

Analysen av de valgte behovsstyringsløsningene i de 20 prosjektene viste at de vanligste løsningene baserte seg på å kombinere forskjellige reguleringsparametere. På den måten kunne styrkene til de ulike parametere utnyttes optimalt for å få et best mulig resultat.

Videre ble driftserfaringene sammenlignet, og det var en klar sammenheng mellom involvering av driftspersonalet i prosjekteringen av de klimatekniske anleggene, og kunnskap og «eierfølelse» til anleggene, slik at driftspersonalet søkte å oppnå optimal drift. Brukernes tilfredshet ble også innhentet, men som sagt med driftsansvarlig som potensielt filter når det gjelder meninger eller ytringer som kan sette bygget eller

driftspersonalet i et dårlig lys. I Figur 9 vises en oversikt over hvilke problemer det ble rapportert at brukerne har klagt på.

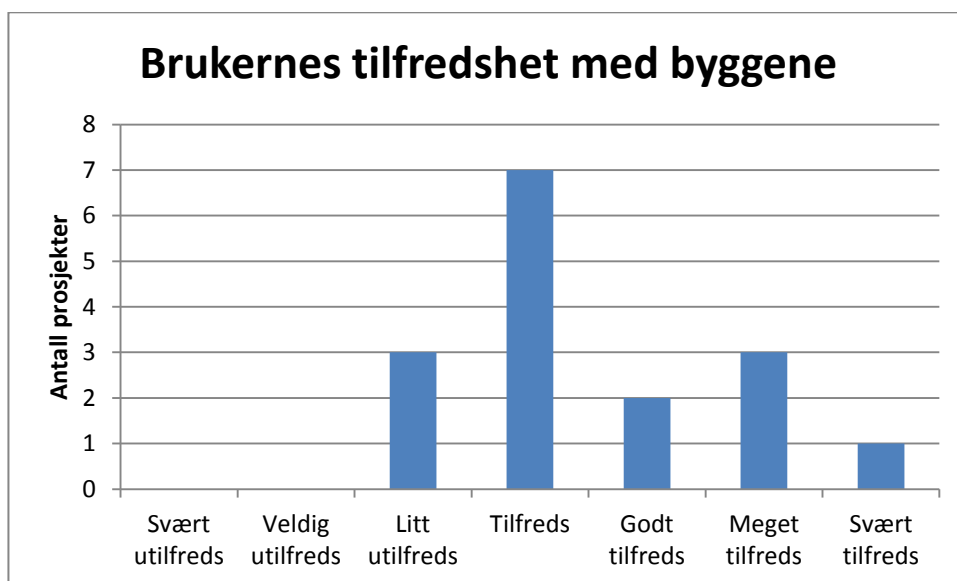


Figur 9: Klagefrekvens i prosjektene. Hentet fra Austerheim (2012).

Temperatur er tilsynelatende en inneklimateknisk parameter der det er vanskelig å tilfredsstille alle. I analysen av disse resultatene vises det til at flere forskjellige feil i de klimatekniske anleggene kan tenkes å slå ut som feil temperatur, og at det derfor ikke er overraskende at temperatur er den parameteren som har høyest klagefrekvens. Det nevnes to eksempler på feil som kan forårsake høy temperatur hos brukeren; feil i temperaturreguleringen til kjølebatteriet i ventilasjonsaggregatet, eller at en feil med solskjermingen har ført til mye absorbert varme i byggets termiske masse, og at kjølesystemet ikke har tilstrekkelig kapasitet til å korrigere dette.

Det vises også til at organiseringen av driften, i form av tilstedeværelsen til driftspersonalet, har noe å si på brukernes tilfredshet. En av respondentene svarte at «skal du ta leietakerne på alvor, så bør du være tilstede for å se og føle på problemene de opplever. Vi er ikke like og to personer i samme rom kan ha svært forskjellig oppfatning av hva som er OK inneklimateknisk.» Et eksempel på dette er i et prosjekt der driftspersonalet kun er til stede fire til seks timer hver uke. Brukerne beskrives som litt utilfredse, og det er mulig at dette skyldes at eventuelle feil eller mangler som brukerne rapporterer inn vil ta lengre tid å utbedre enn i et bygg der driftspersonalet er til stede i arbeidstiden hver dag.

En stor svakhet ved innhenting av informasjon om brukernes tilfredshet var at det ikke ble definert en skikkelig evalueringsskala på forhånd, så resultatene ble basert på respondentenes egne ord. Resultatet kan ses i Figur 10.



Figur 10: Brukernes tilfredshet i prosjektene. Hentet fra Austerheim (2012).

I følge respondentene er det kun i tre av 16 prosjekter at brukerne ikke er tilfredse eller bedre. Dette regnes som bra. I det ene bygget der brukerne er svært tilfredse er det en egen driftsorganisasjon som har ansvaret for driften, og det blir brukt mye ressurser på å oppnå optimal drift og å følge opp energiytelsen.

3.2 VALGTE CASE

I følgende del vil det belyses fire case fra prosjektoppgaven som oppleves som spesielt karakteristiske, både i positiv og negativ forstand. Det påpekes at resultatene i case-sakene er tidsavhengige, og at situasjonen i byggene kan ha endret seg etter, eller i løpet av, at denne rapporten ble utarbeidet. På grunn av at denne oppgaven utelukkende dreier seg om kontorbygg er det kun valgt kontorbygg som case-prosjekter.

3.2.1 VELLYKKEDE PROSJEKTER

Det er valgt ut to prosjekter som på undersøkelsestidspunktet ble ansett som vellykkede. Disse regnes som vellykkede på bakgrunn av at brukerne i stor grad er fornøyde, samt at driftspersonalet aktivt jobber for å oppnå optimal drift av byggene. Aktiv deltakelse fra driftspersonalet i prosjekteringsfasen er også utslagsgivende for å bli ansett som vellykkede prosjekter.

Kjøita

I prosjektoppgaven beskrives Kjøita som følger:

«Kjøita 18 er et kontorbygg i Kristiansand som er hovedkontoret til Agder Energi, og det oppfyller lavenergikriteriene. [...]

Driften er organisert med en kombinasjon av egne ansatte i et eget driftsselskap og eksterne gjennom serviceavtaler. Driftspersonalet er tilstede på dagtid. Det er imidlertid ingen vaktordning, til tross for at det er døgndrift av en vaktentral i bygget.

Driftspersonalet deltok i prosjekteringsfasen av bygget, men leverandørene av de klimatekniske anleggene sto selv for driften av anleggene i igangkjøringsfasen. Det er tett oppfølging av energiforbruket i bygget, med månedlige og årlige rapporter med vurderinger og forslag til eventuelle forbedringer. I tillegg jobbes det med incentivordninger for driftspersonalet for å oppnå enda mer optimal drift. Det poengteres at det å sette mål i fellesskap antas å gi driftspersonalet en enda høyere motivasjon for å få bygget så bra som mulig.

Det er behovsstyring av belysning, oppvarming og ventilasjon basert på tilstedeværelse. Belysningen styres også basert på dagslysnivået. Ellers må det nevnes at hele bygget har en grid-løsning som vil si at det innenfor hvert eneste vindu i fasaden er lagt opp utstyr som gjør det mulig å opprette cellekontor på veldig kort tid, og dette cellekontoret vil ha egen behovsstyring av ventilasjon, varme, kjøling og solskjerming. Anleggene er instrumentert for fjerndrift.

Erfaringene med de tekniske systemene og behovsstyringsløsningene viser at det meste fungerer, men justering av utekompenseringskurver tar tid og de må følge plassering i forhold til sol, og virksomheten i lokalet. Hvis noe skulle blitt endret eller oppgradert ville man ha brukt flere elektriske varmepaneler for å kunne korrigere temperaturavvik hurtigere enn det som er mulig med dagens lavtempererte vannbårne anlegg.»

(Austerheim, 2012, ss. 20-21)

I dette prosjektet har driftspersonalet vært involvert helt fra bygget ble prosjektert, og det er tydelig at leverandørene har tatt skikkelig ansvar for å sørge for at de klimatekniske anleggene er i drift som prosjektert før ansvaret overtas av driftspersonalet. Det at det har blitt lagt ekstra stor vekt på at bygget skal være fleksibelt for ulike typer kontoroppsett, kontorlandskap, osv. ved å legge opp en grid-løsning er også positivt.

Tallhall

I prosjektoppgaven beskrives Tallhall som følger:

«Tallhall er navnet på Meteorologisk institutts nye data- og kontorbygg lokalisert på Henrik Mohns plass 1 på Blindern, og det oppfyller passivhuskriteriene. Bygget har et oppvarmet bruksareal på 1 367 m², og ble slutført i juni 2011. [...]

Driften av bygget besørjes av en egen driftsorganisasjon som består av vaktmestere og teknisk utdannet personell. Disse er alltid til stede på dagtid, og driftslederen var også aktivt med i prosjekteringsfasen av prosjektet. Driftspersonellet bruker mye ressurser på oppfølging av energiforbruket og optimal drift, noe som oppleves som krevende på grunn av at bygget er meget teknisk avansert.

Det er behovsstyring av både belysning, ventilasjon og oppvarming. Varmeanlegget mengdereguleres, og det styres av temperaturfølere i rommene med aktuatorventiler til hvert forbrukssted. Anleggene er instrumentert for fjerndrift gjennom det sentrale SD-anlegget.

Erfaringene med de tekniske systemene og behovsstyringsløsningene er gode, og det er ingen ønsker eller planer om å endre noe i anleggene.» (Austerheim, 2012, ss. 23-24)

Det at driftslederen var med i prosjekteringsfasen i dette prosjektet teller positivt, og det er etablert rutiner for oppfølging av energiforbruket og det tilstrebes optimal drift til tross for at bygget inneholder mye avansert utstyr.

3.2.2 MINDRE VELLYKKEDE PROSJEKTER

Det er valgt ut to prosjekter som på undersøkelsestidspunktet ble ansett som mindre vellykkede. Grunnen til at de to prosjektene ikke regnes som vellykkede har sammenheng med at de har problemer selv etter over ett års drift, samt at driftspersonalet var lite delaktige i planleggingsfasen.

Sjøhagen

I prosjektoppgaven beskrives Sjøhagen som følger:

«Sjøhagen 6 er et nytt kontorbygg i Stavanger som oppfyller passivhuskriteriene. Bygget er blant annet Byggmester Sagen sitt hovedkontor. Det har et oppvarmet bruksareal på 5 628 m², og ble slutført i juni 2011. [...]

Driften besørages av eksternt firma gjennom serviceavtale, og det er ukentlig tilsyn på bygget. Driftspersonalet var ikke involvert i prosjekteringsfasen, og følger heller ikke opp energiforbruket i bygget. Til tross for dette opplyses det at de tilstreber optimal drift.

Det er behovsstyring av ventilasjon ved hjelp av aktive tilluftsventiler, og også belysning og oppvarming styres via disse ventilene. Anleggene er instrumentert for fjerndrift.

Erfaring med tekniske systemer og behovsstyringsløsningene er ikke helt bra, det er komponenter som ryker, og det har ført til store utfordringer med kjøling og oppvarming.» (Austerheim, 2012, s. 30)

I dette prosjektet var ikke driftspersonalet involvert i planleggingen, noe som prosjektoppgaven viste at kunne medføre at det ikke ble knyttet en eierskapsfølelse til bygget og dermed et større ønske om å oppnå optimal drift. Det ser imidlertid ikke ut til at det var situasjonen rundt driftspersonalet som var problemet, men feil på komponenter. Disse feilene førte til at det i løpet av det første driftsåret var problemer med blant annet temperaturreguleringen, som sørget for at en del brukere opplevde misnøye med bygget. Selv om det ikke er et videre tema i denne oppgaven nevnes det også at prosjektet hadde problemer med energiforsyningen, slik at de måtte bruke en sekundær varmekilde i løpet av det første driftsåret.

Sluppenveien

I prosjektoppgaven beskrives Sluppenveien som følger:

«Sluppenveien 17A er et kontorbygg i Trondheim som oppfylder lavenergikriteriene. Bygget har et oppvarmet bruksareal på 5 850 m², og ble slutført i februar 2011. [...]

Byggeier har vaktmester og teknisk personell til stede daglig på bygget, i tillegg til at noe av driften besørages av eksterne gjennom serviceavtaler. Driftspersonellet var til en viss grad involvert i prosjekteringsfasen, og det er tett oppfølging av byggets energiforbruk med daglig oppfølging og gjennomgang av SD-anlegget.

Belysningen behovsstyres med tilstedeværelsesdetektorer. Det er også behovsstyring av ventilasjonsanleggene, som er i drift mellom kl. 06-20 etter ønske fra leietaker. Dette er på grunn av lengre brukstid enn antatt i prosjekteringen. Anleggene er instrumentert for fjerndrift.

Erfaringene med de tekniske systemene og behovsstyringsløsningene er ikke gode, noe som skyldes sviktende igangkjøring av underleverandører. Det foreslås derfor at man bør bygge enklere systemer, og man ville valgt å bruke urstyring av ventilasjonsanlegget hvis man skulle endret på dagens anlegg.» (Austerheim, 2012, ss. 25-26)

Til tross for en viss grad av involvering av driftspersonalet i prosjekteringen av bygget er ikke prosjektet vellykket med tanke på behovsstyringsløsningene. Dette skyldes at underleverandørene ikke har gjort jobben sin, eventuelt at beskrivelsen av ansvarsfordelingen for innregulering og igangsetting av anleggene var mangelfull ved kontraktsinngåelse. Respondenten ønsker på grunn av dette at anleggene bør bygges enklere.

3.3 AKTUELLE TEKNOLOGISKE LØSNINGER

Her følger en redegjørelse for aktuelle teknologiske løsninger innenfor behovsstyring av klimatekniske installasjoner, samt hvordan løsningene i de valgte case er i relasjon til resultatene fra prosjektoppgaven. Med formuleringen aktuelle løsninger menes her de som er mest utbredt, og som er mest utprøvd og dermed ikke gir byggeier en uønsket risiko som ofte er knyttet til nye teknologiske løsninger. Løsningene vil ha fokus på reguleringsparameterne som er de mest vanlige å benytte i kontorbygg.

3.3.1 VENTILASJON

Med behovsstyring av ventilasjon menes her styring av luftmengden som tilføres rommet eller rommene, heretter kalt sonen. Dette kan gjøres med både CAV- og VAV-anlegg, og basert på mange forskjellige parametere, men det velges her å se på fire parametere som i følge Grini og Wigenstad (2011) er de som «... anses mest robuste og relevante for bruk i kontorbygg», nemlig tilstedeværelse, luftkvalitet, tidspunkt på dagen eller basert på temperatur.

Tilstedeværelse

Man kan måle eller detektere tilstedeværelse på flere forskjellige måter, der de to vanligste er IR-sensorer som detekterer bevegelse ved at sensoren treffes av infrarød stråling fra mennesker i rommet, og ultrasoniske sensorer som sender ut lyd ved frekvenser over den menneskelige fatteevne, og detekterer tilstedeværelse ved at sensoren lytter etter endring i frekvensen på lyden som reflekteres. IR-sensoren er passiv, det vil si at den kun utløses når den treffes av infrarød stråling fra mennesker eller objekter som

skiller seg ut fra bakgrunnsstrålingen. Den ultrasoniske sensoren er aktiv på grunn av at den hele tiden bruker energi på å sende ut lyd og «lytte» til hva som reflekteres.

IR-sensorer er den vanligste av disse to. Siden IR-sensoren ikke har mulighet til å skille mellom om det er én eller flere personer vil behovsstyring ved varierende personbelastning i sonen ikke være mulig. I sin doktoravhandling skriver Halvarsson (2012) om innvirkningen valgt tidsforsinkelse, det vil si tiden fra forrige deteksjon til sensoren sender av- eller redusérsignal, har på energibruk og samtidighetsfaktoren. Hva som er passelig lengde på tidsforsinkelsen vil variere fra bruker til bruker, men det bør unngås at forsinkelsen er så kort at det blir et irritasjonsmoment for brukerne at ventilasjonen reduseres etter få minutter.

Luftkvalitet

Ved å se på konsentrasjonen i inneluften av CO₂ produsert av metabolismen til personene i sonen kan man anslå konsentrasjonen av andre forurensninger fra personene (Nilsson, 2003). CO₂-konsentrasjonen er lettere å måle enn de andre forurensningene, og gir også mulighet for behovsstyring basert på faktisk personbelastning i rommet. For best resultat bør man ha en kontinuerlig måling av differansen mellom CO₂-konsentrasjonen i inneluften og den tilførte uteluften, siden nivået i uteluften varierer med årstidene og lokale forurensninger. Måleusikkerheten i sensoren bør også tas hensyn til når man setter grenser for maksimal konsentrasjon, slik at man ikke risikerer å ha CO₂-konsentrasjon som er høyere enn ønsket. Det finnes flere forskjellige sensorteknologier, men den vanligste typen som brukes i bygninger er NDIR-teknologien (*Non-dispersive infra red*, ikke-dispersiv infrarød) (Mysen & Polak, 2010).

Tidspunkt

Ved styring basert på tidspunkt benyttes et ur, enten i ventilasjonsaggregatet eller i SD-anlegget, som har definert et gitt tidsrom som driftstid, og resten av døgnet som utenfor driftstid. Dermed kan man definere luftmengdene som skal tilføres i og utenfor driftstiden. Hvis man skal behovsstyre et CAV-anlegg er det urstyring som er mest naturlig å bruke. Ulempen ved denne typen styring er at det ikke er mulighet for å endre luftmengdene ved endret personbelastning.

Temperatur

Hvis ventilasjonsluften brukes til oppvarming og/eller kjøling kan det være nyttig å styre basert på temperatur i sonen der luften tilføres. Ulempen er at behovsstyringen kun baseres på de termiske forholdene i sonen, og man har dermed ikke kontroll på hvordan forurensningsnivået i luften er (i praksis CO₂-konsentrasjonen). Det kan derfor være hensiktsmessig å styre basert på temperatur og et av de andre nevnte parameterne. Grini og Wigenstad (2011) oppsummerer fordelene og ulempene ved de ulike styringsparameterne og –sensorene. Oppsummeringen er gjengitt i sin helhet i Tabell 1.

Tabell 1: Styringsparametere og sensortyper

Reguleringsparameter	Sensortype	Fordeler	Ulemper
Ur	Behøver ingen sensor, men mulighet for tidsstyring ved aggregatet eller i SD-anlegg	Rimelig	Ingen muligheter for å behovsstyre etter personbelastning
Tilstedeværelse	Bevegelsessensor (IR-sensor)	Lav kostnad Lang levetid	Begrenset mulighet for gradert behovsregulering etter reell personbelastning i møterom, landskap, osv.
CO ₂ -konsentrasjon	CO ₂ -sensor	Bør gi mulighet for gradert behovsregulering etter reell personbelastning i møterom, landskap, osv.	Kostbar Behøver regelmessig kalibrering for å sikre nøyaktige målinger Unøyaktigheter i målingen
Temperatur (i kombinasjon med en av overnevnte parameter)	Temperatursensor	Lav kostnad Lang levetid	Kan tilsmusses og føre til målefeil Kun behovsregulering i forhold til termisk belastning

3.3.2 BELYSNING

Behovsstyring av belysning baserer seg på at brukerne av et bygg skal ha riktig mengde og type lys i de forskjellige situasjonene de kan havne i når de befinner seg i bygget, og at man skal forsøke å redusere energiforbruket som går til lys så mye som mulig så lenge

det ikke er i konflikt med kravet nevnt over. Hvis dagslystilgangen er tilstrekkelig god kan den kunstige belysningen reduseres.

Tilstedeværelse

På samme måte som for ventilasjon kan man benytte tilstedeværelse som en styringsparameter. I motsetning til for ventilasjon er det for belysning ikke nødvendig å ta hensyn til varierende personbelastning, siden belysningsanlegget for den aktuelle sonen kun skal være på eller av. Dermed vil styring basert på tilstedeværelse være meget hensiktsmessig for belysningsanlegg. Som for ventilasjonsanlegg bør valget av tidsforsinkelsen i sensoren velges med omhu, siden det fort kan bli et irritasjonsmoment for brukerne hvis tidsforsinkelsen er for kort. For belysningsanlegg må man imidlertid også ta hensyn til at en del belysningskilder vil få redusert levetid ved for hyppig forekomst av tenning kort tid etter slukking. Det er derfor ofte lagt inn tidsforsinkelse på et gitt antall minutter. En løsning som tar hensyn til både belysningskildens levetid og energisparing er at belysningsnivået etter en gitt tid etter forrige deteksjon reduseres til for eksempel halv styrke, før belysningskilden etter nok en gitt tidsperiode uten deteksjon slås helt av.

Lysnivå

Ved å bruke lysfølere til å måle det faktiske lysnivået i punkter som er representative for arbeidsflaten i en sone kan man regulere belysningsanlegget slik at det fungerer i samspill med dagslyset. Dette løses best når belysningskildene har elektronisk forkoblingsutstyr, noe som muliggjør dimming. Dermed vil overgangen mellom kun kunstig belysning og kun dagslys oppleves som sømløs. Styringsmetoden fungerer også med belysningskilder som ikke kan dimmes, men det vil da bli perioder der lysnivået kan oppleves som for lavt på grunn av at dagslysnivået er minkende, men ikke lavt nok til at belysningskilden tar over.

Det stilles krav til belysningsnivået på arbeidsflaten, og disse varierer ut fra hvilket arbeid som gjøres på arbeidsflaten. Styring basert på at det skal opprettholdes et konstant lysnivå vil føre til en god utnyttelse av dagslys, energisparing og gode arbeidsforhold for brukerne.

Tidspunkt

I likhet med ventilasjonsanlegg kan også belysningsanlegget styres ved hjelp av et ur. Det defineres en tidsperiode på døgnet der lyset skal være av, gjerne om natten, i ferieperioder, og så videre.

3.3.3 VARME OG KJØLING

Behovsstyring av oppvarmings- og kjøleanlegg skal sørge for at brukerne er termisk komfortable, samtidig som det spares energi. Det bør også tas hensyn til at brukerne er forskjellige med tanke på hvilken temperatur de føler er mest komfortabel, noe som også påvirkes av aktivitet og bekledding.

Temperatur

Når det er snakk om oppvarming og kjøling er det logisk å behovsstyre basert på målinger av temperaturen i sonen der brukerne oppholder seg. En temperaturføler styrer pådraget av varme eller kjøling til ønsket temperatur er nådd. Settpunktet vil variere med årstidene, siden termisk komfort også påvirkes av utetemperaturen.

Tilstedeværelse

Også i forbindelse med oppvarming og kjøling kan det være nyttig å registrere om det er brukere til stedet i sonen, slik at man i tilfelle det ikke oppholder seg brukere i sonen kan slippe temperaturen noen grader over eller under ønsket verdi. I driftstiden er det imidlertid viktig at differansen mellom faktisk og ønsket verdi ikke blir så stor at det ved brukerens retur til sonen er stor treghet før ønsket temperatur er nådd.

Tidspunkt og utetemperatur

Styring basert på tid på døgnet kan være hensiktsmessig når det gjelder varme- og kjøleanlegg. Det kan for eksempel spares energi ved å ha nattsinking av temperaturen. Hvis man i tillegg tar hensyn til utetemperatur, eventuelt har mulighet til å styre basert på værprognoser, kan for eksempel varmeanlegget programmeres til å øke fra natttemperatur til ønsket temperatur tidligere på morgenen hvis værprognosen tilsier at utetemperaturen skal synke den nærmeste tiden.

3.3.4 SOLSKJERMING

Som for innendørs belyningsanlegg skal solskjermingsanlegget sørge for at brukerne får riktig mengde og type lys. Det viktigste for solskjermingsanlegget er likevel å unngå at brukerne plages av uønsket lys i form av blending eller høyt lokalt varmetilskudd.

Lysnivå

Ved å måle solinnstrålingen med en eller flere lysfølere kan solskjermingen i de enkleste anleggene skjerme eller være åpen basert på en terskelverdi for belyningsnivået. I mer avanserte anlegg kan solens posisjon i forhold til bygget finnes, og lamellåpningen og vinkelen på lamellene stilles optimalt for å skjerme brukerne for direkte sollys samtidig som det slippes diffust sollys inn i lokalene og det er mulig for brukerne å se ut.

Det er spesielt viktig at lysfølerne plasseres på steder som gir målinger som er representative for alle brukerne som er utsatt for direkte sollys, slik at det ikke risikeres at noen plages av blending fordi solen kun treffer fasaden der det ikke ble montert lysføler.

Tidspunkt

Ved å styre solskjermingen med et ur kan anlegget brukes til andre formål enn kun skjerming av sollys. På nettene kan for eksempel solskjermingen programmeres til å stenge foran vindusflatene slik at man på den måten reduserer en del av varmetapet som forårsakes av stråling.

Vindforhold

Hvis solskjermingen er utsatt for mekaniske påkjenninger fra vind vil det være hensiktsmessig å ha en vindmåler på den mest utsatte fasaden, slik at anlegget selv kan gå over i en sikker posisjon.

3.3.5 LØSNINGER I VALGTE CASE

Som nevnt i beskrivelsen av de valgte case-prosjektene fra prosjektoppgaven har de fire prosjektene følgende løsninger:

Kjøita

Ventilasjonen behovsstyres basert på tilstedeværelse, mens oppvarmingsanlegget, et lavtemperert vannbårent anlegg, behovsstyres basert på tilstedeværelse og utetemperaturkompensering. Belysningen behovsstyres basert på både tilstedeværelse og dagslysnivå.

Hele bygget har et grid-system som gjør det mulig å opprette cellekontor ved hvert vindu, og dette cellekontoret vil ha egen behovsstyring av ventilasjon, varme, kjøling og solskjerming.

Respondenten ville ha brukt flere elektriske varmepanener hvis det var mulig å velge anlegget på nytt. Dette for å ha hurtig temperaturavvikskorrigerings.

Tallhall

Det er behovsstyring av både belysning og ventilasjonsanlegget, som har VAV-spjeld i alle soner i annen etasje.

Oppvarmingsanlegget mengdereguleres, og det styres av temperaturfølere i rommene med aktuatoreventiler til hvert forbrukssted. Alle pumper er trykkstyrte trinnløse pumper.

Sjøhagen

Ventilasjonsanlegget er basert på aktive tilluftsventiler, og også belysning og oppvarming styres via disse ventilene som har både tilstedeværelsessensor og CO₂-sensor.

Respondenten har opplevd store utfordringer med kjøling og oppvarming på grunn av sviktende komponenter.

Sluppenveien

Belysningen behovsstyres basert på tilstedeværelse og dagslysnivå. Det er også behovsstyring av ventilasjonsanleggene, som har VAV-spjeld i alle soner.

Respondenten har dårlig erfaring med anleggene på grunn av sviktende igangkjøring, og ville ha valgt urstyring av ventilasjonsanlegget hvis dagens anlegg skulle blitt endret.

3.4 DRIFTSUTFORDRINGER, MULIGHETER OG UTFORDRINGER

Her følger en redegjørelse for hvilke driftsutfordringer, samt muligheter og utfordringer som følger behovsstyringsløsningene, med et spesielt fokus på bygninger med lavt energi- og effektbehov.

3.4.1 DRIFTSUTFORDRINGER

Det er noen generelle utfordringer som knytter seg til behovsstyringsløsninger som går på at det er ukjent og lite utprøvd teknologi, noe som fører til at driftspersonale som ikke har fått tilstrekkelig opplæring kan komme til å slite hvis det oppstår feil. Med detaljstyring

av for eksempel ventilasjonsanlegg med et romspjeld for hver sone vil man få mange bevegelige deler som kan svikte, samt mye styringsautomatikk der det kan oppstå feil.

Hvis man ser på de spesielle utfordringene som behovsstyring i energieffektive kontorbygg kan føre til er alt som kan føre til for høyt energiforbruk noe som må unngås. Hvis det er installert veldig mye styringsautomatikk kan dette trekke en viss effekt selv når det står i standby-modus. I løpet av et helt år vil dette summeres opp til en energimengde som kan ha noe å si i et energibudsjett som etter planen skal være svært lavt. Feil på komponenter kan også føre til større energiforbruk, for eksempel ved at en reguleringskomponent aldri får beskjed om å skru seg av fra hovedstyringsenheten på grunn av feil på en signalutgang. Det må også tas hensyn til at det generelt ønskes en reduksjon i effekttoppene. Hvis det er mye automatikk i et bygg som ikke er skikkelig koordinert kan man risikere at for eksempel alle lysarmaturer slår seg på samtidig på grunn av ur-styring av anlegget, noe som fører til en effekttopp.

3.4.2 MULIGHETER

Det at behovsstyringen har et stort energisparepotensial er noe som i seg selv muliggjør konseptet energieffektive kontorbygg. Planlegges løsningene skikkelig vil brukerne få et bygg med optimalt inn klima og vil kunne være mer effektive enn i et vanlig bygg, og de som eier eller leier bygget vil få en lavere energiregning. Et bygg med gjennomtenkte løsninger og en dyktig driftsorganisasjon vil også kunne være med på å flytte effekttoppene, slik at forsyningssikkerheten i strømmettet forbedres.

Flere og flere bedrifter ser også markedsføringsverdien i å ta et valg om å kun eie eller leie bygninger som er energieffektive. Selv i rekrutteringsarbeidet kan argumenter om fremtidsrettethet og fokus på miljøet brukes på grunn av at hovedkontoret er energieffektivt. For rådgiverbedrifter og entreprenører vil det også kunne være til hjelp i salgsarbeidet å kunne vise til at man har fått til energieffektive bygg tidligere.

3.4.3 UTFORDRINGER

Hvis et bygg har optimale behovsstyringsløsninger skal det ideelt sett ikke trenge mye menneskelig inn gripen i den daglige driften, men dette stemmer sjelden med virkeligheten. Automatiseringen fører til at selv små feil gjerne kan være komplekse å ordne, og det stilles derfor høyere kompetansekrav til driftspersonalet i energieffektive bygg enn i vanlige bygg. Det er viktig at driftspersonalet er med helt fra

planleggingsfasen i nybygg-prosjekter slik at man i bestemmelsen av systemenes oppsett tar hensyn til problemer personalet kjenner til fra andre bygg.

En annen utfordring er at det må stilles krav til leverandør og entreprenør om at behovsstyringssystemene skal leveres ferdig innregulerte, og det må gis nødvendig opplæring til driftspersonalet slik at de mestrer byggets tekniske anlegg.

I prosjekteringsfasen settes det også krav til at man velger den eller de løsningene som passer best til byggets bruk og planløsning. Hvis det ønskes at bygget skal være fleksibelt med tanke på planløsningen må dette planlegges helt fra starten av. I detaljprosjekteringen må man også prøve å plassere sensorene optimalt slik at det blir så få unødvendige deteksjoner som mulig, samtidig som det tas hensyn til eventuelle ønsker om fleksibilitet.

Det er også viktig at man er klar over, som nevnt, at automatiseringskomponenter trekker strøm selv i standby-modus, slik at dette ikke kommer som en overraskelse når energiregnskapet blir klart.

3.5 ALTERNATIVE MÅTER Å LØSE BEHOVSTYRING PÅ

I følgende del vil det gis en utredning av alternative måter å løse behovsstyring på. Det vil være et spesielt fokus på teknologiske og brukermessige forenklinger.

Løsningene med teknologiske forenklinger vil ha et fokus på at systemene skal ha et lavere vedlikeholds nivå enn eksisterende utbredte løsninger, da gjerne i form av færre bevegelige deler som kan ødelegges. De brukermessige forenklingene skal søke å gi brukerne en større tilfredshet med anleggene, samt en større kontroll over innklimaet i sin oppholdssone. Fokuset på de økonomiske aspektene ved de alternative løsningene vil være mindre i denne delen av rapporten.

I veldig mange bygninger er det vanlig at brukerne er pålagt å alltid ha adgangskortet sitt med seg, og det vil derfor være naturlig å se på om det kan brukes til å styre de klimatekniske anleggene ved å detektere tilstedeværelse og antall personer. Dette kan for eksempel løses ved at hvert adgangskort inneholder en databrikke som returnerer et signal når en sender i rommet sender ut et signal. En annen variant av dette er å bruke en sensor som detekterer om det er aktivitet i frekvensområdene som mobiltelefoner bruker for å kommunisere med basestasjoner. Sensoren må ha kort rekkevidde, slik at en mobiltelefon i et rom ikke fører til at sensorene i naborommene detekterer den. En slik

sensor vil kunne telle antall mobiltelefoner som er i et rom til enhver tid, og kan dermed i tillegg til å utføre de samme oppgavene som en vanlig tilstedeværelsesdetektor også ventilere med passelig luftmengde i forhold til personantallet i rommet.

Som nevnt tidligere er ansiktsgjenkjenning i kameraer og bildeprosesseringsenheter allerede utbredt, og det vil høyst sannsynlig bli tilgjengelig i mindre format som kan passe inn i en sensor. Dermed kan sensoren telle antall ansikter som kommer inn i rommet og justere luftmengder basert på dette.

Når det gjelder solskjerming kan man gjøre en signifikant teknologisk forenkling ved å bruke solfilm som klistres på glasset. Dermed har man fjernet alle bevegelige deler, og dermed også tilnærmet eliminert vedlikeholdsbehovet. Solfilmene finnes allerede på markedet i mange forskjellige varianter. Ulempen ser imidlertid ut til å være at dagslysutnyttelsen reduseres ganske kraftig, avhengig av hvilken variant man velger.

En generell endring som kan føre til økt brukertilfredshet i energieffektive kontorbygg er å øke brukernes mulighet til å styre anleggene selv. På grunn av at termisk komfort varierer med aktivitet, dagsform, bekledding, osv. vil det alltid være brukere som er uenige om hvilken temperatur en sone skal ha. Hvis det skal være stor grad av styringsmuligheter betyr det også at det må være mange soner, og de som er veldig uenige med de andre brukerne om tilluftstemperatur eller temperaturinnstilling på radiator eller gulvvarme må dermed sitte på cellekontor for å unngå ubalanse i det åpne kontorlandskapet.

Individuell styring av solskjerming er også en mulighet, da via et panel med knapper for å senke og heve, samt endre lamellvinkel hvis det er persiener. Et problem kan bli at fasaden der solskjermingen befinner seg kan bli seende rotete ut hvis det er mange forskjellige innstillinger på solskjermingen.

Felles for disse løsningene med økt mulighet for brukeren å kontrollere sitt inneklima må være at systemet har mulighet til å overstyre brukerens valg hvis de valgte innstillingene kan føre til store problemer med energiforbruket eller komforten til de andre brukerne. Denne overstyringen bør også tre i kraft hvis det ikke er registrert tilstedeværelse i sonen i løpet av en viss periode, det vil si hvis brukeren har forlatt sonen for dagen eller for noen timer.

4. DISKUSJON

4.1 PROSJEKTRESULTATER

En gjennomgang av resultatene fra prosjektoppgaven *Planlagt løsning, oppnådd effekt og brukertilfredshet ved bruk av behovsstyring av klimatekniske installasjoner i passivhus og lavenergibygg*. *Yrkesbygg* belyste flere interessante momenter. Informasjonsinnhenting om driftserfaringer og brukertilfredshet gikk nesten utelukkende via den driftsansvarlige i prosjektene, og det er derfor en viss fare for at resultatene er pyntet på for å unngå at bygget eller driftsorganisasjonen får et dårlig rykte. Det nevnes spesifikt at det ikke er noen indikasjoner på at dette har skjedd i noen av sakene, men at det likevel er verd å nevne som et usikkerhetsmoment. I Figur 10 vises imidlertid en oversikt over brukernes tilfredshet der kun tre av 16 prosjekter har rapportert at brukerne er *litt utilfreds*. De 16 prosjektene likevel mottatt til sammen 24 klager på ni forskjellige parametere, i følge Figur 9, noe som tilsvarer 1,5 klage per sak i snitt. Det kan ikke konkluderes noe basert på disse tallene, siden det ble gjort en stor feil i prosjektoppgaven da det ikke ble spesifisert en tilfredshetsskala i forkant av utsendingen av spørreskjemaene. Parameterne burde nok mest sannsynlig også hatt forskjellig vektning basert på at det for eksempel vil være flere forskjellige problemer av varierende alvorlighet som kan føre til at en bruker klager på at temperaturen er for høy eller for lav. Klagene som dreier som om temperatur kan nok til en viss grad elimineres hvis det åpnes for mulighet for selvstyre av oppvarming, kjøling og ventilasjon. Funnene til Hauge, et al. (2010), Thomsen, et al. (2011) og Wagner, et al. (2007) peker i retning av at økt kontroll, eller i det minste *følelsen* av å ha kontroll, senker brukernes misnøye med de klimatekniske anleggene.

Et annet interessant moment er forskjellene i hvordan driften er lagt opp, samt hvordan det kan ha noe å si på brukernes tilfredshet. En av respondentenes utsagn om at «*skal du ta leietakerne på alvor, så bør du være tilstede for å se og føle på problemene de opplever. Vi er ikke like og to personer i samme rom kan ha svært forskjellig oppfatning av hva som er OK inneklime*» illustrerer hvor forskjellige driftsorganisasjonene er, noe som henger sammen med byggeiernes engasjement for hvordan bygget skal drives. Eksempelet som nevnes er et bygg der brukerne beskrives som *litt utilfreds*, og driftspersonalet kun er til stede fire til seks timer hver uke. Ved at brukerne ikke har mulighet til å si ifra med en gang det er et problem med bygget risikerer driftsorganisasjonen at ting blir glemt. Har man en mulighet for å kontakte

driftspersonalet utenom tidene de er på bygget får brukerne en følelse av å bli hørt. Hvis driftspersonalet likevel bruker lang tid før de ordner opp i problemer risikerer de å få et dårlig rykte blant byggets brukere, og eventuelt hos andre også hvis det er en driftsorganisasjon med ansvar for mange forskjellige bygg.

Det var også en klar sammenheng mellom driftspersonalets involvering i prosjekteringsfasen av prosjektene, og om de hadde tilstrekkelig kunnskap og «erfølelse» til bygget. I de tilfellene der driftspersonalet hadde vært involvert fra starten var engasjementet for å oppnå optimal drift stor, noe som helt klart hjelper i den daglige driften.

I Figur 8 vises en oversikt over byggenes målte energiforbruk i forhold til beregnet levert energi. De tre prosjektene som utmerker seg med uvanlig høyt målt forbruk ble analysert i prosjektoppgaven, og det viste seg at det var logiske forklaringer bak de store avvikene. Bygget med et avvik på 240 % hadde hatt et langvarig problem med en varmpumpe som ikke fungerte, og det antas at de da har brukt direktevirkende elektrisitet som backup. Det kan sammenlignes med at varmpumpen har en konstant COP på 1 i stedet for et sted mellom 2 og 5 som man kan forvente med varmpumpen i normal drift, avhengig av forholdene. Det er dermed ikke veldig overraskende at avviket har blitt så stort.

Når det gjelder behovsstyringsløsningene i de 20 prosjektene som ble undersøkt i prosjektoppgaven viste det seg at det vanligste var å kombinere flere forskjellige reguleringsparametere for på den måten å utnytte parameterne styrker for å få et optimalt resultat.

4.2 VALGTE CASE

Det ble valgt ut to case-prosjekter som ble ansett som vellykkede og to som ble ansett som mindre vellykkede. Selv om det allerede har blitt påpekt så nevnes det også her at resultatene i de utvalgte case-sakene er tidsavhengige, slik at situasjonen i byggene kan ha endret seg til det bedre for de to som på nåværende tidspunkt regnes som mindre vellykkede, og omvendt for de to vellykkede.

Den første casen er Kjøita, et kontorbygg i Kristiansand. Prosjektet preges helt klart av at driftspersonalet var med i prosjekteringsfasen. I prosjekteringen ble det også bestemt at bygget skulle bygges opp med en grid-løsning, det vil si at behovsstyringsløsningene er

lagt opp slik at cellekontorer kan opprettes nesten hvor som helst mot ytterfasaden, og behovsstyringssonen vil være klar med en gang.

Leverandørene har også gjort en bra jobb i dette prosjektet, ved at de sto for driften av de klimatekniske anleggene i igangkjøringsfasen. Byggeieren jobber også med incentivordninger som driftspersonalet for å strebe etter å oppnå optimal drift.

Når det gjelder behovsstyringsløsningene så er ventilasjonen behovsstyrt basert på tilstedeværelse, mens oppvarmingsanlegget, et lavtemperert vannbårent anlegg, er behovsstyrt basert på tilstedeværelse og utetemperaturkompensering. Belysningen behovsstyres basert på både tilstedeværelse og dagslysnivå. Dette er i tråd med trenden i de 20 undersøkte prosjektene, nemlig at flere forskjellige reguleringsparametere kombineres for å utnytte styrkene til hver enkelt parameter.

Tallhall er den andre casen, og er et kombinasjonsbygg i Oslo som består av et datasenter i første etasje, og en kantine og møterom i annen etasje. Det er kantinen og møterommene som regnes som kontorbygg i dette prosjektet, og det er derfor noe ulik bruk i forhold til kontorbygg som består av cellekontorer, åpne kontorlandskap og møterom. En kantine er i bruk i et relativt kort tidsrom hver dag, og brukerne vil derfor ikke bli preget over lengre tid av at inneklimate er sub-optimalt. Det vil imidlertid muligens bli en lavere terskel for å klage, siden brukerne gjerne sitter sammen og diskuterer mens de spiser. Hvis én bruker sier at han synes det er for kaldt i lokalet kan de andre i gruppen bli påvirket til å tenke det samme, selv om de egentlig ikke la merke til det.

Til tross for dette oppgir respondenten at brukerne er fornøyde, og at erfaringene med de tekniske anleggene er gode. Datasenteret i byggets første etasje krever kompetent driftspersonale, og dette hjelper nok på driften av bygget som helhet. De har deltatt aktivt i prosjekteringsfasen, og bruker mye ressurser på oppfølging av energiforbruket for å oppnå optimal drift.

Det er behovsstyring av både belysning og ventilasjonsanlegget, som har VAV-spjeld i alle soner i annen etasje.

Oppvarmingsanlegget mengdereguleres, og det styres av temperaturfølere i rommene med aktuatorventiler til hvert forbrukssted. Alle pumper er trykkstyrte trinnløse pumper.

Case nummer tre er Sjøhagen, et kontorbygg i Stavanger. Driften av bygget utføres av et eksternt firma som ikke var involvert i prosjekteringen, og som heller ikke følger opp energiforbruket. Det er overraskende nok ikke dette som har skapt problemer i prosjektet, men komponentfeil som blant annet har forårsaket feil med temperaturreguleringen, og flere brukere har opplevd misnøye med forholdene.

Behovsstyringen av belysning og oppvarming er kombinert med behovsstyringen av ventilasjonen i en aktiv tilluftsventil, som har både tilstedeværelsessensor og CO₂-sensor, og følger dermed oppskriften med å kombinere forskjellige typer parametere.

Fjerde og siste case er Sluppenveien, et kontorbygg i Trondheim. I prosjekteringen av bygget var driftspersonalet til en viss grad involvert, men det har likevel gått dårlig. Det største problemet er at underleverandørene som hadde ansvar for de klimatekniske installasjonene ikke hadde igangkjøring av anlegget. Dette har ført til at respondenten heller ville ha hatt et ventilasjonsanlegg med ur-styring i stedet for anlegget som er installert, som har VAV-spjeld i alle soner. Belysningen behovsstyres basert på tilstedeværelse og dagslysnivå, og benytter seg altså av to reguleringsparametere som en del andre prosjekter også gjør.

4.3 BEHOVSTYRING AV KLIMATEKNISKE INSTALLASJONER

Som nevnt tidligere er det et generelt ønske fra brukerne om å få større mulighet til å kunne styre inneklimate selv. For enkelte bygningskategorier kan dette medføre problemer, som for eksempel i en barnehage der de voksnes overstyring av de klimatekniske anleggene kan få konsekvenser for barna som har en annen oppholdssone (gulv, samt lavere hodehøyde). Denne oppgaven omhandler imidlertid kontorbygg, der brukergruppen er relativt homogen. Til tross for dette vil det alltid være variasjoner i hva som oppleves som optimalt inneklimate, siden det varierer med kjønn, alder, dagsform, aktivitetsnivå, osv. Dermed kan økt brukerstyring være et alternativ som vil sikre høyere andel av brukere som jobber under optimale forhold, noe som kan føre til økt omsetning (Hanssen & Høseggen, 2009) og mindre sykefravær.

I utredningen av alternative måter å løse behovsstyring på ble det satt spesielt fokus på at de brukermessige forenklingene i hovedsak skulle baseres på økt mulighet for styring av lokalt inneklimate. Hvis byggeier skal legge til rette for at alle skal få bestemme temperatur, luftmengde, belysning og solskjerming individuelt vil kostnadsposten behovsstyringsanlegg øke betraktelig. Det vil bli mange ekstra enheter, og mange

komponenter som vil kreve vedlikehold. Byggeieren bør likevel vurdere det seriøst, spesielt hvordan produktiviteten til arbeiderne kan øke med økt tilfredshet og termisk komfort. Hvis produktiviteten øker nok kan det vise seg at det lønner seg å gjennomføre ekstrainvesteringen. Det vil muligens ikke bare bli det økonomiske aspektet som må vurderes før en avgjørelse tas; hvis alle som har kontor mot en solutsatt fasade har stilt inn solskjermingen litt forskjellig vil hele bygget kunne få et ganske uryddig utseende, noe en arkitekt muligens ikke vil akseptere. Videre vil det også måtte være mulighet for at byggets styringssystem overstyrer enkeltbrukerne hvis det er noen innstillinger som er ødeleggende for energibudsjettet, for eksempel hvis noen har stilt temperaturen på sitt kontor veldig høyt og så har gått hjem uten å stille temperaturen ned igjen, eller at solskjermingen står i en stilling som fører til stort varmetilskudd til bygningen når det ikke ønskes.

Det ble også fokusert på teknologiske forenklinger i utredningen, og da spesielt ved å få ned antallet deler som trenger vedlikehold, som for eksempel bevegelige deler. Et eksempel på et forslag som fjerner alle bevegelige deler er å bruke solfilm som solskjerming. Dette er et produkt som finnes i mange varianter på markedet allerede, både utvendige og innvendige, med høy, middels og lav refleksjon av lys og avvisning av varme. Det ser imidlertid ut til at mange av dagslysfordelene forsvinner hvis man skal ha en film som stenger ute mesteparten av solvarmen, og det vil muligens ikke svare seg når man tar i betraktning den sparte elektrisiteten og det reduserte kjølebehovet når man styrer belyningsanlegget basert på dagslysnivå.

Ellers ble det foreslått tre løsninger som kan detektere nøyaktig personbelastning i soner. Det første forslaget gikk ut på at man ved hjelp av en databrikke i adgangskortet kunne detekteres når man kom inn i en sone. Siden adgangskortet er knyttet til enkeltpersoner kan det være at denne løsningen vil skape muligheter for overvåkning, og at personvernet vil gå foran. Den andre løsningen kan muligens omgå dette problemet; en sensor med kort rekkevidde som lytter til de samme frekvensområdene som mobiltelefoner bruker til å kommunisere med basestasjoner. Mobiltelefonen, eller eieren, trenger ikke nødvendigvis å identifiseres, det holder å vite at det er en aktiv mobiltelefon i rommet. Dette vil da kunne sørge for at ventilasjonsanlegget reguleres til nøyaktig luftmengde for det detekterte antall personer i rommet.

Det siste forslaget baserte seg på en forventning om at en eksisterende teknologisk løsning skal bli mindre i omfang, slik at den får plass i en sensor. Løsningen er ansiktsgjenkjenning som allerede brukes i en del kameraer. Ved å gjenkjenne ansiktene på personer som kommer inn i rommet vil det også med denne løsningen kunne reguleres til nøyaktig ønsket luftmengde.

5. KONKLUSJON

Gjennom en undersøkelse av prosjekresultatene fra prosjektoppgaven *Planlagt løsning, oppnådd effekt og brukertilfredshet ved bruk av behovsstyring av climatekniske installasjoner i passivhus og lavenergibygg*. Yrkesbygg har det blitt funnet at brukernes tilfredshet med behovsstyringsløsningene til en viss grad avhenger av hvor stor kontroll de har, eller tror de har, over inneklimate i sin umiddelbare nærhet. Funn i litteraturstudiet peker i samme retning, nemlig at kontroll over sin egen sone gir økt tilfredshet.

Videre viste undersøkelsene at flere av prosjektene hadde problemer med komponenter i de climatekniske installasjonene som ikke fungerte, og som i enkelte tilfeller førte til et ubehagelig inneklimate for brukerne. Et annet problem var at leverandører som var ansvarlig for behovsstyringsløsningene ikke tok ansvar i innkjøringsperioden, noe som førte til store problemer for byggeier og driftspersonalet. Det bør være en selvfølge at leverandøren tar ansvar for jobben med innkjøring og innregulering av anlegget, og det bør være nedfelt i kontrakten som inngås ved prosjektets start.

Fra prosjekresultatene ble det trukket ut to saker som ble ansett som vellykkede og to som ble ansett som mindre vellykkede, og sakene ble undersøkt nærmere. Fellesnevneren for de to vellykkede prosjektene var at driftspersonalet var involvert helt fra prosjekteringen av bygget de senere skulle drifte, noe som sørget for at de fikk en følelse av eierskap, og dermed et ønske om å oppnå optimal drift. Problemene i de to sakene som ble ansett som mindre vellykkede var komponentproblemer og problemer med underleverandører som ikke gjorde jobben sin.

Det har også blitt gjennomgått aktuelle behovsstyringsløsninger, det vil si de løsningene som er vanligst i bransjen, samt at det har blitt gjennomført en utredning av alternative måter å løse behovsstyring på. Fokuset var på brukermessige og teknologiske forenklinger. De brukermessige forenklingene dreide seg om større muligheter for individuell kontroll av inneklimate nær brukeren, mens de teknologiske forenklingene dreide seg om å redusere antall deler som trenger vedlikehold, for eksempel ved å bruke en solfilm festet til vinduet i stedet for mekanisk solskjerming. Det viste seg imidlertid at dette ville redusere fordelene man kan få med kontrollert dagslysinstråling.

Forslag til videre arbeid er en grundigere teknisk og økonomisk analyse av alternative løsninger for behovsstyring av climatekniske installasjoner.

REFERANSER

- Austerheim, E. B. (2012). *Planlagt løsning, oppnådd effekt og brukertilfredshet ved bruk av behovsstyring av klimatekniske installasjoner i passivhus og lavenergibygg. Yrkesbygg*. Trondheim: NTNU.
- Birkeland, A., & Bruun, G. (2008). *Energieffektiv belysning i yrkesbygg*. Trondheim: Enova SF.
- Dokka, T., Klinski, M., Haase, M., & Mysen, M. (2009). *Prosjektrapport 42 - Kriterier for passivhus- og lavenergibygg - Yrkesbygg*. SINTEF Byggforsk.
- Enova SF. (u.d.). *Enova og samfunnet*. Hentet 20. desember, 2012 fra <http://www.enova.no/om-enova/enova-og-samfunnet/240/0>
- Grini, C., & Wigenstad, T. (2011). *Behovstilpasset ventilasjon - Hvordan får man alle brikkene på plass? - LECO Prosjektrapport 73*. SINTEF Byggforsk.
- Halvarsson, J. (2012, Januar). *Occupancy Pattern in Office Buildings - Consequences for HVAC system design and operation (Doctoral Thesis)*. Trondheim: Institutt for energi- og prosesssteknikk.
- Hanssen, S., & Høseggen, R. Z. (2009, 17. april). *Kan vi få bedre inn klima ved nye løsninger og energisparing i ventilasjonsanlegg?* Trøndersk VVS-dag, Trondheim.
- Hauge, Å. L., Thomsen, J., & Berker, T. (2010). *User Evaluations of Energy Efficient Buildings. Zero Emission Buildings - Proceedings of Renewable Energy Conference 2010*, (ss. 97-108). Trondheim.
- Heerwagen, J., & Zagreus, L. (2005). *The Human Factors of Sustainable Building Design: Post Occupancy Evaluation of the Philip Merrill Environmental Center, Annapolis, MD*. Berkeley: Center for the Built Environment, University of California, Berkeley.
- Kolås, T. (2011). *Energy efficient lighting - Technologies and solutions for significant energy savings compared to current practice in Norwegian office buildings - LECO - Project report 87*. Oslo: SINTEF Building and Infrastructure.
- Mysen, M., & Polak, K. J. (2010, November). *Behovsstyrt ventilasjon - Kan vi stole på CO2-sensoren?* Norsk VVS.
- Nilsson, P.-E. (Red.). (2003). *Achieving the desired indoor climate - Energy efficiency aspects of system design*. Studentlitteratur.
- Novakovic, V., Aschehoug, Ø., Aune, M., Bergersen, B., Brekke, B., Dalehaug, A., . . . Øverli, J. (2007). *Enøk i bygninger - Effektiv energibruk*. Trondheim: Gyldendal Norsk Forlag AS.

- Standard Norge. (2010). *NS 3700 - Kriterier for passivhus og lavenergihus. Boligbygninger*. Standard Norge.
- Standard Norge. (2012). *NS 3701 - Kriterier for passivhus og lavenergibygninger. Yrkesbygninger*. Standard Norge.
- Sørensen, B. R. (2002). *Application and Energy Consumption of Demand Controlled Ventilation Systems*. Trondheim: NTNU.
- Thomsen, J., Hauge, Å. L., Denizou, K., Jerkø, S., Wågø, S., & Berker, T. (2011). *User evaluations of energy efficient buildings - ZEB Project Report 1*. Trondheim: ZEB - The Research Centre on Zero Emission Buildings.
- Wagner, A., Gossauer, E., Moosmann, C., Gropp, T., & Leonhart, R. (2007). Thermal comfort and workplace occupant satisfaction - Results of field studies in German low energy office buildings. *Energy and Buildings*, vol. 39, ss. 758-769.