ENERGIRENOVERING AF ERHVERVSBYGGERI: INDEKLIMAFORBEDRINGEN SKAL MED I BUSINESS-CASEN

ELFORSK-PROJEKT 348-017

TEKNOLOGISK INSTITUT

Energirenovering af erhvervsbyggeri: Indeklimaforbedringen skal med i business-casen

ELFORSK-PROJEKT 348-017

Udarbejdet af:
Teknologisk Institut
Gregersensvej, 2630 Taastrup
Energi og klima

Kasper Furu Nielsen (projektleder), Teknologisk Institut
Pawel Wargocki, Danmarks Tekniske Universitet
Ulrik Sloth Christensen, DEAS A/S

April 2019

> Undersøgelsen havde ikke været mulig uden brugernes input.

Forord

Projektet kunne ikke have været gennemført uden støtte fra ELFORSK, og projektgruppen er derfor taknemmelig for den tro og interesse de har haft til projektets problemstilling. Projektet måler på kontorbrugere, og det havde ikke været muligt at foretage denne undersøgelse uden brugernes input.

En stor tak til medarbejdere på Teknologisk Institut, som deltog i forundersøgelsen, og en stor tak til bygningslejere fra de undersøgte kontorbygninger, som bidrog med åbenhed og deres tid til besvarelse af vores spørgeskemaer.

En speciel tak til Amanda Helena Bonnerup, Karin Nickel og Linnea Turunen, som gennem deres studier på DTU arbejdede med projektet. De lagde et stort arbejde i at analysere de målinger og besvarelser vi indsamlede i de to undersøgelser.

Indhold

FORORD 3
RESUMÉ 5
INDLEDNING 6
ØKONOMISK INCITAMENT FOR BÅDE EJERE OG LEJERE AF KONTORBYGNINGER 8
LABORATORIEUNDERSØGELSE 9
SAMPLING AF STØJGENER 10
PRÆSTATIONSTEST 10
OPSUMMERING AF UNDERSØGELSEN 10
PRÆSTATIONSPROTOKOL 11
KONTORUNDERSØGELSE 13
ÆLDRE KONTORBYGGERI 13
NYRENOVERET KONTORBYGGERI 14
RESULTATER 15
LITTERATURLISTE 18

Resumé

Projektet har ønsket at fokusere på de gevinster, der kan fås ved øget arbejdstilfredshed og medarbejderpræstation. Det er tidligere vist af mange, at der er noget at vinde ved at forbedre indeklimaforholdene, og det har derfor ikke været ønsket at definere størrelsesordenen af præstationsforbedringen, men nærmere hvordan præstationsforbedringen subjektivt vurderes af brugeren.

Her var det specifikt ønsket undersøgt om motivationen øges gennem arbejdstilfredshed ved høj indeklimakvalitet. Projektets tese var, at det er medarbejderens motivation, der øges gennem forbedret indeklima, hvormed medarbejderpræstationen øges.

Metode

Der blev udviklet et modificeret spørgeskema, som blev sammenholdt med de målte indeklimaparametre - temperatur, CO_2-koncentration og lydniveau. Spørgeskemaet var simpelt udformet, så det kunne besvares meget hurtigt uden at forstyrre deltagerens arbejdsopgaver. Det sikrede, at medarbejderen havde lysten og overskuddet til at besvare spørgeskemaet, når det blev udsendt. Derudover sikrede det, at spørgeskemaet influerede minimalt på deres daglige arbejdsopgaver, hvormed værdifuld arbejdspræstation kunne være gået tabt.

Resultater

Der kunne konstateres en positiv effekt på medarbejderpræstation ved den nyrenoverede kontorbygning sammenlignet med den ældre kontorbygning med lavere grad af automatisering og tekniske installationer. Derfor skal indeklima indtænkes mere ind i business-casen, når der energirenoveres kontorbyggeri, så vi får nedbragt utilfredsheden med det komfortmæssige indeklima og reduceret indeklimaets negative påvirkning på medarbejderens præstation. Indeklimaet kan skabe store gevinster, som langt overstiger de energimæssige potentialer.

Indledning

Projektet har til formål at undersøge om forskellen i indeklimakvalitet og kontormiljø mellem en ældre kontorbygning og en moderne nyrenoveret kontorbygning kan relateres til medarbejderpræstation.
På baggrund af tidligere studier (Frontczak et al., 2012; Lan, Wargocki, & Lian, 2011; Lee, Wargocki, Chan, Chen, & Tham, 2019; Tham & Willem, 2005; Pawel Wargocki & Djukanovic, 2005; Pawel Wargocki & Wyon, 2017) ønskes det at undersøge om der direkte kan findes en relation mellem brugerens oplevelse af præstation og komfort, og indeklimaets temperatur og støjniveau i en ældre og nyrenoveret kontorbygning. Undersøgelserne sammenholder også kontoropbygningerne med brugeroplevelsen, hvor der bl.a. ses på muligheden for at kontrollere det termiske indeklima.

"Projektet ønsker dermed at sætte fokus på indeklimaets indflydelse på komfort og medarbejderpræstation, men forsøger samtidig at se på kvaliteten ved hver af kontorbygningernes kvaliteter i opbygning og indretning. "

Studier viser, at storrumskontorer kan hæmme medarbejderpræstationen (Hongisto, 2005). Studier viser endda, at storrumskontoret kan være med til at reducere den direkte kontakt mellem kollegaer, som dermed hæmmer muligheden for gode kollegiale relationer og sparring (S. & Stephen, 2018).

Projektet har ønsket at fokusere på de gevinster, der kan fås i gennemrenoverede kontorbygninger ved øget arbejdstilfredshed og medarbejderpræstation. Der er en økonomisk gevinst ved mere tilfredse medarbejdere med højere arbejdspræstation, og det har derfor ikke været ønsket, at definere størrelsesordenen af præstationsforbedringen, men nærmere hvordan præstationsforbedringen subjektivt vurderes af brugeren. Her ønskes det specifikt undersøgt om motivationen øges gennem arbejdstilfredshed ved høj indeklimakvalitet.

"Projektets tese er, at det er medarbejderens motivation, der øges gennem forbedret indeklima, hvormed medarbejderpræstationen øges."

Dette er illustreret ved Figur 1 på den følgende side, hvor det kan ses, at der er mange parametre, der influerer på medarbejderens motivation til at yde. Indeklimaet er blot en underkategori af arbejdsforhold. Der er dermed mange parametre, der kan skrues på, hvis medarbejdermotivationen skal øges. Indeklima er en parameter, der underordnet arbejdspladsens øvrige regler, og arbejdsforhold vil kunne forbedres for alle medarbejdere, hvorimod nogle af de andre parametre som jobsikkerhed, karrieremuligheder og løn er mere afhængige af den enkelte arbejdsplads, og de kan også ligefrem være modstridende overfor hinanden.

Figur 1 - De seks overordnede kategorier, der resulterer i medarbejdermotivation

Projektet blev udført i to faser:

FASE 1

I den første fase var metoden udviklet gennem et laboratorieforsøg på Teknologisk Institut, hvor to grupper medarbejdere på skift flyttede til Energy Flex Office, en laboratoriefacilitet, der er et kontorlokale på ca. 30 m^2, der ligner de øvrige kontorer på Teknologisk Institut.

I Energy Flex Office kan ventilation og varmebelastning styres meget nøje, hvormed det er muligt at simulere forskellige indeklimasituationer uafhængigt af årstid.

FASE 2

Den anden fase foregik i to kontorbygninger i Hovedstadsområdet. I anden fase var der udarbejdet simple spørgeskemaer til medarbejderne i bygningen, som kunne besvares på under 3 minutter på baggrund af erfaringen fra den første fase.
I kontorbygningerne blev indeklimaet kun monitoreret med måleudstyr, således at der blev indsamlet empiri omkring indeklima og brugeroplevelse over en periode på ca. et halvt år. Dermed blev der indsamlet information over en periode med varierede vejrforhold, hvormed der også var mulighed for varierende indeklimaforhold.

OM BYGNINGERNE

Den ene bygning er en ældre bygning fra 1970'erne, som løbende vedligeholdes. I bygningen er der forskel på ventilationsforhold, da ændringer er blevet lavet løbende for mindre dele af bygningen ad gangen.

Den anden bygning har for nylig gennemgået en større renovering med fokus på energieffektivitet og indeklima. Der er dermed bl.a. etableret central mekanisk balanceret ventilation med køling.

Økonomisk incitament for både ejere og lejere af kontorbygninger

Indeklima er blevet en vigtigere og vigtigere parameter, når det kommer til udlejning af erhvervslejemål. Der stilles store krav til indeklimaet fra lejers side, hvilket ofte betyder, at der ved indretning af et nyt lejemål, skal laves større renoveringer af de installationer og bygningsdele, som påvirker indeklimaet. Dette er som regel en udgift, som ejer påtager sig, da det økonomisk er mere fordelagtigt at have en lejer end et tomt lejemål. Ejer og lejer aftaler så en værdi af det lejede, som afspejles i den månedlige ydelse lejemålet koster, samt på længden af kontrakten, som lejer binder sig til.

For lejer er det vigtigt, at have et godt indeklima. Det medvirker til øget tilfredshed blandt medarbejderne, samt at deres arbejdspræstation stiger. Da det er lejer, som står for energiudgifterne, så er det også i deres interesse, at indeklimaet bliver styret optimalt.

På nuværende tidspunkt bliver øget arbejdspræstation, som følge af investeringer i indeklima, ikke medregnet i business casen. For både ejer og lejer vil det være attraktivt, hvis der blev taget højde for forbedret arbejdspræstation, når der forhandles lejekontrakt. Ejer vil kunne øge værdien af lejemålet og dermed have incitament til at investere flere penge på at forbedre indeklimaet. Det forbedrede indeklima, som de øgede investeringer ville skabe, vil komme lejer til gode i forbindelse med en forbedret arbejdspræstation, og dermed være positivt for begge parter.

En måde at medregne øget produktivitet på baggrund af indeklimaforbedringer kunne være ved en højere leje (P Wargocki & Seppänen, 2006). Lejeren kan dele gevinsten fra det forbedrede indeklima med ejeren. Dette skaber samtidig et incitament til at bevare indeklima på et højt niveau. Højere indeklimakvalitet betyder også en kortere tomgangsperiode for udlejning og en højere værdi af bygningen.

"Her skal det understreges, at de fleste omkostninger i en kontorbygning er medarbejderlønninger, hvor leje, energi og vedligholdelse kan være op til 100 gange mindre end medarbejderløn."

Laboratorieundersøgelse

Grundet projektets undersøgelse i fase 2, som involverede to kontorbygninger af forskellig alder og installationsteknisk standard, var det ønsket at undersøge forskellene mellem to typer indeklima.
Den ene type svarede til en kontorbygning med typisk facadeopbygning for perioden omkring år 1970, som i dag har mekanisk ventilation uden køling.
Den anden type svarede til en moderne facadeopbygning med stort glasareal og mekanisk ventilation med køling. Bygningstypen fra omkring 1970 er valgt, da det er dette årti, der er flest kontorbygninger fra i Danmark.

Det var ønsket at undersøge effekten af ændrede temperaturer og støjgener. Disse to indeklimaparametre er dem, der hyppigst bliver klaget over i kontorbygninger. Nye kontorbygninger bliver ofte indrettet som storrumskontor, og det var derfor vigtigt for undersøgelsen at kunne simulere situationer svarende til det, der opleves i storrumskontorer.

Figur 2 - Undersøgelserne blev udført i Teknologisk Instituts laboratoriekontor

Laboratoriekontoret indeholdt deltagernes eget skrivebord, stol, computerskærme o.l., så de havde de faciliteter og remedier ved hånden, som de plejede. Testlokalet har mulighed for at kontrollere og styre efter flere indeklimaparametre, og der blev bl.a. også benyttet tidsafhængig varmetilførsel til simulering af en sommerdag. Indretningen, der minder om et almindeligt kontor med vinduer og solafskærmning, var med til at gøre oplevelsen virkelighedsnær, selvom der blev styret efter en fiktiv temperatursituation.

Undersøgelsen var opbygget som fem konditionsforhold, hvoraf den ene kondition (reference) var deltagerens eget kontor. Konditionerne blev styret og kontrolleret på parametrene luftmængde, varmetilførsel og støjgener. Der var typisk 3-5 deltagere i testlokalet på ca. 30 m2. Det var forskelligt om deltagernes egne kontorpladser var i enkelt- eller flerpersonslokale.

70L	Temperaturprofil uden køleenhed, lave støjgener
70H	Temperaturprofil uden køleenhed, høje støjgener svarende til storrumskontor
15H	Temperaturprofil med køleenhed og stort vinduesareal, høje støjgener svarende til storrumskontor
15L	Temperaturprofil med køleenhed og stort vinduesareal, lave støjgener
Reference	Deltagers eget kontor (vinter år 2017)

Tabel 1 - De fem konditionsforhold

Luftmængden blev defineret på baggrund af simuleringsresultater fra programmet IDA-ICE og erfaringer fra Teknologisk Instituts mange konsultationer i kontorbygninger. Simuleringsresultaterne definerede varmeprofilen for hver af ugens fem dage, hvor deltagerne opholdt sig i lokalet. Simuleringen var foretaget som et sommerscenarie, svarende til en typisk periode i juli og august. Selve undersøgelsen blev foretaget vinteren 2017, og der kan derfor være forekommet ekstraordinær lav relativ luftfugtighed i lokalet under høj termisk belastning.

Figur 3 - Simulering af temperaturprofiler i IDA-ICE for de to bygningstyper

	Type 1970	Type Moderne
Luftskifte	2,5 h^{-1}	1,3 h^{-1}
Temperaturspænd	24-31°C	*22-28°C

Tabel 2 - Målte indeklimaværdier

* Temperaturen var typisk ikke over 26°C for den moderne type på nær enkelte dage af undersøgelsen

Varmetilførslen blev styret med elradiatorer, der afhængig af timestemplet leverede den simulerede varmeydelse, som typisk opleves i de to varmeste sommermåneder. Dermed steg temperaturen gradvist i lokalet over dagen. For den ældre bygning uden køling var temperaturen højere ved arbejdsdagens påbegyndelse, da simuleringen og erfaringer ofte viser at temperaturniveauet fra gårsdagen ofte påvirker starttemperaturen for den næstkommende arbejdsdag. I den moderne type med køling var det muligt at holde en lavere og mere komfortabel starttemperatur ved arbejdsdagens begyndelse.

Sampling af støjgener

Til undersøgelsen blev der samplet støjgener fra et typisk storrumskontor. Denne optagelse blev via surroundhøjtalere afspillet i testlokalet i de konditionsforhold med "H", som er specificeret i Tabel 1. Afspilningen skulle afspejle det miljø, man normalt omgives af i et storrumskontor, selvom deltagerne sad i et mindre kontor på ca. 30 m2. Kontorstøj er meget mere end et støjniveau, og derfor var det vigtigt, at afprøve effekten af at afspille et realistisk støjbillede, som det ofte opleves ude i storrumskontorerne.

Præstationstest

Deltagerne blev bedt om at udføre to kognitive test samt besvare tre typer spørgeskemaer i løbet af ugen. De kognitive test var en korrekturlæsningsøvelse og en øvelse, hvor man skal besvare argumentationer. Begge øvelser kræver koncentration at udføre, og er velegnede til sammenligning med varierende kognitivt kontorarbejde.
Derudover blev der installeret et program på deltagernes computere, der overvågede antal anslag i timen samt antal benyttelser af slet/delete-tasten. Derudover blev aktiviteten af musen også registreret. Dette gav et indtryk af om deltageren var til stede, og hvor hurtigt deltageren arbejdede på computeren i løbet af dagen. Spørgeskemaerne spurgte til deltagerens opfattelse af deres velvære, arbejdspræstation samt deres opfattelse af indeklimaet. Spørgeskemaet bestod samlet set af 18 spørgsmål fordelt over tre dages besvarelser.

Opsummering af undersøgelsen

Tendensen viste, at deltagerne tastede hurtigere og brugte mindre tid ved deres computer til at løse dagens opgaver ved den moderne types temperaturprofil, hvor støjgenerne kun blev genereret af de deltagere, der var til stede i lokalet. Derudover indmeldte de bedre søvnkvalitet over ugen samt at de følte sig mindre trætte ved arbejdsdagens begyndelse. Deres selvestimerede arbejdsindsats viste sig også at være højere.

Reduktion af støjgener ved temperaturniveauer svarende til den moderne type viste øget tastehastighed, mens den selvestimerede arbejdsindsats var uændret ift. den moderne type med høje støjgener.

Undersøgelsen viste, at temperaturen var mere influerende på medarbejdernes arbejdspræstation end støjgenerne, men at der også var positive effekter ved at indtænke reduktion af støjgener ind i bygningsdesignet. Konklusionen på forundersøgelsen er ikke signifikant grundet det begrænsede antal deltagere, og det betegnes derfor som tendenser, der understøtter tidligere studiers lignende konklusioner.

Præstationsprotokol

Præstationsprotokollen er resultatet af det arbejde og de resultater, der blev gjort i laboratorieundersøgelsen. Præstationsprotokollen benyttes til at bestemme indeklima og medarbejderpræstation i relation til hinanden i kontorbygninger. Protokollens primære funktion er at beskrive en simpel metode til bestemmelse af medarbejderpræstation ift. termisk og atmosfærisk indeklima, som kræver minimalt tidsforbrug for de deltagende parter.

Afprøvningen af metoden i forundersøgelsen, viste sig at kræve store ændringer, da det ikke var en mulighed at foretage test af personerne i løbet af deres arbejdsdag, grundet tidsforbruget, der blev taget ud af deres normale arbejdsdag. Ligeledes var det ikke muligt at måle deres brug af computer, da det for mange firmaer og personer blev betegnet som risiko for hacking og overvågning.

Der er udviklet et modificeret spørgeskema, som sammenholdes med de målte indeklimaparametre - temperatur, CO_2-koncentration og lydniveau. Spørgeskemaet er simpelt udformet, så det kan besvares meget hurtigt uden at forstyrre deres arbejdsopgaver. Det sikrer, at medarbejderen har lysten og overskuddet til at besvare spørgeskemaet, når det udsendes. Derudover sikrer det, at spørgeskemaet influerer minimalt på deres daglige arbejdsopgaver, hvormed værdifuld arbejdspræstation kan gå tabt.
Spørgeskemaet blev besvaret online via link, der blev sendt med mail. Spørgeskemaerne blev hyppigst omsendt hver 2. uge og altid torsdag eller fredag, så besvarelserne svarede til den pågældende uge, hvor besvarelsen blev foretaget. Deltagerne blev bedt om at besvare spørgsmålene på baggrund af den seneste uges forhold. Spørgeskemaet kunne besvares på under 3 minutter, og der var ikke mulighed for at give kommentarer.

SPØRGESKEMAETS SPØRGSMÅL

1. Hvor stor en del af arbejdstiden har du brugt væk fra din arbejdsplads i denne uge?
2. Vurderer du, at indeklimaet ved din arbejdsplads (temperatur, frisk luft, ingen støjgener, belysning) har forbedret eller forringet dit velvære i denne uge?
3. Vurderer du, at indeklimaet ved din arbejdsplads (temperatur, frisk luft, ingen støjgener, belysning) har forstyrret din evne til at få klaret arbejdet i denne uge?
4. Hvilken/hvilke indeklimaparametre var mest utilfredsstillende ved din arbejdsplads i denne uge (temperatur, frisk luft, støjgener, belysning, alle var tilfredsstillende)?
5. Følte du dig mere træt på arbejdspladsen i denne uge end du plejer?
6. Er du tilfreds med din arbejdspræstation i denne uge?
7. Føler du, at du har brugt mere energi på at løse dine arbejdsopgaver i denne uge end du plejer?

Indeklimamålingerne blev foretaget med:

- PeakTech 8005 håndholdt lydmålingsudstyr (lydniveau)
- Netatmo indeklimasensor (temperatur, relativ luftfugtighed og CO_2 koncentration)
- Vaisala GMD20 (CO_2 koncentration)
- Onset HOBO logger (temperatur, relativ luftfugtighed)

Den håndholdte lydmåler blev placeret ved typisk arbejdsstation i bygningen. Der blev placeret to i den ikke-renoverede ejendom (én hos hver af de to lejere) og én i den renoverede ejendom. Lydmåleren havde lille lagringskapacitet, og skulle derfor ofte udlæses.

Det var ikke muligt at optage støjen til senere analyse, da dette ville krænke privatlivet af dem, der sad nærmest mikrofonen. Derfor blev analysen af støjgenerne baseret på et lydniveau, selvom det er mere retvisende at analysere på den type af støj, der er i lokalet.

I den ikke-renoverede ejendom blev der opsat Vaisala- og Onset-måleudstyr til måling af temperatur, relativ luftfugtighed og CO_2 koncentration. Dette måleudstyr er meget pålideligt på alle målte parametre, men bliver opsat i en lille kuffert, som ikke forskønner et stilrent kontormiljø, se Figur 4. Grundet æstetikken blev det besluttet at benytte Netatmo-indeklimasensor til måling i den renoverede ejendom. Den renoverede ejendom havde 'clean desk policy', hvor alle skriveborde var komplet ryddede hver dag, man forlod arbejdsstationen.

Figur 4 - Vaisala- og Onset-målekuffert

Figur 5 - Netatmo-indeklimasensor og mikrofon PeakTech

Kontorundersøgelse

Der er undersøgt to kontorbygninger, som begge udlejes til flere lejere. Begge kontorbygninger har centrale placeringer i eller omkring København, hvormed kontorbygningens placering formodes at kunne negligeres mht. brugerens besvarelser omkring arbejdstilfredshed og medarbejderpræstation. Der er ikke inkluderet fotomateriale fra bygningerne, da parterne ikke ønskede dette. Det har været en svær proces at finde to kontorbygninger, som ønskede at deltage i projektet, da undersøgelser og spørgsmål til indeklima, arbejdstilfredshed og medarbejderpræstation lader til at være emner, mange ledelser ikke ønsker at få besvaret. Dette kunne antyde, at ledelserne godt ved, at der er et problem, som ovenikøbet allerede kan være et betændt område mellem ledelse og medarbejdere, og derfor ikke ønsker, at det skal blusse yderligere op. Dette er højst beklageligt og misforstået af de ledelser, der måtte tænke det, da øget viden og fokus på indeklimaet kan være med til at motivere medarbejderne og øge deres medarbejderpræstation.

Bygningerne er udvalgt i samarbejde med udlejer og lejer. I begge kontorejendomme har lejer rettet henvendelse omkring indeklimaet til udlejer, hvormed der i undersøgelsen må forventes en vis grad af utilfredshed grundet denne historik. Begge kontorejendomme er screenet af projektgruppen, og er blevet vurderet egnede på baggrund af deres facadeopbygninger, tekniske installationer og kontorindretninger. Målet med undersøgelsen er at undersøge relationen mellem den nyrenoverede og ikke-renoverede kontorejendom, således at arbejdspræstation og indeklimaparametre sammenholdes bygningerne imellem.

Ældre kontorbyggeri

Det ældre kontorbyggeri er sporadisk vedligeholdt, således at der f.eks. er udskiftet vinduer i de dele af bygningen, hvor de var udtjente, samt at der er etableret mange forskellige ventilationsløsninger i bygningen. I den undersøgte del af bygningen er der observeret naturlig ventilation, kølebaffel i loftet, der nedkøler varm rumluft og varmepumpe i facade, der kan køle og opvarme udeluften. Derudover er der også observeret kontor- og mødelokaler, hvor der kun er udsugningsarmaturer, hvilket bevirker, at de zoner vil modtage den brugte luft fra de omkringliggende zoner.
Bygningen har også flere typer solafskærmning, som afhænger af den enkelte lejers kontorområde. I den ene lejers kontorområde er der både indvendig og udvendig solafskærmning, hvor den udvendige afskærmning både består af en markise og en solafskærmningsdug monteret på vinduet. Hos den anden lejer er der kun indvendig solafskærmning.
Bygningen har et gennemgående gangareal på hver etage, som i overvejende grad vender mod nord. Alle kontorer er derfor øst og/eller sydvendte, hvilket kan give et øget behov for nedkøling i sommerperioden.

Nyrenoveret kontorbyggeri

Det nyrenoverede kontorbyggeri har store glasparti-er i nordlig og sydlig gavl, mens der er vinduer med brystning i bygningens øst- og vestvendte facader. Den seneste renovering har haft fokus på de tekniske installationer, hvor varmeinstallationerne via radiatorer og konvektorer er blevet gennemgået og energieffek-tiviseret, mens der er udskiftet til central mekanisk balanceret ventilation med køling. Ventilation og køling leveres både via tallerkenarmaturer og kølebafler med lokal køling i de områder, hvor den termiske belastning forventes ekstra høj.

Kontorindretningen er med clean desk policy, hvor brugerne altid har ryddet skrivebord, når de forlader bygningen. Bygningen er udelukkende bestående af storrumskontorer, hvor der er mulighed for at benytte små enkeltmandslokaler, hvis der f.eks. er behov for ro til telefonsamtaler el.lign.

Facaden har et moderne udtryk, hvor glas spiller en central rolle. Vinduerne er i god stand, men af lidt ældre dato, så der ikke er øget isoleringsevne, som det ses i nye lavenergivinduer. Der er monteret solfilm på den sydvendte gavls store glasparti. Derudover er der små ståludhæng på ca. 30 cm i den øverste del af vindu-espartiet på hver etage. Da etagehøjden er omkring 3 m betyder det i praksis, at der i sommerperioden afskær-mes for en del af solindfaldet, som ellers ville komme dybere ind i lokalet, men dem, der sidder ved skrivebor-dene ved den sydvendte gavl, har kun minimal udnyttel-se af udhænget.

Resultater

Indeklimamålinger og spørgeskemabesvarelser mellem de to bygningstyper blev brugt til at bestemme relationen mellem moderne og energieffektivt kontorbyggeri med automatisk indeklimastyring, og en ældre kontorbygning med mindre bygningsautomatik. Spørgeskemabesvarelserne blev sammenholdt med indeklimamålingerne af temperatur, CO_2 koncentration og støjniveau. Resultaterne er, grundet den begrænsede deltagermængde på ca. 15 deltagere i hver bygning, ikke signifikante. Der kan derfor ikke drages en generel konklusion for alle kontorbygninger. Resultaterne viser dog samme tendens som tidligere lignende studier har vist, hvilket indikerer, at disse deltageres besvarelser minder om øvrige kontormedarbejderes vurdering af indeklimaets påvirkning.

Deltagerne blev bedt om at svare på om der havde været nogle af de fire indeklimaparametre temperatur, frisk luft, støjgener eller belysning, som havde været utilfredsstillende i løbet af den uge, de besvarede spørgeskemaet. Hvis alle parametre havde været tilfredsstillende, kunne de svare "Alle er tilfredsstillende". Se besvarelser og målte indeklimaværdier i Figur 6 og Figur 7 nedenfor.

"Ud fra de samlede besvarelser kunne det konstateres, at deltagerne i den nyrenoverede bygning var mere utilfredse med temperatur og støjgener."

Når temperaturen mellem de to bygninger sammenholdes, kan det konstateres, at temperaturen har været 21-26°C i den målte periode fra april til november 2018. Der

var dog en uge midt på sommeren, hvor køleanlægget i bygningen var gået i stykker, og derfor var ude af funktion. Dette resulterede i højere temperaturer end 26°C i den periode. I den ældre bygning var temperaturen 22-30°C over den samme måleperiode, hvilket må konstateres at være langt højere. I den varme sommerperioder var det ofte 70-80% af arbejdstiden, hvor temperaturen var over de anbefalede maksgrænser på 26°C.

"Den højere subjektive utilfredshed med temperaturen i den nyrenoverede bygning vurderes at skyldes, at forventningerne er meget højere i den nyrenoverede bygning, hvor deltagerne vidste, at de havde mekanisk ventilation med køling, så sommertemperaturen på kontoret kunne holdes på et behageligt niveau."

Det skal noteres, at der ikke er målt trækgener i bygningerne, og det vides derfor ikke om utilfredsheden med temperaturen delvist skyldes utilfredshed med trækgener fra den afkølede indblæsningsluft. Tidligere studier foretaget af DTU har vist samme tendens til at personer har langt højere forventninger til det termiske indeklima i moderne automatiserede bygninger, mens personer i bygninger uden mulighed for mekanisk køling heller ikke har en forventning om at bygningen kan nedkøles.

Der blev målt en forskel i lydniveau på ca. 10 dB(A) mellem de to bygninger, hvor den nyrenoverede bygning havde det høje lydniveau. Dette understøtter forventningen om at bygningen med storrumskontorer havde højere lydniveau, som tolkes som flere støjgener.

Der var flest i den ældre bygning, som var utilfredse med luftkvaliteten, som blev defineret som "Frisk luft" i spørgeskemaet. De målte CO_2 koncentrationer er under 1.000 ppm i begge bygninger, hvilket normalt anses for grænseværdien i kontorbygninger (indeklimaklasse B). At 20-25% er utilfredse i bygninger vurderes både at relatere sig til den faktiske friskluftstilførsel, men også til temperaturen og lugten, som indirekte er parametre for om luften føles frisk.

Der var ca. 15% af besvarelserne, hvor deltagerne oplyste, at alle fire indeklimaparametre var tilfredsstillende.

Det vurderes, at de tilfælde, hvor utilfredsheden er under 25%, der har parameteren ikke samlet set været utilstrækkelig for deltageren. Temperaturen har derfor komfortmæssigt været den indeklimaparameter, som deltagerne har følt utilfredsstillende på deltagerens kontor.

Figur 6 – Deltagernes utilfredshed med fire forespurgte indeklimaparametre (gennemsnit for hver af de indsamlede spørgeskemaer)

Figur 7 – Målte temperatur- og CO_2 koncentrationsspænd over måleperioden april-november 2018

Figur 8 – Arbejdsrelaterede præstationsparametre, hvor kontorbygningerne adskiller sig

Når deltagerne blev spurgt til deres vurdering af de arbejdsrelaterede præstationsparametre, så var det noget tydeligere, at indeklimaet var hæmmende for dem. På Figur 8 er der opstillet søjler for de tre spørgsmål:

- Er du tilfreds med din arbejdspræstation i denne uge?
- Vurderer du, at indeklimaet ved din arbejdsplads (temperatur, frisk luft, ingen støjgener, belysning) har forstyrret din evne til at få klaret arbejdet i denne uge?
- Føler du, at du har brugt mere energi på at løse dine arbejdsopgaver i denne uge end du plejer?

Resultaterne viser, at størstedelen i begge bygninger mener, at indeklimaet forstyrrer deres evne til at få klaret deres arbejde. Der er ligeledes over 30% i begge bygninger, som mener de bruger mere energi på at løse deres arbejdsopgaver pga. indeklimaet.

"Cirka hver femte deltager er utilfredse med deres arbejdspræstation i den nyrenoverede bygning, mens knap hver fjerde er utilfreds med deres arbejdspræstation i den ældre bygning."

For hhv. spørgsmålene om indeklimaets forstyrrelse på arbejdet og om arbejdet kræver mere energi for at løse, så er der ca. 10% flere, der mener det er tilfældet i den ældre bygning.
Samlet set tegner der sig et billede af, at deltagerne mener systematisk at indeklimaet er mere præstationshæmmende i den ældre bygning. Dette understøttes af utallige tidligere studier, hvor den klare majoritet på verdensplan viser, at der er en præstationsgevinst ved et forbedret indeklima.

Det kunne konstateres, at deltagerne følte sig lige meget påvirkede på deres velvære og generelle træthed i begge bygninger. Det var generelt godt en tredjedel af besvarelserne, hvor deltagerne følte sig negativt påvirkede på deres velvære og træthed.

Det kan konstateres, at indeklimaet var en anelse bedre i den nyrenoverede bygning, og at det havde en positiv effekt på medarbejderpræstationen i den nyrenoverede kontorbygning sammenlignet med en ældre kontorbygning med lavere grad af automatisering og tekniske installationer. I lyset af indeklimaets store økonomiske potentiale, understreger det derfor, at indeklimaets gevinster skal vægtes højere, når der energirenoveres kontorbygninger.

Det må konkluderes, at indeklimaet skal tænkes meget mere ind i businesscasen, når der energirenoveres kontorbyggeri, så vi får nedbragt utilfredsheden med det komfortmæssige indeklima og reduceret indeklimaets negative påvirkning på medarbejderens præstation.

LITTERATURLISTE

Frontczak, M., Schiavon, S., Goins, J., Arens, E., Zhang, H., & Wargocki, P. (2012).
Quantitative relationships between occupant satisfaction and satisfaction aspects of indoor environmental quality and building design. Indoor Air, 22(2), 119–131. https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00745.x

Hongisto, V. (2005).
A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance. Indoor Air, 15(6), 458–468. https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2005.00391.x

Lan, L., Wargocki, P., & Lian, Z. (2011).
Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. Energy and Buildings, 43(5), 1057–1062. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.001

Lee, J.-Y., Wargocki, P., Chan, Y.-H., Chen, L., & Tham, K.-W. (2019).
Indoor environmental quality, occupant satisfaction, and acute building-related health symptoms in Green Mark-certified compared with non-certified office buildings. Indoor Air, 29(1), 112–129. https://doi.org/10.1111/ina.12515

S., B. E., & Stephen, T. (2018).
The impact of the 'open' workspace on human collaboration. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 373(1753), 20170239. https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0239

Tham, K., & Willem, H. C. (2005).
Temperature and ventilation effects on performance and neurobehavioral- related symptoms of tropically acclimatized call center operators near thermal neutrality. In ASHRAE Transactions (Vol. 111).

Wargocki, P, & Seppänen, O. (2006).
Indoor Climate and Productivity in Offices: How to Integrate Productivity in Life-cycle Cost Analysis of Building Services. In Guidebook (Rehva). Retrieved from https://books.google.dk/books?id=Sy1rOgAACAAJ

Wargocki, Pawel, & Djukanovic, R. (2005).
Simulations of the potential revenue from investment in improved indoor air quality in an office building. In ASHRAE Transactions (Vol. 111).

Wargocki, Pawel, & Wyon, D. P. (2017).
Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and school work. Building and Environment, 112, 359–366. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.020

TEKNOLOGISK
INSTITUT