



DYNAMISK KONTORMILJØ PÅ BRUGERENS PRÆMISSER

Et projekt om energibesparelser og
medarbejdertilfredshed



Elforsk-projekt 351-034



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Dynamisk kontormiljø på brugerens præmisser

Et projekt om energibesparelser og medarbejdertilfredshed

Udarbejdet for:

ELFORSK
Elforsk-projekt 351-034

Udarbejdet af

Teknologisk Institut
Gregersensvej 1
2630 Taastrup
Energieffektivisering og Ventilation

Øvrige deltagere i projektet

Implement Consulting Group, Syddansk Universitet, Center for Energy Informatics, CLIMAID

December 2022

Projektleder: Pia Rasmussen

Rapport udarbejdet af Sandra Lori Petersen & Christian Nicolai Nielsen

Indhold

Resumé.....	3
Abstract	4
1. Projektets formål.....	5
Projektperiode	5
Baggrund.....	6
2. Casevirksomheden Implement.....	7
Medarbejdernes oplevede indeklima.....	8
Medarbejderes oplevelser af termisk indeklima.....	9
Indeklima og varmekonsum	10
3. Tilpasning af indeklimaet til brugernes præferencer	12
Algoritme og præferencer.....	14
Energibesparelser og dynamisk kontormiljø	15
Aktivitetsbaserede arbejdssteder i det dynamiske kontormiljø.....	16
4. Konklusion.....	18
Perspektivering	19
Formidling	20
Bilag 1: "Aktivitetsniveau, beklædning, indeklima og komfort i kontorer"	21
Bilag 2: "Input Output HMM for Indoor Temperature Prediction in Occupancy..."	25
Bilag 3: "Temperaturtest".....	35
Bilag 4: "Fremtidens meget mere fleksible arbejdsplads"	36

Resumé

Projektet har fokus på hvordan kontormiljøer kan udnyttes mere effektivt så energiforbruget reduceres. Projektet viser, at energibesparelser og øget medarbejdertilfredshed, kan opnås med et dynamisk kontormiljø, såfremt det udformes under hensyntagen til medarbejderes præferencer for indeklima og øvrige behov i forhold til arbejdsmiljø.

Med udgangspunkt i de specifikke forhold hos casevirksomheden Implement Consulting Group undersøger projektet konsekvenserne af at organisere arbejdsmiljøet efter free seating-princippet, der sparer plads og dermed energi fordi flere medarbejdere deles om færre arbejdsstationer på et mindre areal.

Data og simuleringer viser, at der vil være yderligere varmebesparelser at hente ved at arbejde med varierende temperaturzoner. Hos Implement vil man ved at indføre varierende temperaturzoner årligt spare ca. 10% på varmeforbrug svarende til 104.000 kWh eller cirka 68.900,00 DKK. Sænkes varmen i temperaturzonerne med én grad, øges den årlige besparelse yderligere til ca. 24 %. I begge tilfælde følger en mindre forøgelse i elforbrug til ventilation såfremt denne styres efter rumtemperaturen.

Der er altså en interessant potentiel besparelse at vinde på varmeregningen ved at indføre varierende temperaturzoner i et dynamisk kontormiljø.

De kvalitative analyser peger på en række udfordringer og understreger vigtigheden af, at kvaliteten af den plads medarbejderne tilbydes svarer til deres behov i forhold til at udføre skiftende arbejdsopgaver.

Projektet udvikler konceptet til et interface, der via machine learning kombinerer den enkelte medarbejders indeklimapræferencer med kalenderinformationer om aktuelle arbejdsopgaver og på den baggrund giver medarbejderen forslag til egnede tilgængelige arbejdsstationer via en app. Energibesparelserne er typisk af en størrelsesorden der gør udvikling af en app omkostningseffektiv.

Hvis medarbejdere præsenteres for en række valgmuligheder mellem forskellige områder med tilgængelige arbejdsstationer, kan varierende temperaturzoner blive en del af det der kvalificerer de forskellige arbejdsstationer medarbejdere kan vælge imellem – og dermed være med til at sikre medarbejdertilfredsheden.

Vil man som virksomhed opnå energibesparelser og øge medarbejdertilfredsheden ved at give medarbejdere frit valg mellem færre pladser bør man dermed være særligt opmærksom på at:

- Undersøge om man i virksomhedens bygning vil have nytte af at indføre temperaturzoner der egner sig til de forskellige arbejdsopgaver.
- Optimere kvaliteten af den plads der er tilgængelig for medarbejdere, så den egner sig til forskellige arbejdsopgaver. Man kan eksempelvis designe områder til hhv. koncentreret individuelt arbejde, til samarbejde og til møder med eksterne.
- Understøtte en app eller lignende system der på en let og overskuelig måde viser medarbejderen vej til en ledig arbejdsstation, der passer til den aktuelle arbejdsopgave.
- Via machine learning og/eller IoT løsning integrere indeklimapræferencer og indeklimadata i forslaget til de arbejdsstationer, der foreslås medarbejderen.

Abstract

The project focuses on how office environments are deployed in a way that allows for a reduction of energy consumption. The project shows that energy savings and an increased employee satisfaction can be obtained through a dynamic office environment if it is designed with consideration for employee preferences of indoor climate and other needs with regards to working environment.

Based on the specific conditions of the case enterprise Implement Consulting Group the project explores the consequences of a “free seating” organization of the working environment. Free seating allows space-savings and thereby energy savings because more employees share fewer working stations. Data and simulations in this report shows, that further major heat savings will be made possible by implementing variable temperature zones. Annually, Implement would be able to save around 10% of their heat consumption corresponding to 104.000 kWh or 68.900,00 DKK. If the temperatures in the zones are lowered with one degree, the calculated annual savings are increased to around 24%. Both cases result in a minor increase in electricity consumption for ventilation operated according to room temperature.

Introducing variable temperature zones in a dynamic office environment thus allows for important heat savings.

The qualitative analysis points out challenges and underlines the importance of being attentive to the quality of the space each employee is offered, and especially how it corresponds to the needs for caring out changing tasks.

The project develops a concept for an interface where machine learning combines the indoor climate preferences of the individual employee with calendar information of current tasks and offers the employee suggestions for suitable, available working stations through an app. The energy savings will typically be of a size that makes the development of an app cost-effective.

If employees are presented with several choices between different areas with available working stations, varying temperature zones can become part of what qualifies the different working stations – and thus ensure employee satisfaction.

Companies who wish to obtain energy savings and increase employee satisfaction, by giving employees a free choice between fewer seats, should be particularly attentive to:

- Explore whether it will be useful to introduce varying temperature zones that qualify for different types of work in the company's building.
- Optimize the quality of the space available for employees, in ways that makes it suitable for different types of tasks. For example, areas can be designed especially for concentrated individual work, collaboration or meetings with externs.
- Support an app or a similar system that makes it easy and simple for the employee to find the way to an available working station, suitable for the current task.
- Via machine learning and/or IoT solutions to integrate indoor climate preferences and indoor climate data in the suggestions of working stations made for to the employee.

1. Projektets formål

Projektet undersøger hvordan man ved effektiv udnyttelse af kontormiljøer kan reducere energiforbruget og samtidig øge brugertilfredsheden blandt medarbejdere særligt med henblik på oplevelser af indeklima. Projektet undersøger endvidere hvorvidt forskellene i en given bygnings indeklima kan udnyttes til at møde medarbejderes forskellige præferencer og derved sikre et mindre energiforbrug. Centralt for dette er synliggørelse af lokalebrug og indeklima. Via machine learning, og data fra bevægelsessensorer og indeklimamålinger, visualiseres anbefalinger til valg af ledig arbejdsstation ud fra den enkelte brugers præferencer.

Med udgangspunkt i casevirksomheden Implement Consulting Group er formålet at udvikle et koncept, der med brug af IoT-løsninger, visualiserer indeklima og arbejdsstationer for medarbejderne, som får mulighed for at vælge arbejdsstation ud fra præferencer i forhold til indeklima og behov i forhold til aktuelle arbejdsopgaver.

Projektet undersøger om overblik over brugsmønstre resulterer i energibesparelser ved at gøre det muligt at tilpasse lokaler og drift i takt med at brugernes ønsker ændrer sig. Dermed bidrager projektet med viden om, hvordan kontormiljøer i praksis kan udnyttes bedre særligt med henblik på energiforbrug og samtidig fremme medarbejdertilfredshed.

Projektperiode

Projektet er gennemført og ledt af Teknologisk Institut, Center for Energieffektivisering og Ventilation (herefter TI). Den danske konsulentvirksomhed Implement Consulting Group (herefter Implement) har medvirket som casevirksomhed med sin afdeling i Hellerup. Syddansk Universitet, Center for Energy Informatics (herefter SDU) har bidraget med perspektiver på informationsteknologiens anvendelse i energieffektivisering og endelig blev indeklimasensorer opsat af CLIMAID IVS. Planen var, at deltagerne i samarbejde gennemførte projektets seks arbejdsopgaver (Work Packages).

Projektet startede op 1. maj 2019 og WP1 og 2 blev gennemført inden Corona ramte Danmark i februar 2020. Pandemien og landets nedlukning i den forbindelse, påvirkede alle projektdeltagere. Hos casevirksomheden Implement Consulting Group blev de medarbejdere hjemsendt, hvis arbejdsmiljø projektet skulle have fokus på. Aktiviteterne måtte derfor tilpasses den uventede situation. Herunder gennemgås kort de enkelte arbejdsopgaver og de justeringer det har været nødvendigt at foretage.

Ved projektets begyndelse (WP1) blev samlet data, der skulle danne sammenligningsgrundlag senere, når planlagte koncepter var blevet udviklet og afprøvet og deres effekter efter planen skulle vurderes. TI indhentede information om Implements energiforbrug for de foregående 2-3 år samt information om bygningens klimaskærmsopbygning og tekniske installationer.

TI foretog en pilotundersøgelse af medarbejderes oplevelser af indeklima i form af spørgeskemaer og indhentede Implements APV'er om samme tematik. Ambitionen er at lave mere omfattende spørgeskemaundersøgelser både før og efter implementeringen af nye koncepter. Det blev i første omgang udskudt for ikke at komme i vejen for Implements interne APV og efterfølgende forhindret af coronanedlukningerne.

I WP1 blev medarbejdernes adfærd og behov desuden kortlagt. Der blev lavet uformelle interviews og observationer af hverdagen for medarbejderne in situ. Som det vil fremgå af denne rapport, har det været centralt for projektet at søge at opbygge et indgående kendskab til hvordan hverdagen er netop

hos Implement. Det antropologiske bidrag består blandt andet igennem en grundig undersøgelse af de specifikke forhold her at finde frem til løsninger som er relevante og meningsfulde, både i forhold til de tekniske installationer og temperaturforhold i Implements bygninger, og i forhold til den virksomhedskultur og adfærd, hverdagen er formet af her. Det indgående kendskab til den specifikke kontekst har også skabt viden om hvordan de løsninger, udviklet i dette projekt, vil kunne justeres og tilpasses andre virksomheders behov.

I WP2 var det oprindeligt planen, at TI skulle indhente erfaringer med fleksible arbejdsstationer fra eksisterende kontormiljøer, for at afdække forskellige mulige løsninger i varierende organisationsstrukturer, kontormiljøer og arbejdssituationer. Dette blev delvist gennemført, men noget af arbejdet blev forhindret af coronanedlukningerne. I stedet blev det erstattet af en gennemgang af central eksisterende international forskning på feltet. Input fra denne forskning blev brugt til at udfordre den første udgave af det koncept, der præsenteres her i rapporten.

I WP3 opsatte CLIMAID indeklimatemålere til bestemmelse af termisk og atmosfærisk indeklima. TI sørgede for opsætning af 3D kameraer til detektering af bevægelse, personbelastning og tilstedeværelse ved den enkelte arbejdsstation. Der blev foretaget fortsatte målinger af termisk og atmosfærisk indeklima, som blev suppleret af vejrdata. Det er oprindeligt planlagt at resultaterne fra WP2 skulle bruges til at definere forskellige testzoner, som skulle opstilles i mindre skala. Disse forsøg blev forhindret af coronanedlukninger.

I WP4 er det oprindeligt planen, at SDU skulle arbejde med mønstergenkendelse og skabe en forudsigelsesalgoritme via machine learning på grundlag af data fra Implement. Da coronanedlukningerne forhindrede indsamlingen af den nødvendige mængde data blev algoritmen i stedet "fodret" med brug af et alternativt datasæt (læs mere herom på side 17). Algoritmen kan anvendes til at forudsige brugerens præferencer med en sikkerhed på 78,4%, og indgår i den videre antropologiske konceptudvikling. Her danner analyser af kvalitativ og kvantitativ data baggrund for en første udgave af et koncept i form af et dashboard (beskrevet side 19), til afprøvning blandt Implements medarbejdere. Afprøvning og test af prototype blev umuliggjort af de fortsatte coronanedlukninger.

I WP5 er den oprindelige plan, at det endelige koncept til optimering af det dynamiske kontormiljø skal implementeres, afprøves i praksis og evalueres. Det blev imidlertid forhindret af coronanedlukninger. Dermed blev den planlagte sammenligning med data fra indledende undersøgelser foretaget i WP1 også umuliggjort. I stedet foretog TI analyser på baggrund af eksisterende data om temperatur, varmekonfort og elforbrug i casebygningen. Den eksisterende kvalitative data blev desuden kombineret med indsigter fra internationale studier om free seating og lignende kontormiljøer og brugt til at udfordre og videreudvikle konceptet til optimering af det dynamiske kontormiljø.

Formidlingsaktiviteterne i WP6 blev gennemført løbende. De blev varetaget af TI med Implements medvirken og tog primært udgangspunkt i projektaktiviteter gennemført frem til foråret 2020. Formidlingen havde som planlagt fokus på bygherre, entreprenører, bygningsadministratorer og bygningslejerne.

Baggrund

Undersøgelser peger på, at kontorfaciliteter ofte står ubrugte, imens medarbejdere er til møder andetsteds, arbejder hjemme eller lignende. Derudover viser opgørelser foretaget inden coronanedlukningerne at mødelokaler i 40% af de tilfælde, hvor de er bookede, slet ikke benyttes. Skriveborde

bruges i gennemsnit 39% af arbejdstiden, imens maksbelastningen i gennemsnit ligger på 64%.¹ Der er derfor oplagte ressourcer at spare ved at optimere brugen af mødelokaler og lade medarbejdere deles om færre arbejdsstationer.

Mens man tidligere opnåede pladsbesparelser ved at gå fra enmandskontorer til storrumskontorer, har mange større virksomheder over de seneste ti år optimeret yderligere ved at lade flere medarbejdere deles om færre skriveborde og gøre de resterende frit tilgængelige efter først til mølle-princippet. Ved at kalde fraværet af faste pladser for "free seating" associerer man organisationsformen med en positiv forøgelse af frihed for den enkelte medarbejder.

En energieffektiv anvendelse af kontormiljøer forudsætter at bygning og rum anvendes mest muligt. Konceptet kan bidrage til en mere intensiv anvendelse af arbejdspladser og møderum i et kontorbyggeri.

Internationale undersøgelser viser, at medarbejdere i forbindelse med free seating i dynamiske kontormiljøer typisk klager over mangel på ledige arbejdsstationer, udfordringer med at finde frem til kollegaer, tidsforbrug i forbindelse med opsætning og nedpakning af arbejdsstation og begrænsede muligheder for at tilpasse og gøre deres arbejdsstation personlig.² Dermed er medarbejder tilfredsheden en udfordring, når virksomheder vil opnå energibesparelser gennem intensiv anvendelse af faciliteterne.

Projektet har fokus på medarbejdernes oplevelser af indeklima og særligt af temperaturforhold, da det især er her energibesparelser kan vindes.

2. Casevirksomheden Implement

For at forstå hvordan medarbejdertilfredsheden øges samtidig med, at energiforbruget optimeres hos casevirksomheden, beskrives her nogle af de centrale karakteristika for virksomhedens fysiske rammer i Hellerup, og bygningernes facility manager sætter ord på, hvad der særligt prioriteres her.

Konsulentvirksomheden Implement Consulting Group³ har til huse i tre bygninger på Strandvejen 54, 56 og 58 i Hellerup. Tilsammen huser de tre adresser 7500 m² cirka 300 medarbejdere, 85 arbejdsstationer, mødelokaler, en kantine og mere uformelle områder til siddende eller stående kontorarbejde. Under coronapandemien omdannede man desuden flere mødelokaler til professionelle lyd- og videostudier, som benyttes flittigt til onlinemøder, afholdelse af webinarer, produktion af podcasts og lignende. Mødelokaler kan bookes, og nogle få back office funktioner – såsom receptionister og jurister - har faste pladser, men langt de fleste medarbejdere vælger en arbejdsstation ved dagens begyndelse.

Det er vigtigt for virksomheden at være energieffektiv, men det har også en stor betydning at lokalerne fremstår indbydende i forhold til indeklima og æstetik både i forhold til medarbejderne og overfor besøgende kunder. "Indeklima og indretning har stor betydning for vores kerneforretning," forklarer facility manager Stefan Ravn, "det kræver behagelige og inspirerende omgivelser".

¹ Se: <https://www.condecsoftware.com/products/>

² Kim, Jungsoo, Candido, Christina, Thomas, Leena & de Dear, Richard, (2016) "Desk ownership in the workplace: The effect of non-territorial working on employee satisfaction, perceived productivity and health" i: *Building and Environment*

³ Læs mere om virksomheden her: <https://implementconsultinggroup.com/>

Fokus i denne undersøgelse er på indeklimaet i Strandvejen 56. Bygningen fra 1901 er på 4490 m² fordelt på tre etager, og Implement råder over de to øverste. Bygningen holder generelt en fin temperatur, dog med potentielt kølige morgener og generelle temperaturstigninger i løbet af sommeren. Desuden må bygningens alder forventes at resultere i noget kuldenedfald og utætheder ved vinduer.



Strandvejen 56

Medarbejdernes oplevede indeklima

I dette afsnit beskrives medarbejdernes oplevelse af det indeklima, der former deres arbejdsmiljø. Beskrivelsen trækker på observationer og interviews, såvel som Implements interne APV'er og bringer medarbejdernes stemmer frem i form af direkte citater og opsummeringer af de holdninger som går igen på tværs af materialet. Det er netop denne form for kvalitativ viden om medarbejdernes oplevelser som er uundværlig hvis vi ønsker at skabe løsninger der ikke blot fungerer på et teknisk niveau, men som også opleves som reelle forbedringer af de mennesker der tilbringer deres hverdag i de bygninger vi her arbejder med.

Som konsulentvirksomhed arbejder Implement med forandringsledelser og er på mange måder en fortælling om succes – muligvis den mest succesfulde danske konsulentvirksomhed, der i 2019 rundede en omsætning på en milliard kroner. Denne fortælling gennemsyrrer ikke bare virksomhedens hjemmeside og de sociale medier, men udtrykkes i de rammer og det samlede indtryk, der møder medarbejdere og besøgende, når de træder ind i virksomhedens bygninger. Implement leder altså kunder igennem store transformationer, og sætter også indadtil udvikling og forandringsparathed særligt højt som en central del af virksomhedens kultur.

Som en naturlig følge heraf dyrker man hos Implement et dynamisk arbejdsmiljø, og mange medarbejdere værdsætter den omskiftelighed der følger med free seating. "Jeg er vild med det." siger en medarbejder, "Det er fedt. Man kommer bare ind og finder sig en plads. Så møder man nogle nye mennesker." Netop det uforudsigelige opfattes altså, som en del af Implements DNA. Som en medarbejder formulerer det, er "det eneste man kan være sikker på hos Implement, at alting ændrer sig hele tiden."

Selvom Implements medarbejdere generelt virker positive over for free seating, vidner de interne arbejdspladsvurderinger (APV) fra hhv. 2017 og 2019 om, at det kan være svært at finde arbejdsstationer egnede til længere sekvenser af koncentreret individuelt arbejde. Mange klager over pladsmangel, som udover reel pladsmangel også kan bunde i udfordringer ved at finde frem til, hvor ledige arbejdsstationer befinder sig. Presset på arbejdsstationer øges desuden,

når medarbejdere "spærrer" pladser de ikke bruger, og når mødelokaler, som egentlig er beregnet til grupper, bookes til individuelt arbejde eller teams- og telefonmøder. Begge typer adfærd vidner om manglende tillid til, at en passende arbejdsstation vil være til rådighed, når medarbejderen har behov for den og dermed en manglende tillid til free seating systemet i sig selv. Resultatet er at presset på både individuelle arbejdsstationer og mødelokaler øges.

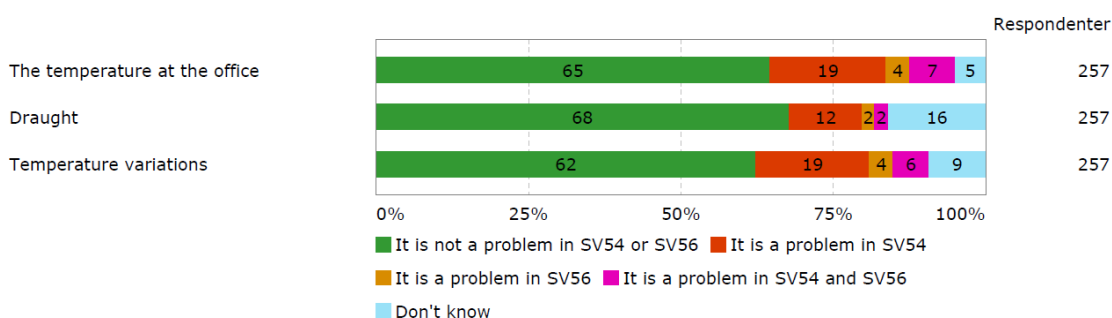
Særligt støj omkring arbejdsstationer repræsenterer en væsentlig udfordring i forhold til individuel koncentreret fordybelse i arbejdsopgaver. En medarbejder beskriver, at hun kan mærke hendes "puls er højere", når hun forsøger at koncentrere sig i et af Implements åbne kontorer, end hvis hun "sidder på en offentlig café med høj baggrundsmusik". En del foretrækker at arbejde hjemme, når der er behov for ro til fordybelse, og en enkelt medarbejder fortæller, at han ligefrem har set sig nødsaget til at opsøge offentlige bibliotekers læsesale i stedet for at møde ind i virksomhedens lokaler. De offentlige læsesale bliver at foretrække, forklarer han, fordi der ingen "safe zones" er, når det kommer til støj fra andre medarbejdere i Implements bygninger. Da medarbejderne blev hjemsendt i længere perioder under coronapandemien installerede mange gode hjemmekontorer og hjemmearbejde er siden blevet udbredt og accepteret som en mulighed for et koncentreret arbejdsmiljø.

Medarbejderes oplevelser af termisk indeklima

Forhold knyttet til det termiske indeklima og til luftkvalitet indgår i en væsentlig del af kommentarerne fra både APV'en fra 2017 og 2019 og overgås i begge tilfælde kun af lydgener. Figuren herunder illustrerer tallene fra 2017.

Temperature

How would you assess the following in your day-to-day work?



Medarbejderne klager særligt over høje temperaturer i sommermånederne, kulde om vinteren og træk som påvirker arbejdsforholdene negativt. "I sommermånederne er temperaturen ofte for høj," forklarer en medarbejder "det bliver et ekstra stress element". Når temperaturforholdene ikke er tilpas, opleves det altså ikke blot som ubehageligt, men også som en udfordring i forhold til arbejdets udførelse. Samtidig kan hensynet til andre gøre det svært at lufte ud: "Det er virkelig varmt om sommeren," forklarer en medarbejder, "og vinduerne kan ikke altid være åbne fordi folk har forskellige behov". Flere medarbejdere beskriver luften i mødelokaler og kontorer som indelukket, og ventilationen som mangelfuld. En medarbejder skriver eksempelvis, at den

”tætte luft” resulterer i hovedpine i løbet af arbejdsdagen. Udover at være til gavn for den enkelte medarbejder er der altså også mulighed for, at det mangelfulde indeklima går ud over produktiviteten hos Implement.

Indeklima og varmekonsum

Fra de kvalitative perspektiver på medarbejdernes oplevede indeklima og de udfordringer og behov som i den forbindelse bliver tydelige, følger her en analyse af data om bygningens indeklima særligt med henblik på temperatur. Dataene sammenholdes efterfølgende med virksomhedens varmekonsum.

Figuren herunder visualiserer data fra CLIMAIDs indeklimasensorer opsat i fem lokaler fordelt på tre etager (WP1).⁴ Senere i projektperioden opsætter Implement yderligere indeklimasensorer, så næsten alle lokaler dækkes.



Figuren illustrerer hvor stor en procentdel af arbejdsdagen, der ligger inden for et bestemt temperatinterval i mødelokalerne Goldratt og Loehr og kontorlokalerne Hamel, Nørgaard og Ulrich på Strandvejen 56. Arbejdsdagen forstås her som hverdage mellem klokken 08:00 og 17:00. Som nævnt ovenfor

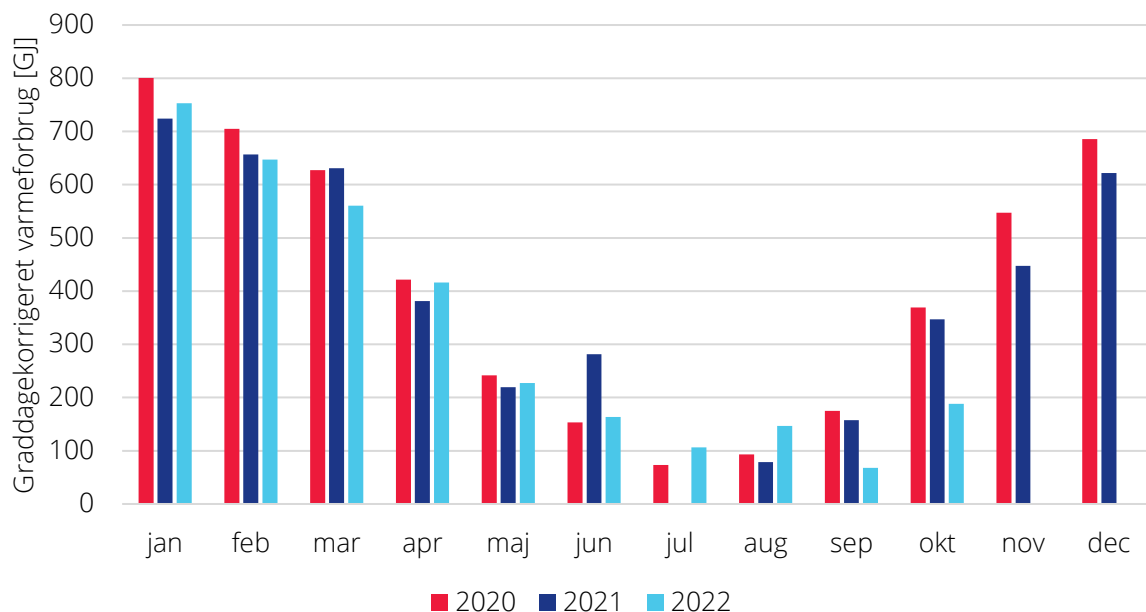
⁴ CLIMAID opsatte sensorer i seks lokaler ved projektets begyndelse. Da målinger for oktober og december mangler for det sytende lokale udelades dette imidlertid.

vil flest brugere finde det behageligt, hvis temperaturen ligger mellem 20 og 24,5°C illustreret ved gul, mørke- og lysegrøn.

Overordnet set ligger temperaturerne på et fornuftigt niveau. Der bliver ikke for koldt om vinteren og der bliver måske en anelse for varmt om sommeren. Dog er der blevet lidt køligere i 2021 i forhold til i 2019 hvilket er særligt godt om sommeren (august). Når man sammenligner resultaterne med APV'erne giver det fin mening at medarbejderne har det for varmt om sommeren. Dog er der ikke bemærkelsesværdigt koldt i nogle af de fem rum hvor der er taget indeklimamålinger. Indeklimamålinger fra nattetimerne viser temperaturer under 21°C, hvorfor morgener kan opleves køligere end resten af dagen. De opsatte indeklimasensorer er placeret centralt i de forskellige lokaler, og temperaturer tæt ved vinduer kan være lavere på grund af kuldenedfald og utætheder.

Varmeforbruget er målt i perioden januar 2019 til oktober 2022 og graddagekorrigeret, så temperaturer over eller under normalåret udlignes. Derved bliver det muligt at sammenligne varmeforbrug fra år til år. Figuren herunder illustrerer, at varmeforbruget for Strandvejen 54 er uforandret i perioden, hvorfor forskelle i varmeforbruget sandsynligvis skyldes skiftende solindfald, vindforhold og brug af bygningerne.

Varmeforbrug for casebygningen

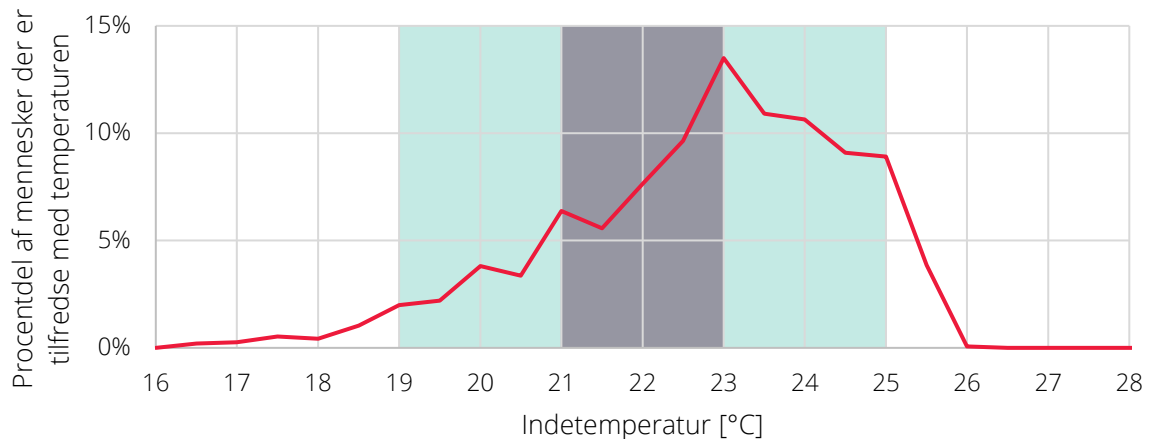


Det er individuelt hvilken temperatur og relativ fugtighed man som person føler sig bedst tilpas ved. Dog vil de fleste opleve temperaturer mellem 20 og 24,5 °C som behagelige. Overordnet set ligger temperaturerne hos Implement på et niveau, de fleste medarbejdere må finde nogenlunde behageligt. Ikke desto mindre er det værd at undersøge, om medarbejdertilfredsheden vil kunne øges og energibesparelser hentes på at guide medarbejdere i retning af arbejdsstationer hvor indeklimaet er optimalt i forhold til deres individuelle præferencer.

3. Tilpasning af indeklimaet til brugernes præferencer

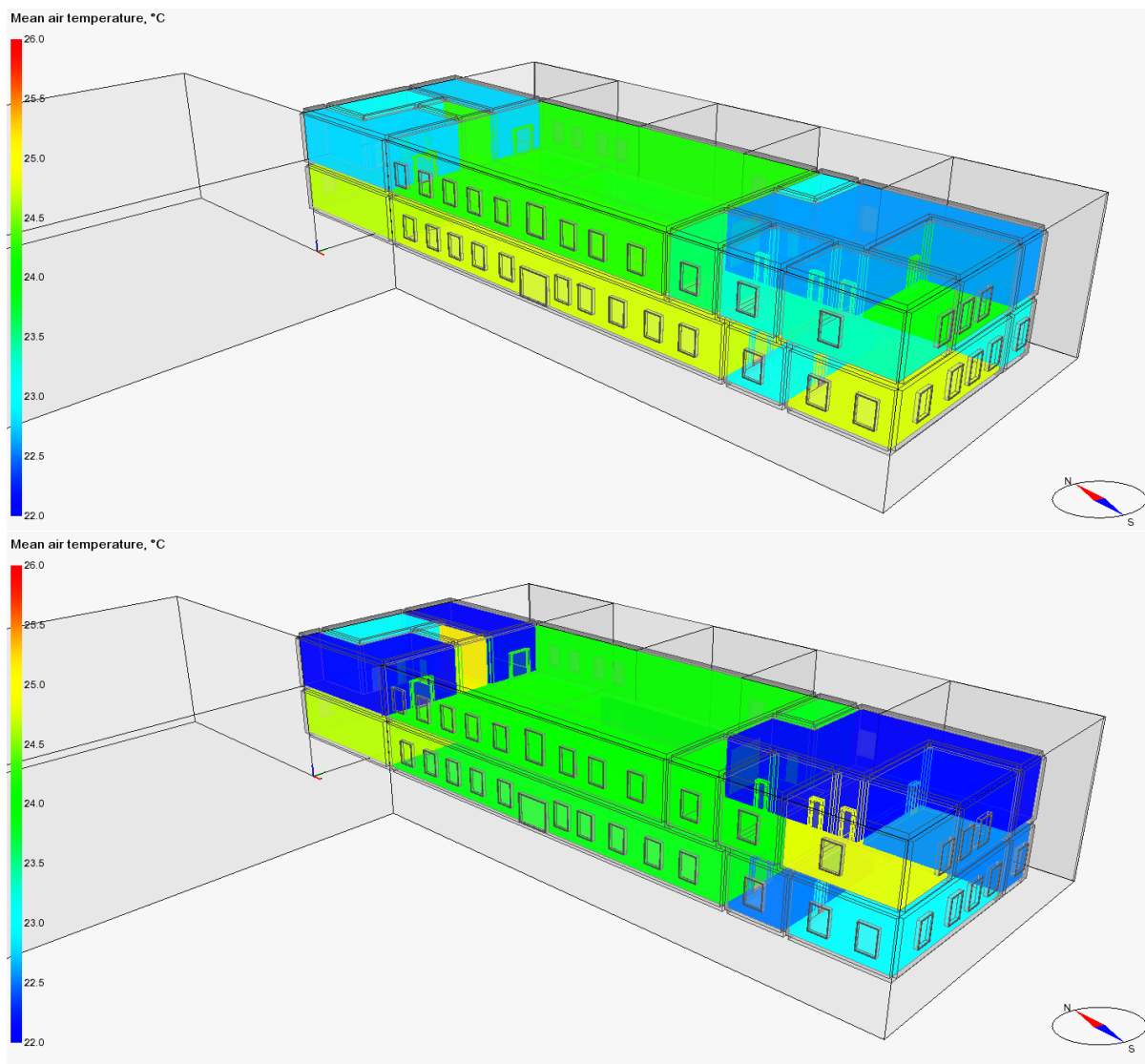
I dette afsnit kombineres den ovenstående analyse om temperaturforhold i Implements mødelokaler og det varmeforbrug der ligger til baggrund herfor med analyser af temperaturbehov for kontormedarbejdere. Da tilstrækkelige data ikke kunne hentes fra Implement grundet coronanedlukningerne, er de nedenstående analyser lavet på baggrund af teoretiske beregninger baseret på datasæt fra større internationale indeklimaundersøgelser. Se desuden bilag 1 for en gennemgang af de tal der ligger til grund for nedenstående figur.

Teoretisk optimal fordeling af komforttemperatur for personer der arbejder i et kontormiljø

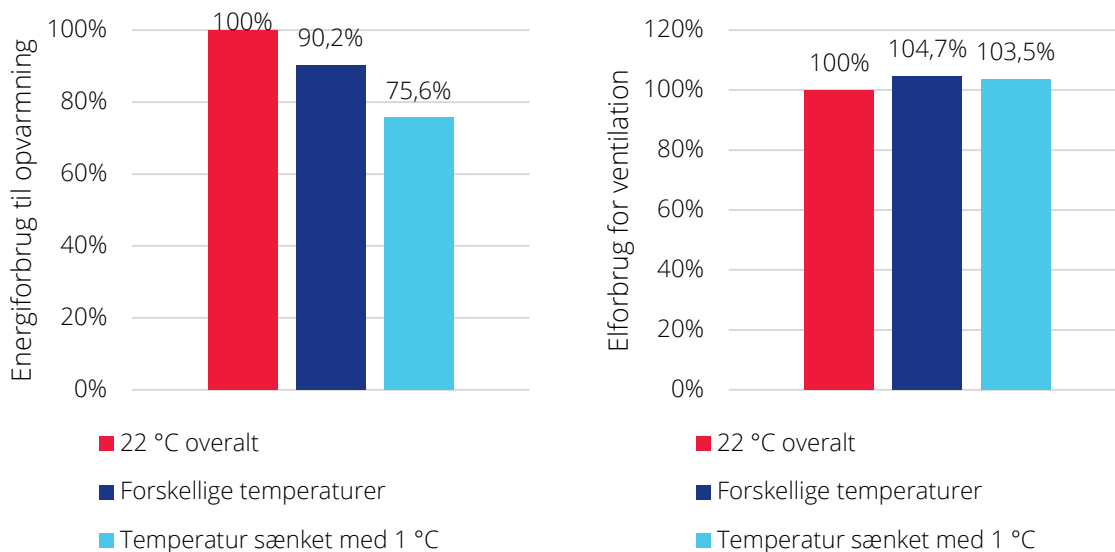


Figuren viser, at flest vil være tilfredse med det termiske indeklima, når temperaturen ligger omkring 23 °C, mens de vil finde temperaturer over 26°C og under ca. 18°C ubehagelige. Konventionelt set vil man efterstræbe at holde bygningers indetemperatur mellem 21 °C og 23 °C svarende til den mørkegrå zone. Man kan imidlertid udvide rammerne for acceptable temperaturer i bygningen, hvis man anerkender, at brugerne kan have forskellige behov og præferencer. Derved kan man potentielt set højne medarbejdertilfredshed og samtidig sparre på den energi, som typisk forbruges ved at efterstræbe et ensartet temperaturniveau i hele bygningen.

For at teste hvilken indflydelse det har på energiforbruget at oprette forskellige temperaturzoner på Strandvejen 56 oprettes to simuleringmodeller. Den første simulerer, at Strandvejen 56 opvarmes til 22°C overalt i bygningen, mens temperaturen varierer mellem 19°C og 24°C fra rum til rum i den anden. Begge modeller viser indetemperaturen i april klokken 15:00. Figurene illustrerer, hvordan relativt små ændringer mellem den temperatur termostaterne er indstillet på, kan føre til vidt forskellige temperaturændringer i den samme bygning.



I en tredje simuleringmodel er temperaturen blevet sænket med 1 °C i forhold til model to, for at kunne vurdere effekten ved at sænke varmeforbruget yderligere. Forskellen i energiforbruget til opvarmning af rum og elforbruget til ventilationen fra de tre simuleringmodeller er vist i søjlediagrammerne nedenfor.



Ved at indføre varierende temperaturzoner vil man årligt spare 9,8% på varmeforbrug mens elforbrug til ventilation stiger med 4,7% (på figuren blå i forhold til rød). Det svarer til en varmebesparelse på 104.000 kWh eller cirka 68.900,00 DKK. om året og en stigning i elforbrug til ventilation på 673 kWh eller cirka 2.200,00 DKK.⁵ Stigningen i elforbruget for ventilationen forudsætter at ventilationen styres efter rumtemperaturen. Det er vigtigt at huske på at bygningen originalt husede en industrivirksomhed og at den er fredet, så varmeforbruget er særligt højt. Hvis det havde været en gennemsnitlig dårlig isoleret kontorbygning⁶, så ville varmebesparelsen være omkring 48.000 kWh. Sænkes varmen med en grad samtidig med at forskellige temperaturzoner benyttes, bliver den årlige besparelse 24,4% på varmeforbrug mens elforbrug til ventilation kun stiger med 3,5% (på figuren blå i forhold til rød). Ud fra disse besparelsesberegninger som er baseret på simuleringer og forbrugstal fra casebygningen er der et fint potentiale i at spare på varmeregningen ved at indføre temperaturzoner der baserer sig på medarbejdernes temperaturpræferencer.

Pludselige skift i temperaturforhold kan opleves som generende, hvorfor det er, vil være centralt at informere medarbejdere, når ændringer foretages i opvarmningen af lokaler. På samme måde bør sænkede temperaturer evalueres løbende. Arbejder man med temperaturdifferentiering vil det netop være meningsfuldt at gøre medarbejdere opmærksomme på, at de vil kunne opholde sig i forskellige temperaturzoner afhængigt af hvor de bevæger sig hen i bygningen. I det følgende afsnit beskrives den af SDU udviklede algoritme, som netop har til formål at sikre at medarbejdere anbefales arbejdsstationer, der har temperaturforhold, som lever op til deres præferencer.

Algoritme og præferencer

For at undersøge hvorvidt det at forbedre medarbejdertilfredsheden med indeklimaet kan kombineres med en energibesparelse ved at udnytte medarbejdernes forskellige temperaturpræferencer

⁵ Omkostninger udregnet efter risen for fjernvarme 2020 for erhvervskunder hos Høfor, se: <https://www.hofo.dk/erhverv/priser-paa-forsyninger-erhvervskunder/tidligere-aars-priser-erhverv/prisen-fjernvarme-2020-erhvervskunder/>

⁶ Den lille blå om varme, 2008. URL: <https://elforsk.dk/udgivelser/lille-bla-om-varme>

inddrages maskinlæringsmodeller. Modellerne kombinerer data om brugeres ønsker til indeklima med målt indeklimadata og kan dermed bidrage til at sikre en god overensstemmelse mellem drift og brug af lokaler med differentierede temperaturforhold.

For at efterkomme medarbejderes individuelle og skiftende indeklimapræferencer udvikles en algoritme, der via maskinlæring opbygger en præferenceprofil for den enkelte medarbejder. Disse data kombineres med indeklima- og vejrdata og gør det muligt for algoritmen at anbefale en arbejdsstation til den enkelte medarbejder ved arbejdsdagens begyndelse. Anbefalingen er baseret på medarbejderens tidligere præferencer og forudsiger dagens behov. Ved at forbinde algoritmen med bevægelses-sensorer og med Implements lokalebookingsystem præsenteres den ledige arbejdsstation, som udgør det bedste match til medarbejderen og informerer om hvorvidt det er indenfor præferencerne eller ikke.

For at kunne give medarbejdere passende forslag til skrivebordsplacering eksperimenteres med forskellige typer af maskinlæringsmodeller til at understøtte dette. Den specifikke model som er udviklet, er af typen Input-Output Hidden Markov Model. Som nævnt ovenfor kunne modellen ikke som planlagt trænes med data fra Implement, men blev i stedet "fodret" med et datasæt over adfærdsmønstre registreret over 365 dage for brugerne af et mindre kontormiljø med fire lokaler og i alt otte skriveborde.

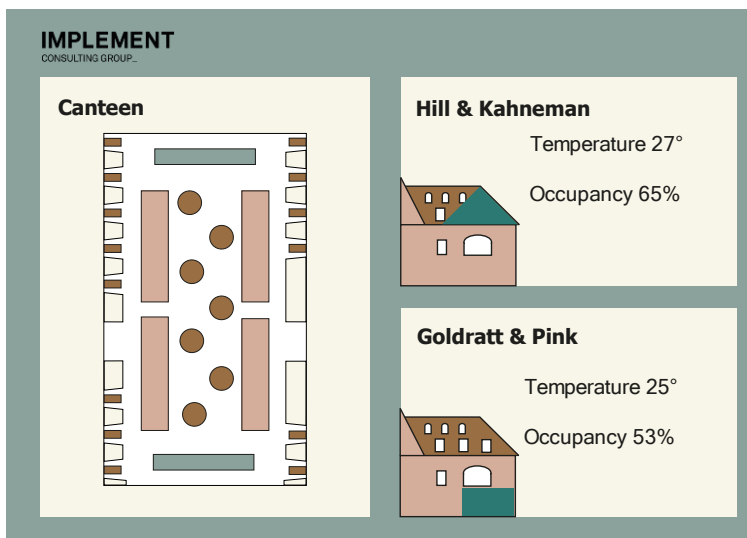
Temperaturskalaen er blevet inddelt i fire temperaturniveauer man som bruger kan ønske sig. Algoritmen forudsiger hvordan temperaturniveauerne vil udvikle sig for et konkret bord resten af dagen. De test der er kørt med det nævnte datasæt, viser at modellen i 78.4% af alle tidsrum estimerer den rette kategori. Derved kan medarbejderen få forslag til placering, som i langt de fleste tilfælde vil lede til, at hun eller han oplever den ønskede temperatur. I de andre 21.6% tilfælde vil algoritmen ikke kunne gøre dette og vil ofte ramme et niveau ved siden af i kortere eller længere tid. Det vil typisk gøre sig gældende i tilfælde hvor ændringer i solindstråling på bygningen ændres hurtigt eller lignende. Denne test viser dog, at der er potentiale for at anvende disse teknikker til at understøtte et bedre valg af placering.

Det er oplagt at algoritmen kan ligge bag en brugerflade som medarbejderne kan anvende til at vælge arbejdsstation. Det har været en antropologisk opgave at undersøge, hvorledes algoritmen kan indgå i en samlet indsats hvor medarbejdertilfredsheden øges samtidig med at medarbejdernes indeklimapræferencer udnyttes til at drifte bygningen mere energieffektivt. Netop dette vil vi diskutere i afsnittet nedenfor. I den videnskabelige artikel "Input Output HMM for Indoor Temperature Prediction in Occupancy Management Under User Preferences" præsenteres en detaljeret gennemgang af algoritmen og dens funktionalitet (bilag 4).

Energibesparelser og dynamisk kontormiljø

Som beskrevet ovenfor er der uomtvisteligt ressourcer at spare på, at flere medarbejdere deles om færre kvadratmeter. Som projektet ydermere viser, er der sandsynligvis også en besparelse på varme-regningen ved at temperaturdifferentiere zoner i de bygninger vi arbejder i. Samtidig vidner tidligere undersøgelser, som nævnt, om en vis skepsis overfor dynamisk kontormiljø med free seating blandt medarbejdere. Selvom Implements medarbejdere er positive overfor den omskiftelighed, de ser som en integreret del af virksomheden, beskriver de mange af de samme udfordringer ved free seating, som udpeges i internationale undersøgelser. Det gælder særligt mangel på ledige arbejdsstationer og sparsomme muligheder for fordybelse.

Hvis energibesparelserne ved free seating hos Implement, såvel som over en bred kam, skal være bæredygtige er det helt centralt at styrke medarbejdertilfredsheden. Imens vi i dette projekt har fokuseret på at udvikle måder, der kan højne sandsynligheden for, at medarbejdere oplever arbejdspladsens indeklime som tilfredsstillende, er det væsentligt at have for øje, at en generel forbedring af medarbejdertilfredsheden vil kræve en bredere indsats. Vi betragter algoritmen beskrevet ovenfor som et led i at styrke den enkelte medarbejders oplevelse af free seating, ved at tilbyde den enkelte medarbejder en arbejdsstation, der opfylder den enkeltes præferencer i forhold til indeklime. Det har vi i første omgang visualiseret i denne prototype af et dashboard.



På dashboardet præsenteres medarbejderen for mulige lokaler ud fra ledighed og temperatur. Som tidligere beskrevet viser en gennemgang af vores kvalitative data – feltnoter og APV'er fra 2017 og 2019 – imidlertid tydeligt, at temperatur kun udgør en del af en række elementer, som Implements medarbejdere ønsker forbedret i deres hverdag. En mindre undersøgelse vi har foretaget blandt kontormedarbejdere, peger desuden på, at de færreste er i stand til at identificere temperaturen i grader celsius på deres arbejdsplads (bilag 5). Det er derfor sandsynligt, at medarbejdere ikke vil finde temperaturen behagelig, på baggrund af et valg de selv har truffet, hvis de blot præsenteres for temperaturer opgjort i tal, som på dashboardet ovenfor. Endelig understøtter en gennemgang af en række internationale undersøgelser vores kvalitative data, i forhold til at en højnet medarbejdertilfredshed kræver en bredere tilgang til medarbejders behov.

Aktivitetsbaserede arbejdssteder i det dynamiske kontormiljø

En kritisk gennemgang af vores data og af internationale studier på området ledte os til at foretage yderligere iterationer på dashboardet. Ved at integrere vores kvalitative indsigter om adfærd og behov blandt Implements medarbejdere kunne vi forbedre brugerfladen og dermed skabe mere tilfredsstillende valgmuligheder for medarbejderne, ved at flytte fokus fra kvantiteten af plads i kontorlandskabet, til kvaliteten af den plads medarbejdere har til rådighed. Mens free seating i udgangspunktet blot bytter faste arbejdsstationer ud med et lavere antal arbejdsstationer til deling, vil et mere målrettet design af arbejdsstationer, der egner sig til specifikke typer arbejdsopgaver øge værdien for den enkelte medarbejder. Netop den tankegang ligger bag Activity Based Workspace (ABW) – aktivitetsbaserede

arbejdssteder. Tilgangen blev formuleret tilbage i 1983 af den amerikanske arkitekt Robert Luchetti, og tager sit udgangspunkt i, at forskellige arbejdsopgaver kræver forskellige fysiske og teknologiske set ups.⁷ ABW værdsættes især af de medarbejdere, der bevæger sig rundt imellem forskellige arbejdssteder i løbet af dagen og dermed udnytter forskellige områders særlige kvaliteter. De forbedrer deres egne arbejdsvilkår ved eksempelvis at være i et stille område, når de har brug for koncentreret arbejdstid til individuel fordybelse og gå i telefonboks og til samarbejdsområder, når deres aktiviteter skifter. Ved eksempelvis ikke at tale i telefon i det stille område sikrer de samtidig at også deres kollegaer kan få mulighed for ro til fordybelse.

ABW repræsenterer en metode, som fejlagtigt ofte beskrives som synonym med free seating, der i litteraturen også kaldes 'hot desking' og 'flexi desking'. Mens grundidéen i free seating imidlertid er at spare plads samtidig med at medarbejdere bliver glade, fordi de får mulighed for selv at vælge deres arbejdsstation, er ABW's fokus altså på, at arbejdspladsen skal indrettes så den bedst muligt stimulerer forskellige arbejdssituationer og de behov der følger med dem.⁸ Fremfor at bytte medarbejderens faste plads ud med et frit valg, tilbyder ABW arbejdsområder, som egner sig *bedre* til udførelsen af medarbejderens forskellige arbejdsopgaver, end den faste plads nødvendigvis ville have gjort. Fordi Implement's medarbejdere netop udtrykker udfordringer ved at finde arbejdsstationer, der passer til deres arbejdsopgaver, er der god grund til at tro at en ambitiøs ABW-tilgang vil højne medarbejdertilfredsheden her. Samtidig vil plads- og energibesparelser være intakte.

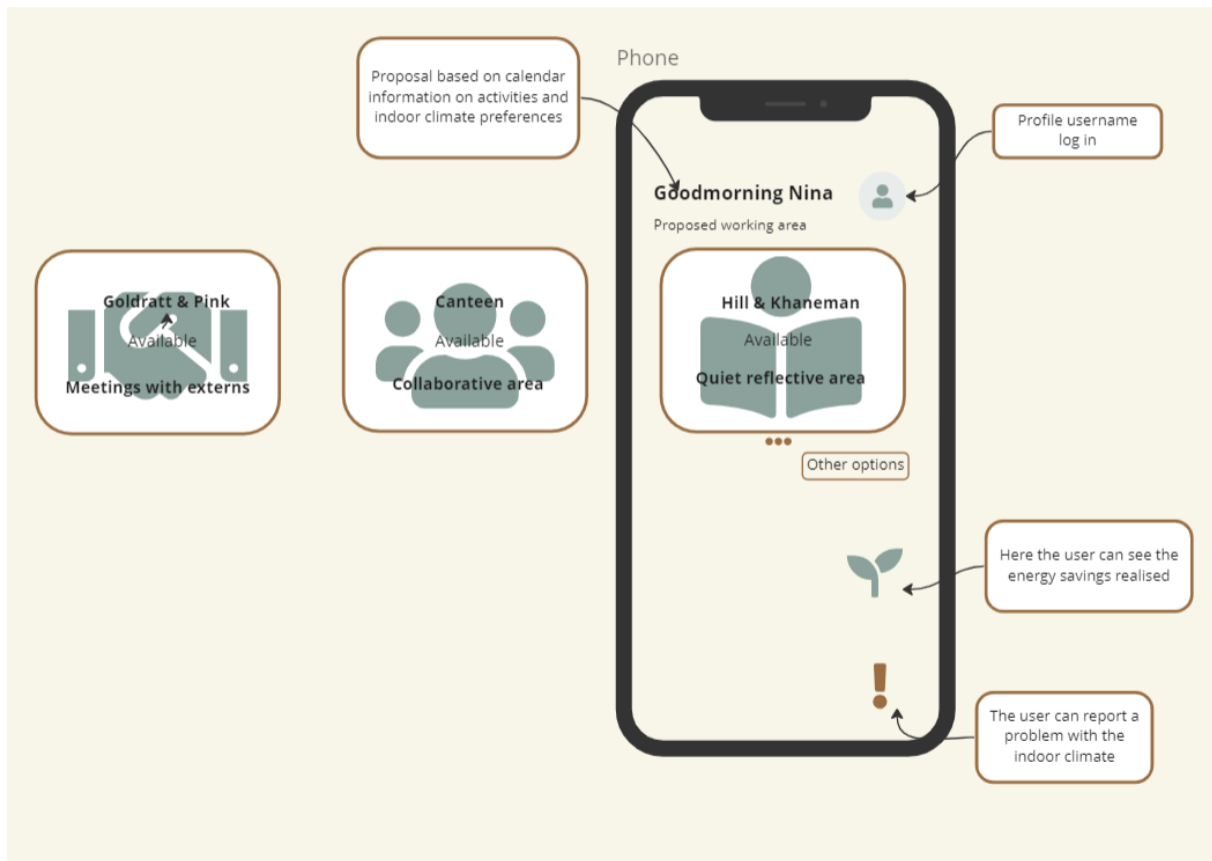
På baggrund af vores viden om Implement vurderer vi altså, at medarbejdernes tilfredshed vil kunne øges, hvis de får mulighed for at vælge deres arbejdsstation blandt forskellige områder udformet med baggrund i ABW-tilgangen. Hvert enkelt område vil dermed besidde en kombination af forskellige egenskaber som gør det særligt hensigtsmæssigt til at udføre en bestemt type arbejde. Et område kan således være indrettet individuelt og koncentreret arbejde og eksempelvis rumme individuelle skriveborde med lys på hvert enkelt bord for at højne fokus, stillepolitik med lydisolering mod andre områder og temperaturer mellem 23 og 25°C om sommeren og 21 og 24°C om vinteren i overensstemmelse med komforttemperaturen for stillesiddende aktiviteter beregnet ud fra standarden ISO 7730. Områder til samarbejde og idéudvikling vil eksempelvis byde på høje runde borde, som inviterer til stående samtaler og bevægelse, belysning der åbner rummet op og komforttemperaturen for let bevægelse på 21,5 – 25,5°C i sommermånederne og 19 – 23,5°C om vinteren ligeledes beregnet ud fra ISO 7730. Bemærk at temperaturer over 21°C ikke er hensigtsmæssige under den aktuelle energikrise. Højere temperaturer kan eventuelt anses som en investering i et personalegode.

Hvert enkelt arbejdsområde rummer altså specifikke kvaliteter i forhold til indeklima såvel som til den type arbejdsopgaver de faciliterer, og medarbejdere præsenteres for dem via en app, som viser deres tilgængelighed. Medarbejdere kan konsultere appen flere gange i løbet af dagen, når de i takt med skiftende arbejdsopgaver finder det passende at bevæge sig til et nyt område. Nedenfor ses et eksempel på hvordan en app kan præsentere Implement's medarbejdere for mulige områder at arbejde i.

⁷ Mantesi, Eirini, Chmutina, Ksenia & Goodier, Chris (2022) "The office of the future: Operational energy consumption in the post-pandemic era" i: *Energy Research and Social Science*.

Chen, Zoe, Yu, Robbie, Kampeman, Luc & Zhou, Linjing (2020) "The Impact of Activity Based Working. A research on measurable outcomes and key differentiators". Veldhoen + Company. Tilgængelig her: <https://www.veldhoencompany.com/en/impact-of-activity-based-working-white-paper-download/>

⁸ Mantesi, Eirini, Chmutina, Ksenia & Goodier, Chris (2022) "The office of the future: Operational energy consumption in the post-pandemic era" i: *Energy Research and Social Science*.



4. Konklusion

Dette projekt demonstrerer, at et dynamisk kontormiljø kan være en vej til energibesparelser og øget medarbejdertilfredshed såfremt det skabes med blik for medarbejderes præferencer for indeklima og på baggrund af et indgående kendskab til medarbejderes behov i forhold til deres arbejdsmiljø. Projektet har mødt uforudsete udfordringer i form af coronanedlukninger og personaleudskiftning, som har forhindret dele af de planlagte aktiviteter i at blive gennemført og har resulteret i signifikante omlægninger. Alligevel kommer projektet frem til en række interessante resultater.

Afhængig af den specifikke virksomhed, vil der ligge en væsentlig plads- og varmebesparelse i at skære ned på antallet af arbejdsstationer til samme antal medarbejdere, som det gøres ved indførelse af et dynamisk kontormiljø. Som analyserne i dette projekt har vist bør det gøres med stor opmærksomhed på at optimere kvaliteten af den resterende plads, så medarbejdernes behov i forbindelse med forskellige typer af arbejdsopgaver imødekommes bedst muligt. Fremfor blot at give medarbejderne et frit valg i forhold til hvor de vil sidde, bør man stræbe efter et at give dem valget imellem pladser som er kvalitativt specialiserede. Metoden Activity Based Workspaces kan være en designstrategi til at arbejde med kvaliteten af disse pladser.

Med udgangspunkt i de specifikke forhold hos casevirksomheden Implement Consulting Group viser data og simuleringer i denne rapport, at der vil være væsentlige varmebesparelser at hente ved at arbejde med varierende temperaturzoner. Hos Implement vil man ved at indføre varierende

temperaturzoner som beskrevet årligt spare 9,8% på varmeforbrug svarende til 104.000 kWh eller cirka 68.900,00 DKK. Sænkes varmen med en grad samtidig med at forskellige temperaturzoner benyttes, øges den årlige besparelse yderligere til 24,4%. I begge tilfælde følger en mindre forøgelse i elforbrug til ventilation såfremt denne styres efter rumtemperaturen.

Der er altså en interessant potentiel besparelse at vinde på varmeregningen ved at indføre varierende temperaturzoner. Hvis medarbejdere præsenteres for en række valgmuligheder mellem forskellige områder med tilgængelige arbejdsstationer, kan varierende temperaturzoner blive en del af det der kvalificerer de forskellige arbejdsstationer medarbejdere kan vælge imellem – og dermed være med til at sikre medarbejdertilfredsheden.

Det kvalitative materiale i denne rapport viser, at en del af Implement's medarbejdere, på trods af deres generelt set positive attitude overfor omskiftelighed, lider under en del af de samme udfordringer ved free seating som ses afspejlet i internationale undersøgelser.

Udsagn fra Implement's medarbejdere viser tydeligt, at en række forhold påvirker oplevelser af hvornår en organisationsformen opleves som en positiv fleksibilitet og en mulighed for frit valg. Når manglende pladser eller et u hensigtsmæssigt lyd miljø eksempelvis præger hverdagen, kan free seating være medvirkende til at medarbejdere søger andre steder hen. Når medarbejdere foretrækker hjemmekontoret, caféer eller offentlige biblioteker må der siges at være rum for forbedringer. Ved at optimere arbejdsstationer hos Implement via en ambitiøs ABW-tilgang vil man kunne skabe mere tilfredsstillende arbejdsforhold for den enkelte medarbejder.

Som beskrevet i denne rapport vil et interface, der integrerer præferencer for indeklima med anbefalinger af arbejdsstationer ud fra tilgængelighed og behov i forhold til specifikke arbejdsopgaver sandsynligvis forbedre medarbejdertilfredsheden. Kombineret med en veldesignet arbejdsplads er det vores overbevisning at en sådan app vil kunne foregribe en stor del af de problemer medarbejdere oplever med free seating ved at tilbyde kvalificerede valgmuligheder for arbejdsstationer. Samtidig vil appen integrere den temperaturdifferentiering, der giver muligheder for energibesparelser.

Vil man som virksomhed opnå energibesparelser og øge medarbejdertilfredsheden ved at give medarbejdere frit valg mellem færre pladser bør man altså være særligt opmærksom på at:

- Optimere kvaliteten af den plads der er tilgængelig for medarbejdere, så den egner sig til forskellige arbejdsopgaver. Man kan eksempelvis designe områder til hhv. koncentreret individuelt arbejde, til samarbejde og til møder med eksterne.
- Understøtte en app eller lignende system der på en let og overskuelig måde viser medarbejderen vej til en ledig arbejdsstation, der passer til den aktuelle arbejdsopgave.
- Undersøge om man i virksomhedens bygning vil have nytte af at indføre temperaturzoner der egner sig til de forskellige arbejdsopgaver.
- Via en machine learning og/eller IoT løsning integrere indeklimapræferencer og indeklimadata i de arbejdsstationer der foreslås medarbejderen.

Perspektivering

De seneste års coronanedlukninger har haft dramatisk indflydelse på arbejdsmønstre verden over, særligt ved med et slag at gøre hjemmearbejde til en mere integreret del af langt de fleste

kontorarbejderes hverdag. Mens manglen på arbejdsstationer med ro og mulighed for fordybelse hen over en arbejdsdag forud for Corona blev fremhævet som en af de væsentligste udfordringer for Implementations medarbejdere, har etablering af hjemmekontorer under coronanedlukningerne gjort at hjemmearbejde hos casevirksomheden er blevet en måde at sikre et koncentreret arbejdsmiljø med mulighed for fordybelse.

Set i det lys, kan en post-pandemisk tilgang til ABW betyde at en stillezone til fordybelse helt eller delvis udliciteres til hjemmekontoret, mens fysisk fremmøde på arbejdspladsen i højere grad inviterer til interaktionsbaseret arbejde. Det vil være en radikal forandring af den måde vi hidtil har tænkt kontorarbejde. Den internationale virksomhed Veldhoen Companys som arbejder med implementering af ABW udgav i 2020 en omfattende undersøgelse, som blandt andet viste, at størstedelen af de 32369 adspurgte kontorarbejdere i 11 forskellige lande udpegede netop individuelt koncentreret arbejde som den vigtigste af deres professionelle aktiviteter. Det rejser spørgsmålet om hvilken rolle virksomheders fysiske kontorer overhovedet vil få, hvis størstedelen af det vigtigste arbejde som udføres henvises til hjemmekontoret.

Den form for forandring af arbejdspladsen rejser også nye spørgsmål om både kvantiteten og kvaliteten af den plads virksomheder i fremtiden vil få brug for at kunne tilbyde deres medarbejdere. Det er muligt at flere kvadratmeter kan spares væk og samtidig også sandsynligt at medarbejdere vil stille højere krav til de faciliteter virksomheden tilbyder – både på kontoret og når det gælder hjemmekontoret. Det vil være relevant at undersøge hvilke tendenser disse fører med sig. Hvad ved vi eksempelvis om indeklimaet på hjemmekontoret? Hvilke krav stiller øget fleksibilitet til faciliteter for samarbejde på arbejdspladsen?

Formidling

Projektet har været formidlet via følgende kanaler:

- "Fremtidens intelligente kontormiljø kender brugerne bedre end de selv gør", elforsk.dk, 17.12.2020, tilgængelig her: <https://elforsk.dk/nyheder/projektresultat/fremtidens-intelligente-kontormiljo-kender-brugerne-bedre-selv-gor>
- "Fremtidens meget mere fleksible arbejdsplads" Maskinmesteren, 09.09.2021, tilgængelig her: <https://ipaper.ipapercms.dk/MaskinmestrenesForening/Maskinmesteren/2021-mm09/?page=40> se bilag 4

Bilag 1 Aktivitetsniveau, beklædning, indeklima og komfort i kontorer

Alle har en fornemmelse af om der er for varmt eller koldt i et lokale. Nogle vil naturligt foretrække kølige omgivelser mens andre vil foretrække varme omgivelser. En persons termiske komfort herunder kroppens varmebalance bliver påvirket af mange forskellige faktorer. Det er bl.a. den omgivende lufttemperatur, strålingstemperaturen, hvilket tøj man har på, den fysiske aktivitet, lufthastigheden og den relative luftfugtighed der er bestemmende for kroppens varmebalance. To af de vigtigste faktorer er hvilket tøj man har på, som kan kvantificeres som beklædningens isoleringsevne (CLO-værdi) og den fysiske aktivitet som kan kvantificeres som aktivitetsniveauet (metabolisk rate eller MET værdi). På de to følgende grafikker kan man se eksempler på met og clo værdier. Ved almindeligt kontorarbejde hvor man sidder ved et skrivebord og arbejder på computeren har man typisk et aktivitetsniveau på 1,2 met. Normalt sommertøj svarer til ca. 0,5 clo mens normalt vintertøj til indendørs brug svarer til ca. 1,0 met.

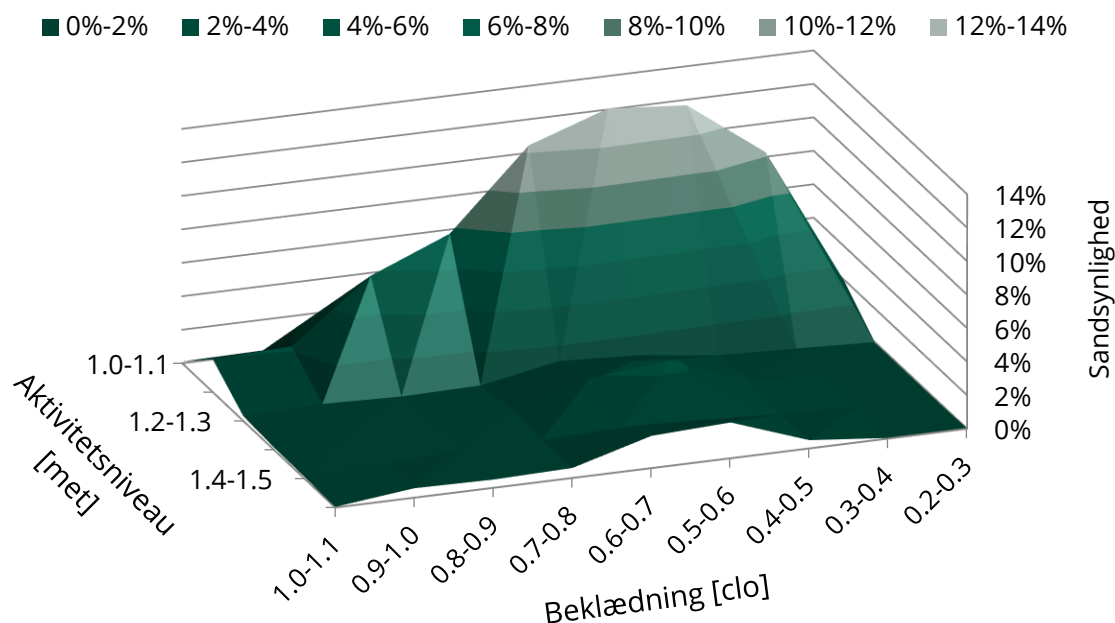


For at kunne tilpasse indetemperaturen til brugernes præferencer så skal vi også vide hvilke præferencer brugerne har. American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers (ASHAE)⁹ har samlet en database af indeklimaundersøgelser fra hele verden. Ud fra denne database kan man få tal på hvilke kombinationer af beklædning og aktivitetsniveau der hyppigst forekommer i kontorer. I dette projekt

⁹ Parkinson, Thomas et al. (2022), ASHRAE global database of thermal comfort field measurements, Dryad, Dataset, <https://doi.org/10.6078/D1F671>

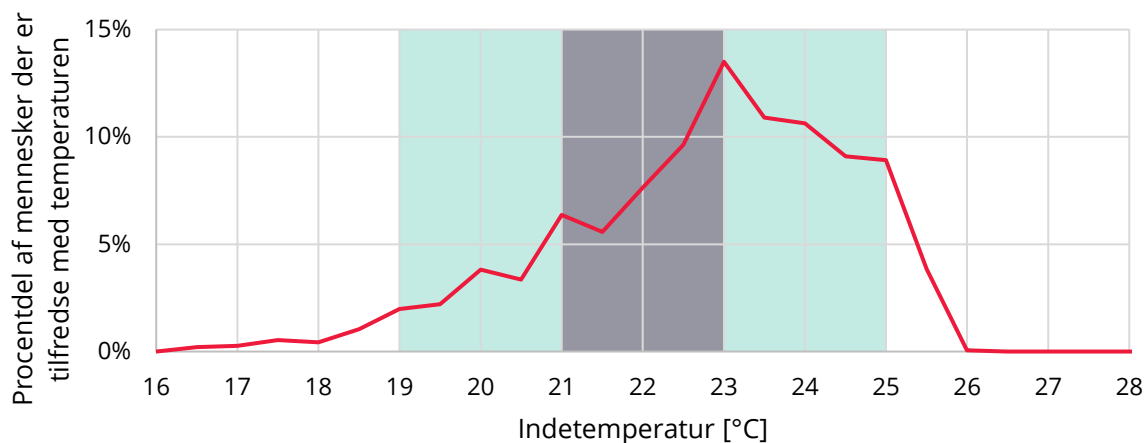
har vi taget udgangspunkt i de indeklimaundersøgelser der blev foretaget i europæiske lande med tempereret klima. Disse tal er opgjort i den følgende figur.

Fordeling af menneskers aktivitetsniveau og beklædning i kontorer



På figuren kan man se at der er størst sandsynlighed for at personer der arbejder i et kontormiljø, har tøj på svarende til 0,4-0,7 clo og et aktivitetsniveau på 1,2 met. For hver kombination af beklædning og aktivitetsniveau kan man beregne den optimale komforttemperatur baseret på beregningsmetoden i standarden ISO 7730. Til denne beregning antager vi at den relative luftfugtighed er 50 % og at den gennemsnitlige lufthastighed er 0,1 m/s. Den resulterende fordeling er vist på den nedstående figur.

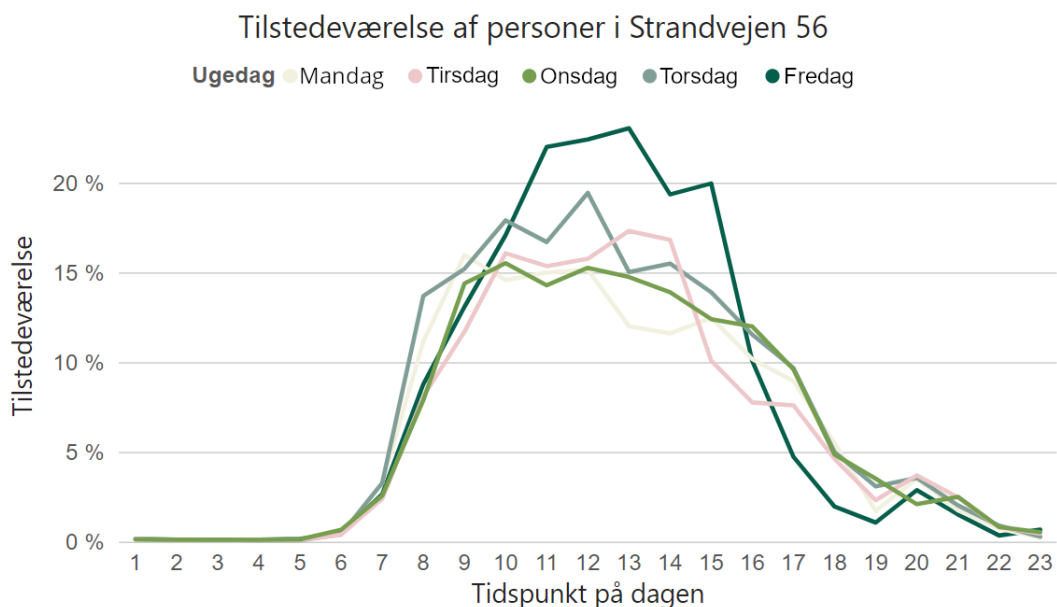
Teoretisk optimal fordeling af komforttemperatur for personer der arbejder i et kontormiljø



Ud fra figuren ser vi at flest vil være tilfredse med det termiske indeklima hvis temperaturen ligger omkring 23 °C. Vi ser også at der ikke er nogen der synes det er behageligt hvis temperaturen er over

26 °C eller under ca. 18 °C. Konventionelt set vil man prøve på at styre bygningen så indetemperaturen bliver holdt inden for den mørkeblå zone (mellem 21 °C og 23 °C). Hvis man derimod anerkender at bygningens brugere kan have forskellige behov og præferencer, kan man udvide rammerne for hvilke temperaturer bygningens styres efter. Spørgsmålet lyder derfor om det er muligt at gøre flere brugere tilfredse med indetemperaturen ved at oprette forskellige temperaturzoner i bygningen, og om det samtidig kan betyde at man sparer på varmen. For at kunne udvide rammerne for temperaturstyring så skal bygningens brugere have mulighed for at placere sig det sted i bygningen hvor de føler sig bedst tilpas med temperaturen. Det er selvfølgelig en forudsætning at brugeren har mulighed for at arbejde hvor man har lyst og at faciliteterne er ens på tværs af bygningens arbejdszoner. Der kan være en række forhold som kan være styrende for hvor man har lyst til at sætte sig. Det kunne for eksempel være at der er for meget støj fra en nærtliggende kaffemaskine, at der er for mange mennesker som går forbi, at der er for langt til et vindue eller at man vil sætte sig i nærheden af dem man arbejder sammen med der begrænser valget mellem potentielle siddepladser i kontoret. Det behøver altså ikke nødvendigvis være indetemperaturen som er altafgørende for hvor man har lyst til at sidde i et storrumskontor.

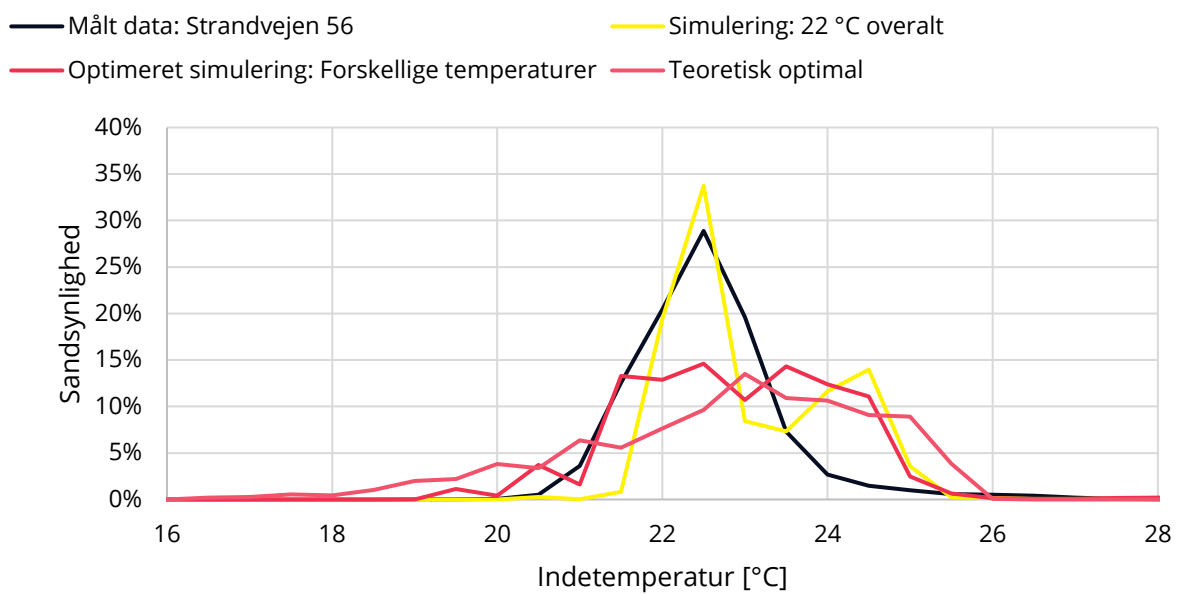
I flere af de større lokaler ved Strandvejen 56 bliver der indetemperaturen målt samtidig med at en tilstedeværelsessensor registrerer hvor mange mennesker der er i lokalet. Det kan vi samle til en graf over hvor meget bygningen bliver brugt i gennemsnit alt efter hvilken dag det er og hvad tid det er på dagen. Ud fra grafen nedenfor ser vi at der er flest brugere til stede mellem 08:00 og 16:00 og at der godt kan være personer der arbejder længe ind til 19:00 hvor de fleste er taget hjem. Der er flest i bygningen om fredagen, men brugerne tager tidligere hjem om fredagen. Alt i alt bliver bygningen brugt mest inden for de almindelige arbejdstimer som også kendetegnes ved et almindeligt kontormiljø.



Hvis vi herefter sammenholder tilstedeværelsen med temperaturen, kan man optegne en graf der kan afgøre hvad de hyppigst forekommende temperaturer er når der er personer til stede i bygningen. I en teoretisk perfekt verden vil denne graf være sammenfaldende med den teoretisk optimale fordeling af komforttemperaturer, men her kan der også være forhold der gør at det ikke altid kan lade sig gøre. Lige som at der er mange forhold der kan have betydning for hvor man har lyst til at sætte sig, er der også byggetekniske forhold der kan begrænse mulighederne for at styre temperaturen i bygningen.

Det kan f.eks. være at det ikke er muligt at justere ventilationen fra rum til rum eller at man ikke uden videre kan indstille termostaterne forskelligt. Der kan også være tilfælde hvor brugerne selv tager kontrollen og åbner vinduer, skruer på termostaten eller er flere eller færre mennesker end hvad lokalet kan rumme. Den nedstående figur viser en sammenligning mellem de målte temperatur og tilstedeværelsesdata fra Strandvejen 56 og den tilsvarende simulering (22 °C overalt), samt en kurve for simuleringen med forskellige temperaturer og hvordan temperaturfordelingen i højere grad følger den teoretisk optimale temperaturfordeling.

Tilpasning af indeklimaet ved Strandvejen 56



Input Output HMM for Indoor Temperature Prediction in Occupancy Management Under User Preferences

Kamrul Islam Shaihn

kish@mmmi.sdu.dk

University of Southern Denmark, Odense, Denmark

Anooshmita Das

adas@liveintent.com

Liveintent Inc. Copenhagen, Denmark

Mikkel Baun Kjærgaard

mbkj@mmmi.sdu.dk

University of Southern Denmark, Odense, Denmark

Abstract: In this paper, a probabilistic machine learning method is proposed to predict the indoor temperature of an office environment. An IOHMM-based model is developed to represent the office environment under different circumstances of heating sources. One year of time series data is observed and studied to learn the dynamics of the indoor thermal states. The uncertainty associated with the changing aspects of the indoor temperature and its dependence on the outdoor temperature is considered in the model development. The well-known Baum Welch and forward-backward algorithms are adapted to learn the model parameters. Then, the Viterbi algorithm is used to predict the maximum path of hidden states, leading to predicting the most likely future temperatures. A numerical application is presented to demonstrate the model development steps and the training and testing results. Finally, the model's performance is validated using leave-one-out cross-validation, which shows that the model has an accuracy of about 83%.

Keywords: Building occupancy, data monitoring, office action, indoor temperature prediction, IOHMM

1. Introduction

Reaching carbon neutrality goals require that our use of office building real-estate become more energy efficient. Different studies explore how to optimize the use of space using digital tools both so occupants require less space and to only provide comfort in used spaces to more efficiently spend energy. Rahamen et al. (2019) studies how to sense the used spaces of people to optimize for this and Kahn et al. (2020) explore how to optimize the personal comfort of the space used by occupants. Another interesting concept is free seating where the seating arrangement of occupants are made flexible to lower space use. In particular, when many occupants do not on a regular basis come to office either because they have tasks outside the office or work from home this can lower the need for real-estate space. A challenge is not giving the occupants options to pick a good seating that match their preferences. Sood et al. (2020) have proposed a system named space match to help occupants with this. This tool and evaluation highlight good opportunities for such tools to help the occupants. However, the space match only provides a match based on what happens previously. In this paper we would like to propose a system that also considers the future development of the indoor environment to provide better matches. Previous work has considered prediction of the indoor environment for control systems (Ellis 2013, Tariq 2019, Peng 2016, Arendt 2018). However, previous work has not considered the design of such prediction algorithms for free-seating systems.

This paper presents a thermal predictor based on the input-output hidden Markov model (IOHMM). The IOHMM structure was proposed by Bengio et al. (1995) and the authors developed a training procedure based on the expectation maximization (EM) algorithm. The model is similar to the Hidden Markov Model, but its advanced form supports recursive processing of input and output events and allows supervised learning models using maximum likelihood estimation. Later, the model was used in various applications (Just 2004, Hu 2015, Weber 2016, Shahin 2019).

In this paper, the IOHMM architecture is adapted to predict indoor thermal conditions by monitoring sensor data for one year. The training method was designed by using the Baum Welch algorithm which is a class of EM algorithms and forward-backward algorithms. Afterwards, the model applies the Viterbi algorithm and the Markov characteristic to predict current events and upcoming events, which specifies hidden processes determined by several input conditions. Finally, a preference algorithm matches the user's preferences with the predicted thermal conditions of the indoor environment and suggests desirable seating options to the user.

This paper is organized as follows: Section 2 represents the current state of the art. Then the methodology and data processing are described in Section 3. Section 4 discusses the model structure and the development algorithms. After that, Section 5 gives a numerical application to an open dataset and finally, Section 6 gives a conclusion.

2. Related Work

As our collective interpretation of "work" and "the workplace" evolves, office space usage becomes even more complicated. A dynamic trend in office space usage has resulted from new paradigms in working culture.

Understanding how spaces serve us, seating preferences, and estimating demand for those spaces allows us to make prompt and informed decisions for better space optimization (Rahaman 2020).

Table 1 State of the art

Author and Year	Focus Area And Location	Description	Data/ Sensors Used	Drivers	Method	Evaluation
Ellis et al. (2013)	Residential Building Location: UK	Matchstick is a room-to-room thermal model that uses historical data to predict temperatures in residential buildings.	47 days of data from the two UK houses (27 for UK1 and 20 for UK2) Sensors: temperature, a gas meter, and an outdoor temperature (one per room)	Occupant comfort Thermal and energy efficiency	Regression based optimization model	Accuracy
Peng et al. (2016)	Office Building Location: Switzerland	Provides an overview of intelligent HVAC-related system prediction approaches, as well as control methods that make use of the forecasted data to reduce energy usage and increase thermal comfort.	NA	Energy Efficiency Thermal comfort	Reviewed 10 intelligent HVAC systems in detail	NA
Lu et al. (2019)	Open Dataset (ASHRAE RP884)	The objective of this study is to use RP 884 to create a thermal comfort model based on ML algorithms for three key climate zones.	NA	Thermal Comfort	k-nearest neighbor (KNN), random forest (RF), support vector machine (SVM), and Reinforcement Learning Control	Recall
Tariq et al. (2019)	Conference Room Location: NA	Data driven predictive model with the goal of minimizing the error between the desired and attained temperatures.	Wall attached Radiators, AHU and wireless mounted temperature sensors	Occupant comfort	Data-driven Learning and Predictive Control (DLPC) approach	Accuracy
Sood et al. (2020)	Office Building Location: Singapore	Space match platform was created to help with activity-based workspace allocation and management. Using a web-based mobile application, this approach connects occupants with a catalogue of accessible workstations and allows them to submit real-time environmental feedback	Survey: collected 1,182 responses from 25 field-based research participants over a 30-day study Sensors: temperature, humidity, noise, light, carbon dioxide, volatile organic compounds, and presence	Office space optimization Occupant comfort Feedback Occupant Satisfaction	a space recommendation system based on an unsupervised clustering approach.	Thermal Match Level based on feedback
Chafi et al. (2020)	Office Building (Swedish Municipalities) Location: Sweden	The competitiveness for desirable workspaces was highlighted by this study. Preferences were formed based on a variety of factors, including functional, social, emotional, and symbolic considerations.	27 semi-structured interviews and annotations on architectural drawings were used to obtain data.	Workspace Preference	The concept of artefact ecologies is used. The artefact ecology framework seeks to find differences among individuals that inform product use and adoption	NA
Our Proposed Approach	Open Dataset	Propose the room-to-room thermal condition model that uses one year of historical data to predict temperatures in university building.	365 days of data from a closed office in a university building. Sensors: indoor temperature, outdoor temperature, Global radiation, wind speed, air humidity, etc.	Thermal Efficiency Workspace Preference	IOHMM	Accuracy

Jens et al. (2020) investigate the trade-offs between open and enclosed spaces and how opposing and complementary design aspects influence behaviour and occupancy seating preferences. Rahaman et al. (2020) discovered that the lack of preferred seating arrangements could increase workers' perceived stress and impair their focus levels. However, there was no way of knowing how various people's preferred seats can be characterized. Furthermore, contemporary work has not extensively studied the implications of preferred seating configuration. As a consequence, it is imperative to investigate the impact of seating preferences when people opt to work in a free-seating or hybrid setting (Rahaman 2020).

This under-researched subject inspired the authors to propose a system that considers the indoor environment to produce better matches for occupant seating. The details on state of art are given in the Table 1.

3. Method

In this study, a method is proposed to predict the indoor thermal condition of an open office space. 365 days of observed data (from 2013-1-1 to 2013-12-31) are analysed and evaluated in order to make the prediction under similar conditions. This is an open dataset that can be used for a variety of purposes, including the development and validation of occupancy-related models (Mahdavi 2019).

3.1 Office environment

The office layout (Figure 1) consists of several semi-enclosed (O2, O4), enclosed (O3), meeting rooms (MR), kitchen (KI) and a multi-person room (O1).

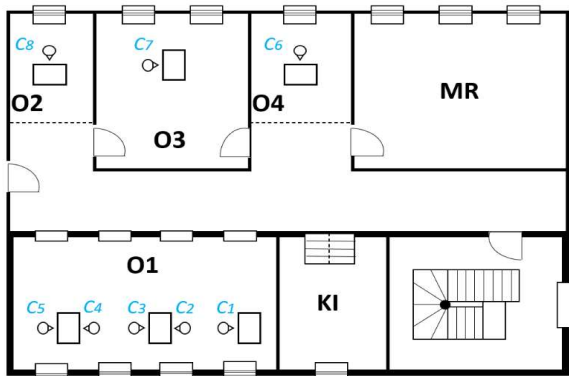


Figure 1 Layout plan of the office floor

A total of eight workstations (C1 - C8) is available in the layout, with all desks close to (at least) one window. Staff may have different access facilities (electrical switch control or close to fire-exit, etc.) depending on their desk position. It is also possible that the occupant may feel colder/warmer than others due to the distance to the heater and/or different heating scenarios (Table 2).

Table 2 Example of different heating states

Season	Heater	Window	No. Of machines
Winter	On	Close	Fixed
Spring	On/Off	Close	Fixed
Autumn	Off/On	Close	Fixed
Summer	Off	Open	Fixed

This table contains several scenarios for changing the indoor temperature depending on the outdoor temperature, indoor heater (on/off), and the window (open/closed). All other heat sources in the rooms (number of machines and human being, etc.) are assumed to be unchanged. This information is necessary to set the number of hidden states (4 states) for the IOHMM, which may change depending on the amount of data as well as the number of uncertainties that need to be taken into account as the cause of heat generation.

However, since more hidden states make the model more complex, a feasible number of states should be considered according with the data amount. Otherwise, the performance of the model may be affected. An example is given in the application section to explain this issue (Table 4).

If each of the workstations is defined with a set of information (as shown by Figure 2), it will be possible to use queries on user preferences in the database to recommend the most suitable desktop for users.

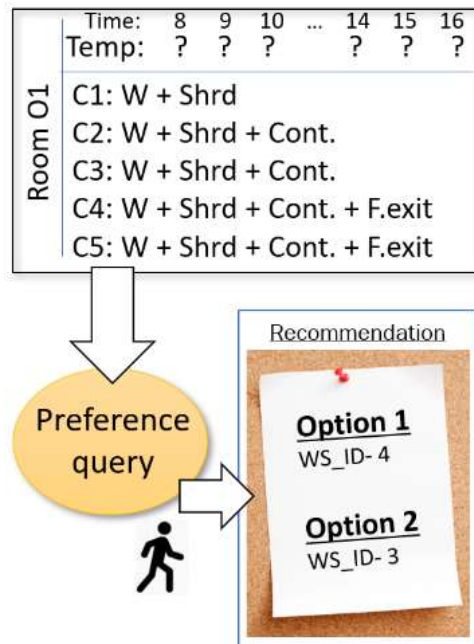


Figure 2 Layout plan of the office floor

[Here W is for window seat, Shrd is for shared room, Cont. is for controller access, F.exit is for fire exit. The office time is assumed as 8:00 – 16:00]

However, it becomes a challenge when a user seeks a cooler or warmer desk depending on the internal environment. Since the future temperature is unknown and changes differently over time for several internal and external conditions it is very important to predict the indoor thermal condition considering these conditions. Although the dataset contains several aspects of both conditions, the current study analyses the internal temperature considering the dynamics of outdoor temperature and the conditions (mentioned in Table 2). The goal is to predict the internal temperature for a specific room based on the observed temperature (indoor and outdoor).

3.2 Data processing

The training set (indoor temperature measurements) is prepared by extracting each day of observations as a single sequence. Therefore, the one-year data became 365 independent sequences (see Figure 3).

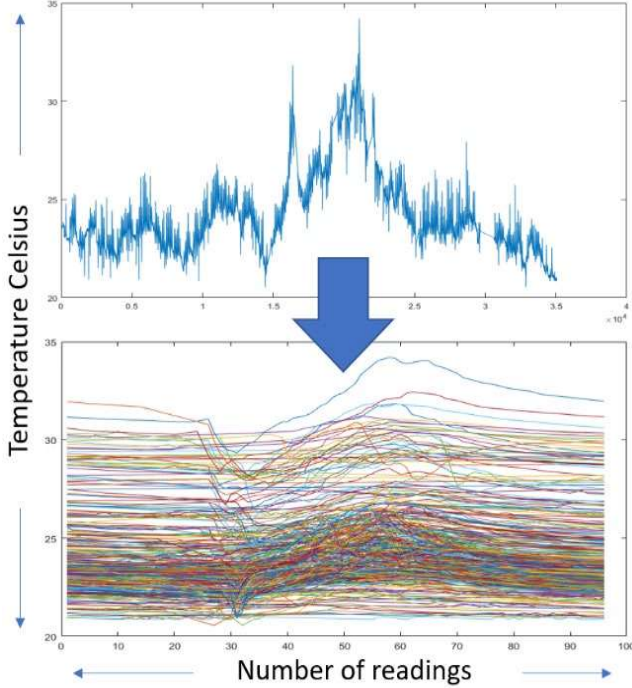


Figure 3 Indoor data sequences

After that, a pattern between the indoor and outdoor temperatures is then identified by analyzing the dynamics of the temperature readings (see Figure 4).

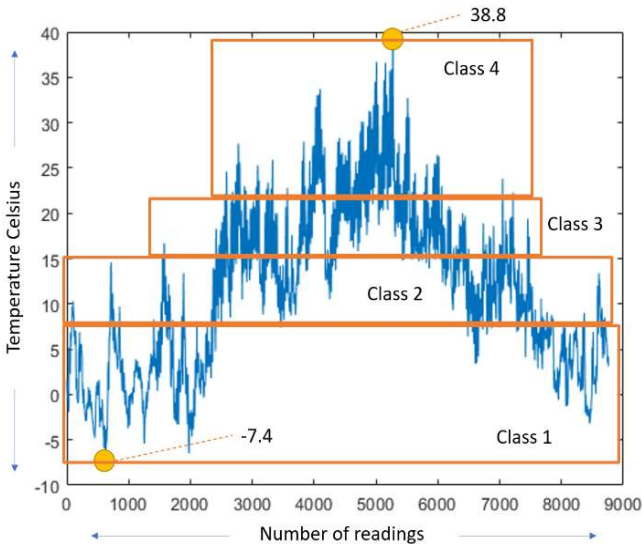


Figure 4 Outdoor temperature

First, the outdoor temperature is divided into four different measurement ranges (see Table 3).

Then, the days having the temperature within this range are marked in different class. On this basis, indoor temperature measurements are classified into four training subsets, which represent four types of behaviour in the data. An IOHMM with four inputs can be modelled using these subsets, where each input represents one of the four temperature levels (from cold to hot). Each subset containing as many observation sequences as the number of days.

Table 3 Data classification

Class id	Outdoor temp. Range	Days	Corresponding indoor readings
1	[-7.4 to 7.00]	104	Subset 1 (104 seq.)
2	[7.01 to 15.1]	86	Subset 2 (86 seq.)
3	[15.11 to 22]	93	Subset 3 (93 seq.)
4	[22.01 to 38.8]	82	Subset 4 (82 seq.)

This classification is done not only by matching with the seasons, but also by balancing the amount of data for each subset. Table 3 shows that class 1 typically represents the winter data and class 4 the summer data. The other two (class 2 and class 3) come mainly from the spring and autumn seasons.

However, depending on the dynamics of the data, the class or outdoor temperature range can be set to different numbers. The model performance for different number of discrete symbols on the same data set are shown in the application section (Table 4).

The table also allows to set the number of inputs for the model (4 inputs for 4 cases).

4. Input-Output Hidden Markov Model

The Input-Output Hidden Markov Model (IOHMM) is a stochastic model, which is an advanced version of the Hidden Markov Model (HMM). While HMM provides a single model-version for all conditions to predict a mean value, IOHMM is capable of predicting different values for different conditions, e.g. multiple room temperatures can be modelled by a single IOHMM applying input indexes. It can also anticipate multiple outputs corresponding to the same input(s).

IOHMM was previously used to develop a predictive model for time series data (Shahin 2019). It is introduced in the current contribution to model a different dataset to predict temperature considering different conditions. One of the major advantages of using IOHMM is its training method. For example, it uses all 4 subsets (see Table 3) in one training session to learn four different versions of the model representing the four conditions. On the other hand, the HMM would be trained four times for these conditions.

4.1 Model property

The general properties of an IOHMM are described in detail in (Shahin 2019). Here, the structure of the model is defined (Figure 5) according to the given data and the problem formulation.

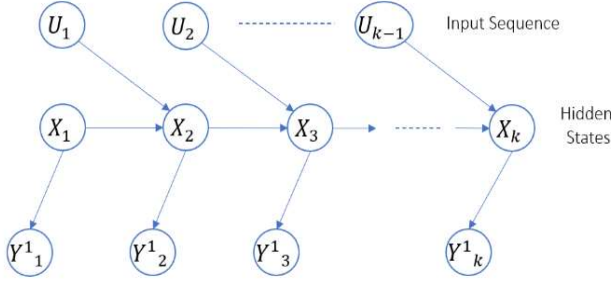


Figure 5 Input Output HMM

- The Y node represents the observation sequence(s) or in this case the indoor temperature measurements converted from continuous to discrete format (see Figure 6) in accordance with the IOHMM properties (Shahin 2019).

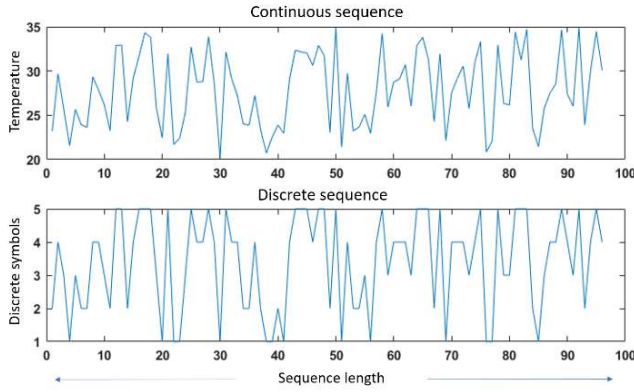


Figure 6 Example: continuous to discrete conversion

Five discrete symbols are used to convert the continuous sequence into discrete format. However, the number of discrete symbols can be less or more than five based on the number of changing events between these symbols. A symbol with no (or not enough) transitions holds emission parameters with poor probability which may leads false predictions.

- The X node is the sequence of hidden states representing different scenarios of indoor temperature production which is assumed as 4 (see Table 2).

- The U node is for the input which represents a sequence of class ids (Table 3).

- k is the sequence length (96). The measurements were recorded every 15 minutes for 24 hours a day.

- Transition matrix: it represents the transition probabilities from one state to another states. The number of hidden states is assumed as 4 (according to Table 2), so, it is a 4 by 4 square matrix.

- Transition matrix: it represents the transition probabilities (a_{ij}) from state i to state j for $1 \leq i, j \leq N$; where N is number of hidden states which is assumed to be 4. So, the matrix is a 4 by 4 square size.

- Emission matrix: it represents the emission probability (b_{jl}) from state j to observable symbol l $1 \leq l \leq M$; where M is the number of discrete symbols which is set as 5. So, the emission matrix size is 4 by 5 (number of discrete symbols by number of hidden states).

4.2 Model Training

IOHMM uses the Baum Welch algorithm and the Forward-Backward algorithms to be trained and learn its parameters (Rabiner 1989). Both algorithms are dedicated to HMM, which is adapted to IOHMM in (Shahin 2019).

The forward backward algorithm:

- Forward algorithm:

Basis: $\alpha(X_1) = P(Y_1|X_1)P(X_1)$

Recursion: $\alpha(X_k) = \sum_{X_{k-1}=s_1}^{S_N} \alpha(X_{k-1})P(X_k|X_{k-1}, U_{k-1})P(Y_k|X_k)$

here $\alpha(X_k)$ is the forward auxiliary variable = $P(X_k, Y_{1:k})$, and k is the length of the observation sequence.

- Backward algorithm:

Basis: $\beta(X_k = s_i) = all 1.$

Recursion: $\beta(X_k) =$

$$\sum_{X_{k+1}=s_1}^{S_N} \beta(X_{k+1})P(X_{k+1}|X_k, U_k)P(Y_{k+1}|X_{k+1})$$

here $\beta(X_k)$ is the backward auxiliary variable = $P(Y_{k+1:k}|X_k)$.

The Baum Welch algorithm:

The Baum-Welch algorithm uses $\alpha(X_k)$ and $\beta(X_k)$ to update the parameters repeatedly in three steps:

Step 01: Initial state probability:

$$\pi_i = \varepsilon_1(i, j), \text{ where } 1 \leq i \leq N$$

Step 02: Transition probabilities:

$$\hat{a}^p_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{K-1} \varepsilon_k(i, j) \cdot 1_{X_k(U_k=p)}}{\sum_{k=1}^{K-1} \omega_k(j) \cdot 1_{X_k(U_k=p)}}$$

where $1_{X_k(U_k=p)} = \begin{cases} 1 & \text{if } X_k(U_k=p) \\ 0 & \text{others} \end{cases}$, p is the number of hidden states

Step 03: Emission probabilities:

$$\hat{b}_{jk} = \frac{\sum_{k=1}^K \omega_k(j) \cdot 1_{Y_k=v_m}}{\sum_{k=1}^K \omega_k(j)}$$

where $1_{Y^q_k=v_m} = \begin{cases} 1 & \text{if } Y^q_k = v_m \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

Here $\omega_k(j)$ is the probability of being in state j at time k given the sequences Y , and $\varepsilon_k(i, j)$ is the probability of being in states i and j at time k and $k + 1$ given the sequences Y .

4.3 Prediction

The given data provide only the observation sequences, but not the (hidden) state sequence. This is a sequence of unknown states or situations producing the temperature which is recorded in a regular

time interval. This is why the state sequence has the same length as the observation sequence.

Since the state sequence is hidden or unknown it is needed to be predicted which let the model to predict the future state evolution and the corresponding emissions at the current time given the current observations.

The IOHMM uses the Viterbi algorithm, which is a popular algorithm to predict the maximum path of the hidden states given the observation sequence. The maximum path characterizes the sequence of states used to predict the future hidden states and their output temperature applying the Markov property.

This algorithm is adapted to IOHMM (Shahin 2020a).

The adapted Viterbi algorithm:

Basis: $\gamma(X_1) = P(X_1, Y_1)$

Recursion: $\gamma(X_k) =$

$\max_{(X_{k-1})} P(Y_k|X_k)P(X_k|X_{k-1}U_{k-1})\gamma(X_{k-1}, U_{k-1})\gamma(X_{k-1})$

here $\gamma(X_k) = \max_{(X_{1:k})} P(X_{1:k}, Y_{1:k})$.

- This algorithm computes the maximum likelihood path as $P(X_{1:k}|Y_{1:k}, U_{1:k})$. It contains the probability of $P(X_k|Y_{1:k}, U_{1:k})$ which is the current state distribution at time k .

- Then the transition probability (transition matrix) is used to predict the state at time $k+1$ as $P(X_{k+1}|X_k)$.

- Finally, the maximum probability of emitting the temperature at time $k+1$ is calculated using the emission probability (emission matrix) as $P(Y_{k+1}|X_{k+1})$.

The last two steps are then repeated until the IOHMM reaches a given time at which the prediction should stop. Normally this is the office closing time, e.g. 4 pm.

5. Application

The data sequence selection process is completed at the beginning of the model training, which is one of the major tasks in data processing for HMM/IOHMM based application.

Since IOHMM uses the transition probability to predict the future events, the training sequences should have information on transitions between states. Otherwise, the transition matrix cannot be learned correctly and will not work effectively. Therefore, all the sequences that do not have any/enough transitions are not considered in the training process.

5.1 Training result:

IOHMM training delivers four transition matrices according to four inputs. The inputs are already mentioned earlier which represent four classes. For example, class 1 is represented by the first estimated transition matrix:

$$\begin{pmatrix} 0.000 & 0.467 & 0.164 & 0.369 \\ 0.031 & 0.969 & 0.000 & 0.000 \\ 0.001 & 0.001 & 0.285 & 0.713 \\ 0.000 & 0.025 & 0.476 & 0.499 \end{pmatrix}$$

The corresponding emission matrix:

$$\begin{pmatrix} 0.505 & 0.000 & 0.494 & 0.000 & 0.000 \\ 0.693 & 0.000 & 0.245 & 0.058 & 0.004 \\ 0.001 & 0.999 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.001 & 0.999 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{pmatrix}$$

These two matrices are the complete parameters of IOHMM given the input $U = 1$. The training method gives three more sets of (transition, emission) parameters for $U = 2, 3, \text{ and } 4$.

The model is trained only once and then applied to a randomly selected test sequence, which is already extracted from the training set before the training begins.

5.2 Testing result: on a single test sequence

The selected test sequence is converted to an incomplete sequence. Only the first half of the sequence is given to the model to predict the second half. The result is then compared to the original sequence (see Figure 7).

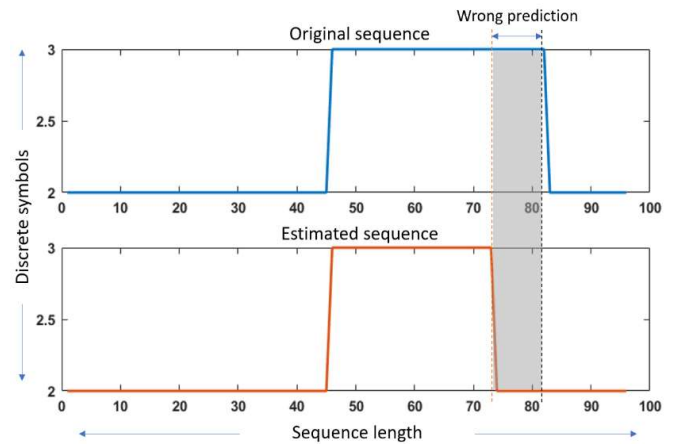


Figure 7 Comparison between predicted and original emitted (temperature) sequence

The Viterbi algorithm is used to predict the maximum path given the half (test) sequence, after which the model uses the transition and the emission matrices to predict the rest of the sequence elements following the Markov property.

The details result:

- Test sequence length: 47
- Number of predicted elements: 49
- Wrong prediction: 8
- Performance: about 83.67% accuracy

5.3 Cross validation: Leave one out (LOO)

One sequence is just one instance of the reality which does not justify much of the model performance. Therefore, a cross validation

can be useful and more trustworthy approach to validate the model performance on the dataset.

The Cross-validation is an experiment to analyze whether the predictive performance of a model declines significantly or does not when applies to new relevant data (Berrar 2019). There are several popular cross-validation methods used in literature articles. In this paper, the leave-one-out (LOO) method is used to show the belief over the model performance.

LOO is such a validation technique where a random data sample is set aside for testing, and the rest is used to train the model (Figure 8). The data samples (sequence for each day) are assumed as independent entities.

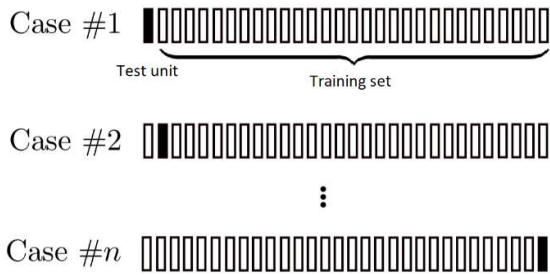


Figure 8 Leave-one-out cross validation (Berrar 2019)

This method is illustrated on a dataset with $n = 30$ cases. Each case is used in turn as a single retained test case. The model was built using the remaining $n - 1$ cases.

The details LOO result:

But it follows the similar technique as 4.1, only with 30 times:

- Number of sequences = 30
- Number trainings = 30
- Number of testing = 30
- Prediction performance = **78.4%**.
- The error rate = **21.6%**

5.4 Performance Comparison

In this section, two performance tables (Tables 4 and 5) are presented, which are calculated by applying the LOO cross-validation method.

Table 4 represents the impact of different number of parameters of IOHMM on the performance with the same training and testing sequences. Choosing the right number of hidden states and discrete symbols is always a challenge for IOHMM-based model (Shahin 2019).

We conducted an experiment where the number of hidden states was set as 3 to 5 and discrete symbols as 3 to 6. This experiment could be extended to more parameter variations but based on the amount

of data and model performance, we decided to go with such numbers.

There is a relationship between the number of hidden states and the number of transitions between discrete symbols that can be observed. Sometimes, fewer hidden states can move quickly from one temperature level to another by skipping several transitions, or sometimes more hidden states can be cause of misleading predictions because there are not enough transitions dedicated to each hidden state in the dataset. For example, version numbers 1 and 5 (Table 4) show the lowest performance because the observations have only three discrete symbols. When the number of hidden states increases to 4, the error rate increases because the additional hidden states do not have enough transitions in the discrete form of the data (with only three symbols).

On the other hand, when the number of discrete symbols increases to 5 or more (versions 7 and 8) with 4 hidden states, the model performs well because in this case there are sufficient transitions between symbols for all 4 hidden states.

However, IOHMM sometimes performs well with a high number of parameters, but this also increases the complexity of building and processing the model. For example, adding one discrete symbol to version 8 than version 7 is equivalent to adding 4 symbols if the model has four inputs. Therefore, it needs to be carefully decided whether it is worth adding four additional parameters to improve the accuracy of (79.03 - 78.4) 0.63%.

In this paper, IOHMM version 7 (with 4 hidden states and 5 discrete symbols) is proposed to model the given dataset.

Table 4 Model Performance for Different Settings

Version No	Number of Hidden States	Number of Discrete Symbols	Accuracy rate	Error rate
1	3	3	61.38%	38.62%
2	3	4	69.21%	30.79%
3	3	5	68.00%	32.00%
4	3	6	71.05%	28.95%
5	4	3	56.98%	43.02%
6	4	4	76.65%	23.35%
7	4	5	78.4%	21.6%
8	4	6	79.03%	20.97%
9	5	6	74.01%	25.99%

Once the model structure is fixed, the next experiment compares the performance of proposed version of IOHMM with an HMM-based predictor.

Table 5 shows the performance of the proposed IOHMM compared to the HMM as the baseline prediction point. The HMM uses the

normal ML algorithm that uses all the data for model training, and it predicts the average temperature of all the dynamics on the dataset. On the other hand, IOHMM uses an adapted ML algorithm (Shahin 2019) that considers the inputs in model development. Thus, it predicts the exact temperature for a given input signal that represents different classes mentioned in Table 3.

Table 5: Average temperature prediction vs IOHMM prediction

Model	Number of Sequences	Number of Training and testing	Accuracy rate	Error rate
HMM	30	30	69.07%	30.93%
IOHMM	30	30	78.4%	21.6%

IOHMM first obtains inputs to index which class the test sequence comes from. It then applies the corresponding model parameters to predict the temperature. It provides more efficient and plausible results compared to a common ML-based predictor (see Table 5).

5.5 Example: The preference algorithm

Suppose an employee comes to the office at 9:00 a.m. He wants to find a cooler space for a few hours e.g. 5 hours, and then he leaves the office for the day. The proposed method starts with obtaining preferences from the employee and then gives the solution in four steps.

Step 01: Predict the current thermal conditions at all available workstations (including different rooms).

Step 02: Identify the workstations that match the preferred temperature (or relatively cooler space).

Step 03: Predict the temperature of each selected workstation for the next five hours and checks if they remain cooler until then. If not, then it suggests the closest available option to the employee.

Step 04: Finally, when a workstation is occupied, the method sends a signal to the database by indexing the workstation to be occupied.

Noted that, if there is no available workstation, the method notifies the employee immediately that all workstations are occupied, or it asks to change the preferences.

6. Conclusion

In this paper, a probabilistic input-output Hidden Markov Model is proposed to predict indoor thermal conditions and allow to choose the desirable seating spaces based on past activities and future events. In the context of the IOHMM, the proposed approach currently considers multiple modes for a single input, representing different outdoor temperature ranges and the corresponding effects on indoor thermal conditions. A numerical application is implemented to demonstrate the proposed IOHMM-based solution. A benchmark is presented where the model is executed with different number of parameters but on the same data set to determine the appropriate number of hidden states and discrete symbols for the IOHMM. The

performance of the model is demonstrated by leaving one out a cross-validation technique.

By adding more inputs and corresponding parameters, the proposed IOHMM can be used to simulate multiple dynamics of thermal conditions arising from different causes in the same room or another. This allows us to monitor entire floors or small buildings with a single version of the IOHMM.

The training and testing algorithms are suitable for considering multiple observable outputs in model development, enabling the study of multiple observations (barometric pressure, humidity, etc.) in the prediction methods. This not only ensures the efficiency of the results, but also provides the opportunity for future work with multiple input and output transformations.

References

- Arendt, Krzysztof, et al. "Comparative analysis of white-, gray-and black-box models for thermal simulation of indoor environment : Teaching building case study." *Proceedings of the 2018 Building Performance Modeling Conference and SimBuild co-organized by ASHRAE and IBPSA-USA, Chicago, IL, USA.* 2018.
- Berrar, Daniel. "Cross-Validation." (2019): 542-545.
- Chafī, Maral Babapour, Mette Harder, and Christina Bodin Danielsson. "Workspace preferences and non-preferences in Activity-based Flexible Offices : Two case studies." *Applied ergonomics* 83 (2020) : 102971.
- Ellis, Carl, Mike Hazas, and James Scott. "Matchstick : A room-to-room thermal model for predicting indoor temperature from wireless sensor data." *Proceedings of the 12th international conference on Information processing in sensor networks.* 2013.
- Hu J, Wang Y, Zhang Y. Iohmm for location prediction with missing data. In *Data Science and Advanced Analytics (DSAA). IEEE International Conference on 2015 Oct 19* (pp. 1-10).
- Jens, Krister, and Jay Sterling Gregg. "How design shapes space choice behaviors in public urban and shared indoor spaces-A review." *Sustainable Cities and Society* (2020): 102592. Just A, Bernier O, Marcel S. HMM and IOHMM for the recognition of mono-and bi-manual 3D hand gestures. IDIAP; 2004.
- Khan, Donya Sheikh, Jakub Kolarik, and Peter Weitzmann. "Design and application of occupant voting systems for collecting occupant feedback on indoor environmental quality of buildings—a review." *Building and Environment* (2020): 107192.
- Lu, Siliang, et al. "Data-driven simulation of a thermal comfort-based temperature set-point control with ASHRAE RP884." *Building and Environment* 156 (2019) : 137-146.
- Peng, Yuzhen, et al. "Case study review : Prediction techniques in intelligent HVAC control systems." *9th International Conference on Indoor Air Quality Ventilation and Energy Conservation in Buildings (IAQVEC 2016).* 2016.
- Rabiner, Lawrence R. "A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition." *Proceedings of the IEEE* 77.2 (1989): 257-286.
- Rahaman, Mohammad Saiedur, et al. "OccuSpace: Towards a robust occupancy prediction system for activity-based workplace." *2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops).* IEEE, 2019.
- Rahaman, Mohammad Saiedur, et al. "Seating preference analysis

- for hybrid workplaces." *arXiv preprint arXiv:2007.15807* (2020).
- Shahin, Kamrul Islam, Christophe Simon, and Philippe Weber. "Estimating IOHMM parameters to compute remaining useful life of system." *Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference, Hannover, Germany*. 2019.
- Sood, Tapeesh, Patrick Janssen, and Clayton Miller. "Spacematch: Using environmental preferences to match occupants to suitable activity-based workspaces." *arXiv preprint arXiv:2006.09570* (2020).
- Tariq, Zaid Bin, et al. "Experimental evaluation of data-driven predictive indoor thermal management." *Proceedings of the Tenth ACM International Conference on Future Energy Systems*. 2019.
- Weber P, Simon C. *Benefits of Bayesian Network Models*. John Wiley & Sons; 2016 Aug 23

Bilag 3 Temperaturtest

Nedenstående svarark til temperaturtest er udformet med baggrund i iso standard TR 17772 "Methodologies for subjective evaluations". 10 medarbejdere fordelt på forskellige afdelinger hos Teknologisk Institut i Tåstrup besvarer i november måned 2022 svararket, som kombineres med en temperaturmåling foretaget tæt på det sted i rummet, hvor de opholder sig. Herunder ses det benyttede svarark og fordelingen af besvarelser:

Projekt om "Dynamisk kontormiljø", Energieffektivisering og Ventilation
November 2022

Temperaturtest

Navn: _____

Sted: _____

Dato: _____



Hvordan følges temperaturen her?

Meget varmt
Varmt
Lidt varmt
Tilpas / neutral
Lidt koldt
Koldt
Meget koldt

Hvordan oplever du temperaturen?

Helt klart acceptabelt
Kun lige nøjagtig acceptabelt
Kun lige nøjagtig uacceptabelt
Helt klart uacceptabelt

Kommentar: _____

Kommentar: _____

Vil du gerne have temperaturen:

- a) Højere
- b) Uforandret
- c) Lavere

Hvor mange grader koldt/varmt vurderer du, der er her nu? _____

Fordeling af besvarelser:

- 6 ud af 10 fandt, at temperaturen føltes "Tilpas / neutral". 2 fandt det hhv. "Lidt for varmt" og "Lidt for koldt".
- 8 ud af 10 oplevede temperaturen som "Helt klart acceptabel". 1 markerede medio acceptabel og 1 markerede "kun lige nøjagtig acceptabel".
- 5 ud af 10 ville bevare temperaturen "Uforandret". 3 ønskede den højere og 2 ønskede den lavere.
- Temperaturer i grader celsius blev estimeret til at være mellem 17°C og 22°C
- Målte temperaturer i grader celsius var mellem 20,6°C og 22,6°C.
- Differencen imellem estimeret og målt temperatur lå på 1,7°C i gennemsnit. Der var en klar tendens til at de adspurgte personer estimerede temperaturen i grader celsius koldere end den blev målt.

Fremtidens meget mere fleksible arbejdsplads

Kan den meget fleksible arbejdsplads gå hånd i hånd med driftsoptimeringer og energibesparelser? Det undersøger et forskningsprojekt hos konsulentvirksomheden Implement.





Mix
with
Impact

Receptionsområde hos
Implement Consulting
Group, hvor gæster
først møder "the
Implement feeling".

Af Joel Goodstein
Foto Michael Vienø

kølvandet på COVID-19-pandemien, hvor mange medarbejdere har været hjemsendt i flere måneder, er spørgsmålet, om indretningen af fremtidens arbejdspladser blevet ekstra aktuelt.

ELFORSK-projektet 'Dynamisk kontormiljø på brugerens præmisser' med deltagelse af Teknologisk Institut, Implement Consulting Group, CLIMAID og SDU sætter netop fokus på, hvordan kontorarbejdspladser kan indrettes langt mere fleksibelt i fremtiden – med højere medarbejdertilfredshed til følge.

»Ideelt set skaber man både høj medarbejdertilfredshed og optimerer driften af sin bygning. Vi vil gerne i projektet finde løsninger, så man ikke behøver at vælge, om det er energiregnskabet eller medarbejdertilfredsheden, som er vigtigst. Mange nybygninger bruger dobbelt så meget energi, som beregnet. Samtidig ved vi, at cirka ti procent af medarbejdere generelt er utilfredse med indeklimaet. Vi vil gerne undersøge konsekvenserne af, at

medarbejderne får lov til at placere sig, hvor de er mest tilfredse med indeklimaet. Er "free seating" en måde at optimere driften af sine bygninger og samtidig opnå højere medarbejdertilfredshed? Måske viser det sig, at man med free seating og flere, der arbejder hjemmefra, har brug for færre kvadratmeter og derfor kan *downsize*,« siger Babette Peulicke Slott, konsulent og energiantropolog ved division for Energi og Klima på Teknologisk Institut.

Tre forskellige bygninger

Hun mener ikke, at man kun kan måle sig frem til et godt og behageligt indeklima.

»Oplevelsen af, hvad der er et godt arbejdsmiljø, herunder et behageligt indeklima, er i høj grad subjektivt. Man kan ikke bare sige, at der er et godt indeklima, fordi der er en bestemt temperatur i et lokale eller bygning. For en driftsansvarlig er det selvfølgelig nemmest at holde et set-punkt for en temperatur, men det vil ikke stille alle medarbejdere tilfreds, fordi vi hver især har forskellige præferencer for indeklima. Oveni kan vores præferencer skifte i løbet af en arbejdsdag, alt efter hvilken aktivitet vi deltager i. Sidder vi stille, bevæger vi os, står vi op, sidder vi ned, arbejder vi alene, eller deltager vi et møde,« siger Babette Peulicke Slott.

I Hellerup har Implement Consulting Group til huse i tre nabo- ▶

Stefan Ravn og
Babette Peulicke
Slott i kantinen
hos Implement
Consulting Group.



bygninger på Strandvejen 54, 56 og 58. I alt 7.500 kvadratmeter – til de cirka 300 medarbejdere. Den største af bygningerne er Rosenhuset, som er en fredet bygning, der ejes af Realdania, men er udlejet til Implement.

»Vores udgangspunkt for en optimeret bygningsdrift, et bedre indeklima og en mere fleksibel arbejdsplads er, at vi ikke ejer de bygninger, vi bor i. Det er ovenikøbet tre meget forskellige bygninger, nye og gamle, hvoraf den ene er fredet med alle de begrænsninger, det giver. Så vi er løbende i gang med at tilpasse og indrette os og prøve at optimere forholdene – nu også i kølvandet på corona, hvor de fleste konsulenter har arbejdet hjemmefra,« siger Stefan Ravn, Facility Manager hos Implement.

Først til mølle

Der er meget fokus på slutbrugerne i bygningerne – både egne medarbejdere og besøgende kunder.

»Energiforbruget er selvfølgelig vigtigt, men hvis ikke konsu-

lenterne har lyst til at invitere kunder ind i huset, er det ikke godt. Indeklima og indretning har stor betydning for vores kerneforretning, og det kræver behagelige og inspirerende omgivelser,« siger Stefan Ravn.

I de tre bygninger er der indrettet cirka 85 individuelle arbejdsstationer, som anvendes efter først-til-mølle – foruden en række forskellige mødelokaler, konsulentlaboratorier, kantine og mere uformelle områder, hvor man kan sidde eller stå. Som det seneste er der i forbindelse med behovet for online aktiviteter under COVID-19-pandemien indrettet en række studier med professionelle lyd- og videofaciliteter, så Implements konsulenter kan afholde møder, workshops, undervisning og konferencer online og producere podcasts og videoer i professionel kvalitet.

»Mange møder, som tidligere blev afholdt hos kunder eller os selv, er nu virtuelle, og det er en stor succes, som vi må forvente er kommet for at blive, og det vil antagelig mindske behovet for mødelokaler, som nu i stedet er blevet til onlinestudier,« siger Stefan Ravn.

Sensorer og algoritmer

En række back office-funktioner har faste arbejdsstationer, men størstedelen af medarbejderne må hver dag finde et passende sted i bygningerne at løse deres opgaver.

»Vi har prøvet at etablere særlige områder i bygningerne, som tilgodeser de forskellige ønsker og behov hos medarbejderne. Det handler om temperaturer, luftkvalitet, lysforhold og akustik, og vi prøver at tilbyde forskellige indeklimazoner og møblelementer at vælge imellem,« siger Stefan Ravn.

Babette Peulicke Slott advarer mod at prøve at skabe samme indeklimate overalt.

»Det undrer mig, at man mange steder prøver at skabe identisk indeklimate på hele arbejdspladsen. Hvis der bare er 21,7 grader, så

er alle tilfredse, tror man. Men generelt vil man få nogle gladere medarbejdere ved at tilbyde forskellige indeklimazoner, og det håber vi, at projektet kan vise nogle eksempler på, som kan inspirere andre virksomheder,« siger Babette Peulicke Slott.

De forskellige indeklimazoner skal imødekomme forskellige behov og arbejdssituationer: Man arbejder alene, man arbejder sammen med andre, man holder møde, man ønsker fred og ro, eller der skal være mulighed for friske diskussioner, som ikke forstyrrer andre. ▶



Som led i ELFORSK-projektet 'Dynamisk kontormiljø på brugerens præmisser' er der opsat sensorer, der måler temperatur og bevægelse hos Implement Consulting Group.



Nye Danfoss-termostater hos Implement Consulting Group skal bidrage til et bedre indeklimate og en mere effektiv temperaturstyring.



Teknologisk Institut

- Teknologisk Institut (TI) er et førende og uafhængigt institut inden for forskning, udvikling, demonstration og test.
- TI har over 1.000 specialister og hjælper mere end 10.000 kunder fra 65 forskellige lande om året.
- TI er et multidisciplinært institut med ekspertise inden for forretningsområderne: Landbrug og Bioressourcer, Fødevarer, Miljøteknologi og ressourcer, Byggeri og Anlæg, Energi, Agil produktion, Produkter og Materialer og Big Science.
- TI's vision er, at teknologi skaber en bedre fremtid, og er dagsordenssættende i forhold til virksomheders teknologianvendelse. Både når det gælder den grønne omstilling, digitalisering, vækst og produktivitet samt innovationskapacitet.
- Teknologisk Institut er et af syv godkendte GTS-institutter i Danmark. De syv GTS-institutter skal understøtte kommerciel innovation og teknologisk udvikling i Danmark. For at blive GTS-institut kræver det en godkendelse fra Uddannelses- og forskningsministeren.
- Teknologisk Institut driver virksomhedsnetværket BigScience.dk, som er finansieret af Styrelsen for Forskning og Uddannelse gennem Resultatkontakt S2.
- Teknologisk Institut blev etableret i 1906 og er selvejende.

Som led i projektet er der installeret indeklimasensorer i alle lokaler, og disse sensorer leverer data til en algoritme, som med machine learning skal lære bygningerne at kende, og hvordan brugerne anvender dem.

»Ideelt set når vi frem til en intelligent løsning, som kan anbefale medarbejderne, hvor de skal sidde ud fra deres specifikke ønsker til indeklima og hvilke opgaver, de skal løse. Er det et møde, hvor man står op og er i bevægelse, skal temperaturen måske ikke være så høj som andre steder. Hvis det er et mere stillesiddende møde, skal temperaturen nok være lidt højere,« siger Stefan Ravn.

Positiv placebo

Sensorerne registrerer blandt andet bevægelse i lokalerne og kan derfor guide medarbejdere til ledige områder i bygningerne.

»Vi oplever dagligt, at bookede mødelokaler ikke bliver brugt. Vi vil gerne udvikle et system, så vi hurtigst muligt kan frigive møderum til andre brugere, hvis der ikke er bevægelse i rummet. På den måde kan man udnytte sine kvadratmeter endnu bedre, og medarbejderne oplever i højere grad, at der er de



nødvendige faciliteter til rådighed,« siger Stefan Ravn.

Placebo kan være et af redskaberne til at højne brugertilfredsheden med indeklimaet.

»Muligheden for at anvende placebo, når det handler om indeklima, arbejdsmiljø og brugeroplevelser må ikke undervurderes. Placebo kan være en meget effektiv måde at skabe højere tilfredshed blandt medarbejdere. Hos teknikere kan man godt møde indstillingen, at for eksempel planter ingen objektiv virkning har på indeklima. Men jeg tror ikke, man skal undervurdere den psykologiske effekt af planter. De har en betydning for følelsen af velvære, som er svær at måle på traditionel vis, men hvis man spørger brugerne, og de siger, at de synes godt om planterne, så er der jo en effekt, selv om du ikke ►

Implement Consulting Group

Implement Consulting Group er et konsulenthus med cirka 900 medarbejdere, som hjælper virksomheder rundt om i Europa med strategi, ledelse, it og digital udvikling, supply chain, forretningsudvikling, innovation med mere. Implement har hovedkontor i København med øvrige adresser i Aarhus, Stockholm, Malmø, Oslo, Zürich og München.

Virksomheden, der er ejet af medarbejderne, blev stiftet i 1996 af Niels Ahrengot og Jens Vasehu.



kan måle den fysisk som en temperatur,« siger Babette Peulicke Slott

Et andet eksempel på placebo er muligheden for at skrue på termostater – uanset om de virker eller ej.

»Bare det at give brugerne en følelse af kontrol, for eksempel over rumtemperaturen, kan være med til at skabe øget tilfredshed – også selv om det spænd, man har mulighed for at regulere inden for, er begrænset. Driftsmæssigt giver lokal brugerkontrol mulighed for at påvirke indeklimaet, men på den anden side mister man som driftsansvarlig noget af kontrollen over bygningens drift og energiforbrug. Mange steder går en vicevært rundt i en bygning om aftenen og skruer på varmeapparater, slukker lys og lukker vinduer for at undgå et kæmpe energispild,« siger Stefan Ravn.

Forskellige forventninger

Babette Peulicke Slott påpeger desuden,

at brugernes forventninger til den bygning, de arbejder i, er meget afgørende for deres oplevelse og vurdering af indeklimaet.

»I en moderne bygning med sensorer vil brugerne have højere forventninger til indeklimaet end brugere i en gammel bygning uden moderne kontrolsystemer. I et tidligere forskningsprojekt så vi, hvordan brugere i en moderne bygning bliver utilfredse ved lavere temperaturer end brugere i en ældre bygning med langt højere temperaturer. De havde ikke de samme forventninger og blev derfor ikke nær så utilfredse med de høje temperaturer. Objektivt set har brugerne i den moderne bygning det bedste indeklima med den laveste temperatur, men de er samtidig de mest utilfredse – alene på grund af deres forventninger,« siger Babette Peulicke Slott.

Selv om brugeroplevelsen er i højsæde hos Implement, vægter driftsøkonomien i nye indeklima- og energianlæg også.

»Vi skal selvfølgelig have den sunde fornuft med og være åbne for nye tekniske løsninger, som kan give en energibesparelse eller anden optimeringsmulighed,« siger Stefan Ravn.

Ideelt set går indeklima, arbejdsmiljø og energibesparelser hånd i hånd, men medarbejdere må også til en vis grad tilpasse sig forholdene.

»Hvis der ikke er et møderum, hvor man kan sidde ned ved en tilpas temperatur, må man måske holde et stående møde, hvor man kan leve med en lidt lavere temperatur. Med højborde som man står ved eller ved borde med hjul, hvor man kan skabe bevægelse i rummet. Hvis man har sat næsen op efter at slænge sig i nogle sofaer, risikerer man selvfølgelig, at nogen bliver skuffede, men det kan også være, at man finder ud af, at der kunne holdes et godt møde på lidt andre vilkår. Så fleksibilitet handler også om at være åben for nye måder at mødes på,« siger Babette Peulicke Slott.

Støjdæpende hovedtelefoner

Hun påpeger derudover, at brugertilfredsheden typisk vil stige, når medarbejderne oplever, at de kan stole på free seating-systemet.

»Hvis du oplever, at der altid kan findes plads til at arbejde eller holde et møde, så spærrer du ikke pladsen, men tager dine ting med dig. Så der er en selvforstærken-




“Open Space”-område hos Implement Consulting Group med mulighed for forskellige aktiviteter, der kan foregå i et åbent rum uden lydafsærmning.

de effekt – både positiv og negativ; enten slår du lejr, fordi du ikke stoler på systemet, eller også overlader du din plads til en anden i tiltro til, at alle andre gør det samme, så du altid kan finde en plads igen,« siger Babette Peulicke Slott.

For Implement er ønsket ikke at reducere kvadratmeterne for at spare energi men at udnytte de nuværende optimalt.

»Hvis alle 300 konsulenter skulle have fast skrivebord, ville det kræve meget mere plads, end vi har, og det ligger ikke i kortene, at vi får mere plads. Der skal altid være plads til kundemøder, networking og andre events, men meget af konsulenternes arbejde kan klares hjemmefra, ude hos kunder, og når de er på farten. Mange

har under corona indrettet gode hjemmearbejdspladser, så det er blevet deres primære kontor nu. Men hjemmearbejdet har måske skabt en større forventning og et ønske om, at man kan arbejde uforstyrret, så lydniveauer er noget, vi aktuelt arbejder meget med at finde gode løsninger på, så medarbejderne kan sidde uforstyrret tæt på hinanden. Støjdæmpende hovedtelefoner er det nye sort,« siger Stefan Ravn. 

AFRY sætter fart i den grønne omstilling mod et mere bæredygtigt samfund



Besøg os på afry.dk