

## Eindrapport PERDYNKA

# PERDYNKA – PERsoonlijk DYNamisch licht en binnenklimaat voor KAntoren

### 1. Gegevens project

Projectnummer 1507503

Projecttitel PERDYNKA – PERsoonlijk DYNamisch licht en binnenklimaat voor KAntoren

Penvoerder: Universiteit Maastricht, contactpersoon: W.D. van Marken Lichtenbelt  
([markenlichtenbelt@maastrichtuniversity.nl](mailto:markenlichtenbelt@maastrichtuniversity.nl))

Consortiumpartners:

Technische Universiteit Eindhoven, contactpersoon: Y. de Kort

Signify, contactpersoon: B van der Zande

Huygen Installatie Adviseurs, contactpersoon: 'E. Willems

Almende, contactpersoon: A.W. Stam

Projectperiode 10-04-2018 tot 30-11-2020

### 2. Inhoudelijk eindrapport

#### SAMENVATTING

##### Aanleiding

Het binnenklimaat in gebouwen is meestal centraal geregeld op een uniforme en constante temperatuur en met gestandaardiseerde lichtcondities. Dit resulteert in een hoger energiegebruik dan noodzakelijk. De redenen zijn terug te voeren naar verouderde inzichten betreffende comfortbeleving en de voorheen beperkte mogelijkheden van klimaatregeling en kunstlicht armaturen. Recent onderzoek van de Universiteit Maastricht laat zien dat comfort en gezondheid niet identiek zijn en dat tijdelijk afwijken van de thermoneutrale omgevingstemperatuur de gezondheid kan verbeteren. Bovendien laat het z.g. adaptief comfort model zien dat indien gebruikers enige controle hebben over hun binnenklimaat het comfort en de acceptatie van het binnenklimaat positief worden beïnvloed. Tevens is bekend dat lichtcondities, zowel intensiteit, lichtkleur, als de timing hiervan significante implicaties hebben voor gezondheid, productiviteit en de beleving van de thermische omgeving. De nieuwe LED-technologie maakt toegespitste regeling mogelijk.

Het TKI-project DYNKA richt zich op implementatie van een dynamisch binnenklimaat, zowel wat betreft licht als temperatuur. PERDYNKA voegt hier individuele temperatuur- en licht-regeling aan toe.

##### Doel van het project

PERDYNKA richt zich op de vraag in welke mate een beperkte lokale individuele aansturing van LED-licht en omgevingstemperatuur een dynamisch binnenklimaat, waarmee het energiegebruik nodig voor verwarming of koeling significant verlaagd kan worden, beter acceptabel maakt op individueel niveau. Tevens beoogt PERDYNKA in samenhang met DYNKA hoe dit vertaald kan worden in concrete installatieconcepten en innovatieve '*personal dynamic workplace systems*'. Bovendien wordt het concept onderzocht op de positieve effecten op tevredenheid met de werkplek, motivatie en vigilantie en indirect op productiviteit.

De projectaanpak richt zich dus op twee aspecten: het verbeteren van de gezondheid en welzijn én het verminderen van het energiegebruik van gebouwen.

PERDYNKA maakt de energiebesparingen van een dynamisch binnenklimaat beter haalbaar door een grotere acceptatie van de binnenklimaatomstandigheden. PERDYNKA draagt bij aan Programmalijn 5a (Zelflerende) intelligente energieregelsystemen en –diensten door de ontwikkeling van een nieuwe en innovatieve manier van een persoonlijke dynamische klimaatbeheersing voor kantoren gebaseerd op de interactie van licht en temperatuur.

##### Korte omschrijving van de uitgevoerde activiteiten

Over het geheel genomen is PERDYNKA voorspoedig verlopen. Vertragingen zijn opgetreden vanwege de tijd die nodig was om de onderzoeker (promovendus) te rekruteren en vanwege een stop op het doen van onderzoek door COVID-19 in het voorjaar en de zomer van 2020. Bovendien is thuis werken sinds maart 2020 de regel, wat onderzoek naar implementatie in realistische werkomgevingen verhindert. Gezien de korte duur van het project hebben deze vertragingen significante invloed op het resultaat. Desondanks zijn er belangrijke stappen gezet in combinatie met het project DYNKA en verwachten we de uiteindelijke doelen binnen de resterende looptijd van project DYNKA ([www.dynka.nl](http://www.dynka.nl)) goed te verwezenlijken.

Allereerst heeft een uitgebreid literatuuronderzoek plaatsgevonden naar de individuele temperatuurregeling. Het heeft geresulteerd in een artikel dat momenteel in review is bij een internationaal wetenschappelijk tijdschrift.

Voor wat betreft het ontwikkelen van een ICT-platform voor individuele aansturing van licht en klimaatbeheersing is een individuele kantoorregeling ontworpen in samenwerking met Ahrend. Dit systeem is vervolgens uitgerust met een monitoringsysteem dat is ontwikkeld met de consortiumpartner Almende. Hiermee is een uitgebreide cross-over studie naar het gebruik van het Persoonlijk Comfort Systeem (PCS) uitgevoerd onder laboratoriumomstandigheden in Maastricht. Binnen het DYNKA project is door Signify een regelmodule voor de kantooromgeving ontwikkeld op basis van LED-licht en getest onder real-life living lab condities in het TUE-gebouw Atlas. Voor PERDYNKA is dit systeem verder doorontwikkeld met implementatie voor individuele lichtaansturing voor gebruik in de respiratiekamers van de Universiteit Maastricht met zicht op toepassing in kantoren. Tevens is een regelmodule ontwikkeld en geïnstalleerd voor gecontroleerde achtergrondverlichting in de respiratiekamers. Een testprotocol voor individuele lichtcontrole in een dynamisch binnenklimaat is opgesteld en de verwachting is dat begin 2021 de studie hiernaar wordt gestart.

In combinatie met de studies die zijn uitgevoerd in het kader van DYNKA, is inzicht verworven over de effecten en de mogelijkheden van individuele controle van temperatuur en licht in een dynamisch binnenklimaat. Tevens is binnen DYNKA in twee real life living lab (RLLL) condities informatie verkregen over acceptatie en comfort in dynamische condities. Deze informatie is direct van toepassing op de doorontwikkeling van protocollen voor PERDYNKA's controlesystemen. Het doorrekenen van het besparingspotentieel is binnen de termijn en door bovengenoemde oorzaken niet haalbaar gebleken. Dit onderdeel en het opstellen van een scenario voor productontwikkeling en standaardisatie zal worden gerealiseerd in het project DYNKA.

## INLEIDING

Gebouwen worden doorgaans tijdens aanwezigheid van gebruikers op een uniforme en constante temperatuur gedurende de dag verwarmd in de winter en gekoeld in de zomer. Dit constante temperatuur regime resulteert in een hoog energie gebruik; traditioneel wordt een constante omgevingstemperatuur in verband gebracht met een hoge comfortbeleving. Recent onderzoek laat echter zien dat comfort en gezondheid niet per definitie synoniemen zijn.

In de afgelopen jaren is veel kennis verzameld over de effecten van temperatuur op onze (metabole) gezondheid, overgewicht en diabetes. Onderzoek van de Universiteit Maastricht laat zien dat milde variaties buiten de comfortzone de gezondheid van mensen sterk kan verbeteren. Bovendien is bekend dat mensen zich heel goed kunnen aanpassen aan een variatie in binnenklimaat, mits ze gelegenheid krijgen daaraan te wennen en ze zelf controle kunnen uitoefenen (adaptief comfort). Deze blootstelling en aanpassing kunnen worden gerealiseerd door een variatie van temperatuur door de dag (*drifting or dynamic indoor temperature*) en gecontroleerde variatie over de seizoenen, bijvoorbeeld met behulp van lokale klimaatsystemen of lokale regelmogelijkheden. Daarmee kan energiegebruik in gebouwen worden gereduceerd.

Bovendien is licht een belangrijke factor die de gezondheid kan beïnvloeden. Licht heeft invloed op slaap en herstelprocessen 's nachts en op activiteit en alertheid overdag. In onze huidige samenleving is het slaap/waakritme echter niet meer aangepast aan het natuurlijke dag-nacht ritme wat veelal leidt tot een afname van de duur en kwaliteit van slaap, maar ook de thermoregulatie van het lichaam. Een hoge lichtintensiteit in de ochtend laat een lagere lichaamskerntemperatuur zien en beïnvloedt ook de temperatuurverdeling van het lichaam. Temperatuurverdeling van het lichaam is op zijn beurt weer een belangrijke factor voor thermisch comfort. Ook de lichtkleur beïnvloedt de lichaamstemperatuur en comfort. Interacties tussen blootstelling aan licht en verschillende temperaturen zijn zeer relevant voor de metabole gezondheid en de comfortbeleving. Met modern dynamisch LED-licht in een dynamisch binnenklimaat kunnen het slaap-waak ritme, visueel comfort, thermisch comfort en sensatie, alertheid, fysiologie, gezondheid, het welzijn en de productiviteit gunstig beïnvloed worden.

Het onlangs toegekende TKI project DYNKA (TKI Urban Energy 2017) richt zich op de vraag hoe de interactie van dynamisch LED-licht en een variatie in omgevingstemperatuur het energiegebruik voor verwarming of koeling verlaagt en hoe dit vertaald kan worden in concrete installatieconcepten voor innovatieve *dynamic workplace systems*.

Dit voorstel, PERDYNKA, maakt een extra verdiepingsslag richting optimale acceptatie van het in DYNKA voorgestelde dynamisch binnenklimaat door zich te richten op de *individuele gebruiker*. Dat wil zeggen, de gebruiker krijgt een zekere mate van controle bovenop het centraal geregelde dynamische binnenklimaat. De verwachting is dat door gebruikers een zekere mate van controle over het systeem te gunnen, de acceptatie van het dynamisch binnenklimaat wordt vergroot en daarmee kunnen de energiebesparingen van een dynamisch binnenklimaat in de praktijk beter worden gerealiseerd. Recent onderzoek laat zien dat thermisch comfort en thermofysiologie afhangen van de lichtconditie (lichtkleur) en vice versa. Dit betekent dat thermisch discomfort gedeeltelijk kan worden gecompenseerd door veranderingen in lichtcondities die het visuele comfort verbeteren.

PERDYNKA richt zich op de vraag in welke mate de individuele aansturing van LED-licht en omgevingstemperatuur het energiegebruik nodig voor verwarming of koeling gunstig zal beïnvloeden en hoe dit vertaald kan worden in concrete

installatieconcepten en innovatieve 'personal dynamic workplace systems'. Bovendien wordt het concept onderzocht op de positieve effecten op tevredenheid met de werkplek, motivatie en vigilantie en indirect op productiviteit. De projectaanpak richt zich op twee aspecten: het verminderen van het energiegebruik én het verbeteren van de gezondheid en welzijn.

### Doelstelling

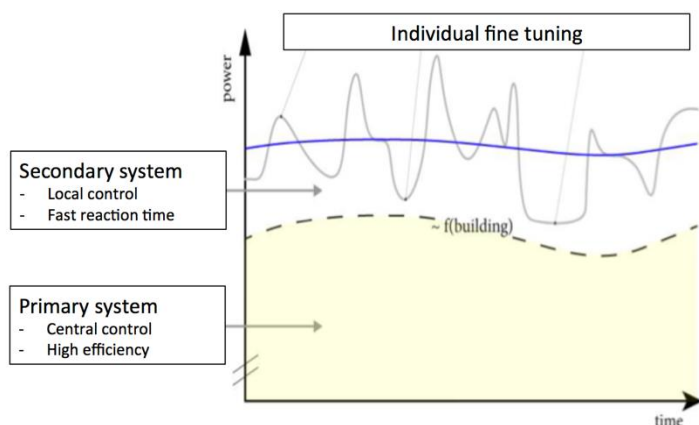
PERDYNKA richt zich op het realiseren van een optimaal persoonlijk instelbaar dynamisch binnenklimaat in kantoren, d.w.z. een zelf instelbare combinatie van dynamisch licht en dynamische binnentemperatuur over de dag die zorgt voor een gezonde en productieve kantooromgeving en daarmee tevens een extra energiebesparing realiseert van 5 % ten opzichte van een centraal geregeld dynamisch binnenklimaat en van 20% t.o.v. een traditioneel geklimatiseerd kantoor. Succes en adoptie van intelligente systemen valt of staat met gebruikersacceptatie. Minstens zo belangrijk als het realiseren van een innovatief regelsysteem is daarom de aandacht voor ervaren controle en comfort door de gebruiker. Deze staan centraal in het huidige project. PERDYNKA richt zich nadrukkelijk op individuele regeling (secundair systeem) van zowel licht als temperatuur gesupponeerd op een regeling van dynamisch omgevingslicht en omgevingstemperatuur (primair systeem). PERDYNKA levert daarmee nuttige kennis over individuele instellingen en bandbreedtes en hoe die (dynamisch) te kiezen t.o.v. de door het systeem over de tijd gekozen instellingen.

### Werkwijze

Voor realisering van de doelstellingen heeft het onderzoek zich gericht op en zal het vervolg van het onderzoek (binnen DYNKA) zich richten op:

1. Onderzoek naar afstemming van persoonlijk instelbare dynamische licht en temperatuurcondities. Dit wordt onderzocht in experimentele laboratoriumomstandigheden. Daarbij wordt uitgegaan van een centraal geregeld dynamisch omgevingsbinnenklimaat en een individuele naregeling (temperatuur en/of licht).
2. Ontwikkeling van een lokaal individueel regelbaar verwarming- en ventilatie-systeem en een ontwikkeling van een lokaal lichtstelsel, waarbij intensiteit en lichtkleur kunnen worden geregeld. Voor onderzoeksdoeleinden is daaraan gekoppeld een monitoringssysteem met de benodigde sensoriek.
3. Validatie in Real Life Living Lab (RLL)-omstandigheden. Hiervoor is het Atlas gebouw van de TUE beschikbaar. Dit resulteert in een toetsing en monitoring van het persoonlijke dynamische klimaatconcept in een praktijkproject en levert een set van bouwfysische en installatietechnische eisen op voor een optimaal gezond, productief en acceptabel binnenklimaat.
4. Tenslotte levert dit het besparings- en marktpotentieel op, resulterend in een voorstel voor standaardisatie en productontwikkeling. Er zijn veldtesten uitgevoerd in een kantooromgeving bij Qeske, Kerkrade. De berekeningen voor de energiebesparingen van het dynamisch binnenklimaat zijn gebaseerd op metingen in het gebouw van Qeske.

De projectaanpak en het werkplan vinden plaats in nauwe samenhang met het TKI-project DYNKA. In PERDYNKA worden, bovenop de 'opgelegde' ontwikkelde dynamische temperatuur en lichtprofielen (primary system) voor de omgevingscondities, individuele variaties en regelmogelijkheden aangeboden voor individuele gebruikers binnen bepaalde bandbreedtes (secondary system; Figuur 1). Door de samenwerking tussen de onderzoekers van DYNKA en PERDYNKA is een optimale synergie tussen beide projecten bereikt.



Figuur 1. Centrale regeling en individuele regelmogelijkheden voor individuele gebruikers.

## RESULTATEN

### Werkpakket1. Gebruikersaspecten – regelgedrag m.b.t. licht en temperatuur

#### Literatuuronderzoek. Effectiviteit van individuele comfort systemen.

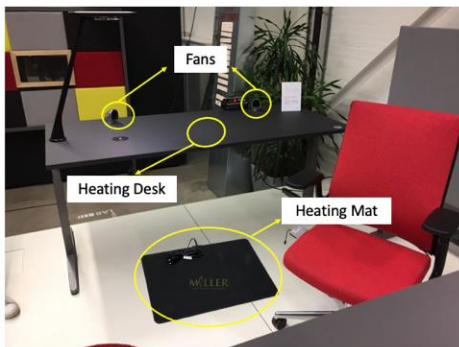
Allereerst heeft een uitgebreid literatuuronderzoek plaatsgevonden naar de effectiviteit en comfort van individuele comfort systemen ('personal comfort system' – PCS). Het onderzoek richtte zich op welke lichaamsdelen het meest effectief zijn om te verwarmen dan wel te koelen. Tevens is er aandacht geweest voor lokale effecten waarbij de metabole gezondheidseffecten van een dynamisch omgevingsbinnenklimaat gehandhaafd kunnen blijven. De belangrijkste bevindingen zijn dat de verdeling van lokaal thermisch discomfort een belangrijke rol speelt in de effectiviteit van een PCS en dat het elimineren van lokaal thermisch ongemak het meest effectief is. Het onderzoek geeft aan dat een PCS in een koude omgeving het meest effectief is door te richten op de oncomfortabele lichaamsdelen. In de praktijk voldoet het verwarmen van onderarmen, handen en voeten het beste. In een warme omgeving is dit minder strikt noodzakelijk en kan indirecte koeling ook effectief zijn. Daarbij is koeling d.m.v. ventilatie van het hoofd de meest aangewezen methode. Op deze wijzen worden de gezondheidseffecten en de energiebesparingen van het dynamisch binnenklimaat optimaal benut met behoud van individueel comfort. Tenslotte liet het onderzoek zien dat een vast ingestelde lokale klimaatbeheersing relatief inefficiënt is. Veel effectiever zijn controles op individueel niveau of een model-based automatische regeling. Het onderzoek is beschreven in een artikel en is ingediend bij een internationaal wetenschappelijk tijdschrift. Na acceptatie zal het worden bijgevoegd aan dit rapport.

#### Laboratoriumonderzoek Individuele temperatuurregeling:

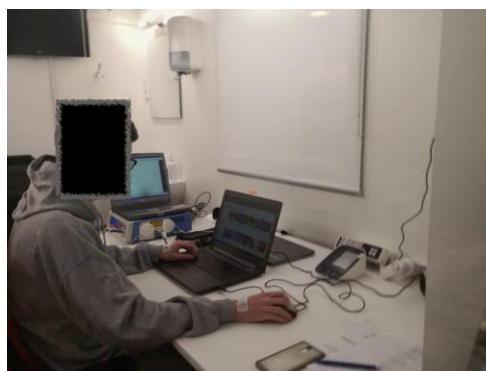
##### Regelgedrag, fysiologie en gezondheid, psychologische variabelen (o.a. comfort en alertheid)

Een uitgebreide studie naar het gebruik van het PCS is uitgevoerd onder laboratoriumomstandigheden in de klimaat/respiratiekamers Maastricht (MRUM - Metabolic Reseach Unit Maastricht). Het doel van het onderzoek was het effect van een PCS te onderzoeken op thermisch comfort, thermo-fysiologische parameters en cognitieve prestaties bij een dynamische omgevingstemperatuur. Het dynamisch binnenklimaat is opgesteld aan de hand van de ervaring die is opgedaan met een studie binnen het DYNKA project. In deze cross-over klimaatkamer-studie bij 16 proefpersonen is een vaste omgevingstemperatuur (21 °C) vergeleken met een dynamisch binnenklimaat (17-25 °C) tijdens de metingen. Elke proefpersoon onderging telkens twee volledige kantoor dagen met één conditie per dag. De resultaten laten zien dat de energie-stofwisseling van de proefpersonen 's morgens hoger was tijdens de driftsessie, wat gepaard ging met een toename van het activiteitsniveau. Zowel drift- als vaste sessies werden als comfortabel beoordeeld. De resultaten geven aan dat een variabele omgevingstemperatuur in de praktijk kan worden toegepast en daarmee kan bijdragen aan een gezondere en duurzamere gebouwde omgeving. Deze studie is afgerond en recentelijk gepubliceerd (Ivanova et al. Physiology&Behavior 2020).

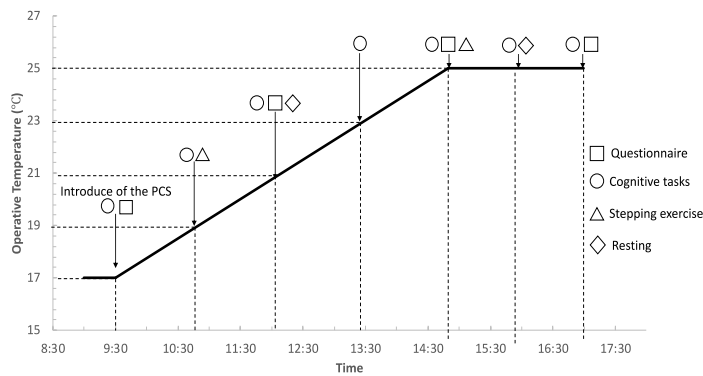
Voor PERDYNKA is een cross-over studie uitgevoerd met 18 proefpersonen die werden blootgesteld eenmaal aan een kantoor dag met dynamische omgevingstemperatuur zonder en eenmaal met PCS. De variatie in temperatuur was van 17 tot 25 °C (Figuur 2). Gemeten werden thermo-fysiologische parameters, subjectieve perceptie, cognitieve prestaties en het controlegedrag. Ondanks de stop op de metingen door COVID19 zijn recentelijk toch alle metingen afgerond. De voorlopige resultaten op een deel van de proefpersonen laten zien dat het PCS het thermisch comfort in dynamische condities van 17-25 °C, significant verbetert (Figuur 3A). Interessant is dat de effectiviteit van de dynamische temperatuurcondities op de temperatuurverdeling van het lichaam niet verandert en daarmee de gezonde stimulus van deze dynamiek op de gezondheid gehandhaafd blijft bij gebruik van het PCS. De voorlopige resultaten laten ook een verbetering van de cognitieve prestaties bij enkele testen zien, met name bij de hogere omgevingstemperaturen (Figuur 3B).



A. Personal comfort system

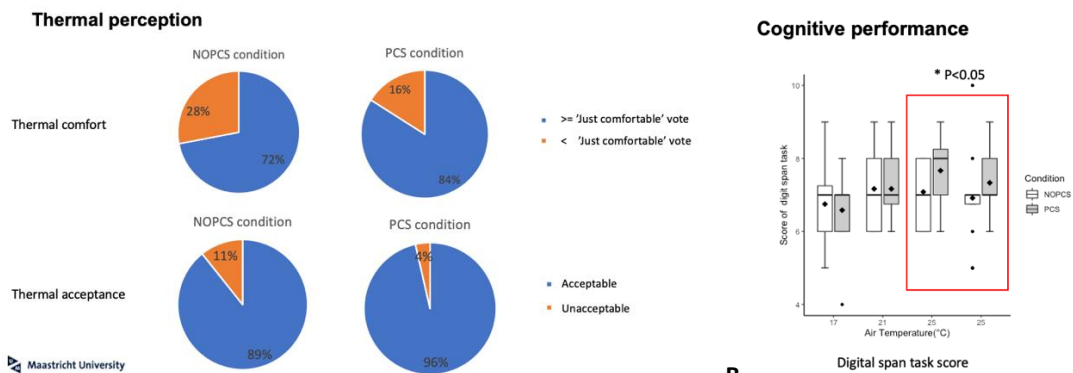


B.



C.

Figuur 2. A. Het gebruikte PCS. B. Meting in de respiratie/klimaatkamer. C. Het protocol voor de opgelegde dynamische omgevingstemperatuur.



A.

B.

Figuur 3. Voorlopige resultaten van onderzoek naar PCS. A. Thermisch comfort en thermische acceptatie met en zonder PCS. B. Cognitieve prestatie bij de 'digitalspan task score'.

### Laboratoriumonderzoek. Interactie licht en temperatuur perceptie:

In het kader van het project DYNKA zijn twee cross-over laboratoriumonderzoeken uitgevoerd in de klimaatkamer bij de Technische Universiteit Eindhoven. Het doel van deze studies was het testen van de effecten van veranderingen in het licht (zowel lichtintensiteit als kleurtemperatuur) op, onder andere, visuele en thermisch ervaringen. De eerste studie werd uitgevoerd in een thermoneutrale omgeving met 38 proefpersonen, de tweede in een mild koude omgeving met 23 proefpersonen. De data van deze twee studies zijn gecombineerd en geven inzicht in de interactie-effecten tussen licht en temperatuur (Kompier, Smolders, & de Kort, 2020). De resultaten lieten zien dat veranderingen in het licht met name de visuele ervaring beïnvloeden, en dat de verschillen in temperatuur ook resulteerden in verschillende temperatuur ervaringen. Daarnaast vonden we een significante positieve correlatie tussen visueel en thermisch comfort, indicatief voor de mogelijkheid om, ondanks de afwezigheid van directe cross-modale effecten, via veranderingen in het licht de thermische ervaring te beïnvloeden. Belangrijk inzicht is bovendien dat hoger comfort alleen te verkrijgen is middels persoonlijke controle, omdat voorkeuren voor met name lichtintensiteit zeer sterk uiteenlopen tussen individuen. De inzichten uit deze studies hebben mede bijgedragen aan het ontwerp van de nieuwe lab-studie die momenteel in voorbereiding is.

### Laboratoriumonderzoek. Individuele licht-regeling.

#### Regelgedrag, fysiologie en gezondheid, psychologische variabelen (o.a. comfort en alertheid)

Een testprotocol voor individuele lichtcontrole in een dynamisch binnenklimaat is opgesteld en de verwachting is dat begin 2021 de studie hiernaar wordt gestart. Het protocol zal bij constante (lage) temperatuur een PCS voor lichtintensiteit en lichtkleur wordt ingezet dat is ontwikkeld door het PERDYNKA -consortium met speciaal door Signify ontwikkelde LED-licht systemen.

### Ontwikkeling van lokaal regelbaar verwarmings- en ventilatie-systeem

Voor bovengenoemde studies en uitwerking voor kantoren is een lokaal regelbaar verwarmings- en ventilatiesysteem ontwikkeld. Daarbij is gebruik gemaakt van het recentelijk door Ahrend ontwikkeld bureau met opties voor de regeling van lokale verwarming en ventilatie. Daaraan is toegevoegd een universeel en regelbaar voetenverwarmingssysteem. Dit systeem is vervolgens uitgerust met een monitoringsysteem dat is ontwikkeld samen met de consortiumpartner Almende. Hiermee is de bovengenoemde cross-over studie naar het gebruik van het temperatuur PCS uitgevoerd.

Het binnen PERDYNKA ontwikkelde monitoringsysteem is universeel toepasbaar en werkt op basis van het herkennen van gebruikersinstellingen van apparatuur door middel van het monitoren van het stroomverbruik van die apparatuur. Hierbij is gebruik gemaakt van de Crownstone-technologie van een dochterbedrijf van Almende. Voor toepassing van het systeem

is minimale integratie met de gebruikte verwarmings- of ventilatie-apparatuur vereist. Uiteraard is voor iedere situatie wel inregeling van de software nodig. Voor de PERDYNKA studies waren 3 instellingsniveaus voor het voetenverwarmingssysteem benodigd. Ook het verwarmings- en ventilatiesysteem kenden beide 3 instellingsniveaus. Met een getraind classificatiemodel dat de inkomende data over het stroomverbruik verwerkt en als output de juiste instellingsniveaus geeft, konden we in zeer korte tijd 100% accuraatheid bewerkstelligen. Het in PERDYNKA ontwikkelde monitoringssysteem kan eenvoudig worden geïntegreerd in een volwassen kantoortoepassing voor geautomatiseerde gepersonaliseerde controle op basis van gebruikersprofielen en voorspellingen.

### **Ontwikkeling van lokaal regelbaar LED-licht kantoorstelsel**

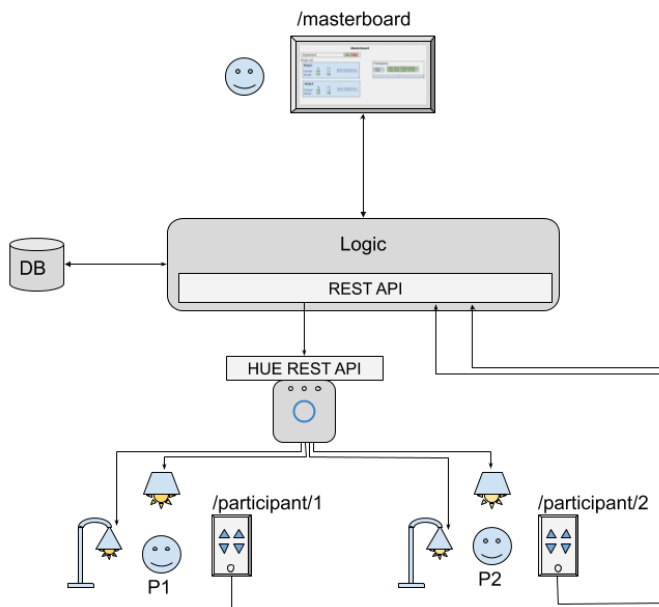
In nauwe samenwerking met het project DYNKA is een LED-lichtpaneel voor kantoren ontwikkeld voor goede en gezonde lichtcondities in een moderne kantooromgeving. Dit systeem is ontwikkeld door Signify en is getest in een real life living lab situatie in het TUE gebouw Atlas bij 30 vrijwilligers. In samenwerking met Almende is voor PERDYNKA het systeem voorzien van een regel- en monitoringsmodule, in eerste instantie voor gebruik in de klimaat/respiratiekamers van MRUM (Maastricht). Tevens is door Signify en Almende een regelmodule ontwikkeld en geïnstalleerd voor gecontroleerde achtergrondverlichting in de respiratiekamers. Een protocol voor de studie naar gedrag en fysiologie van individuele licht controle in een dynamisch binnenklimaat is opgesteld voor indiening bij de Medisch Ethische Commissie en de verwachting is dat begin 2021 de studie hiernaar wordt gestart.

Het lichtstelsel van Signify voor de respiratie kamers bestaat uit een verticaal en horizontaal licht systeem, beiden Hue Aurelle armaturen, zodat de hoeveelheid licht in het oog en het contrast met de omgeving ingesteld kan worden. Dit lichtstelsel bestaat enerzijds uit een commerciële lichtinstallatie aan het plafond en anderzijds een speciaal ontwikkeld paneel gemonteerd op de bureaus om maximaal licht in het oog te krijgen (Figuur 4). Via een gedefinieerde interface heeft Almende de mogelijkheid om het commerciële systeem aan te sturen en via een andere interface de panelen op de bureaus aan te sturen. Hierdoor bestaat er maximale vrijheid bij het instellen van de juiste lichtwaardes, zowel horizontaal als verticaal. Signify heeft een interface ter beschikking gesteld aan Almende waardoor Almende controle heeft over het hele systeem.



Figuur4. De Hue Aurelle zoals gemonteerd op de bureaus. Hier in de 6 wekend durende studie in het gebouw Atlas.

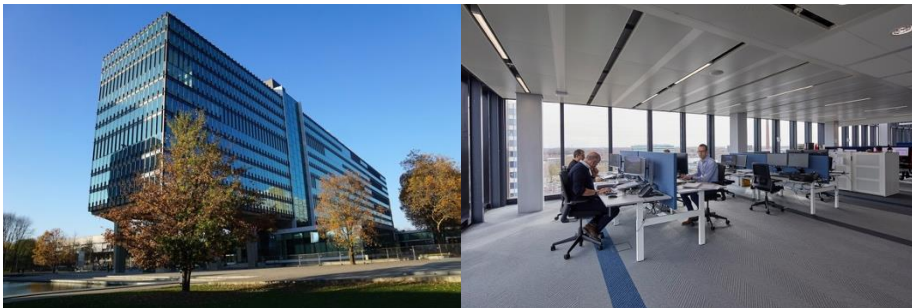
De door Almende ontwikkelde regelmodule (Figuur 5) is bedoeld om het onderzoek naar gedrag en fysiologie van individuele lichtcontrole te faciliteren. In een dashboard voor de onderzoeker kunnen verschillende groepen gebruikers worden geconfigureerd en per groep de instellingen en beperkingen voor het regelen van intensiteit en kleurtemperatuur worden aangepast. Tijdens een experiment worden eindgebruikers voorzien van een zeer eenvoudige minimalistische interface om intensiteit en kleurtemperatuur van “hun” verlichting in te stellen. Het systeem monitort iedere verandering en past de verlichting op basis van de instellingen in het dashboard aan. Alle veranderingen en wijzigingen worden bijgehouden voor onderzoeksdoeleinden in een time series database.



Figuur 5: Architectuur van de Almende - HUE regelmodule

### Werkpakket 2. Implementatie van de persoonlijk dynamische klimaatbeheersing in real life living lab

Binnen het project DYNKA is een 6 weken durende studie uitgevoerd naar dynamische licht- en temperatuurcondities in real life living lab (RLLL) situatie in het Atlas gebouw (Figuur 6) bij 30 vrijwilligers.



Figuur 6. Het Atlas gebouw.

Participanten zijn ieder voor twee weken aan drie verschillende condities blootgesteld. Deze condities verschilden in timing en hoogte van de lichtblootstelling. De lichtblootstelling werd gerealiseerd door middel van aanpassingen van de instellingen van de Hue Aurelle en de plafondverlichting in het Atlas gebouw. De studie heeft veel data opgeleverd en deze wordt momenteel geanalyseerd. De eerste tentatieve analyses van de data laten zien dat de verschillende lichtinstellingen, ondanks verschillen in de visuele sensatie van de felheid van het licht, gelijk gewaardeerd werden door de deelnemers wat betreft het visuele comfort. Genoteerd moet worden dat hierbij nog geen individuele controle werd aangeboden. Op basis van de uitkomsten van bovengenoemde studies is de verwachting dat het zelf kunnen aanpassen van intensiteit danwel kleurtemperatuur positief zal ingrijpen op visueel comfort en – langs deze weg – ook op thermisch comfort. De toepassing van de Hue Aurelle panelen op de bureaus van participanten werd in het algemeen zeer gewaardeerd.

Een RLLL meting voor gebruik van het PERDYNKA individuele regelsysteem is afhankelijk van de COVID situatie komend jaar.

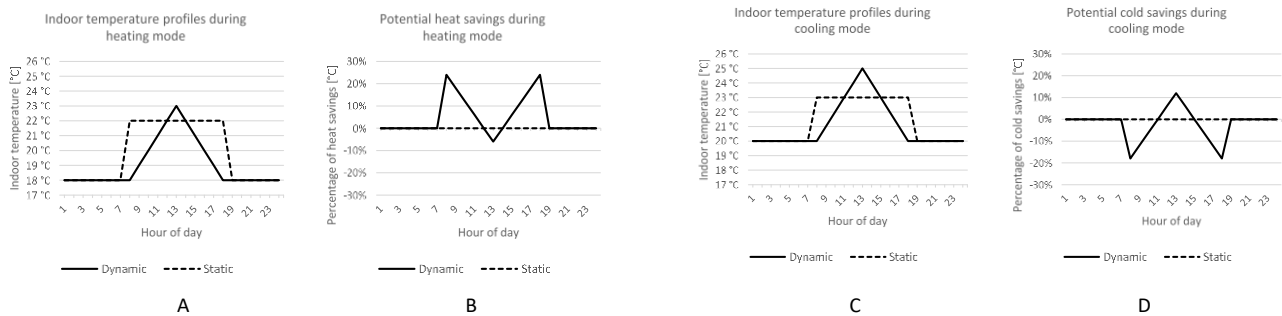
### Werkpakket 3. Toepassingspotentieel – energiebesparing, en product en markt

Op hoofdlijnen is de energiebesparing bepaald voor een drifting indoor temperatuur vergeleken met een constante binnentemperatuur. Daartoe hebben we een aanname gedaan voor het onderstaande energieprofielen voor verwarmen (winter) en koelen (zomer).

Voor kantoorbebouw van Qeske te Heerlen (Figuur 7) waar gedurende twee weken metingen zijn verricht, zijn deze twee situaties (Figuur 8) doorgerekend.



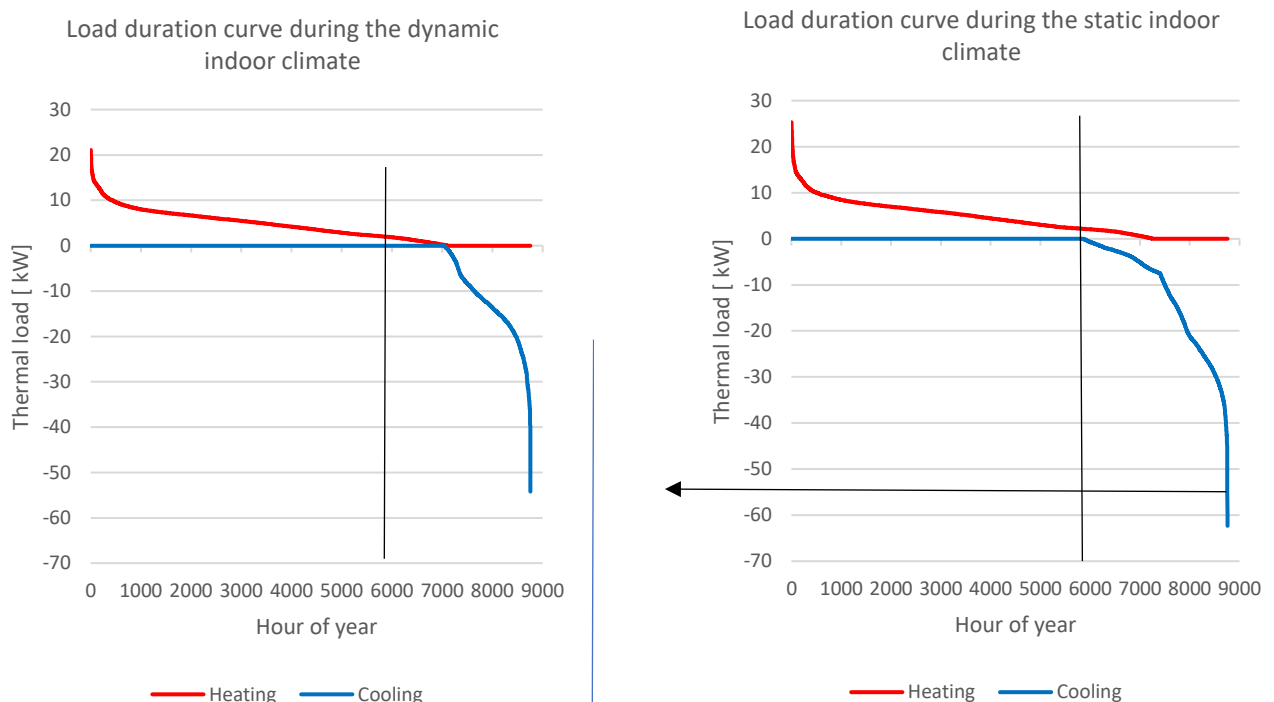
Figuur 7. Overzichtsfoto van het gebouw van Qeske. Op de tweede verdieping zijn de metingen verricht..



Figuur 8. A: Dynamische binnentemperatuur voor verwarmen (winter); B: uurlijks procentueel besparingspotentieel voor verwarmen; C: Dynamische binnentemperatuur voor koelen (zomer); D: uurlijks procentueel besparingspotentieel voor koelen

Het verschil in binnentemperatuur heeft vooral effect op de warmteverliezen van het gebouw waaronder transmissie, ventilatie en infiltratie. In de navolgende energie berekening is voor het buitenklimaat de uur waarden van het referentiejaar NEN 5060 aangehouden.

De resultaten staan in de onderstaande belasting-duurcurves (Figuur 9). Hierin staan de gevraagde uurlijkse warmte en koudevermogens voor klimatisering over een jaar gerangschikt naar grootte.



Figuur 9. De belasting-duurcurves voor het kantoor Qeske voor een constant en een dynamisch binnenklimaat. Het oppervlakte onder de curve tov de x-as is een maat voor de energiebesparing.

De resultaten geven aan dat bij een dynamisch binnenklimaat, vergeleken met een constant binnenklimaat:

- De vorm van de curve is ongewijzigd
- De uren waar het verwarmingsvermogen naar nul gaat gering daalt. De curve is in zijn geheel marginaal dichter bij de x-as komen te liggen.



- De curve voor het koelvermogen is naar recht verschoven waardoor de oppervlakte onder de curve kleiner wordt wat een maat is voor de energiebesparing.
- Het maximum koelvermogen is met ca. 15% gedaald

### Energiebesparing

Het toepassen van een dynamisch binnenklimaat verlaagt de energievraag voor de klimatisering voor ca. 20%. Dit is onderverdeeld in 7% van de verwarmingsenergie en 35% van de koelenergie.

Dit resultaat is gebaseerd op een vereenvoudigde toepassing van het dynamisch binnenklimaat.

De voornaamste oorzaak van de energiebesparing is dat de drifting indoor temperatuur eenzelfde verloopt vertoont als de buitentemperatuur. In de winter is de drift van de buitentemperatuur meestal beperkt tot enkele graden. In de zomer kan de drift wel 10-15K bedragen. De warmte- en koude-vraag dalen daardoor. Bij warmte verhoudingsgewijs minder dan bij koeling.

Op basis van de resultaten van de laboratoriumexperimenten die al zijn uitgevoerd, de Personal comfort system experimenten die volgen en de metingen in RLLL (Atlas) zal in de komende periode een uitgebreidere berekening van de energiebesparing voor markttoepassing worden gemaakt. Hiervoor zullen diverse klimatiseringsconcepten worden besproken die hier logischerwijs bij passen. Rekening wordt gehouden met consequenties voor de wensen van de indeelbaarheid van kantoorgebouwen. Tevens zal een scenario voor verdere productontwikkeling en materialisatie van het PCS systeem worden opgesteld en een toolbox worden ontwikkeld voor het ontwerpen van een persoonlijk dynamisch licht- en temperatuursysteem voor kantoren. Dit zal gebeuren in de context van DYNKA in de komende twee jaar.

### Discussie

Over het geheel genomen, gezien de effectieve tijd dat aan het project kon worden gewerkt (kort project van 2 jaar, tijd nodig om onderzoeker te rekruteren, half jaar geen metingen door COVID 19) is veel onderzocht, ontwikkeld en gemeten. De resultaten zijn veelbelovend, gezien de verhoogde acceptatie van een dynamisch binnenklimaat met behulp van een PCS zonder verlies van gezondheid en met energiebesparingspotentieel ten opzichte van een opgelegd dynamisch profiel. Dit zal verder worden uitgewerkt in de komende twee jaar binnen het project DYNKA, waarbij speciale aandacht zal worden gegeven aan onderzoek naar PCS voor licht en de interactie van licht en temperatuur. Op basis van die additionele informatie zal vervolgens het marktpotentieel worden uitgewerkt en beschreven.

### Dissiminatie/publicaties

#### Oral presentations

- Luo W. Personal Comfort Systems and Moderately Drifting Temperatures. ThermoNed, Maastricht, 21 Feb 2020
- Luo W., Kramer R., de Kort Y., Rens, P., van Marken Lichtenbelt W. The Effects of Personal Comfort Systems on Thermal Comfort, Cognitive Performance and Thermo-physiology in Moderately Drifting Temperatures 404, TWR Workplace conference, Frankfurt, 16-19 Sep 2020
- van Marken Lichtenbelt W. Comfort and/or Health. Plenary speech, Healthy Buildings Asia, Changsha, China. 22-25 Oct 2019
- te Kulve M., Schlangen L., van Marken Lichtenbelt W. Interactions between morning light conditions, body temperature, thermal comfort, and reaction time, ICEE, Amsterdam, 7-12 Jun 2019

#### Proceedings:

- Luo W., Kramer R., de Kort Y., Rens, P., van Marken Lichtenbelt W. The Effects of Personal Comfort Systems on Thermal Comfort, Cognitive Performance and Thermo-physiology in Moderately Drifting Temperatures. TWR Workplace conference, Frankfurt, 16-19 Sep 2020
- Kompier, M. E., Smolders, K. C. H. J., & de Kort, Y. A. W. (2020). Effects of light and ambient temperature on visual and thermal appraisals. In Windsor 2020. Resilient Comfort. (pp. 968–979).

#### WI-1 publications

- Kompier M., Smolders K., van Marken Lichtenbelt W., de Kort Y. Effects of light transitions on measures of alertness, arousal and comfort, *Physiol Behav*, 223, pp 112999, (2020)
- Ivanova Y., Pallubinsky H., Kramer R., van Marken Lichtenbelt W. The influence of a moderate temperature drift on thermal physiology and perception
- Kompier, M. E., Smolders, K. C. H. J., & de Kort, Y. A. W. (2020a). Abrupt light transitions in illuminance and CCT result in different temporal dynamics and interindividual variability for sensation, comfort and alertness. Preprint available at <https://doi.org/10.1101/2020.11.19.389593>

#### Submitted for publication

- Luo W., Kramer R., de Kort Y., van Marken Lichtenbelt W. Effectiveness of personal comfort systems on whole-body thermal comfort – a systematic review on which body segments to target

## ENIGE OPMERKINGEN BIJ DE UITVOERING VAN HET PROJECT

*De problemen (technisch en organisatorisch) die zich tijdens het project hebben voorgedaan en de wijze waarop deze problemen zijn opgelost*

PERDYNKA is een kort (2 jaar) TKI-toeslag project met een evidente link met het project DYNKA (4 jaar). De onderzoekers en promovendi zijn aangesteld met overlap binnen beide projecten zoals ook in het projectvoorstel is beschreven. PERDYNKA gaat over het individuele controlesysteem dat aansluit op het dynamisch binnenklimaat dat wordt ontwikkeld en getest in DYNKA.

De aanstelling van de promovendi heeft tijd gekost waardoor het feitelijk onderzoek van PERDYNKA vertraging heeft opgelopen. Ten tweede hebben de maatregelen omtrent COVID-19 ervoor gezorgd dat 6 maanden niet gemeten kon worden en dat veldwerk nog altijd verhinderd is. Daardoor heeft PERDYNKA al met al vertraging opgelopen. Deels kan dit worden opgevangen door het project DYNKA. Wel is het noodzakelijk verlenging van DYNKA aan te vragen, hetgeen gepland is in het voorjaar 2021. Voor een deel is de tijd waarin niet gemeten kon worden nuttig besteed aan literatuuronderzoek, het ontwikkelen van nieuwe apparatuur en regelingen en tenslotte voor het opstellen van nieuwe studieprotocollen.

*Toelichting op wijzigingen ten opzichte van het projectplan*

Als gevolg van de vertraging hierboven zijn binnen PERDYNKA nog geen berekeningen gemaakt betreffende de actuele energiebesparing van PCS's en daarbij horende te ontwikkelen klimatiseringsconcepten. Ook beschrijvingen betreffende het product en marktpotentieel zijn er nog niet. Deze zullen volgen in de komende twee jaar binnen het project DYNKA. Deze link met DYNKA was in feite al in de planning, zoals in het projectplan PERDYNKA te lezen is. De individuele regeling draagt dusdanig bij aan de acceptatie van en het dynamisch klimaatconcept dat ze niet los van elkaar gezien kunnen worden.