Auteurs Thoen, H.[1], Roelofsen, P.[2], Mishra, A.[1], Loomans, M.[1], Hoes, P.[1], Hensen, J.[1]

1. Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven
2. BAM Energy Systems, Bunnik

Monitoren van werknemersproductiviteit in kantoren

Ongeveer 25% van alle werkenden in Nederland werkt in een kantooromgeving [1]. Het realiseren van een stimulerende werkomgeving in kantoorgebouwen is daarom essentieel. Tegenwoordig zien ook steeds meer werkgevers het belang van een goed binnenklimaat voor een succesvolle organisatie. Kleine veranderingen in productiviteit kunnen immers een significant effect hebben op de totale bedrijfskosten. Moderne technologiën bieden mogelijkheden voor het beheersen van deze productiviteit, maar ondanks alle onderzoeken die zijn gedaan op dit gebied, wordt de beschikbare kennis nog niet zondermeer ingezet voor investeringsbeslissingen in de praktijk. In deze studie is de beschikbare kennis toegepast op in gebruik-zijnde kantoorgebouwen en is de economische haalbaarheid van investeringen in het binnenklimaat in kaart gebracht.

Momenteel wordt er veel aandacht besteed aan het monitoren van het binnenklimaat in gebouwen. Uitgangspunt hierbij is vaak het comfort van de gebruiker. Echter, in kantoren is naast het comfort de prestatie van werknemers van belang. Ondanks dat deze prestatie afhankelijk is van diverse factoren (sociale omgeving, organisatorische structuur, binnenklimaat en persoonlijke kenmerken [2]), wijst onderzoek in kantoorgebouwen uit dat het binnenklimaat de belangrijkste factor is [3]. Personeelskosten (inclusief salarissen, extra's en verzekeringen) omvatten een groot deel van de totale bedrijfskosten [4]. Hierdoor kunnen kleine veranderingen in de productiviteit van werknemers significante financiële gevolgen hebben voor werkgevers [5]. In deze studie is een methode ontwikkeld om de invloed van het binnenklimaat op de productiviteit van werknemers vast te stellen en te bepalen welke ontwerpparameters de meeste invloed hebben.

Methode

Om de mogelijkheden voor het monitoren van het binnenklimaat voor een goede werknemersproductiviteit te onderzoeken, is een veldstudie gedaan in twee typen kantoren. In beide gebouwen is gedurende twee seizoenen het binnenklimaat (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en CO_2-concentratie) gemeten met behulp van sensoren. Daarnaast zijn gedurende een week de overige parameters (luchttemperatuur, stralingstemperatuur en luchtsnelheid) gemeten. Naast deze objectieve gegevens, zijn ook subjectieve gegevens van werknemers in de betreffende kantoorgebouwen verzameld. Door deze subjectieve gegevens te vergelijken met de objectieve gegevens, is vastgesteld in hoeverre de bestaande kennis uit de literatuur over de relatie tussen binnenklimaat en productiviteit toepasbaar is.

Beoordelingsmethode

Sinds 1990 is er veel aandacht besteed aan de invloed van de werkomgeving op de productiviteit van werknemers. In 2006 is dit effect voor het eerst inzichtelijk gemaakt door een literatuurstudie van Seppänen [6]. In deze studie is de relatie tussen luchttemperatuur en productiviteit bepaald op basis van een aantal laboratorium- en veldstudies. Deze relatie heeft aangetoond dat de werkomgeving een grote invloed heeft op de gezondheid en prestaties van gebruikers en heeft daarmee de basis gelegd voor de REHVA-publicatie 'Binnenklimaat en productiviteit in kantoren' [5].

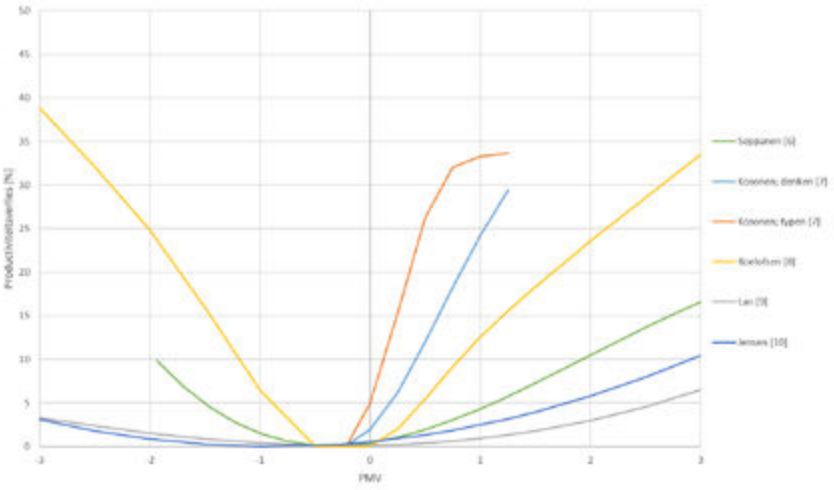
Na de uitgave van deze REHVA-publicatie zijn nog veel meer onderzoeken uitgevoerd om de relatie tussen het binnenklimaat en de productiviteit te bepalen. Een aantal toonaangevende studies, waarin de relatie tussen binnenklimaat en productiviteit zijn onderzocht, zijn weergegeven in figuur 1 en 2.

Temperatuur

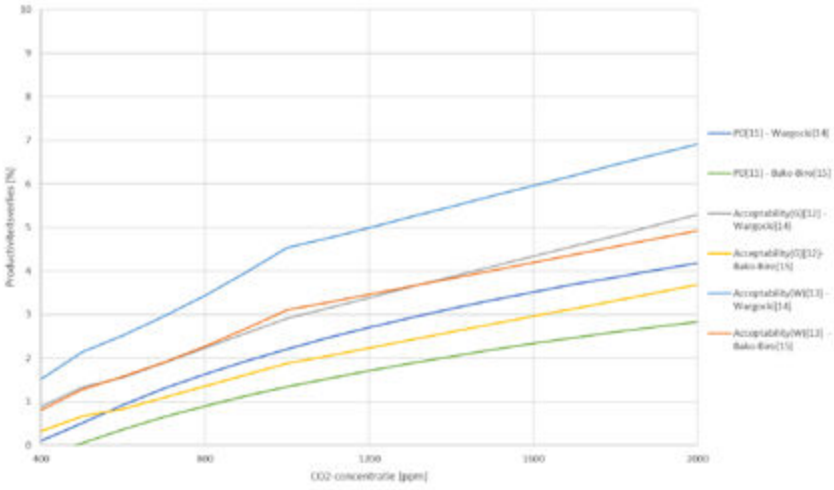
Figuur 1 geeft de relatie tussen Predicted Mean Vote (PMV) en productiviteitsverlies weer. Ondanks de bekendheid van de studie van Seppänen [6] is dit model beperkt in gebruik, omdat het enkel gebaseerd is op de luchttemperatuur. Om de resultaten van dit onderzoek met de andere onderzoeken te kunnen vergelijken is het model van Seppänen omgezet in PMV door aannamen te doen die representatief zijn voor kantoren. Zoals de figuur laat zien, lopen de resultaten van de onderzoeken sterk uiteen. In de eerder uitgevoerde studies (Kosonen [7] en Roelofsen [8]) heeft de temperatuur meer invloed op de productiviteit dan in de studies die later zijn uitgevoerd (Lan [9] en Jensen [10]). De formule van Lan is zelfs bijna ongevoelig voor temperatuurveranderingen. De gemiddelde gewogen lijn van Seppänen toont ook in deze grafiek een gemiddelde waarde ten opzichte van de andere onderzoeken.

Luchtkwaliteit

Figuur 2 geeft de relatie tussen CO_2-concentratie en productiviteitsverlies weer. Een veelgebruikte methode om het Percentage Dissatisfied (PD) uit de CO_2-concentratie te berekenen, is door middel van een gestandaardiseerde vergelijking uit NPR-CR 1752 [11]. Een andere manier is door middel van de tussenstap 'Acceptatie', waarvan de relatie in 1992 is bepaald door Gunnarsen [12] en later ook door Wargocki [13]. Uit studies naar luchtverontreiniging door middel van een oud tapijt [14] en computers [15] is vastgesteld dat elke 10% afname van PD (tussen 25 en 70%) in een productiviteitsverbetering van 0,8-1,1% resulteert.



Figuur 1: *Relatie tussen PMV en productiviteitsverlies.*



Figuur 2: *Relatie tussen CO_2-concentratie en productiviteitsverlies.*

Naast bovenstaande methoden kan de luchtkwaliteit uitgedrukt worden in 'Freshness'. Deze frisheid is afhankelijk van de temperatuur, luchtvochtigheid en CO_2-concentratie, waarbij temperatuur de belangrijkste factor is [8].

Gecombineerd binnenklimaat

Veel studies onderzoeken slechts één parameter van het binnenklimaat. Om het totale productiviteitsverlies te kunnen bepalen zullen de resultaten van meerdere parameters gecombineerd moeten worden. Er is echter nog weinig bekend over het gecombineerde effect van deze factoren (temperatuur en luchtkwaliteit). In de literatuur zijn de volgende twee methoden beschreven:

1. Het gecombineerde effect ligt tussen de grootste van beide parameters en de som van de afzonderlijke parameters (REHVA [5]).
2. Het gecombineerde effect ligt tussen het gemiddelde en de grootste van beide parameters (Dai en Lan [16]).

Van bovenstaande methoden kan geconstateerd worden dat de eerste altijd een lagere productiviteit oplevert dan de tweede. Daarnaast moet worden

Ruimte		Temperatuur [°C]	Relatieve lucht-vochtigheid [%]	CO_2-concentratie [ppm]	PMV classificatie
Gebouw A	Ruimte 1	22,5	51	411	B
	Ruimte 2	23,7	48	525	B
	Ruimte 3	22,9	50	520	B
	Ruimte 4	21,7	54	508	C
	Ruimte 5	21,9	53	465	C
	Gemiddeld	22,5	51	486	
Gebouw B	Ruimte 1	23,3	51	516	B
	Ruimte 2	21,6	53	457	C
	Ruimte 3	22	51	484	C
	Ruimte 4	22	51	471	C
	Ruimte 5	21,9	52	580	C
	Ruimte 6	23,1	48	436	B
	Gemiddeld	22,3	51	491	

Tabel 1: *Meetdata sensoren, mediaan.*

opgemerkt dat wanneer het grootste effect op de luchtkwaliteit veroorzaakt wordt door temperatuur (freshness) en niet door CO_2-concentratie, dit effect niet zonder meer kan worden opgeteld bij het effect van thermisch comfort.

Resultaten veldstudie

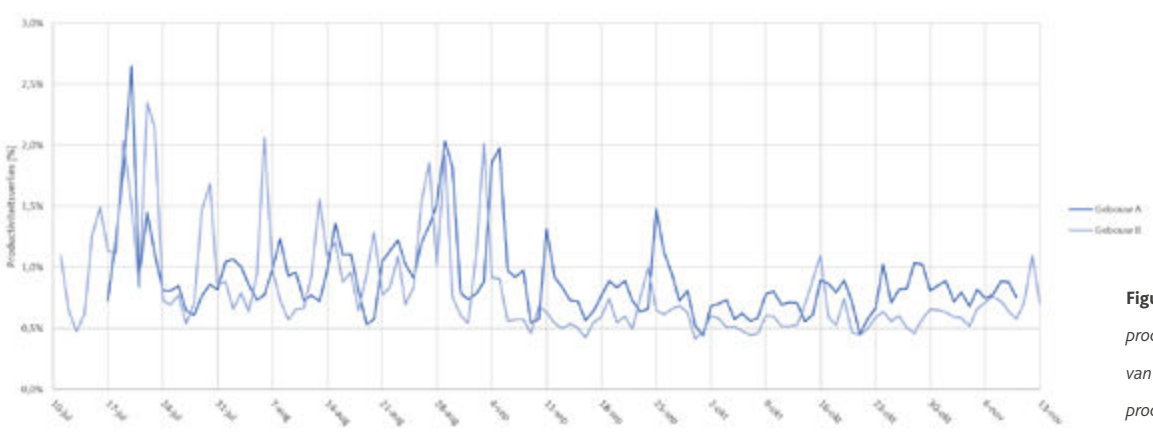
Objectieve data

In tabel 1 zijn de resultaten van de metingen weergegeven over twee seizoenen. De mediaan van de meetresultaten van beide gebouwen komt met elkaar overeen. In beide gebouwen is de temperatuur wat hoog en de CO_2-concentratie voldoende laag. Rekening houdend met de overige factoren voor comfort is de Predictive Mean Vote (PMV) voor beide gebouwen aan de koude kant, maar wordt deze in gebouw B meer constant gehouden dan in gebouw A.

Met behulp van de beschikbare kennis over de relatie tussen het binnenklimaat en productiviteitsverlies is het gemiddelde productiviteitsverlies voor beide gebouwen berekend, zie figuur 3. Hierbij is aangenomen dat de beschikbare vergelijkingen, die in een steady-state situatie zijn bepaald, ingezet kunnen worden bij (beperkt) fluctuerende condities.

In de figuur is te zien dat het productiviteitsverlies voor beide gebouwen vergelijkbaar is. In de zomer is het productiviteitsverlies hoger dan in de winter, wat veroorzaakt wordt door de hogere temperatuur. Verdere analyse laat zien dat de productiviteit aan het begin van de week lager ligt dan aan het eind van de week. Daarnaast neemt de productiviteit gedurende de dag af, om aan het eind van de dag weer toe te nemen. Oorzaken hiervoor kunnen o.a. de bezetting, ventilatievoud, reactietijd en setpoint van de gebouwinstallaties e.d. zijn.

Beide onderzochte gebouwen hebben een klimaatsysteem dat met behulp van gebouwsensoren beheerst wordt. Het relatief koude binnenklimaat van beide gebouwen heeft voor een positief effect op de productiviteit van de werknemers gezorgd. Ondanks dat het effect van CO_2-concentratie op de productiviteit een stuk kleiner is, werd de luchtkwaliteit in beide gebouwen maatgevend voor het productiviteitsverlies.



Figuur 3: *Gemiddeld berekend productiviteitsverlies ten gevolge van het binnenklimaat en productiviteitsverlies.*

Subjectieve data

Om de perceptie van het binnenklimaat te bepalen zijn enquêtes onder de werknemers in beide gebouwen verzameld. In totaal zijn 15 enquêtes geretourneerd, bestaande uit vragenlijsten voor elke dag gedurende een week.Uit de enquête blijkt dat werknemers in beide organisaties zich vooral bezighouden met typen en lezen. Echter, in de bestaande theorieën worden alle werktaken gelijkmatig gewogen. Wel blijkt uit de bestaande studies dat het effect op typen het grootst is, zowel van temperatuur als luchtkwaliteit [7] [14] [15]. Het lijkt daarom zinvol om deze effecten in de toekomst niet uit te middelen, maar een gewogen gemiddelde te bepalen.

De resultaten van de bestaande theorieën zijn vergeleken met de perceptie van werknemers. Hieruit blijkt dat de spreiding van de enquêteresultaten veel groter is dan de berekende waarden. Deze extreme individuele waarden zijn te verklaren, doordat de berekende waarden een gemiddelde perceptie weergeven. De steekproef was helaas te klein om statistisch significante uitspraken te doen. Er is wel een relatie vastgesteld tussen de subjectieve beoordeling van PMV en productiviteit. Wanneer werknemers ervaren dat zij het warm hebben geven zij ook aan minder productief te zijn. Daarnaast geven zij aan productiever te zijn wanneer het klimaat zich net aan de koude zijde van het PMV-model bevindt.

Economische balans

Voor de twee veldstudies is per situatie de terugverdientijd voor een aantal investeringen in het binnenklimaat bepaald, zie tabel 2. De besparingen voor gebouw A zijn gebaseerd op 300 werknemers, voor gebouw B op 2800 werknemers. Er kan worden vastgesteld dat de terugverdientijd korter is als er meer werknemers zijn, ondanks het extra benodigde vloeroppervlak en de bijbehorende investeringskosten.

De besparingen voor verhoogde productiviteit zijn gebaseerd op het berekende gemiddelde productiviteitsverlies. Bij de berekening van de terugverdientijd wordt ervan uitgegaan dat bij toepassing van de maatregelen de productiviteit 100% wordt en dat de maatregel gedurende het hele jaar een positief effect heeft op de productiviteit. Het aantal ziektedagen is gesteld op 2,5 dag, gebaseerd op de studie van Preller [17] en de afgenomen enquête.

Voor de berekening van de kosteneffectieve investeringen is gebruik gemaakt van het annuïteitskostenmodel, waarbij de investeringskosten gelijkmatig over de levensduur van de investering worden verdeeld. Op deze manier kan de investering worden vergeleken met de jaarlijkse bedrijfskosten en productiviteitsveranderingen. De kosten voor investeringen in het binnenklimaat bestaan uit de kosten voor de installatie zelf en de bedrijfskosten (energie en onderhoud).

		Verhoogde luchtstroom	Verlengde ventilatietijd	Nachtventilatie	Extra koeling
Gebouw A	Kosten	€ 7.450	€18.850	€ 55.850	€ 217.650
	Besparingen	€ 247.750	€ 247.750	€ 247.750	€ 247.750
	Kosten-baten verhouding	33,2	13,2	4,4	1,1
	Terugverdientijd	<1 maand	<1 maand	<3 maanden	<11 maanden
Gebouw B	Kosten	€ 261.500	€ 125.050	€ 330.450	€ 133.100
	Besparingen	€ 2.211.450	€ 2.211.450	€ 2.211.450	€ 2.211.450
	Kosten-baten verhouding	8,5	17,7	6,7	16,6
	Terugverdientijd	<2 maanden	<1 maand	<2 maanden	<1 maand

Tabel 2: *Economische balans voor een verbeterd binnenklimaat van gebouw A en B.*

In bovenstaande tabel is te zien dat de investeringen voor beide gebouwen in een korte tijd terug te verdienen zijn. Opgemerkt moet worden dat beide gebouwen al een redelijk goed binnenklimaat hadden. Hierdoor zijn de veranderingen die gedaan kunnen worden om het binnenklimaat te verbeteren beperkt. Dit resultaat is natuurlijk sterk afhankelijk van de uitgangssituatie van de kantooromgeving van een bedrijf.

Kostenanalyse

Opbrengsten uit productiviteit

Uit gegevens van het CBS [18] blijkt dat 80% van de bedrijfskosten van een bedrijf aan personeelskosten wordt besteed; voor een gemiddeld kantoorbedrijf ongeveer één miljoen euro per jaar. Doordat deze kosten in verhouding met overige bedrijfskosten erg groot zijn, kunnen kleine productiviteitsveranderingen al een aanzienlijk effect hebben op de bedrijfskosten.

Het boek 'Creating the productive workplace' [2] classificeert gebouwen met potentiële productiviteitswinsten tot 1,5% als gezonde gebouwen en tot 3,5% als ongezonde gebouwen. Dit betekent dat, rekening houdend met de cijfers van het CBS, een gemiddeld bedrijf in een kantooromgeving jaarlijks € 15.390 kan besparen in gezonde gebouwen en € 35.920 in ongezonde gebouwen.

Naast de verhoogde productiviteit die bereikt kan worden, kunnen kosten bespaard worden door vermindering van ziekteverlof als gevolg van een ongezond binnenklimaat. Uit literatuuronderzoek blijkt dat het aantal ziektedagen als gevolg van het binnenklimaat in kantoorgebouwen 2,5 dagen is [17]. Hierdoor kan de vermindering van ziekteverlof circa € 13.280 per jaar per bedrijf opleveren.

Investering in binnenklimaat

Zoals in vorige paragraaf werd beschreven, kan een investering in gebouwinstallaties geld besparen tijdens de gebruiksfase. Een aantal voorbeelden hiervan zijn:

- Nachtventilatie met gebruik van het bestaande ventilatiesysteem kost € 0,12 per persoon per nacht voor extra energieverbruik ten opzichte van € 7,15 per persoon per nacht productiviteitsvoordeel. Dit resulteert in een kosten-baten verhouding van 61 [19].
- Een verhoogde ventilatievoud resulteert in een kosten-batenverhouding van 6,2 tot 9,4. Hierbij is het verschil tussen 6,5 L/s/p en 10 L/s/p het meest kostenefficiënt [5].
- Een verbeterde luchtkwaliteit resulteert in een productiviteitsverbetering van minstens 60 keer de jaarlijkse energie- en onderhoudskosten (terugverdientijd is 2,1 jaar) [20].

Over het algemeen kunnen kosten voor investeringen in het binnenklimaat binnen vier maanden tot twee jaar terugverdiend worden. Dit is een relatief korte periode in vergelijking met de levensduur van installaties (15-25 jaar).

Conclusie

In dit onderzoek is gekeken naar de mogelijkheden om via monitoring van het binnenklimaat uitspraken te doen over de productiviteit in bestaande kantooromgevingen. Ondanks dat er al veel onderzoek is gedaan naar de relatie tussen het binnenklimaat en productiviteit zijn er nog veel stappen te gaan voordat de productiviteit in kantoren structureel gemonitord kan worden. Uit het onderzoek is gebleken dat de temperatuur een belangrijke parameter is voor de productiviteit van werknemers. Deze temperatuur speelt vooral een rol in de PMV, welke een maximale productiviteit bereikt tussen de -0,2 en 0. Echter, in de onderzochte kantoren was de temperatuur laag genoeg en was de luchtkwaliteit maatgevend. Ondanks het relatief lage productiviteitsverlies (<1,5%) van de onderzochte kantoren is gebleken dat ook in gezonde gebouwen de voordelen van verbeterde productiviteit en minder ziekteverzuim groter zijn dan de investeringen in maatregelen voor het binnenklimaat. Geconcludeerd kan worden dat de terugverdientijd van investeringen in het binnenklimaat relatief kort is in vergelijking met de levensduur van gebouwinstallaties, waardoor het voordelig is om te investeren in het binnenklimaat.

Referenties

1. Planbureau voor de leefomgeving, „De toekomst van kantoren; een scenariostudie naar de ruimtebehoefte," Den Haag, 2017.
2. D. Clements-Croome, Creating the productive workplace, London and New York: E&FN Spon, 2000.
3. D. Clements-Croome, Naturally Ventilated Buildings, London: E&FN Spon, 1997.
4. World Green Building Council, „Health, Wellbeing & Productivity in Offices: The Next Chapter for Green Building," 2014.
5. REHVA, „Indoor climate and productivity in offices," 2006.
6. O. Seppänen, W. Fisk en Q. Lei, „Room temperature and productivity in office work," Lawrence Berkeley National Laboratory, 2006c.
7. R. Kosonen en F. Tan, „Assessment of productivity loss in air-conditioned buildings using PMV index," Energy and Buildings, pp. 987-993, 2004.
8. P. Roelofsen, „Modelling relationships between a comfortable indoor environment, perception and performance change," TU Delft, 2016.
9. L. Lan, P. Wargocki en Z. Lian, „Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort," Energy and Buildings, pp. 1057-1062, 2011.
10. K. Jensen, J. Toftum en P. Friis-Hansen, „A Bayesian Network approach to the evaluation of building design and its consequences for employee performance and operational costs," Building and Environment, pp. 456-462, 2009.
11. Nederlands Normalisatie-Instituut, „NPR-CR 1752(en)," Delft, 1999.
12. L. Gunnarsen en P. Fanger, „Adaptation to indoor air pollution," Environmental International, pp. 43-54, 1992.
13. P. Wargocki, H. Knudsen en J. Krzyzanowska, „Some methodological aspects of sensory testing of indoor air quality," Clima, 2010.
14. P. Wargocki, D. Wyon, Y. Baik, G. Clausen en P. Fanger, „Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity in anOfficewithTwo Different Pollution Loads," Indoor Air, pp. 165-179, 1999.
15. Z. Bako-Biro, P. Wargocki, C. Weschler en P. Fanger, „Effects of pollution from personal computers on perceived air quality, SBS symptoms and productivity in offices," Indoor Air, pp. 178-187, 2004.
16. C. Dai en L. Lan, „Method for the determination of optimal work environment in office buildings considering energy consumption and human performance," Energy and Buildings, vol. 2014, nr. 76, pp. 278-283, June 2014.
17. L. Preller, T. Zweers, J. Boleij en B. Bunekreef, „Gezondheidsklachten en klachten over het binnenklimaat in kantoorgebouwen," Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1990, 1990.
18. Centraal Bureau voor de Statistiek, „Bedrijfsleven; arbeids- en financiële gegevens, per branche," Centraal Bureau voor de Statistiek, 17 March 2017. [Online]. Available: http://statline.cbs.nl/statweb/publication/?vw=t&dm=slnl&pa=81156ned&d1=0-10,19-21&d2=0,2,5,125,128,136,153,160,184,212,232,242,266,282&d3=l&hd=110825-0940&hdr=t&stb=g1,g2. [Geopend 20 September 2017].
19. O. Seppänen, W. Fisk en D. Faulkner, „Control of temperature for health and productivity in offices," 2004.
20. P. Wargocki en R. Djukanovic, „Estimate of an economic benefit from investment in improved indoor air quality in an office building," in Proceedings of Healthy Buildings Conference, Singapore, 2003.