

## Auteurs

Dr. ir. M (Marije) te Kulve [1], prof. dr. ing. R.T. (Runa) Hellwig [2], ir. F (Froukje) van Dijken [1], dr. ir. A.C. (Atze) Boerstra[1]

1. bba binnenmilieu, Den Haag, Nederland

2. Faculteit Architecture, Design & Media Technology, Universiteit van Aalborg, Denemarken

## Hoe ervaren kinderen oververhitting in scholen?

*Literatuuronderzoek wijst uit dat de thermische sensatie van kinderen niet altijd overeenkomt met de voorspellingen van thermisch comfort-modellen: in het algemeen lijken kinderen de temperatuur warmer te ervaren dan verwacht. In dit artikel hebben we mogelijke oorzaken voor dit verschil in temperatuurbeleving onderzocht. Allereerst speelt het activiteitsniveau en het beperkte vermogen tot adaptief gedrag van kinderen mogelijk een rol. Daarnaast kunnen verschillen in thermische sensatie voortkomen uit een systematische fout bij het meten van de operationele temperatuur op scholen én uit de interpretatie van subjectieve evaluatiemethoden.*

Thermisch comfortstudies richten zich steeds meer op verschillen in thermische perceptie, zowel tussen individuen als binnen een individu.[1, 2] Fysiologische, psychologische en gedragsfactoren beïnvloeden de thermische beleving en dragen bij aan deze inter- en intra-individuele variatie. Fysiologische factoren zoals lichaamssamenstelling, stofwisseling en acclimatisatie, en psychologische aspecten zoals waargenomen controle beïnvloeden de thermische perceptie.[1, 3-7] In de weinige studies die het verschil in waarneming van de temperatuur bij kinderen onderzocht hebben (<18 jaar oud), komt naar voren dat ze de voorkeur geven aan lagere temperaturen in vergelijking met volwassenen, zoals in de studie van Rupp et al. (2015).[8] Deze bevinding is in lijn met onze observaties in de praktijk bij onderzoek op scholen: tijdens veldstudies op basisscholen valt het op dat de thermische sensaties van kinderen vaak hoger ("warmer") is dan verwacht op basis van de gemeten temperatuur.

In de review van Rupp et al. (2015) naar de verschillen in thermische sensatie bij kinderen, wordt onderscheid gemaakt in verschillende leeftijdscategorieën. Er is slechts weinig onderzoek uitgevoerd bij kinderen tussen 4-6 jaar (kleuterschool). De studies laten wel zien

dat de thermische sensatie van kinderen hoger lijkt te zijn dan verwacht op basis van het Predicted Mean Vote (PMV) model zoals gedefinieerd in bijvoorbeeld EN ISO 7730:2005.[9] Andere studies bij oudere kinderen (7 – 18 jaar oud), geven aan dat kinderen ook in deze leeftijdsgroep de voorkeur geven aan lagere operationele temperaturen dan voorspeld aan de hand van het PMV-model en het adaptieve model (o.a. studies [10 -15]).

In een Australische studie onder schoolkinderen (10-18 jaar) werd aangetoond dat de neutrale temperatuur van kinderen ongeveer 22,5 °C was, wat lager is dan verwacht in een warme buitenomgeving.[16] In deze studie kwam de werkelijke en voorspelde thermische sensatie echter overeen bij een binnentemperatuur tussen de 25°C en 27°C, en boven de 27°C was de temperatuurbeleving van kinderen zelfs lager (koeler) dan wat werd voorspeld.[16]

Al met al is de tendens duidelijk dat kinderen de thermische omgeving anders beoordelen dan voorspeld door de standaard thermisch comfortmodellen. Het ligt voor de hand dat temperatuurrichtlijnen voor gebouwen waar kinderen de hoofdgebruikers zijn moeten worden aangepast aan hun behoeften. Om inzicht te krijgen in de factoren die hierbij een rol spelen, hebben we in dit artikel op basis van literatuur, mogelijke oorzaken van die verschillen tussen volwassenen en kinderen beschreven. Vervolgens wordt ingegaan op de implicaties voor het ontwerp en het gebruik van schoolgebouwen.

### Onderliggende factoren discrepantie in thermisch comfort volwassenen en kinderen

Verskillende factoren kunnen bijdragen aan het verschil tussen thermisch comfort van volwassenen en kinderen (Figuur 1). De adaptieve principes voor thermisch comfort (o.a. [6, 7]) spelen hierbij mogelijk een rol: het gedragsmatig-, fysiologisch- en psychologisch aanpassingsvermogen van kinderen verschilt met het aanpassingsvermogen van volwassenen. Bovendien kunnen methodologische aspecten bij het verzamelen en interpreteren van subjectieve evaluaties van kinderen ook een bijdragende factor zijn.

### Fysiologische factoren

Warmtebalansmodellen gebruiken gestandaardiseerde waarden van het metabolisme om rekening te houden met verschillende metabole activiteitsniveaus om de thermische sensatie te voorspellen (zoals in EN-ISO 7730 [9]). Waarschijnlijk is het metabolisme dat gebruikt wordt als input voor het warmtebalansmodel, niet representatief voor het metabolisme van kinderen. Het metabolisme (gemeten in  $W/m^2$ ) van kinderen is lager dan volwassenen tijdens vergelijkbare activiteiten. Mogelijk is dit, vooral voor jongere kinderen, toe te schrijven aan hun kleinere volume-opervlakteverhouding [17]: dit betekent dat hun warmteverlies relatief hoog is, wat juist bijdraagt aan een koudere thermische sensatie bij kinderen.

### Gedragsfactoren

Gedragsfactoren die van invloed zijn op thermisch comfort zijn onder meer persoonlijke factoren zoals kleding en activiteit maar ook het openen van een raam, aanpassen van de thermostaat, of het tijdstip waarop bepaalde activiteiten plaatsvinden. Vooral jonge kinderen zijn meer afhankelijk van hun ouders of leerkrachten om gedragsveranderingen aan te brengen, zoals bij het kiezen van de kleding of het veranderen van hun omgeving. De afhankelijkheid van kinderen van hun verzorgers bij het kiezen van adequate kledingisolatie, kan hun thermische comfortperceptie negatief beïnvloeden.

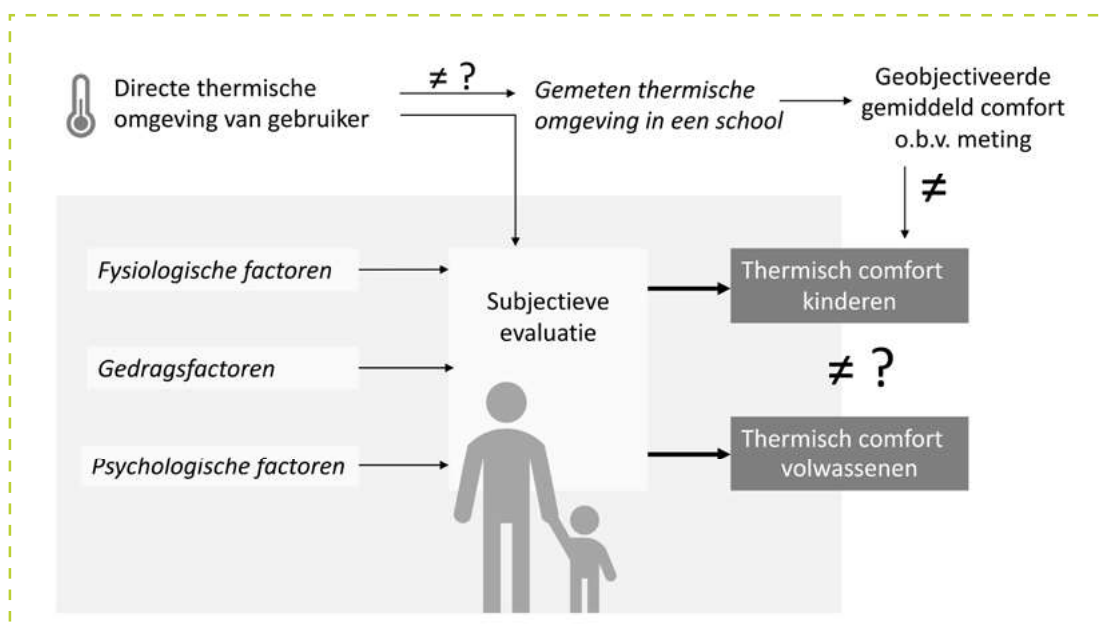
Daarnaast zijn kinderen over het algemeen overdag fysiek actiever dan een gemiddelde volwassene; kinderen zijn op school bijvoorbeeld actief tijdens pauzes en tijdens sommige lessen zoals gym. Normen gaan uit van een activiteitsniveau van 1,2 voor zowel kantoren als klaslokalen, hoewel het waarschijnlijk is dat kinderen nog steeds een verhoogd metabolisme hebben wanneer ze terug in de klas komen en achter hun bureau zitten.

### Psychologische aanpassing

Verwachtingen met betrekking tot de thermische omgeving beïnvloeden het thermisch comfort. Dit geldt waarschijnlijk ook voor kinderen. In de studie van Kim & the Dear (2018) [18] werd aangetoond dat leerlingen (basis- en middelbare school) die les hadden in een lokaal voorzien van een airconditioningsysteem, de voorkeur gaven aan airconditioning om hun thermisch comfort te behouden. Leerlingen in een klaslokaal zonder actieve koeling daarentegen, gaven ook aan om ramen, ventilatoren, gordijnen of kleding te gebruiken als een adaptieve strategie om het comfort te verbeteren. Dit impliceert dat kinderen, net als volwassenen, kunnen wennen aan actieve koeling in een klaslokaal en minder gewend raken aan adaptief gedrag.

### Subjectieve evaluatie: methodologische overwegingen

Daarnaast kan de manier waarop de temperatuur en de thermische sensatie gemeten wordt, verklaren dat kinderen temperatuur anders ervaren dan volwassenen. De beleving van de temperatuur wordt vaak geëvalueerd door gebruik te maken van een vragenlijst. Kinderen kunnen vragen anders interpreteren dan volwassenen. Bovendien is bekend dat kinderen vragen anders (expliciter) beantwoorden.[19] Ten slotte kan worden bediscussieerd of "neutraal" de gewenste thermische sensatie is voor schoolkinderen. Uit



**Figuur 1:** Schematische weergave van de factoren welke mogelijk een rol spelen in het verschil in waarneming van de temperatuur tussen volwassenen en kinderen. Bron: bba binnenmilieu.

de analyses van de Australische studies bleek dat schoolkinderen de voorkeur geven aan een thermisch gevoel dat tijdens de zomermaanden in Australië iets koeler was dan neutraal.[18]

#### Binnenklimaatmeting: methodologische overwegingen

In een klaslokaal zitten kinderen dichtbij elkaar. De bijdrage van andere kinderen aan stralingstemperatuur waaraan een kind wordt blootgesteld, wordt tijdens metingen mogelijk onderschat. Het plaatsen van meetapparatuur met betrekking tot thermisch comfort in klaslokalen is een uitdaging. De apparatuur mag de lessen niet verstoren, moet worden beschermd tegen vernieling en tegelijkertijd moet de meting het binnenklimaat vertegenwoordigen ter plekke van de kinderen (en docent). Een systematische fout als gevolg van de plaatsing van de metingen in het veld is daardoor mogelijk. De marge van de systematische fout werd geschat op een bereik van 0,5 - 2 °C. Waarbij de werkelijke operationele temperatuur ter plaatse van de leerlingen hoger is dan de gemeten waarde en kan daarmee een verklaring zijn voor de warme temperatuurbeleving van kinderen.

#### Discussie

De bevindingen uit de literatuur wijzen op lagere temperatuurlimieten op scholen in vergelijking met kantoren. Verschillende factoren, zoals hierboven beschreven, spelen daarbij een rol. Om dit verschil te kunnen meenemen in temperatuurrichtlijnen voor scholen, moet rekening worden gehouden met de implicaties voor de doelgroep maar ook met het energiegebruik, en de impact daarvan op klimaatverandering, dat gepaard gaat met het toepassen van actieve koelsystemen in scholen.

#### Leerprestaties van kinderen

In overeenstemming met thermische sensatie, blijken scholieren (9 t/m 18 jaar, op basis van veld- en laboratoriumstudies) het beste te presteren bij een lagere omgevingstemperatuur (bij een vergelijking in de range van 20 tot 30°C).[20] Het effect is met name zichtbaar op snelheid van het uitvoeren van een taak en niet op het aantal fouten. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de werkelijke temperatuur die de prestaties van kinderen beïnvloedt, daarnaast wordt beïnvloed

door de context (onderzoekssituatie) en de temperaturen (binnen en buiten) waaraan de scholieren aan gewend zijn.

#### De gezondheid en het aanpassingsvermogen van kinderen

In het algemeen zullen mensen zich aanpassen aan de binnenmilieu-omstandigheden waaraan ze regelmatig blootgesteld worden. Het voorzien in actieve koeling op scholen kan er dus voor zorgen dat kinderen gewend raken aan een smallere temperatuurbandbreedte en een lagere temperatuur. Dit kan het aanpassingsvermogen van hun lichaam aan warmere omgevingen verminderen. Hoewel extreme temperaturen moeten worden vermeden (bijvoorbeeld met behulp van passieve maatregelen), zou blootstelling aan de koude en warme kant van de thermische neutrale zone gunstig zijn voor de gezondheid van kinderen.

Een recente studie van Shrestha et al. (2021) [21] bevestigt dat de comforttemperatuur van schoolkinderen in natuurlijk geventileerde klaslokalen stijgt wanneer de buitentemperatuur (tussen dagen) stijgt. Deze aanpassing aan hoge temperaturen kan ook verklaren waarom, in situaties met relatief hoge binnentemperaturen, het thermische gevoel van kinderen juist lager was dan verwacht. Deze bevindingen impliceren dat het zinvol is om schoolkinderen gedurende het jaar en gedurende de dag in zekere mate bloot te stellen aan een bepaald bereik en variabiliteit van binnentemperaturen.

#### Schoolontwerp en -werking

Vanwege de hoge bezettingsgraad hebben scholen en kinderdagverblijven een verhoogd risico op oververhitting, met name als het ventilatie-debiet laag is. Het is dan ook van belang om bij het ontwerp van deze gebouwen aan te nemen dat door de wereldwijd stijgende temperaturen, ook in een gematigd klimaat, het risico op oververhitting zal toenemen en in toenemende mate een groter probleem



Foto 1: In een klaslokaal zitten kinderen dichtbij elkaar. De bijdrage van andere kinderen aan stralingstemperatuur waaraan een kind wordt blootgesteld, wordt tijdens metingen mogelijk onderschat.



Foto 2: Adequate zonwering moet de zonstraling tegengaan, indien deze niet gewenst is. Bron: bba binnenmilieu.

zal worden dan verwarming. Er zal dan ook moeten worden ingezet op een robuust schoolontwerp.[22] Een robuust ontwerp begint met de oriëntatie van de klaslokalen, waarbij directe zonstraling bij warm weer wordt voorkomen. Vervolgens moet adequate zonwering de zonstraling tegengaan, indien deze niet gewenst is.

De gebouwmassa kan gebruikt worden om temperatuurveranderingen gedurende de dag te bufferen. Het openen van ramen en het voorzien in plafondventilatoren kunnen zorgen voor verkoeling door een verhoogde luchtsnelheid en zomernachtkoeling is effectief om de warmte af te voeren in warme periodes. Daarnaast kan het gebied rondom het gebouw en de inrichting van het schoolplein invloed hebben op de thermische omgeving, bijvoorbeeld door het aanplanten van bomen en planten en de aanwezigheid van onverhard terrein. Afhankelijk van het lokale klimaat kan (mechanische) topkoeling worden toegepast om extreme binnentemperaturen tijdens hittegolven te voorkomen, waarbij het aanpassingsvermogen van kinderen aan hogere omgevingstemperaturen in de zomer behouden blijft en een hoog energiegebruik voor koeling wordt vermeden.

#### Gedrags- en organisatiestrategieën op scholen

Naast het gebouw zijn er ook gedrags- en organisatorische strategieën mogelijk om met oververhitting om te gaan. Zo kan het lesrooster dusdanig aangepast worden dat bepaalde onderwijsactiviteiten op de koelere momenten van de dag plaatsvinden en/of naar koelere delen van het gebouw verplaatst worden. Onlangs werd aangetoond dat het betrekken van scholieren en het evalueren van hun ervaringen met de temperatuur, bijdraagt aan adaptief gedrag om oververhitting tegen te gaan.[23]

#### Energiegebruik voor koeling: impact op het milieu

Bij het vaststellen van temperatuurrichtlijnen voor scholen moeten we daarnaast rekening houden met de invloed het toepassen van actieve koeling op het milieu. Aangezien klimaatverandering het risico op oververhitting in de toekomst zal vergroten, is het waarschijnlijk dat de energie die wordt gebruikt voor koeling zal toenemen wanneer actieve koeling beschikbaar wordt gesteld in scholen en andere gebouwen voor kinderen. De combinatie van geschikte passieve ontwerp-, gedrags- en organisatiestrategieën voor zowel studenten als docenten kan helpen om oververhitting op scholen te voorkomen en het thermisch aanpassingsvermogen en de gezondheid van kinderen te ondersteunen.

Dit zal dan ook de eerste aanpak moeten zijn om daarmee het risico op oververhitting te minimaliseren.

### Conclusies

Factoren die thermische perceptie beïnvloeden verschillen tussen volwassenen en kinderen en kunnen daardoor leiden tot een verschil in thermische sensatie bij dezelfde omgevings temperatuur. Voor matig verhoogde temperaturen tonen de studieresultaten vrij consistent aan dat kinderen de omgeving als warmer ervaren dan volwassenen. Hiervoor zijn verschillende mogelijke oorzaken: het activiteitsniveau van kinderen en hun vermogen om adaptief gedrag toe te passen spelen waarschijnlijk een rol bij het warmere thermische gevoel van kinderen ten opzichte van volwassenen. Ook kunnen methoden voor het evalueren van de thermische sensatie bij kinderen leiden tot een verschil, omdat kinderen de gestelde vraag mogelijk niet begrijpen of de neiging hebben om extremer te reageren.

Daarnaast is het mogelijk dat er een systematische fout plaats vindt bij het bepalen van de gemiddelde stralingstemperatuur die een kind waarneemt in een typische klasopstelling (dicht bij andere kinderen): de bijdrage van de stralingstemperatuur is groter bij een lagere omgevingstemperatuur in vergelijking met hogere temperaturen. Dit laatste kan impliceren dat kinderen de temperatuur in de klas niet anders waarnemen dan

volwassenen, maar worden blootgesteld aan een andere thermische omgeving. Bij het definiëren van geschikte temperatuurrichtlijnen voor scholen is een beter begrip nodig waarom verschillen in perceptie bestaan, hoe dit de leerprestaties van leerlingen en studenten beïnvloedt en in hoeverre kinderen zich kunnen aanpassen aan de omgevingstemperaturen.

Op basis van de huidige kennis en gezien de opwarming van de aarde is het in ieder geval van belang dat oververhitting in scholen zoveel mogelijk wordt voorkomen. Dit betekent dat dit vanaf het begin van de ontwerpfase meegenomen moet worden zodat passieve maatregelen geïntegreerd worden in het ontwerp. Het schoolgebouw moet in staat zijn om de temperatuurstijging gedurende de dag te bufferen, waardoor oververhitting wordt voorkomen. Tegelijkertijd heeft blootstelling aan de geleidelijke seizoensgebonden temperatuurschommelingen binnen, een positieve invloed op de weerbaarheid van leerlingen en docenten tegen extremere temperaturen. Het gebouw moet adaptief gedrag mogelijk maken, bijvoorbeeld door het realiseren van te openen ramen en plafondventilatoren om de luchtsnelheid te verhogen. Ten slotte is het van belang om docenten en scholieren of studenten te betrekken en te informeren over de impact van adaptief gedrag en dagelijks gebruik in klaslokalen te ondersteunen.

### Dankwoord

Dit artikel is gebaseerd op de conferentiepapier: te Kulve, M., Hellwig, R. T., van Dijken, F., & Boerstra, A. (2020, May). What about children? Implications from their subjective perception and the risk of overheating in schools. In Windsor Conference 2020: Resilient Comfort (pp. 216-223). Ecohouse Initiative Ltd.. Het werk van R.T. Hellwig wordt mogelijk gemaakt door "Obelske Familiefond, Denmark".

### Referenties

- Gauthier, S., Bourikas, L., Al-Atrash, F., Bae, C., Chun, C., de Dear, R., Hellwig, R.T., Kim, J., Kwon, S., Mora, R., Pandya, H., Rawal, R., Tartarini, F., Upadhyay, R. and Wagner, A. (2020) The colours of comfort: From thermal sensation to person-centric thermal zones for adaptive building strategies. *Energy and Buildings*, 216, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109936>
- Nicol, F., Rijal, H. B., Imagawa, H., & Thapa, R. 2020. The range and shape of thermal comfort and resilience. *Energy and Buildings*, 224, 110277.
- Schweiker, Huebner, Kingma, Kramer & Pallubinsky, 2018 Drivers of diversity in human thermal perception – A review for holistic comfort models. *Temperature*, 5:4, 208-342.
- Boerstra, A. C. (2016). Personal control over indoor climate in offices: Impact on comfort, health and productivity. Eindhoven: University of Technology.
- Bischof, W., Hellwig, R. T., & Brasche, S. (2007). Thermischer Komfort - die extraphysikalischen Aspekte. (Extraphysical parameters of thermal comfort. In German, English abstract) *Bauphysik*, 39(3), 208-212. <https://doi.org/10.1002/bapi.200710029>
- de Dear, R., & Brager, G. S. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions*, Vol 104 (1), pp. 145-167.
- Humphreys M.A. & Nicol J.F. (1998). Understanding the adaptive approach to thermal comfort, *ASHRAE Transactions*, Vol 104(1), 991-1004
- Rupp, R. F., Vásquez, N. G., & Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings*, 105, 178-205
- EN ISO 7730:2005 Ergonomics of the thermal environment- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, Geneva, International Standardisation Organisation.
- ter Mors, S., Hensen, J.L.M. Loomans M.G.L.C., Boerstra, A.C. (2011) Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: creating and validating PMV-based comfort charts, *Building and Environment*. 46, 2454-2461.
- Teli, D., Jentsch, M.F. James, P.A.B. (2012) Naturally ventilated classrooms: an assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children, *Energy Build.* 53 166-182.
- Teli, D., James, P. A., & Jentsch, M. F. (2015). Investigating the principal adaptive comfort relationships for young children. *Building Research & Information*, 43(3), 371-382.
- Trebilcock, M., Soto-Muñoz, J., Yanez, M., & Figueroa-San Martín, R. (2017). The right to comfort: A field study on adaptive thermal comfort in free-running primary schools in Chile. *Building and Environment*, 114, 455-469.
- Haddad, S., Osmond, P., King, S. (2019) Application of adaptive thermal comfort methods for Iranian schoolchildren, *Building Research & Information*, 47:2, 173-189, DOI: 10.1080/09613218.2016.1259290.
- Singh, M. K., Ooka, R., Rijal, H. B., Kumar, S., Kumar, A., & Mahapatra, S. (2019). Progress in thermal comfort studies in classrooms over last 50 years and way forward *Energy and Buildings*, 188, 149-174. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.051>
- de Dear, R., Kim, J., Candido, C., & Deuble, M. (2015). Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms. *Building Research & Information*, 43(3), 383-398.
- Havenith, G. (2007). Metabolic rate and clothing insulation data of children and adolescents during various school activities. *Ergonomics*, 50(10), 1689-1701
- Kim, J., & de Dear, R. (2018). Thermal comfort expectations and adaptive behavioural characteristics of primary and secondary school students. *Building and Environment*, 127, 13-22.
- Hellwig, R. T. (2017) Perceived importance of indoor environmental factors in different contexts, PLEA 2017 Edingburgh
- Wargocki, P., Porras-Salazar, J. A., & Contreras-Espinoza, S. (2019). The relationship between classroom temperature and children's performance in school. *Building and Environment*, 157, 197-204.
- Shrestha M., Rijal H.B., Kayo G., Shukuya M. (2021), A field investigation on adaptive thermal comfort in school buildings in the temperate climatic region of Nepal, *Building and Environment* 190, 107523, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107523>
- Hellwig, R.T. (2016): Overheating in classrooms - sign for inevitable need for cooling or the essential need for integrated design? International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings, IAQVEC 23-26 Oct 2016 in Songdo Korea, paper 1060, 8pp
- Dominguez-Amarillo, S., Fernández-Agüera, J., González, M. M., & Cuervo-Vilches, T. (2020). Overheating in Schools: Factors Determining Children's Perceptions of Overall Comfort Indoors. *Sustainability*, 12(14), 5772.