

GRZEGORZ MAJEWSKI<sup>1</sup>  
MAREK TELEJKO<sup>2</sup>

Kielce University of Technology

<sup>1</sup>e-mail: majewskigrzegorz@wp.pl

<sup>2</sup>e-mail: telejko@tu.kielce.pl

# THERMAL COMFORT IN INTELLIGENT BUILDINGS

## Abstract

The paper presents the issue of thermal comfort conditions with regard to intelligent buildings. First the principles of thermal comfort are discussed, namely the parameters affecting the human perception of the best indoor air conditions. Among the mentioned parameters indoor temperature seems to be especially vital for humans. In the second part the test results of temperature changes in the Energis building are presented together with the discussion.

**Keywords:** smart building, thermal comfort, indoor air quality

## 1. Introduction

The term intelligent building has been used since the 1980s. Intelligent buildings came into being when those already constructed were not able to meet users' expectations. Another contributing factor was the advancement in engineering sciences. An intelligent building integrates different systems to ensure a synchronised management of the resources and to provide the best environment for the users [1]. For a building to be categorised as intelligent, it must have one of the systems that manage all the installations, i.e. Building Management System (BMS) [2].

Intelligent building involves the coordination of, among others, the following systems: air conditioning, ventilation, heating, electrical and power, lighting, structural cabling, audiovisual, access control, burglary and assault, fire safety, on-site transport, telecommunication and IT. Using the electronic systems, the smart building "feels" the internal and external conditions, and also "responds" to those so that the users could be safe and comfortable [1].

## 2. Thermal comfort versus air parameters

From the layman's perspective, the terms of microclimate and thermal comfort are interchangeable, which is not entirely correct though. Interior microclimate is a collection of many factors that contribute to how individuals feel in a room. In addition to those affecting metabolic processes and thermal balance, the factors include acoustic, olfactory, light and other stimuli that influence human

psychic. Thermal comfort, however, refers to factors that are exclusively related to body thermal balance, and also heat transfer to the environment [3]. Thus, thermal comfort is the state of individuals' physical contentment with the ambient environment [4].

The main source of information on thermal comfort of people staying in different thermal environments are the assessments given by them. The microenvironment, friendly to humans, should be adjustable, so that an individual staying in it could describe it as not too warm or too cool, or in other words, comfortably warm or cool (Table 1) [5].

Table 1. Scales of thermal comfort [5, 6, 7]

Scale of thermal comfort				
Bedford	ASHRAE	Numerical	Linear	
Much too warm	Hot	7	7-	comfort zone
Too warm	Warm	6	6-	
Comfortably warm	Slightly warm	5	5-	
Comfortable	Neutral	4	4-	
Comfortably cool	Slightly cool	3	3-	
Too cool	Cool	2	2-	
Much too cool	Cold	1	1-	

Thermal comfort sensations are traditionally represented by a seven-point scale (Table 1). The comfort zone is considered to be represented by three medium values of thermal sensations [5]. According to Bedford, those are “comfortably warm”, “comfortable” and “comfortably cool” [6]. In accordance with ASHRAE, the terms applied are “slightly warm”, “neutral”, and “slightly cool” [7]. Precise temperature control is very important when a large group of people are staying in the room. Even when the air temperature is regarded as optimal, statistically 5% of people find it uncomfortable. If the temperature exceeds the optimum, the number of those discontented grows very fast. Temperature must range  $\pm 1.5$  K around the optimum value for the number of the discontented individuals to remain below 10%. Consequently, the rooms, intended to be used by a large number of people, should have the temperature that could be precisely controlled, and vary within a narrow range around the optimum value. In addition to air temperature, radiation temperature and air humidity are also important. The motion of air, the temperature of which is lower than that of the body surface, results in increased heat being given up. That phenomenon is called calorific loss. Air humidity significantly affects thermal sensations at high temperatures. In the room, in which temperature is higher than the comfortable one, people sweat. Simultaneous occurrence of high temperature and high air humidity creates a lack of comfort, which is related to latent heat being given up. In comfortable temperatures, however, the effect of air humidity can be disregarded [5].

In rooms, thermal comfort is offered when [8]:

- a) the average temperature of the surrounding space-dividing elements is equal to, or close to, the indoor room temperature;
- b) in winter, air temperature is  $20\div 22^{\circ}\text{C}$ ; in summer, however, indoor temperature should be the closer to the outdoor temperature, that shorter user stays, on average, in a given room. Summer indoor temperature should be  $23\div 25^{\circ}\text{C}$ , in industrial spaces, the permitted temperature in summer is  $28^{\circ}\text{C}$ ;
- c) air relative humidity ranges  $30\div 70\%$  (optimum values are  $40\div 60\%$ ), and the rate of change in relative humidity does not exceed 20% an hour;
- d) air velocity does not exceed the values that are assumed, and which depend on temperature.

Maintaining the optimal levels of indoor temperature and relative humidity is not sufficient for people to perceive comfort. The indoor air quality is equally important.

The most harmful pollutants found in air include the following [9]:

- a) pollutants emitted from building materials used in the environment where people stay;
- b) anthropogenic pollutants, i.e. those that result from human activities, like tobacco smoking, cleaning, cooking, natural gas combustion, and repair works, etc.;
- c) microbiological pollutants, i.e. fungi, yeasts, mould, dust, and animal wastes.

The determinants of indoor air quality include, among others, concentrations of  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , and also the presence of dusts. However, the most popular indicator of indoor air quality is  $\text{CO}_2$  concentration. The dependence holding between the amount of fresh air and carbon dioxide concentration inside the room has been a widely applied criterion in air quality assessment [10, 11]. Currently,  $\text{CO}_2$  concentration value ranges 400 – 600 ppm [12, 13]. In rooms, living organisms and natural gas devices are the main source of carbon dioxide [12]. Presently, indoor air quality standards allow the maximum permitted  $\text{CO}_2$  concentration level of 1000 ppm [13].

### 3. ENERGIS Building

#### 3.1. Building characteristics

The ENERGIS, a teaching and laboratory building, houses the Faculty of Environmental Engineering, Geomatics and Power Engineering of the Kielce University of Technology. It was put into operation in 2012. The building is located in the western part of the university campus, at the corner of Warszawska and Studencka streets. It is a seven-storey building, with five stories of the superstructure and two stories located underground. The building has monolithic structure of reinforced concrete and it is supported by reinforced concrete raft foundation. The exterior reinforced concrete walls are insulated with styrofoam, 25 cm in thickness. The interior masonry walls are made of clay brick. Concrete flooring systems have two-way reinforcement. The reinforced concrete flat roof is insulated with styrofoam, 35 cm in thickness. The building houses lecture halls, auditorium halls, rooms for classes and seminars, computer laboratories and other laboratories, office rooms and laboratory backup facilities [14].

The building dimensions are as follows [15]:

- a) height, including underground storeys: 19.95 m,
- b) total area: 6 288.92  $\text{m}^2$ ;
- c) floor space: 5 121.24  $\text{m}^2$ ;
- d) cubic volume: 23 366.51  $\text{m}^3$ .

The ENERGIS is an example of energy-saving, smart building, powered by renewable energy sources.

The structure harvests solar energy (photovoltaic cells, solar collectors), and also energy accumulated in the ground and air (heat pumps, recuperators). The whole structure makes an example of smart building using the latest energy-saving technologies to power the utilities, modern solutions to harvest and store heat, and modern IT technologies for control and monitoring. The building itself provides an interdisciplinary laboratory [15].

**3.2. Results of tests on temperature changes**

The BMS of the ENERGIS building records a number of parameters, including air temperature in the rooms. Changes in this parameter over time may be used to draw conclusions on the quality of control in the building, and also increase the comfort of the users. Figures 1, 2 and 3 show temperature changes over the 24-hour period for a selected date in September (when the classes had not started yet, and the ambient air temperature was above zero) and in winter, namely in January, when classes were not held either, and also on the day when full time students attended regular classes.

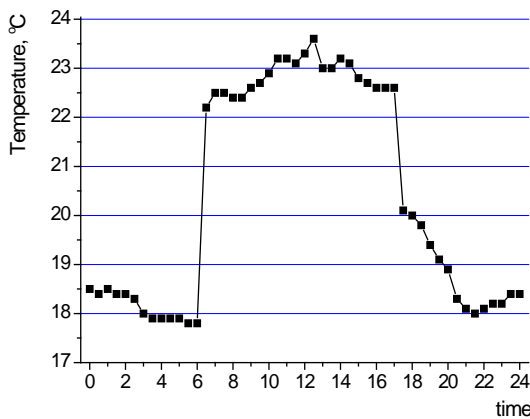


Fig. 1. Temperature changes for 20 September 2015 – no classes were held

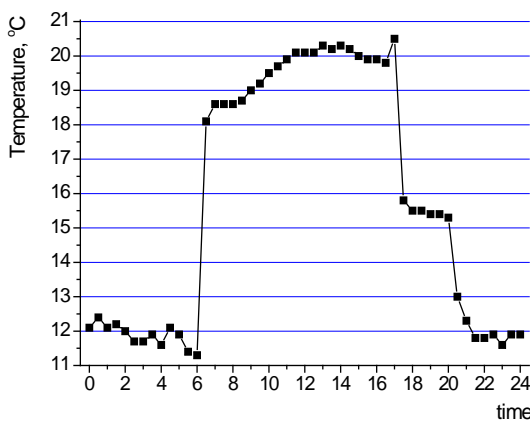


Fig. 2. Temperature changes for 3 January 2016 – no classes were held

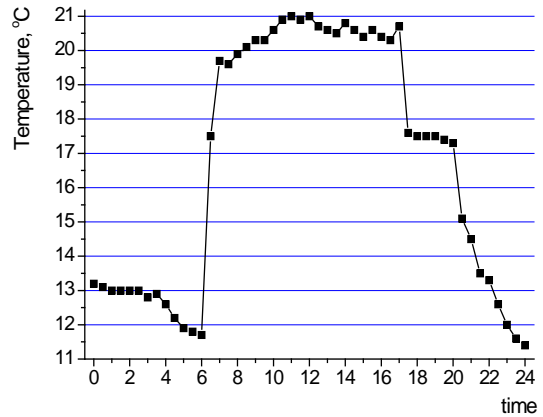


Fig. 3. Temperature changes for 12 January 2016 – classes were held for full time students

The figures above show that starting from 6 a.m., quick increment of temperature is observed until the values that can be perceived as comfortable are achieved. That also occurs on the days when the students or the staff might not be present in the building (Fig. 1). In that case, it would be possible to adjust the settings by means of prolonging the time when temperature is lower. That would contribute to cost reduction. Around 6-8 PM, air temperature clearly dropped. It should be added, however, that when classes were taught, the temperature in the room of concern was fairly precisely controlled within the range of about 1°C (Fig. 3). That can also indicate the value was controlled by the users themselves, by means of control panels available in the classroom. Additionally, for the winter period, the temperatures recorded outside the regular operating hours of the building remained far below the comfort range of values and amounted to approx. 11°C.

**4. Conclusions**

The necessity of ensuring thermal comfort for the users makes it necessary to design increasingly expensive and efficient systems to control indoor air parameters. Currently, smart buildings are constructed more commonly. In such buildings, it is possible to test the effect of indoor air parameters on the thermal comfort of the users. The data on temperature changes together with surveys on comfort evaluation, and also other air parameters can lead to better performance of control systems in smart buildings. As a result, that can lower the percentage of the users who do not feel comfortable, and also reduce the costs of the building operation. The management of the individual components of the system, based on the assumed time schedules and parameters provided, can also optimise energy consumption in the building.

## References

- [1] Niezabitowska E. ed.: *Budynek inteligentny, potrzeby użytkownika a standard budynku inteligentnego, tom 1 (Intelligent building, user's needs versus the building standard, vol. 1)*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
- [2] Biskupski J.: *Inteligentny budynek mieszkalny (Intelligent residential building)*. Rynek Instalacyjny, 1-2/2009.
- [3] Pogorzelski J.A.: *Fizyka cieplna budowli (Structure thermal physics)*. PWN, Warszawa 1976.
- [4] ASHRAE Standard *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, 1992, pp. 1041-2336 [as cited in] Klemm P. ed.: *Budownictwo ogólne, Fizyka budowli, tom 2 (General construction, Structure physics), vol. 2*. Arkady, Warszawa 2010, p. 54.
- [5] Śliwowski L.: *Mikroklimat wewnątrz i komfort cieplny ludzi w pomieszczeniach (Interior microclimate and thermal comfort of people in rooms)*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1999.
- [6] Bedford T.: *The warmth factor in comfort at work*. MRC industrial health board. Report no. 76. London, HMSO 1936.
- [7] ASHRAE Standard *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, 2003, pp. 10.
- [8] Klinka T., Krygier K., Seweryniak J.: *Ogrzewnictwo, wentylacja, klimatyzacja (Heating, ventilation, air conditioning)*. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1991.
- [9] Muller J., Skrzyniowska D.: *Jakość powietrza a wentylacja pomieszczeń (Air quality versus room ventilation)*. Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 4-Ś/2012, Zeszyt 28, pp. 41.
- [10] Nantka, M.B.: *Wentylacja w budownictwie ogólnym – przegląd, działanie, problemy i mity (Ventilation in general construction – review, operation, problems and myths)*. Materiały Forum Instalacyjnego, Poznań 2004 [in:] Telejko M.: *Evaluation of indoor air quality in selected nursery schools*. Budownictwo i Architektura 13(4), (2014), pp. 41-48.
- [11] Nowakowski E.: *Problemy z wentylacją grawitacyjną pomieszczeń (Problems of room gravity ventilation)*. Rynek Instalacyjny 9/02, pp. 58-62, [in:] Telejko M.: *Ocena jakości powietrza wewnątrz w wybranych przedszkolach (Evaluation of indoor air quality in selected nursery schools)*. Budownictwo i Architektura 13(4), (2014), pp. 41-48.
- [12] Telejko M.: *Ocena jakości powietrza wewnątrz w wybranych przedszkolach (Evaluation of indoor air quality in selected nursery schools)*. Budownictwo i Architektura, 13 (4) (2014), pp. 41-48.
- [13] Telejko M.: *Microclimate in a flat with additional air intakes*. Structure and Environment, 2 (1) (2010), pp. 48.
- [14] Tracz W., Piotrowski J.Z.: *Projekt budowlany budynku dydaktyczno-laboratoryjnego z łącznikiem wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach (Design of the teaching and laboratory building with an enclosed walkway for the Faculty of Environmental Engineering of the Kielce University of Technology)*. Kielce 2008.
- [15] [http://energis.tu.kielce.pl/index.php/krotki\\_opis\\_projektu](http://energis.tu.kielce.pl/index.php/krotki_opis_projektu)

Grzegorz Majewski  
Marek Telejko

# Komfort cieplny w budynkach inteligentnych

## 1. Wstęp

Określenie inteligentny budynek znane jest już od lat osiemdziesiątych XX wieku. Budynki inteligentne zaczęły powstawać, gdy ówczesne budynki nie potrafiły dorównać oczekiwaniom użytkowników. Do powstania budynku inteligentnego przyczynił się również rozwój nauk inżynierskich. Inteligentny budynek integruje różne systemy, aby w sposób zsynchronizowany zarządzać zasobami, a także zapewnić jak najlepsze funkcjonowanie jego użytkowników [1]. O tym, czy budynek należy do inteligentnych przesądza występowanie w nim jednego systemu zarządzania wszelkimi instalacjami tzw. systemu BMS (Building Management System) [2].

Inteligentny budynek to koordynacja między innymi systemów: klimatyzacji, wentylacji, ogrzewania, elektrycznych i zasilających, oświetleniowych, okablowania strukturalnego, audiowizualnych, kontroli dostępu, systemu włamania i napadu, sygnalizacji pożaru, transportu wewnętrznego, telekomunikacyjnych, informatycznych. Budynek inteligentny za pomocą systemów elektronicznych „odczuwa” zewnętrzne i wewnętrzne stany w budynku, a także „reaguje” na nie w celu zapewnienia użytkownikom bezpieczeństwa i komfortowych warunków [1].

## 2. Komfort cieplny a parametry powietrza

Głównymi informacjami na temat komfortu cieplnego ludzi przebywających w różnych środowiskach

cieplnych są ich własne oceny. Mikrośrodowisko służące dla ludzi powinno się dopasowywać tak, by znajdujący się w nim człowiek mógł je sformułować jako ani za ciepłe, ani za zimne, bądź jako przyjemnie ciepłe lub przyjemnie chłodne (tab. 1) [5].

Standardowo stwierdza się odczucie komfortu cieplnego na siedmiopunktowej skali (tab. 1). Strefą komfortu uważa się trzy środkowe oceny odczucia cieplnego [5]. Według Bedforda są to „przyjemnie”, „przyjemnie ciepło” i „przyjemnie chłodno” [6]. Natomiast zgodnie z ASHRAE będą to oceny „ani za ciepło, ani za zimno”, „lekko ciepło” i „lekko chłodno” [7]. Precyzyjna regulacja temperatury jest bardzo ważna, gdy w pomieszczeniu przebywa duża grupa ludzi. Tymczasem w optymalnej temperaturze powietrza statystycznie zawsze niezadowolonych jest 5% osób. Jeżeli temperatura przekracza optimum, wówczas liczba niezadowolonych osób szybko rośnie. Aby liczba niezadowolonych nie przekraczała 10%, temperatura musi być utrzymywana w granicach  $\pm 1,5$  K wokół optymalnej. W związku z tym w pomieszczeniach przeznaczonych dla dużej liczby ludzi powinny mieć precyzyjnie regulowaną temperaturę powietrza w niewielkim zakresie wokół optymalnej. Oprócz temperatury powietrza istotna jest również temperatura promieniowania oraz wilgotność powietrza. Ruch powietrza o temperaturze niższej od temperatury powierzchni ciała skutkuje zwiększeniem oddawania ciepła i nazywane jest odciążeniem kalorycznym. Wilgotność powietrza znacząco wpływa na odczucia ciepłe w wysokiej temperaturze. W takim pomieszczeniu, gdzie temperatura jest wyższa od komfortowej człowiek poci się. Jednoczesne występowanie wysokiej temperatury i dużej wilgotności powoduje łącznie brak komfortu, a to jest powiązane ze zmniejszeniem oddawania ciepła w postaci utajonej. Jednak w temperaturach komfortowych znaczenie wilgotności może być pomijane [5].

### 3. Budynek ENERGIS

#### 3.1. Charakterystyka obiektu

Budynek laboratoryjno-dydaktyczny ENERGIS będący siedzibą Wydziału Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach został oddany do użytkowania w 2012 roku. Budynek znajduje się w zachodniej części kompleksu obiektów Politechniki u zbiegu ulic Warszawskiej i Studenckiej. Jest to budynek siedmiokondygnacyjny (pięć kondygnacji nadziemnych oraz dwie kondygnacje podziemne). Konstrukcja obiektu żelbetowa monolityczna. Budynek posadowiony jest na żelbeto-

wej płycie fundamentowej. Ściany zewnętrzne żelbetowe ocieplone styropianem grubości 25 cm. Ściany wewnętrzne murowane z cegły ceramicznej. Stropy żelbetowe krzyżowo zbrojone. Stropodach żelbetowy ocieplony styropianem grubości 35 cm. W obiekcie znajdują się m.in.: sale wykładowe, audytoryjne, ćwiczeniowo-projektowe, seminaryjne, pracownie komputerowe, sale laboratoryjne, pomieszczenia biurowe oraz zaplecza laboratoryjne [14].

ENERGIS jest przykładem budynku energooszczędnego, inteligentnego, zasilanego z odnawialnych źródeł energii. Obiekt pozyskuje energię promieniowania słonecznego (ogniwa fotowoltaiczne, kolektory słoneczne), a także energię zakumulowaną w gruncie i powietrzu (pompy ciepła, rekuperatory). Cały obiekt jako przykład budynku inteligentnego wykorzystującego najnowocześniejsze energooszczędne technologie dla zasilania w media, nowatorskie rozwiązania pozyskiwania i akumulowania ciepła oraz nowoczesne technologie informacyjne dla celów sterowania i monitoringu sam w sobie stanowi interdyscyplinarne laboratorium [15].

#### 3.2. Wyniki badań zmian temperatury

System BMS budynku Energis rejestruje szereg parametrów – w tym temperaturę powietrza w pomieszczeniach. Zmiany tego parametru w czasie mogą posłużyć do wnioskowania o jakości sposobu regulacji w obiekcie, a także przyczynić się do podniesienia komfortu użytkowników. Rysunki 1, 2 i 3 przedstawiają zmiany temperatury w czasie jednej doby odpowiednio dla wybranego dnia: we wrześniu (gdy nie było jeszcze zajęć, a temperatura powietrza zewnętrzna była dodatnia) i w okresie zimowym tj. w styczniu (gdy również nie było zajęć w obiekcie) i w styczniu – w dniu z normalnymi zajęciami dla studentów studiów stacjonarnych.

W oparciu o powyższe rysunki można stwierdzić, że od godziny 6.00 następuje szybki wzrost temperatury do wartości uznawanych za komfortowe. Dzieje się tak nawet w dni, kiedy w obiekcie może w ogóle nie być studentów i pracowników (rys. 1). W tym przypadku można byłoby zaproponować usprawnienie polegające na zwiększeniu czasu, w którym mamy do czynienia z obniżoną temperaturą. Przyczyniłoby się to do redukcji kosztów. Około godz. 18.00-20.00 temperatura powietrza wyraźnie spada. Należy jednocześnie zaznaczyć, że w przypadku gdy odbywają się zajęcia temperatura w rozpatrywanym pomieszczeniu była dość precyzyjnie regulowana w zakresie ok. 1°C (rys. 3), co może również świadczyć o samodzielnej regulacji

tej wielości przez użytkowników za pomocą paneli sterujących w sali. Jednocześnie warto zauważyć, że w przypadku okresu zimowego temperatury rejestrowane poza czasem normalnej eksploatacji obiektu znacząco wykraczają poza obszar komfortu i sięgają ok. 11°C.

#### **4. Wnioski**

Potrzeba zapewnienia użytkownikom warunków komfortu cieplnego wymaga projektowania coraz droższych i wydajniejszych układów regulujących parametry powietrza wewnątrz pomieszczeń. Obecnie coraz powszechniej buduje się obiekty inteligentne, w których możliwe jest wykonywanie badań wpływu parametrów powietrza wewnętrznego na komfort cieplny użytkowników. Dane na temat zmian temperatury w połączeniu z badaniami ankietowymi, dotyczącymi oceny komfortu, a także innymi parametrami powietrza mogą prowadzić do określenia lepszego sposobu sterowania działaniem układów regulacyjnych w budynkach inteligentnych, co może przełożyć się na zmniejszenie odsetka osób niezadowolonych przy jednoczesnym ograniczeniu kosztów eksploatacyjnych obiektu. Dzięki zarządzaniu pracą poszczególnych urządzeń, na podstawie założonych harmonogramów czasowych i podanych parametrów, można także korygować efektywne zużycie energii w budynku.