

Weronika Lechowska\*

*Wytrząśnij z siebie dreszcze:  
komfort termiczny w strefach buforowych*

*Shake your shakes off:  
thermal comfort in buffer zones*

*Wstęp*

Celem projektu badawczego „Wytrząśnij z siebie dreszcze: komfort termiczny w strefach buforowych” było stworzenie metody analizy zależności pomiędzy parametrami pomieszczeń przyległych do budynku, funkcjonujących jako strefy buforowe, oraz ich wpływu na bilans energetyczny budynku. Przy tworzeniu tej metody analizy wykorzystane zostały różne strategie gier, tak aby osiągnąć finalną wersję pierwszego modelu gry – efektu projektu badawczego<sup>1</sup>. Model ma na celu pomóc znaleźć optymalny zestaw jak najlepszych rozwiązań stref buforowych (takich jak ogrody zimowe czy oszklone werandy), spełniających jednocześnie indywidualne oczekiwania mieszkańca.

Projekt składał się z trzech głównych części: opisu teoretycznego komfortu termicznego i stref buforowych wraz ze zdefiniowaniem ich użytkowników, opisu scenariusza gry, której celem jest jednocześnie zapewnienie zarówno komfortu cieplnego, jak i poziomu zadowolenia użytkownika budynku, oraz prowadzenia symulacji na wstępnym prototypie gry wraz z późniejszą ewaluacją tego prototypu i mechaniki gry.

\* Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej/Faculty of Architecture, Wrocław University of Science and Technology.

<sup>1</sup> Ten projekt jest częścią przewodu doktorskiego „Strefy buforowe w domach jednorodzinnych. Architektura, modelowanie, parametry energetyczne” i ma na celu umożliwienie dalszej analizy wpływu stref buforowych w istniejących budynkach.

*Introduction*

The aim of the research project “Shake your shakes off: thermal comfort in buffer zones” was to create a methodology for analysis of the dependence between parameters of a building’s adjacent spaces, functioning as buffer zones, and their impact on the building’s energy balance. The method should enable determination of the optimal parameters of buffer zone in the theoretical, simple model of the building. During the creation process, different game strategies were used to achieve the final version of the concept model, which in fact became a game scenario<sup>1</sup>. Model aims to find best solutions for buffer zones, such as sunspaces or winter gardens, simultaneously satisfying individual expectations of the inhabitant.

This research project consists of three main parts: theoretical description of the buffer zones and definition of their inhabitants including detailed analyses of thermal comfort factors; description of scenario for the game, which aims to solve the problem of satisfying at the same time both thermal comfort and happiness of buffer zone’s inhabitant (in this case the player); and conducting case simulations on initial game’s prototype with latter evaluation of the game mechanics and created prototype.

<sup>1</sup> This project is part of the doctoral dissertation “Buffer zones in single family houses. Architecture, computer modeling, energy parameters”, and it facilitates further analysis of the buffer zones impact on real houses.

### ***Pomieszczenia przyległe do budynku – termiczne strefy buforowe***

Strefa buforowa jest rodzajem pasywnego systemu służącego do akumulowania, magazynowania i rozprowadzania po budynku energii solarnej. Jest to zamknięta, nieogrzewana kubatura, przyległa do ogrzewanych pomieszczeń, która ogranicza straty ciepła i zmniejsza zapotrzebowanie budynku na energię [1]. Poza tym, że poprawia bilans energetyczny budynku, strefa buforowa ma również inne istotne zalety dla mieszkańców – płynnie łączy wnętrze budynku z otaczającą naturą, co poprawia samopoczucie mieszkańców i pozytywnie wpływa na jakość ich życia.

W XVIII w. zaczęto intensywnie rozwijać badania nad fizyką termiczną budynków, obliczano zapotrzebowanie budynku na energię potrzebną do ogrzewania, analizowano przepływ ciepła przez przegrody, badano izolacyjność cieplną materiałów. Strefy buforowe powoli ewoluowały z nieogrzewanych pomieszczeń przydomowych, intuicyjnie stosowanych np. w tradycyjnych chatkach drewnianych, do doskonale zaprojektowanych pasywnych systemów solarnych, takich jak podwójne fasady, ściany Trombe'a czy ogrody zimowe (il. 1). Współcześnie pomieszczenia służące do akumulacji ciepła zlokalizowane są najczęściej przy salonach i funkcjonują jako ogrody zimowe będące strefą przejściową pomiędzy bezpiecznym, ciepłym wnętrzem a zmiennymi warunkami środowiska wokół budynku (il. 2). W zależności od warunków pogodowych strefy te mogą służyć jako dodatkowa izolacja przed wiatrem i zimnem, jako dodatkowe zacienienie salonu czy miejsce na rośliny, które mogą tam przetrwać cały rok. Obecnie, z powodu coraz bardziej zastraszających się regulacji Unii Europejskiej dotyczących zapotrzebowania budynku na energię, strefy buforowe takie jak ogrody zimowe rzadko mogą być stosowane w domach niskoenergetycznych, ponieważ nie mogą rywalizować z coraz lepszymi materiałami izolacyjnymi stosowanymi w domach pasywnych czy zeroenergetycznych. Niestety skutkuje to tym, że domy zaczynają się zamykać przed środowiskiem zewnętrznym, co negatywnie wpływa na nasze samopoczucie. Otwiera to nowe pole do badań nad strefami buforowymi i poszukiwań lepszych rozwiązań umożliwiających spełnienie ostrych wymogów energetycznych.

Istnieje wiele programów symulacyjnych służących do analizy i optymalizacji warunków cieplnych w budynku oraz oceny komfortu termicznego jego użytkowników, wciąż jednak nie ma kompleksowego rozwiązania pozwalającego na jednoczesne przewidywanie komfortu termicznego oraz satysfakcji mieszkańców z wybranych rozwiązań w budynku (lub jego projekcie). Gra opisana w tym artykule umożliwiłaby mieszkańcom dokonanie oceny zarówno komfortu termicznego, jak i poziomu zadowolenia, nawet dla kilku graczy na raz.

### ***Mieszkaniec – człowiek w strefie buforowej***

Mieszkaniec (gracz) traktowany jest w grze jako stałocieplny ssak [3], [4] posiadający dużą samoświadomość, która pozwala mu nie tylko postrzegać zewnętrzne bodź-

### ***Ancillary spaces as buffer zones***

A buffer zone is one of the passive systems used for accumulation, storage and redistribution of solar energy. It is an enclosed, unheated cubature, adjacent to heated rooms of the building, which decreases heat losses and the building's heating energy demand [1]. Next to the building's energy balance improvement, buffer zones have also other important advantage for inhabitants – they connect inner, enclosed building's environment with outer nature. This positively influences our mental health and therefore increases the quality of life.

Since the 18<sup>th</sup> century, research studies on thermal physics in buildings were intensively developed – building's requirements for heating energy were calculated, heat flux and thermal conductivity was analysed (Fig. 1). Buffer zones slowly evolved from unheated ancillary spaces, intuitively located in traditional cottages, to well thought-out passive systems of solar energy accumulation and redistribution, such as double-skin facades, Trombe walls or sunspaces. Contemporary sunspaces are located around heated living spaces and they are buffers between the safe, warm inside and changeable outer environment (Fig. 2). Depending on weather conditions, they can serve as additional insulation, airtight coating, winter garden or extra shading. Nowadays, because of tightening regulations about the building's energy demand for heating, sunspaces might be used less frequently. They cannot compete with excellent and quite inexpensive insulation materials, which are used in passive and zero energy houses. However, latter-day houses close themselves from the outside environment, from nature, which is detrimental for our mental health. We should find new solutions for sunspaces, which will satisfy strict energy regulations and, at the same time, our health and mental needs.

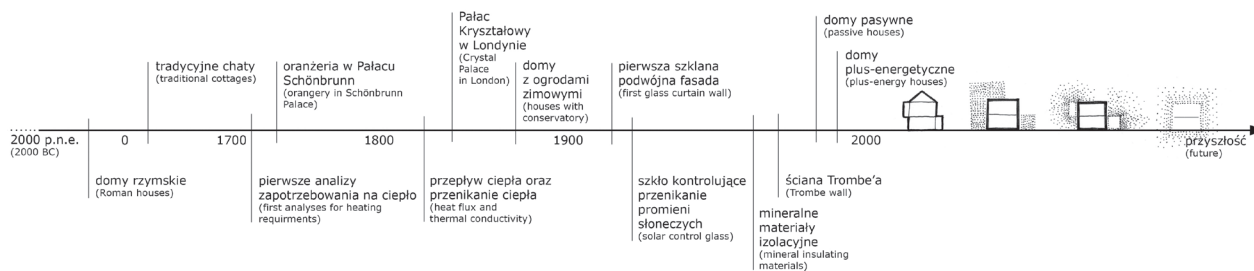
Nowadays there are many simulation programs, in which the building's thermal conditions may be simulated and thermal comfort assessed, but still there is no complex solution of determining both thermal comfort and inhabitant's satisfaction from the designed outcome. The game, described in this paper, aims to combine both assessments, which will vary, depending on the different players.

### ***Inhabitant – human being in buffer zone***

The inhabitant (i.e. game player) is understood as a homeothermic mammal [3], [4], with deep self-awareness, which enables him not only to perceive the external impulses, but also to complain about them. In this project man will be analysed from the medical point of view, as a human body.

Man perceives the external impulses through the sense of sight, hearing, smell, taste and sensor senses: touch, proprioception<sup>2</sup>, temperature and pain. In this project only two latter senses will be important for players – the sense of temperature and pain.

<sup>2</sup> Sense of the relative position of neighbouring parts of the body and strength of effort being employed in movement [5].



II. 1. Historia stref buforowych (oprac. W. Lechowska, na podstawie [2])

Fig. 1. History map of buffer zones (by W. Lechowska, based on [2])

ce, ale również narzekać na nie. W tym projekcie człowiek jest analizowany z fizjologicznego i medycznego punktu widzenia – jako ludzkie ciało, które odbiera zewnętrzne bodźce poprzez zmysł wzroku, słuchu, powonienia, smaku oraz zmysły dotyku: bólu, temperatury, równowagi i czucia głębokiego<sup>2</sup>. W tym projekcie skupiono się przede wszystkim na zmysłach temperatury i bólu.

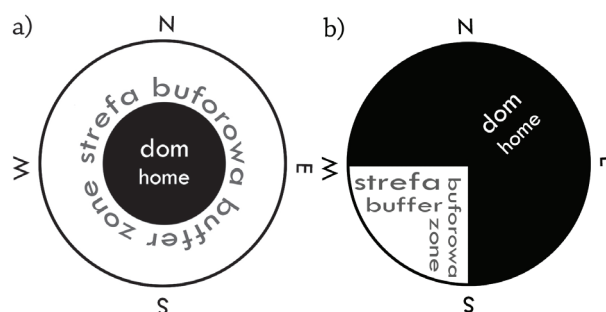
Ciało odbiera informacje o temperaturze poprzez termoreceptory [6], [7]. Dalej informacja wędruje poprzez rdzeń kręgowy do mózgu, gdzie we wzgórzu (*thalamus*) jest rozkodowywana. Termoreceptory rejestrują zmiany temperatury w ciele człowieka odbierane jako odczucie ciepła bądź zimna. Receptory te odgrywają istotną rolę w reakcjach obronnych organizmu, szczególnie przy utrzymywaniu stałej temperatury ciała potrzebnej do prawidłowej pracy wszystkich tkanek i narządów oraz do prawidłowego metabolizmu. Receptory zimna, których jest 10 razy więcej niż receptorów ciepła, rejestrują szerszy zakres temperaturowy (15–35°C); receptory ciepła rejestrują tylko zakres między 35 a 43°C. Temperatury poniżej 15°C lub powyżej 43°C odczuwane są jako ból [6], [7].

Komfort termiczny definiowany jest przez ASHRAE<sup>3</sup> jako [...] *stan umysłu, który wyraża satysfakcję z warunków cieplnych panujących w danym miejscu* [8, s. 68]. Komfort termiczny zależy od czynników środowiskowych, takich jak temperatura powietrza, temperatura promieniowania, wilgotność względna, prędkość i ciśnienie powietrza, jakość powietrza, oraz od różnych oddziaływań akustycznych i wizualnych. Do czynników indywidualnych należy m.in. ubranie, poziom aktywności fizycznej, możliwość indywidualnej kontroli, adaptacji i aklimatyzacji, roczny i dobowy rytm, odżywianie, warunki etniczne, wiek, płeć czy liczba ludzi w pomieszczeniu. Ostatnim typem czynników decydujących o komforcie termicznym są czynniki fizjologiczne, takie jak temperatura skóry, podatność czy skuteczność termoregulacji [9]–[11].

Zazwyczaj temperatura ciała waha się między 35,8 a 37,3°C. To zapewnia poprawne działanie wszystkich organów w ciele człowieka. Temperatura ciała człowieka jest inna niż temperatura otoczenia, dlatego potrzebuje ono różnego rodzaju „rozszerzeń” dla ochrony przed

<sup>2</sup> Zmysł orientacji ułożenia części własnego ciała względem siebie oraz napięcia mięśniowego [5].

<sup>3</sup> Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Ogrzewnictwa, Chłodnictwa i Klimatyzacji (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers).



II. 2. Schematy funkcjonalne budynków ze strefami buforowymi:

a) strefa buforowa wokół pomieszczeń ogrzewanych,

b) strefa buforowa wbudowana pomiędzy pomieszczenia ogrzewane (oprac. W. Lechowska)

Fig. 2. Examples of ideograms for simplified building constructions with buffer zones: a) buffer zone placed around heated rooms, b) buffer zone located between heated rooms (by W. Lechowska)

The body receives the information about the temperature through the thermal receptors [6], [7]. Next, the information is transported by the spinal cord to the brain, where in the thalamus it is decoded. Thermal receptors register changes in body temperature, felt as sensations of heat or cold. These receptors play an important role in the defence reactions, especially in maintaining a constant body temperature, needed to conduct normal function of tissues, organs and metabolism. The cold receptors, which are 10 times more numerous, receive a wider range of temperatures (15°C±35°C) than heat receptors, responsive in the range of 35°C±43°C. Operation of low temperature or high above this range is felt as pain [6], [7].

Thermal comfort is defined by ASHRAE<sup>3</sup> as: [...] *that condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment* [8, p. 68]. It depends on environmental factors, such as internal surface temperature, air temperature, relative humidity, air movement, air pressure, air quality, acoustic and visual influences. Individual factors are clothing, degree of activity, individual control possibility, adaptation and acclimatization, day and annual rhythm, nutrition, ethnic influences, age, sex or room occupancy.

<sup>3</sup> American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

zewnątrznymi warunkami pogodowymi: ubrania, schronów, budynków itp. Człowiek żyje w środowisku, w którym panują temperatury między  $-40$  a  $+60^{\circ}\text{C}$  [6] i jest w stanie przeżyć, jeśli temperatura jego ciała wynosi między  $20$  a  $41^{\circ}\text{C}$ . Powyżej  $41^{\circ}\text{C}$  następuje hipertermia, która skutkuje utratą wody i uszkodzeniem organów. Spadek temperatury ciała (hipotermia) jest tak samo niebezpieczny – przy temperaturze ciała wynoszącej  $35^{\circ}\text{C}$  nasze funkcje motoryczne pogarszają się, przy  $33^{\circ}\text{C}$  zaczynamy majaczyć, a przy  $30^{\circ}\text{C}$  tracimy przytomność. Temperatura  $20^{\circ}\text{C}$  jest granicą, poniżej której serce przestaje bić i następuje zgon [6].

### ***Komfort termiczny w strefie buforowej***

Celem symulacji wykonywanych w opisanym projekcie gry było stworzenie takich warunków w modelowanej strefie buforowej, aby nawet przy niskiej temperaturze zapewniony był komfort termiczny mieszkańców, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów i zapotrzebowania budynku na energię do ogrzewania. Pod uwagę wzięto wybrane sześć elementów wpływających na komfort termiczny (il. 3) – poziom metabolizmu, izolację ubrań, temperaturę powietrza, średnią temperaturę promieniowania, prędkość powietrza oraz wilgotność względną. We wstępnym prototypie, dla uproszczenia, uwzględniono tylko dwa czynniki indywidualne (poziom metabolizmu i izolacyjność ubrań) oraz jeden czynnik środowiskowy – temperaturę powietrza.

Każdy element wpływający na komfort termiczny ma przypisany jeden problem z nim powiązany oraz pomysł na jego rozwiązanie. Poziom metabolizmu zależy m.in. od poziomu aktywności fizycznej danej osoby – rośnie, gdy ktoś dużo się przemieszcza, maleje, kiedy odpoczywa.

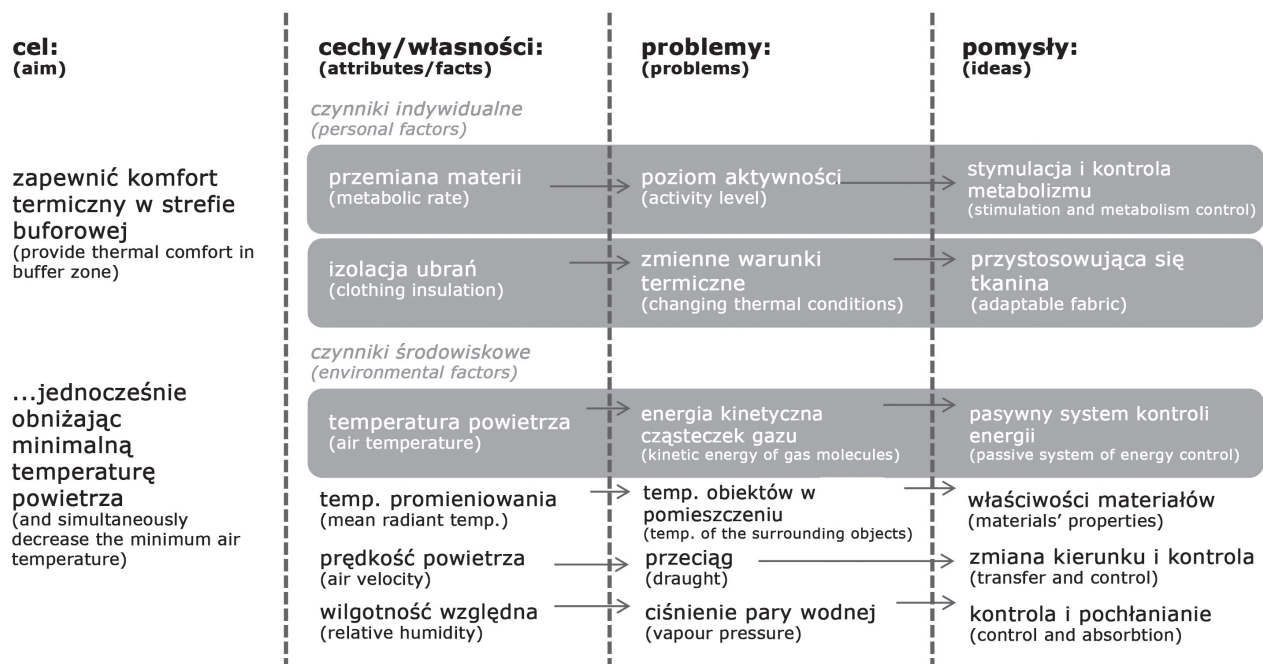
The last type of factors, which decide on the thermal comfort are physiological factors: skin temperature, sweat rate or effectiveness of thermoregulation [9]–[11].

Usually our temperature ranges from  $35.8$  to  $37.3^{\circ}\text{C}$ . That ensures the smooth functioning of all organs. The temperature of the human body is different than the ambient temperature and this is why the body needs some “extensions” for protection, depending on the weather conditions: clothes and shelters, such as houses. Man can live in an environment with temperature from  $-40$  to  $+60^{\circ}\text{C}$  [6]. The body temperature can vary between  $20$ – $41^{\circ}\text{C}$ . At temperatures above  $41^{\circ}\text{C}$  (hyperthermia) there is a significant loss of body fluid drainage and organ damage. Decrease of the temperature is just as dangerous as its increase. If we have  $35^{\circ}\text{C}$ , our motor functions worsen, at  $33^{\circ}\text{C}$  we get delirious, and at  $30^{\circ}\text{C}$ , we lose consciousness.  $20^{\circ}\text{C}$  is the limit below which the heart stops beating and the person dies [6].

### ***Thermal comfort of buffer zone***

Achieving thermal comfort in the buffer zone, with simultaneous decrease of air temperature needed to satisfy the inhabitant’s comfort, is the main aim of this project and it may result in meaningful decrease of the building’s energy demand for heating and fair cost savings. The aim consists of six factors mentioned in Figure 3. In initial prototype, for simplification, only personal factors and one environmental factor are analysed: metabolic rate, clothing insulation and air temperature.

Each factor (or attribute) of the aim, has assigned one problem and one idea of solution. The metabolic rate is dependent on the person’s activity level; it increases when the activity level becomes higher and the other way round.



Il. 3. Projekt – cele, czynniki, problemy i pomysły (oprac. W. Lechowska)

Fig. 3. Aim, attributes, problems and ideas of the project (by W. Lechowska)

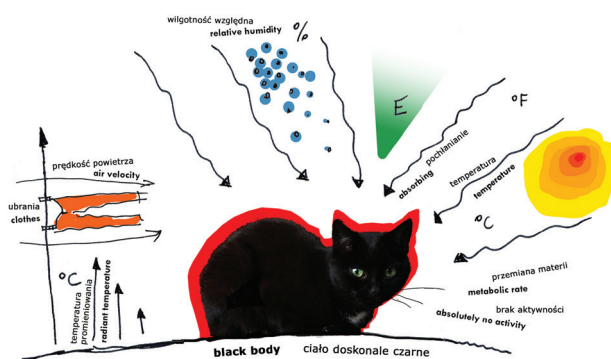
To prowadzi do kolejnego problemu, jakim jest izolacja ubrań i zmienna temperatura powietrza. Jego rozwiązaniem mógłby być nowy rodzaj tkaniny – uczącej się naszych preferencji temperaturowych i dopasowującej się do naszych oczekiwań poprzez zmianę współczynnika izolacyjności. Przy problemach z temperaturą promieniowania i temperaturą powietrza prostą receptą byłoby wprowadzenie pasywnych systemów energetycznych i systemu kontroli oraz poprawienie właściwości materiałów budowlanych tak, aby mogły akumulować energię słonną lub ją odbijać na zewnątrz. Rozwiązanie kwestii przeciągów i złej wilgotności wymagałoby zaawansowanego systemu kontroli oraz materiałów, które byłyby w stanie absorbować nadmiar wilgoci. Największym problemem jest wzajemna współzależność wszystkich czynników, przez co bardzo trudno zapewnić komfort termiczny w budynku i niezbędne jest używanie programów symulacyjnych do obliczania i sprawdzania warunków termicznych w projektowanych lub istniejących obiektach.

Intuicyjne wyobrażenie komfortu termicznego (il. 4) pokazuje główny problem gry – jak zdefiniować równowagę pomiędzy wszystkimi czynnikami wpływającymi na komfort termiczny. Łączy ideę ciała doskonale czarnego<sup>4</sup> z fenomenem zachowania kota, zwierzęcia o niesamowitym talencie do wyszukiwania najcieplejszych miejsc w mieszkaniu i pochłanianiu energii z grzejników, laptopów, żarówek, a najchętniej z ludzi. Koty zawsze potrafią znaleźć idealne miejsce w pomieszczeniu i to właśnie ma naśladować gra.

### Projekt gry „Wytrząśnij z siebie dreszcze”

#### Scenariusz gry

Gra „Wytrząśnij z siebie dreszcze” bazuje na symulacjach i systemie konfliktów, a jej głównym wyzwaniem jest jednoczesne zagwarantowanie komfortu termicznego i zapewnienie jak najwyższego poziomu zadowolenia gracza. Komfort termiczny zależy od wielu czynników, jednak na potrzeby gry ograniczono się do sześciu (il. 3). Mimo to ocena chwilowego komfortu termicznego nadal jest bardzo trudna ze względu na problem indywidualnego odczuwania temperatury oraz preferowanych warunków środowiskowych, które mogą prowadzić do pewnych paradoksów i konfliktów. Przykładem jest przebywająca w jednym pomieszczeniu grupa ludzi, z których każdy wszystko odczuwa inaczej i ma inne oczekiwania. Jeśli jedna osoba chce zmienić jakiś czynnik, wpłynie to na odczuwanie komfortu przez pozostałych. Inny paradoks odnosi się do metabolizmu: poziom metabolizmu rośnie, kiedy aktywność fizyczna wzrasta – wtedy jest nam ciepło. Jednak nie możemy być w ruchu przez cały czas. Kluczowym problemem w tej grze jest symulowanie rzeczywistych, chwilowych temperatur panujących w pomieszczeniu jednocześnie ze zaktualizowanym poziomem metabolizmu i innych warunków termicznych. W grze *The Sims* [13]



Il. 4. Intuicyjne wyobrażenie komfortu termicznego (oprac. W. Lechowska)

Fig. 4. Intuitive image of the thermal comfort (by W. Lechowska)

This brings us to the next problem of clothes and changing thermal conditions. The solution for them would be a new type of material, e.g. fabric, which can learn about our comfort sensations in different temperatures and adapt to our expectations in the future. For problems with air and radiant temperatures there would be a simple solution of introducing passive energy systems and a control system and also improving the materials' properties, so that they could accumulate and store solar energy. Solving problems with draughts and humidity would demand advanced control systems and new materials, which could absorb surplus of vapour. The biggest problem with all these factors is that they all are dependent on each other and one slight change can significantly impair thermal comfort. This is why the use of advanced calculation programs is necessary to assess simulated thermal comfort.

The intuitive image of thermal comfort (Fig. 4) depicts the main problem of the game – how to find balance between all factors influencing thermal comfort: metabolic rate, clothing, air and radiant temperature, humidity and air velocity. This picture combines the idea of a black body<sup>4</sup> and phenomenon of cats' behaviour – their remarkable talent to find the best spots for them, and absorb heat energy from heaters, laptops, lamp bulbs, human beings, etc. They can always find their best spot. So we are trying to do it in this game.

### “Shake your shakes off” game design

#### Game scenario

The game “Shake your shakes off” is a play of simulation and system of conflicts. It is also a challenge game, which aims to achieve simultaneously the highest thermal comfort and level of happiness/satisfaction. Thermal comfort depends on many factors, but for the game purposes it was restricted to six factors/attributes (Fig. 3). Even though, assessing properly momentary thermal

<sup>4</sup> Wyidealizowane ciało fizyczne, które pochłania całe promieniowanie elektromagnetyczne, niezależnie od częstotliwości czy kąta padania [12].

<sup>4</sup> An idealized physical body that absorbs all incident electromagnetic radiation, regardless of frequency or angle of incidence [12].

problem ten jest rozwiązany poprzez wyświetlanie temperatur tylko w pewnych przedziałach – bardzo ciepło, ciepło, komfortowo, zimno, bardzo zimno – przez co uproszczone jest określanie komfortu oraz proces obliczeniowy.

Projektowana gra umożliwia prowadzenie symulacji zarówno dla budynków w fazie projektu, jak i dla tych już istniejących. Jest to gra komputerowa z symulacjami przeprowadzanymi w programie Energy Plus, z możliwością wykorzystania czujników temperatury i wilgotności w budynkach istniejących – pomogą one w kalibracji modelu budynku z prawdziwym obiektem. Pozwoli to na dopasowanie strefy buforowej do zmieniających się potrzeb graczy/mieszkańców.

Gra jest zaprojektowana dla jednego bądź wielu graczy. Jeden gracz (np. mieszkaniec lub projektant budynku) może wybrać wstępne ustawienia, które będą później rozwijane przez komputer. Może zmieniać różne preferencje, takie jak wielkość rodziny lub rodzaj aktywności fizycznej w różnych pomieszczeniach. Na początku musi on zdefiniować lokalizację budynku, porę dnia i roku (w ten sposób definiowana będzie pogoda na zewnątrz), lokalizację i kształt strefy buforowej, materiały konstrukcyjne, typ okien i drzwi oraz czas ich otwierania. Na dalszym etapie gry może wprowadzać więcej zmian, tak aby dostosowywać pomieszczenia do własnych potrzeb. W wersji dla wielu graczy scenariusz jest taki sam poza tym, że uwzględniane będą potrzeby wszystkich graczy (członków rodziny). Komfort termiczny będzie musiał być zapewniony dla wszystkich mieszkańców domu jednocześnie, a dzięki szybkim symulacjom i narzędziom optymalizacyjnym możliwe będzie znalezienie takiego kompromisu.

Mechanika gry składa się z różnych elementów, na które gracz ma bezpośredni wpływ poprzez zmiany ustawień (kształt i wielkość budynku, rozkład pomieszczeń, materiały konstrukcyjne, okna) oraz wpływ pośredni – poprzez wprowadzanie pewnych informacji, które program będzie interpretował, np. zmiany w lokalizacji budynku powodują wczytanie danych pogodowych dla danego miejsca. Gra przewiduje również dodatkowe czynniki takie jak funkcjonalność, estetyka czy koszty, które wpływają na poziom zadowolenia gracza.

Czynniki środowiskowe mogą być zmieniane tylko przez wykonanie pewnych akcji – zmianę geometrii budynku lub zmianę właściwości elementów strefy buforowej, np. rozmiar okien. Czynniki indywidualne mogą być dostosowane w każdym momencie gry. Dla uproszczenia, we wstępnym prototypie tylko temperatura powietrza, aktywność fizyczna i izolacyjność ubrań mają wpływ na odczuwanie komfortu termicznego, jednak docelowo gra przewiduje wykorzystanie wszystkich czynników do oceny komfortu.

Diagramy sekwencji działań przedstawione na ilustracji 5 pokazują algorytm gry z punktu widzenia jej projektanta i użytkownika. Na początku gracz może wybrać lokalizację, kształt i rodzaj materiałów zastosowanych w modelu budynku, określić pewne preferencje i zdefiniować aktywność fizyczną. Wszystkie te ruchy są widoczne dla projektanta jako zmiany wartości liczbowych używanych do obliczeń w programie symulacyjnym. Po wykonaniu obliczeń komfortu termicznego i poziomu zadowolenia gracz może zdecydować, bazując na informacjach

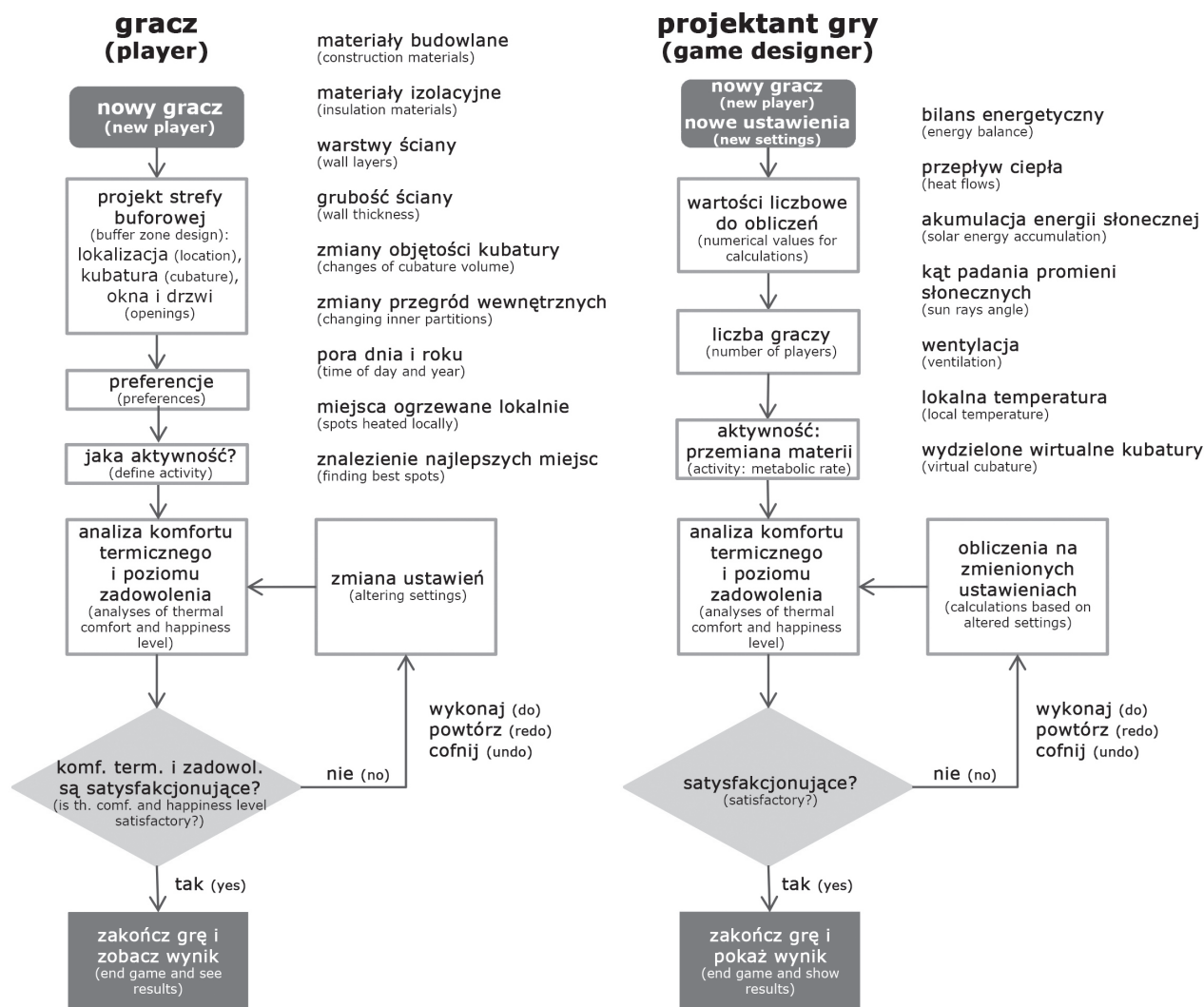
comfort is a very difficult task to perform. There are also problems of individual sensation of temperatures and favorable conditions, which cause some paradoxes and conflicts, for example all environmental factors influence a group of people, who stay in an enclosed area. If they want to change one of the factors, it will influence all the other people. Another paradox relates to the metabolic rate – metabolism increases, when our activity level gets higher. But we cannot be moving all the time. The crucial problem in this game is simulation of the real time temperature with updated metabolic rates and thermal conditions. In *The Sims* game [13] this problem is solved by displaying temperatures only in some ranges, e.g. very hot, hot, comfort, cold, very cold, which simplifies assessing thermal comfort and streamlines this process.

The designed game provides simulations for both buildings in the concept of design and the existing buildings. The player is focused, during the game, on finding the best settings for the buffer zone adjacent to his house. For building's design only PC and Energy Plus program would be used for simulations, but for already built houses, also sensors and devices may be used. Temperature sensors enable calibration of the game's model with real conditions in existing building. Due to this solution, the buffer zone in the real building can be adjusted to changing preferences of players.

The game is designed for one or many players. One player (e.g. inhabitant or building's designer) may choose some initial settings, which are later developed by computer. He can change different preferences, such as family size (influencing heat gains) or activity (influencing perceived temperatures). At the beginning of the game he must define the building's location, time of day and season (which influences weather), location and geometry of the buffer zone, construction materials, type of openings in buffer zone and their schedule. In further stages of the game the player introduces more changes, so that he can adjust the buffer zone to his needs. In the multi players version the game scenario is similar, except that all the needs of all players (e.g. family members) must be satisfied at the same time. Due to quick simulation and optimisation tools it is possible to find a compromise between expectations of all house residents.

The game's mechanics consists of different factors that can be influenced by the player directly – by changing some settings, or indirectly – by introducing information, which is interpreted by the program, e.g. changes in location influence indirectly weather and daily temperatures. Among those factors there is one environmental factor – air temperature, and two personal factors – activity level and clothes; and few satisfaction factors – functionality, aesthetics and cost.

Environmental factors can be changed only by some actions, e.g. altering space geometry or changing properties of buffer zone elements, e.g. size of openings. Personal factors can be adjusted in any moment of the game. In the initial prototype only air temperature, activity and clothes will affect our thermal comfort, but in further research also other factors will count, and then playing will be much more intriguing.



Il. 5. Diagramy sekwencji działań – z punktu widzenia gracza i projektanta gry (oprac. W. Lechowska)

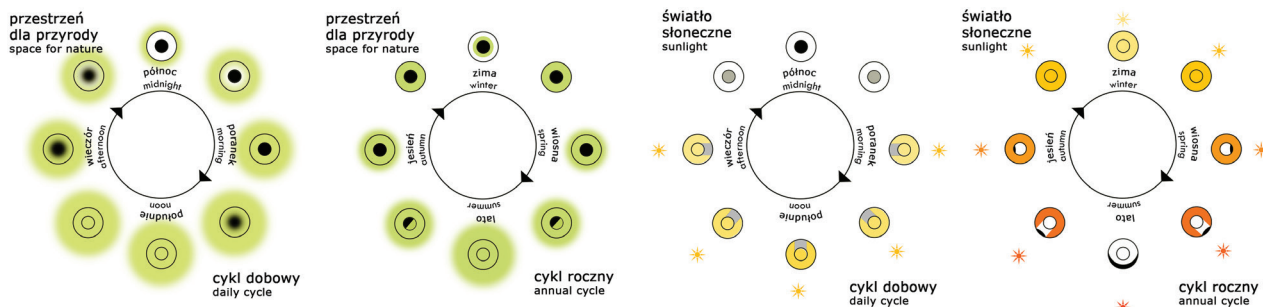
Fig. 5. Flowcharts – player’s and game designer’s point of view (by W. Lechowska)

wyświetlanych na stronie głównej, czy jest usatysfakcjonowany wynikiem czy nie. Jeśli tak, to gra się kończy, a on może przeanalizować wyniki – finalny kształt budynku oraz jego ustawienia. Jeśli wynik się nie podoba, może on zmienić kolejne ustawienia i czekać na rezultat – w wypadku gdy wynik jest gorszy niż poprzedni, gracz może cofnąć ruch. Wszystkie elementy geometrii budynku lub materiały konstrukcyjne widoczne dla gracza są w rzeczywistości modelem liczbowym obliczającym przepływy energii.

Komfort termiczny jest ściśle powiązany ze zmysłem dotyku: odczuwania temperatury i bólu. Niestety najłatwiejszą metodą pokazania, czy komfort termiczny i poziom satysfakcji zostały zagwarantowane, są kontrolki na głównym ekranie gry. Mogą być postrzegane tylko przez zmysł wzroku. Przy podejmowaniu decyzji o kształcie budynku również bazujemy na dwuwymiarowym rysunku modelu. Możliwym rozwiązaniem byłoby wprowadzenie pewnych czujników i symulatorów, które mogłyby imitować odczucia termiczne zamodelowane w grze. Gracz mógłby naprawdę odczuwać zimno i gorąco i na bieżąco samemu decydować, kiedy komfort termiczny zostaje zapewniony.

The following flowcharts (Fig. 5) depict the game algorithms from the player’s and game designer’s point of view. At the beginning, the player can choose the location, cubature and openings in the building’s model, set some preferences and define activity. These actions are visible for the game designer as altering numerical values used for calculations in a special simulation program. After calculations of thermal comfort and happiness, the player may decide, based on controls in the game interface whether this is a satisfactory result or not. If yes, the game ends and the player can analyse the outcome – the building’s final geometry and settings. If not, the player can change some other settings and wait for the result – when it is better than previous one, he can leave changes and play further or end game; in case the new result is worse, the player may “undo” the action. All settings, that can be altered, are visible for the player as some geometry or material change, when in fact, they are energy flow changes, calculated in the program.

Thermal comfort is strictly tied up with the sense of touch: sense of temperature and pain. Unfortunately, the easiest method of showing the achieved thermal comfort



II. 6. Osie czasowe – roczne i dzienne cykle zasięgu zieleni i nasłonecznienia (oprac. W. Lechowska)

Fig. 6. Timelines – annual and daily cycles of nature intrusion and sunlight (by W. Lechowska)

### Symulacje parametrów gry

Mechanika gry zawiera cztery typy symulacji – czasu, materiałów, przestrzeni oraz energii – które poprzez wprowadzanie zmian w modelu budynku pomagają przy obliczeniach i ocenie komfortu termicznego w strefach buforowych. Wszystkie symulacje mogą być przeprowadzane przy użyciu programu Design Builder<sup>5</sup> v.4.1 [11], który tworzy środowisko gry w pierwszym prototypie, natomiast docelowa gra byłaby swego rodzaju interfejsem dla obliczeń termicznych połączonych z oceną poziomu zadowolenia gracza.

Pierwszym typem symulacji jest zmiana czasu. Istnieje możliwość modyfikacji pory dnia i roku tak, aby sprawdzić, jak będzie się zachowywała strefa buforowa przy różnych warunkach pogodowych. Różne ustawienia czasu wpływają na zmianę temperatury zewnętrznej oraz na kąt padania promieni słonecznych, a tym samym na temperaturę wewnątrz budynku. Na ilustracji 6 pokazano, jak zmienia się nasłonecznienie oraz zasięg zieleni na zewnątrz budynku (otwarcie strefy buforowej na zewnątrz) w zależności od pory roku i dnia.

Symulacje prowadzone w dwóch okresach w ciągu roku, które mają skrajne temperatury (najzimniejszy oraz najcieplejszy tydzień w roku), umożliwiają sprawdzenie wewnętrznych warunków w strefie buforowej dla najgorszych scenariuszy – przegrzania i nadmiernego wychłodzenia. Te dwa przypadki są najbardziej niebezpieczne nie tylko dla mieszkańców, ale również zwierząt i roślin, dlatego gracz musi rozwijać swój model strefy buforowej w odniesieniu do tych ekstremalnych warunków.

Dla wygody gracza scenariusz gry uwzględni ruchy „do”, „redo” i „undo”, które mogą być użyte do zmian temperatury w pomieszczeniach ogrzewanych; przy zmianach przepływu powietrza pomiędzy środkiem budynku a strefami wokół i środowiskiem zewnętrznym; przy zmianach zacienienia, warstw ścian, grubości ścian czy materiałów oraz przy zmianach pór roku i dnia. Te wszystkie działania umożliwiają szybki rozwój modelu w grze i łatwe przejście między ruchami gracza.

and happiness in the game, are the controls. They can be perceived only by the sense of sight from the game’s interface on the screen. The same situation is in the decision process about changing the settings – there is a two dimensional picture of the building’s model, but we cannot actually enter it. A possible solution would be introducing some stimuli, which could imitate thermal sensations based on thermal conditions modeled in the game’s reality. The player could then sense chill or heat and assess himself, if he actually feels thermal comfort.

### Game parameters’ simulations

The game mechanics contains four types of simulations – time, material, spatial and energy, which through introducing changes in the building’s model help with calculations and assessment of thermal comfort in the buffer zone. All simulations might be conducted with the help of Design Builder<sup>5</sup> v.4.1 program [11] and in case of creating a real game, it should be treated as an interface for thermal calculations with happiness factor included.

The first type of simulations is the changing of time. It is possible to change the time of day and season to check how the buffer zone will behave in different weather conditions. Altering the time implicates the change in outside air temperature and solar radiation, which affect inner temperatures and therefore thermal comfort. Figure 6 depicts how the sunlight changes and the range of nature outside the house (opening the buffer zone on the outside environment) depending on the season and time of the day.

Simulations conducted during two periods in the year with extreme temperatures (the coldest winter time and the hottest summer time) enable checking the buffer zone’s inner conditions for worst case scenarios, namely overheating and overcooling of inner space. These two cases are most dangerous not only for the inhabitants, but also for animals and plants and that is why the player should develop the design of the buffer zone with reference to those extreme conditions.

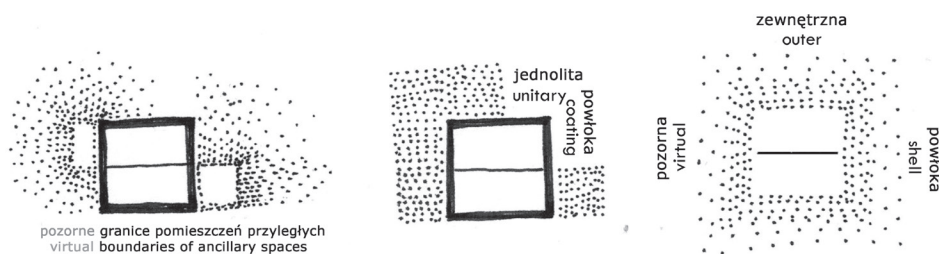
<sup>5</sup> Nakładka programu Energy Plus.

<sup>5</sup> Interface for Energy Plus.



II. 7. Symulacje przestrzenne  
(oprac. W. Lechowska)

Fig. 7. Spatial simulations  
(by W. Lechowska)



Symulacje materiałów polegają na zmianie typu materiałów i ich właściwości, takich jak przewodność cieplna, ciepło właściwe lub gęstość, oraz zależą od lokalizacji i funkcji danego materiału. Materiały wykorzystane w budynku powinny mieć zdolność adaptacji do warunków termicznych w strefie buforowej oraz przeciwdziałać przegrzaniu i wyziębieniu poprzez zmienne temperatury promieniowania – wysokie zimą i małe latem. Interesujące byłoby wprowadzenie materiałów, które potrafiłyby zmieniać swój kształt w zależności od warunków temperaturowych czy wilgotności. Nowy, „automatycznie zmieniony” kształt mógłby tworzyć dodatkowe zacienienie okna chroniące przed bezpośrednim promieniowaniem. Gra umożliwiałaby również wprowadzenie wewnętrznej masy termicznej wykonanej z materiałów, które mają duże ciepło właściwe i mogą magazynować energię cieplną przez długi czas. Innym rodzajem materiałów możliwych do wprowadzenia w grze byłyby materiały zmiennofazowe (Phase Change Materials – PCM), które również potrafią magazynować ciepło i wykorzystywane są w zaawansowanych systemach cyrkulacji ciepła w budynku.

Kolejnym typem symulacji prowadzonych w trakcie gry są symulacje przestrzeni, uwzględniające zmiany w kształcie budynku, kubaturze oraz przegrodach wewnętrznych (il. 7). W tych symulacjach analizowane są nie tylko różne wielkości strefy czy warianty podziałów przestrzeni, ale również symulacje podziałów wirtualnymi przegrodami<sup>6</sup>.

Ostatnim typem symulacji są symulacje energetyczne, pozwalające na obserwację przepływu ciepła pomiędzy trzema obszarami – ogrzewanym wnętrzem budynku, strefą buforową i środowiskiem zewnętrznym. Symulacje te uwzględniają również testy wielu rodzajów urządzeń emitujących ciepło w mniejszych obszarach strefy buforowej. Jeden z takich testów jest częścią prototypu i sprawdza, ile energii powinno być wyemitowane w danej małej przestrzeni podczas najzimniejszego tygodnia w roku, tak aby spełniony został warunek komfortu termicznego.

*Kryteria oceny komfortu termicznego  
i poziomu zadowolenia z zastosowanych rozwiązań*

Po każdej symulacji modelu strefy buforowej przeprowadzonej przez gracza generowany jest wynik komfortu termicznego oraz poziomu satysfakcji z otrzymanego rozwiązania. Oba rezultaty przedstawione są jako graficzne symbole i wartości liczbowe – poziom zadowolenia od

For the player's convenience the game scenario includes the following actions “do”, “redo” and “undo”, which can be used during the changing of temperatures inside the heated part of the building; changing of air flows between the core of the building, the buffer zone and outside environment; changing of shading, wall layers, wall thickness, materials; changing of seasons and time of the day. These actions facilitate fast development of the game model and smooth moves between different settings and decisions.

Material simulations focus on altering material types and their properties, such as thermal conductivity, specific heat or density, and this depends on the location and function of the particular material. Inner surface materials should be able to adjust to thermal conditions in the zone and counteract overheating or overcooling by different (maybe changeable) radiant temperatures – warm in winter and cold in summer. Materials could also change their shape, depending on the altering conditions, such as temperature or humidity. New “automatically changed” geometry could create extra window shading protecting from direct solar radiation. The game also facilitates introduction of internal thermal mass, constructed of materials that have high specific heat coefficient and can store heat for a long time, such as clay. Other materials, that can store and release large amounts of energy, such as phase change materials (PCM), and they are used in advanced systems of the building's heat circulation.

A different type of simulations is based on spatial changes, including altering of cubature volume, changing inner partitions, introducing virtual partitions<sup>6</sup> and divisions into smaller buffer spaces (Fig. 7). In these simulations, not only different sizes of zone volumes or variants of inner partitions are checked, but also situations, when the inhabitant stays in virtual space inside the zone, where conditions are different from those in neighbouring spaces.

Finally, energy simulations consist of analyses of energy flows between different spaces – heated building's core, buffer zone and outside environment. They include also tests of miscellaneous devices emitting heat in smaller parts of the buffer zone. One of those tests is part of initial prototype of concept nucleus and it checks, how much energy should be emitted in this space during one of the coldest weeks of a year, to meet thermal comfort requirements.

<sup>6</sup> Przegrody te oddzielają dwie przestrzenie o różnych warunkach termicznych znajdujące się w jednym pomieszczeniu; przegrody te nie istnieją w rzeczywistym budynku.

<sup>6</sup> A virtual partition is a partition between 2 zones which exists purely to sub-divide the space up and has no corresponding wall in the actual building.

0 do 1 oraz komfort termiczny między -1 (nadmierne wychłodzenie), a +1 (nadmierne przegrzanie), gdzie zero oznacza optymalne warunki cieplne. Ocena opiera się na różnych kryteriach ewaluacyjnych. Dla komfortu termicznego wszystkie kryteria są ilościowe – każde kryterium ma skalę punktową pomiędzy 1 (za niski) a 7 (za wysoki), natomiast przedział pomiędzy tymi wartościami oznacza mniej lub bardziej satysfakcjonujące warunki dla gracza. Z kolei kryteria ewaluacyjne dla poziomu zadowolenia są jakościowe – punkty pomiędzy 1 (źle) a 4 (dobrze) opisują uczucia gracza dotyczące różnych elementów modelu. Wszystkie wyniki cząstkowe oraz finalny, będący ich sumą, są widoczne dla gracza i na ich podstawie może on decydować o następnym kroku.

#### *Analiza SWOT scenariusza gry*

Główną zaletą opisywanej gry jest możliwość prowadzenia obliczeń w programie symulacyjnym, w którym wszystkie aspekty komfortu termicznego mogą być zdefiniowane i ocenione. Dodatkowo gra „Wytrząśnij z siebie dreszcze” umożliwia określenie poziomu zadowolenia, który pomaga przy podejmowaniu ostatecznej decyzji co do konstrukcji strefy buforowej. Kolejną zaletą jest to, że program symulacyjny ma wbudowaną bazę danych meteorologicznych z wielu lokalizacji w Polsce i na świecie, co umożliwia symulacje w różnych warunkach klimatycznych i pogodowych.

Jedną z największych przeszkód do stworzenia niezależnej gry jest brak odpowiednich środków finansowych. Zaprojektowanie i skonstruowanie gry potrafiącej wykonywać obliczenia termiczne bazujące na algorytmach Energy Plus wymagałoby olbrzymich nakładów. Z tego względu opisywany prototyp jako narzędzie do obliczeń wykorzystuje program Design Builder. Gdyby jednak była możliwość opracowania prawdziwej gry, można by ją było połączyć nie tylko z programem symulacyjnym i komputerem, ale również z czujnikami i stymulatorami imitującymi prawdziwe odczucia temperatury.

Dzięki przejrzystemu interfejsowi gra byłaby dostępna nie tylko dla projektantów i inżynierów zajmujących się bilansem cieplnym budynków, ale dla wszystkich osób, które chciałyby podjąć się przeprojektowania swojego domu oraz stworzenia poprawnie funkcjonującego przeszklonego pomieszczenia.

#### *Prototyp gry*

##### *Model podstawowy*

Pierwszy prototyp strefy buforowej w grze „Wytrząśnij z siebie dreszcze” został stworzony w programie Design Builder v.4.1, w którym były prowadzone wszystkie symulacje. Model budynku ma uproszczony rzut i konstrukcję – jest to dom jednokondygnacyjny na planie koła, gdzie wewnętrzny „rdzeń” jest ogrzewany, a wokół niego jest nieogrzewana strefa buforowa w formie pierścienia. Gra umożliwia tworzenie również bardziej skomplikowanych modeli, odzwierciedlających konstrukcję istniejących budynków, jednak pierwsze testy

#### *Criteria of thermal comfort and happiness assessment*

After each simulation performed by the player on the buffer zone's model there is an outcome of thermal comfort and happiness shown on the scale. Both outcomes are displayed as graphic icons and numerical values – happiness from 0 to 1 and thermal comfort has both ends with values -1 (overcooling) and +1 (overheating), whereas 0 indicates optimal conditions understood as thermal comfort in balance. Results are based on different evaluation criteria. For thermal comfort, all criteria are quantitative. In each criterion, there are points between 1 (too low) and 7 (too much), and the middle range between them satisfies the player's requirements and expectations. Evaluation criteria for happiness are, in turn, qualitative. Points between 1 (bad) and 4 (good) describe the player's feelings about some aspects. Results from all criteria are summed up to the final outcome, and they are all visible to the player, so he can decide what to do in the next move.

#### *SWOT analysis of the game scenario*

The main advantage of the game is that all calculations can be conducted in the simulation program, where all aspects of thermal comfort can be defined and assessed. Additionally, the game “Shake your shakes off” facilitates determining the happiness factors, which help in final decision about the buffer zone's construction. Also, this program for thermal calculations has inbuilt meteorological data bases from different locations, which enable simulations of different climate and weather conditions.

One of the biggest obstacles to the creation of an independent game is money. To design and create the game, which can calculate thermal conditions based on algorithms from Energy Plus, would require huge resources. That is why the initial prototype is using the Design Builder Program as a calculation engine. But if it was possible to create the real game, it could combine not only PC and programs, but also sensors that could imitate real feelings of temperature. Nevertheless, this game has a huge potential due to the fact that creating the model of the house and buffer zone would be easy and intuitive for everyone. Each of us could design his own winter garden or atrium and play with it, no matter what educational background he has.

#### *Prototype of the game*

##### *Basic model*

The buffer zone's initial prototype of the game “Shake your shakes off” was created in Design Builder v.4.1 and all simulations were conducted in this program. The building's model has a simplified plan and construction. It is a one storey house, with a circular plan, where the inside “core” is the inhabited, heated zone, with the unheated buffer zone “ring” around it. This game enables the creation of a more complicated building's geometry, but for the first test it was easier to create a simple construction with clear space division.

przeprowadzono na uproszczonym modelu, aby łatwiej było uzyskać jasny podział przestrzeni.

Prototyp, dla ułatwienia, wykorzystuje do obliczeń komfortu termicznego tylko jeden czynnik środowiskowy – temperaturę powietrza wewnątrz budynku. Przyjęto dwie temperatury jako graniczne dla spełnienia warunku komfortu w różnych porach roku: 27°C latem i 18°C zimą, a w każdej symulacji został zdefiniowany poziom aktywności fizycznej użytkownika danego pomieszczenia; zakłada się również, że użytkownik ten ma na sobie odpowiednie ubranie.

Środkową częścią modelu budynku jest ogrzewany „rdzeń” o promieniu 5 m, powierzchni 78,2 m<sup>2</sup> i wysokości 3,17 m oraz „pierścień” strefy buforowej zlokalizowany wokół „rdzenia”; szerokości 3 m, powierzchni 119,5 m<sup>2</sup> i wysokości 3,17 m. Dla obu typów stref zostały wprowadzone wstępne założenia dotyczące temperatury, przedziałów czasowych włączonego ogrzewania oraz aktywności fizycznej mieszkańców przebywających w tych pomieszczeniach. W ogrzewanym „rdzeniu” temperatura została ustawiona na 21°C, z maksymalnym grzaniem pomiędzy godziną 14.00 i 23.00. Liczbę osób przebywających w tym pomieszczeniu określono na 0,0188 os./m<sup>2</sup>, a poziom metabolizmu na 110 W/osobę. W tym modelu nie uwzględniono specjalnego chłodzenia, mechanicznej wentylacji czy kontroli wilgotności. Strefa buforowa (pierścień) została zaprojektowana jako na wpół zewnętrzna strefa, nieogrzewana i niechłodzona, bez kontroli wilgotności czy mechanicznej wentylacji. Przyjęto, że strefa buforowa powinna służyć jako miejsce relaksu, tak aby mieszkańcy odczuwali w nim komfort termiczny nawet przy niskiej aktywności fizycznej, takiej jak stanie czy siedzenie. Dlatego przyjęto poziom metabolizmu na poziomie 126 W/osobę, i to jest wartość referencyjna do symulacji dla komfortu termicznego i zysków ciepła w pomieszczeniu.

Konstrukcja budynku została uproszczona – ściany zewnętrzne i dach strefy buforowej są wykonane z drewnianych ram i okien z potrójną szybą ze szkła niskoemisyjnego. Ściany pomiędzy ogrzewanym wnętrzem okręgu a strefą buforową są wykonane z 24-centymetrowej cegły silikatowej i 12,5-centymetrowego styropianu EPS. Połowa powierzchni ścian wypełniona jest oknami tego samego typu co okna zewnętrzne. Dach nad ogrzewaną strefą wykonany jest z płyt betonowych (12 cm) i izolacji z EPS (20 cm). Cały budynek jest posadowiony na płycie betonowej (10 cm) izolowanej styropianem EPS o grubości 12,5 cm.

Model budynku będzie uwzględniał na początku tylko naturalną wentylację, ustawioną na 3 ac/h<sup>7</sup> dla okien pomiędzy wnętrzem ogrzewanym a strefą buforową i na 10 ac/h dla okien zewnętrznych. Jako osłona zaciemniająca wykorzystane są zewnętrzne żaluzje ze średnią odbłaskowością, kontrolowane w zależności od intensywności promieniowania słonecznego.

### Simulacje

W celu przetestowania prototypu i sprawdzenia warunków termicznych w stworzonym modelu wykonano sześć

In this prototype only some factors, from all affecting the thermal comfort and satisfaction, were analyzed. Thermal comfort is assessed based only on air temperatures. There are different temperatures considered as the thermal comfort border in different seasons: 27°C in summer and 18°C in winter. In each simulation the activity level is defined and it is assumed, that the player has proper clothing.

The building consists of the circular “core” heated zone, which has a 5 m radius, 78.2 m<sup>2</sup> floor area and inner height of 3.17 m, and of buffer zone “ring”, placed around the “core”, with a width of 3 m, 119.5 m<sup>2</sup> floor area and inner height of 3.17 m. For both zone types there were introduced some initial settings for temperatures, heating schedules and activity. In the heated “core” the heating setpoint was set on 21°C, with maximum heating between 14.00 and 23.00. Occupancy was set to 0.0188 people/m<sup>2</sup> and the metabolic rate to 110 W/person. In this model there was no special cooling, mechanical ventilation or humidity control. The buffer zone “ring” is designed as a semi exterior, unconditioned area, without any extra cooling, heating, humidity control or mechanical ventilation. It is assumed, that the buffer zone should serve as a relaxing place, so the inhabitants should have thermal comfort even with low activity, such as sitting or standing. This is why the metabolic rate was set to 126 W/person and this is the reference data for thermal comfort and heat gains calculations.

The building’s construction is simplified – the outer walls and roof in the buffer zone are made of wooden frames and triple glazed windows with low-e glass. Walls between the heated core and the buffer zone are constructed from sand-lime bricks (24 cm) and expanded polystyrene (EPS) (12.5 cm). Half of the walls’ area is filled with windows, the same type as in the outer walls of the buffer zone. The roof above the heated area is made of concrete slabs (12 cm) and EPS insulation (20 cm). The whole building stands on a concrete slab (10 cm) insulated with EPS (12 cm).

The house model will be ventilated by natural ventilation, which is initially set to 3 ac/h<sup>7</sup> for the windows between the core and buffer, and to 10 ac/h for exterior windows. As shading, there are used outside blinds with medium reflectivity slats, controlled depending on the intensity of solar radiation.

### Simulations

In order to explore the prototype and check thermal conditions in the created model, six simulations were conducted. Each simulation checks small changes introduced to the initial model settings, described above. Simulations are based on the altering possibilities, mentioned in the game scenario description, and they start with the initial model simulation, then time, material, spatial, and finally energy simulations. Outside temperatures, generated on the base of the weather files for Wrocław, are average values from the temperatures measured in a ten year period.

<sup>7</sup> ac/h – ilość wymian powietrza na godzinę.

<sup>7</sup> ac/h – air changes per hour.

symulacji. Każda z symulacji sprawdzała małe zmiany wprowadzone do ustawień modelu wstępnego, które zostały wypisane powyżej. Symulacje opierają się na zmianach możliwości wymienionych w opisie scenariusza gry i zaczynają się symulacjami wstępnego modelu oraz kolejno czasu, materiału, przestrzeni i na końcu energii. Zewnętrzne temperatury, wygenerowane na podstawie danych pogodowych dla Wrocławia, są średnią wartością z temperatur mierzonych w ciągu 10 lat.

#### Symulacje podstawowe: letni tydzień projektowy 10–16 sierpnia

Symulacje zostały przeprowadzone na wstępnym modelu budynku w trakcie najcieplejszego tygodnia w ciągu roku. Temperatura promieniowania jest proporcjonalnie wyższa niż temperatura powietrza – spowodowane jest to nagrzewaniem się powierzchni w strefie buforowej. Komfort termiczny został spełniony (temp. powietrza poniżej 27°C) wieczorami, nocami oraz porankami. W ciągu dnia temperatura często przekracza 30°C, co jest zdecydowanie zbyt wysoką temperaturą. Należy jednak pamiętać, że jest to sytuacja ekstremalna (najcieplejszy tydzień w ciągu roku), dodatkowa wentylacja mechaniczna powinna obniżyć temperaturę i rozwiązać problem (il. 8a).

#### Symulacje czasu: zimowy tydzień projektowy 20–26 stycznia

W tym przypadku czas symulacji zmieniany był z najcieplejszego na najzimniejszy okresu w roku. Konstrukcja i ustawienia modelu początkowego nie funkcjonowały prawidłowo podczas najzimniejszego tygodnia w ciągu roku. Nawet przy naturalnej wentylacji zmniejszonej do 0,2 ac/h temperatury w strefie były za niskie jak na bufor termiczny. Temperatury powietrza osiągnęły poziom między -5°C w ciągu nocy, a +7°C w ciągu dnia. Takie temperatury są za niskie nawet dla większości domowych roślin. Przy zmniejszonej naturalnej wentylacji i bez zacielenia zapotrzebowanie na ogrzewanie wewnętrznej części budynku sięga 153 kWh przez najzimniejszy tydzień zimowy (il. 8b).

#### Symulacje materiałów: zimowy tydzień projektowy 20–26 stycznia

Symulacje materiałów wprowadzają do strefy buforowej wewnętrzną masę termiczną wykonaną z gliny o powierzchni 200 m<sup>2</sup>, poprawiając warunki termiczne. Podczas zimowego tygodnia projektowego tylko raz zdarzyła się temperatura poniżej zera (-10°C). W tej sytuacji temperatura powietrza wewnątrz pomieszczenia wahała się od 0 do 7°C, a zapotrzebowanie na ogrzewanie dla wewnętrznej części budynku wynosiło 141 kWh w analizowanym tygodniu (il. 8c).

#### Symulacje przestrzenne: zimowy tydzień projektowy 20–26 stycznia

Szerokość pierścienia została zwężona z 3 do 2 m, przez co zmniejszyła się powierzchnia podłogi i kubatura. Zwężenie strefy buforowej poprawia warunki termiczne, ale jednocześnie zmniejsza poziom zadowolenia gracza – strefa jest mniej przestronna. W tym przypadku zdecydowano, że kubatura jest satysfakcjonująca, a poziom

Basic simulations: summer design week 10–16 August

The simulations were conducted on the initial building's model during the summer design week – the hottest week during the year. Radiant temperature is proportionately higher than air temperature, which is caused by heated surfaces inside the buffer zone. Thermal comfort is satisfied (air temperature below 27°C) in the evenings, nights and mornings. During the day the temperature often exceeds 30°C, which is too high for spending time there. We should remember though, that this is an extreme situation (the warmest week during the year) and some extra mechanical ventilation (e.g. small fan) would decrease temperature and solve the problem (Fig. 8a).

Time simulations: winter design week 20–26 January

In these simulations, the period of time was changed from the hottest summer week to the coldest winter period. The initial model's construction and settings did not work during the coldest week in the year. Even with changed natural ventilation, decreased to almost 0.2 ac/h, temperatures in the buffer zone were too low for the thermal buffer. Air temperatures ranged between -5°C during night and +7°C during the day. These temperatures are too low even for keeping plants. With lowered natural ventilation and without any shading, heating demand for the building's core amounts to 153 kWh per winter design week (Fig. 8b).

Material simulation: winter design week 20–26 January

Material simulations introduce to the buffer zone an internal thermal mass made of clay, with surface area of 200 m<sup>2</sup>. The internal thermal mass improved thermal conditions in the buffer zone. During the design winter week only once there was a temperature below zero – at night, when the outside temperature is the lowest (-10°C). In this situation, the air temperatures range between 0°C and 7°C. While the heating demand for the core zone is 141 kWh during the week which was analysed (Fig. 8c).

Spatial simulations: winter design week 20–26 January

The width of the ring was narrowed from 3 m to 2 m, so that its floor area and volume decreased. Narrowing of the buffer zone improves the thermal conditions, but simultaneously decreases the satisfaction level of the player – the zone is less spacious. Nevertheless, in this case the player decided that the space volume is satisfactory and the level of happiness is sufficient. The narrowed ring improves slightly the heating demand of the core – 137 kWh per week (Fig. 8d).

Spatial simulation with smaller inner spaces:  
winter design week 20–26 January

Further simulations introduce smaller spaces into the buffer zone, separated by virtual partitions. The ring is divided into eight small spaces – northern, southern, eastern and western (11 m<sup>2</sup> each) and spaces between them (16 m<sup>2</sup> each). Simulations were conducted for the southern space, because of the intense solar radiation and the greatest probability of overheating. The simulation shows, that for heating reasons, it is more convenient to divide

zadowolenia wystarczający. Zwężony pierścień obniża nieznacznie zapotrzebowanie na ogrzewanie – 137 kWh na tydzień (il. 8d).

Symulacje przestrzenne z mniejszymi wewnętrznymi strefami: zimowy tydzień projektowy 20–26 stycznia

Kolejne symulacje wprowadzają do strefy buforowej mniejsze przestrzenie, podzielone wirtualnymi przegrodami – północną, południową, wschodnią i zachodnią (11 m<sup>2</sup> każda) oraz przestrzenie pomiędzy nimi (16 m<sup>2</sup> każda). Symulacje wykonano dla południowej strefy, ponieważ z tamtej strony występuje intensywne promieniowanie słoneczne oraz istnieje największe prawdopodobieństwo przegrzania. Symulacje pokazują, że korzystniejsze jest podzielenie strefy na mniejsze fragmenty przestrzeni. Nawet bez źródła ciepła temperatura powietrza w mniejszej przestrzeni waha się między 11 a 16°C, co jest wystarczające dla mieszkańców do krótkiego przebywania w tej strefie, a dla roślin do tego, żeby przetrwać zimę. Projektowanie strefy buforowej w tym miejscu poprawia szczelność budynku i chroni przed ostrym klimatem zewnętrznym. Zmniejsza również znacząco zapotrzebowanie na ogrzewanie wnętrza do 80 kWh na tydzień (il. 8e).

Symulacje energii: zimowy tydzień projektowy 20–26 stycznia

W ostatniej symulacji, do strefy buforowej zostały dodane pewne urządzenia, które emitują zyski cieplne, oraz zwiększono średnią liczbę osób w danym pomieszczeniu (0,1 osoby/m<sup>2</sup>). Urządzenie emituje 50 W/m<sup>2</sup> i potrafi ogrzać strefę do takiego poziomu, że można spędzać w niej czas w ciągu zimowego dnia, a przy okazji nie konsumuje wiele energii, ponieważ działa tylko w krótkich okresach (il. 8f).

Opisane symulacje pokazują, jak gracz może wpływać na model budynku i jak może się uczyć o warunkach termicznych panujących w różnych pomieszczeniach. Dla okrągłego budynku i prostej strefy buforowej, które były modelowane w pierwszym prototypie, okazało się, że największy wpływ na warunki termiczne budynku mają zmiany geometrii. Podział wielkiej nieogrzewanej strefy na mniejsze obszary jest korzystny dla przestrzeni ogrzewanych i dla strefy buforowej, w której poprawia komfort termiczny. Te mniejsze strefy mogą być połączone, jednak przepływ powietrza powinien być w jakiś sposób kontrolowany. Istnieje również możliwość wprowadzenia do pomieszczenia urządzenia grzewczego, które produkowałoby lokalne zyski cieplne tylko wtedy, kiedy mieszkańcy spędziliby w niej czas. To urządzenie mogłoby być zasilane zieloną energią pochodzącą np. z paneli fotowoltaicznych zlokalizowanych na dachu i magazynowaną w małych bateriach. Dzięki urządzeniom chwilowy komfort termiczny w strefie buforowej może być satysfakcjonujący, nawet w najchłodniejsze dni w roku. Nie należy jednak zapominać o niebezpieczeństwie przegrzania pomieszczenia, co przy obecnie dostępnych materiałach izolacyjnych jest dużo częstsze niż ewentualne wychłodzenie, i zapewnić system zaciemniania, który będzie chronił wnętrze przed nadmiernym promieniowaniem słonecznym.

the buffer zone into smaller spaces. Even without a heating source, the air temperatures in smaller space range between 11°C and 16°C, which is sufficient for plants to survive winter, and for the inhabitants to spend short periods of time in this zone. Designing the buffer zone in this space improves airtightness of the building and protects from the harsh outer climate. Also it decreases significantly the core heating demand to 80 kWh per week (Fig. 8e).

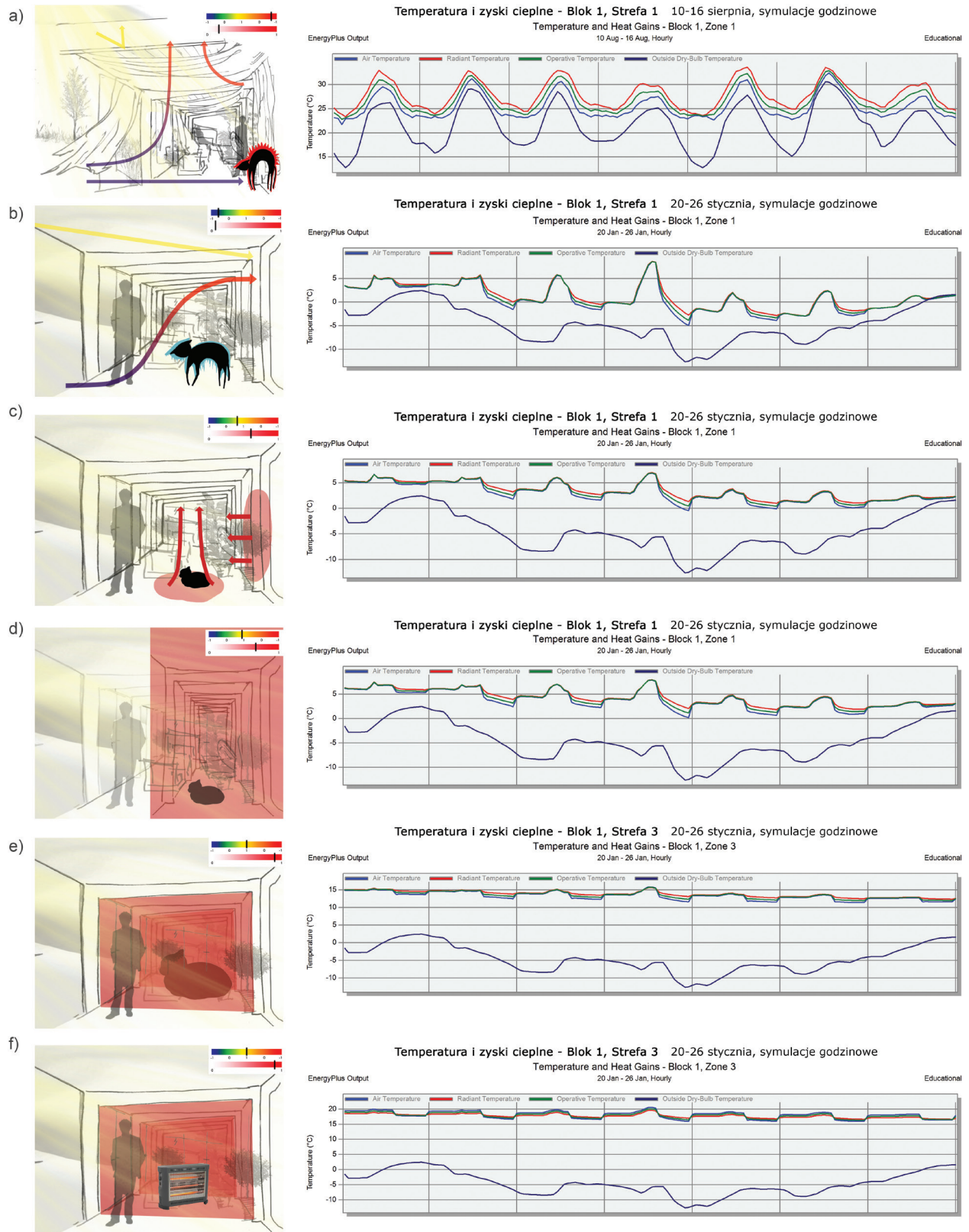
Energy simulations: winter design week 20–26 January

In the last simulation, to the buffer zone were added some devices that produce heat gains and the average occupancy in the given accommodation was increased (0.1 people/m<sup>2</sup>). The device emits 50 W/m<sup>2</sup> and it can heat the zone to such a level that it is possible to spend time there during the winter day. This solution enables spending winter time in the buffer zone and it does not consume much energy, because the device works only during short periods of time (Fig. 8f).

The described simulations show, how the player can influence the building's model and how he learns about the thermal conditions. For the circular building and a simple buffer zone, which were modelled in the initial prototype, it turned out, that the biggest influence on the thermal conditions has the change of geometry. Dividing huge unheated zones into smaller spaces is beneficial for the heated areas and for the buffer zone. It decreases the heating demand and improves thermal comfort in unheated areas. These smaller spaces can be connected, but the heat flow should be controlled in some way. There is also the possibility of introducing some heating device, which produces local heat gains only during the time, when inhabitants spend time in the unheated zone. These devices could be powered by green energy, which may come from, e.g. photovoltaic panels located on the roof and stored in small storage batteries. Due to these small devices, momentary thermal comfort in the buffer zone can be satisfied, even in the coldest winter week. The danger of overheating the zone should not be forgotten, which due to isolation materials accessible to-day is much more frequent than possible chilling, and also the system of shading should be ensured as it will protect the interior from excessive sun radiation.

## Conclusions

The game “Shake your shakes off” was created during the research project of Ph.D. program's course *e-Architecture: The Game Strategies in Architectural Design*. The project, which is described in this paper, was aimed at exploring and developing the topic of thermal comfort in buffer zones. The buffer zones, such as winter gardens or sunspaces are interesting, because they serve as a link between our houses and nature. They add extra space to our home, where we can find a warm and cozy place during winter time and cool shade during hot summers, but only if they are well designed and thought-out. Whether we want to spend time there or not depends on thermal comfort, which consists of a few factors – air and radiant



II. 8. Wyniki sześciu symulacji prototypu. Symulacje: a) podstawowe, b) czasu, c) materiałów, d) przestrzenne, e) przestrzenne z mniejszymi wewnętrznymi strefami, f) energii (oprac. W. Lechowska, symulowane w Design Builder Energy Plus)

Fig. 8. Outputs of six prototype simulations: a) basic, b) time, c) material, d) spatial, e) spatial with smaller inner zones, f) energy (by W. Lechowska, simulated in Design Builder Energy Plus)

## Wnioski

Gra „Wytrząśnij z siebie dreszcze” została stworzona jako projekt badawczy w ramach kursu doktoranckiego *e-Architecture: The Game Strategies in Architectural Design*. Projekt, który został opisany w tym artykule, miał na celu zbadanie i rozwinięcie tematu komfortu termicznego w strefach buforowych. Strefy buforowe, takie jak ogrody zimowe, służą jako łącznik pomiędzy domami a środowiskiem zewnętrznym. Tworzą dodatkowe pomieszczenie w domu, gdzie możemy znaleźć ciepłe i wygodne miejsce w czasie zimy i chłodny cień w lecie, ale tylko wtedy, gdy są dobrze zaprojektowane i przemyślane. To, czy chcemy spędzać tam czas czy nie, zależy od komfortu termicznego, na który wpływają różne czynniki środowiskowe, indywidualne i fizjologiczne. Obliczenie komfortu termicznego możliwe jest w programach symulacyjnych do obliczeń cieplnych. W nich jest też oceniane, czy projekt budynku lub prawdziwy budynek spełnia wymagania mieszkańców. Niestety te programy nie są darmowe, a ich wersje edukacyjne są dostępne tylko dla uczelni. Poza tym programy te są dość skomplikowane i wymagają doświadczenia użytkownika. Stąd pomysł na stworzenie gry, która byłaby prosta i dostępna dla wszystkich ludzi chcących poprawić warunki cieplne w swoich domach, zaprojektować ogród zimowy lub po prostu nauczyć się czegoś nowego. Gra „Wytrząśnij z siebie dreszcze” umożliwia nie tylko obliczenia komfortu termicznego, ale również ocenę poziomu satysfakcji gracza, zależnego od kosztów konstrukcji i eksploatacji budynku, estetyki architektury i funkcjonalności.

Prototyp został przygotowany w celu przetestowania scenariusza gry i sprawdzenia symulacji uproszczonego budynku. W prototypie wykorzystano program Design Builder v.4.1 do wszystkich etapów symulacji. Geometria i plan budynku zostały zaprojektowane jako okrągła, ogrzewana strefa otoczona pierścieniem nieogrzewanej strefy buforowej. Sześć symulacji przeprowadzonych dla różnych okresów, materiałów oraz przestrzeni pokazało, że możliwe jest stworzenie nieogrzewanej strefy buforowej w taki sposób, aby zawsze gwarantowała komfort termiczny mieszkańcom oraz dawała bezpieczne schronienie dla roślin w ciągu zimy.

Opisany prototyp pozwala analizować w kontekście komfortu termicznego tylko temperatury powietrza, jednak docelowa gra umożliwi uwzględnienie w obliczeniach również temperatury promieniowania, wilgotności i prędkości powietrza. To spowoduje, że gra będzie bardziej interesująca i wymagająca, ponieważ wybór odpowiednich ustawień ze wszystkich czynników w taki sposób, aby zapewniały jednocześnie komfort termiczny, jest bardzo trudne. Docelowa gra zainteresuje nie tylko architektów, ale również wszystkich tych, którzy chcieliby poeksperymentować z najbliższym środowiskiem, jakim są ich domy.

temperature, humidity, air velocity, person's activity and worn clothes. Generally, it is possible to calculate the thermal comfort in thermal simulation programs and assess, if the design of the building or the real one satisfies the inhabitants' requirements. Unfortunately, these programs are usually quite expensive, educational licenses are available only at universities besides the programs are so complicated and advanced, that they require completion of training courses. Hence the reason of creating a game, that could be simple and accessible to everyone who wants to improve his house, design new sunspace, or just have fun. The game “Shake your shakes off” enables not only the calculation of thermal comfort but also assessing the player's happiness level, which is related to construction and maintenance costs, architecture aesthetics and functionality.

The initial prototype was designed to test the game scenario and check simplified building's simulations. This prototype used simulation program Design Builder v.4.1 for all the building's optimization steps. The geometry and plan of the building, used in this prototype, was simplified to a circular, heated inner zone, and encircling it an unheated buffer space. Six simulations, conducted for different time, material, spatial and energy settings, showed, that it is possible to create an unheated buffer zone in such a way that it will satisfy thermal comfort for the inhabitants and will give safe shelter for plants during a long winter.

The initial prototype gives the opportunity to analyse only air temperatures in context of thermal comfort, but the final game will enable adding also radiant temperatures, humidity and air velocity to the thermal comfort assessment. This will make the game more interesting and challenging, because picking the right settings of all the factors in order to achieve a balanced thermal comfort is very difficult. The final game will be very educational and interesting not only for architects, but also other people and children, who want to experiment with their closest environment, which is their home.

Translated by  
Weronika Lechowska

### Bibliografia/References

- [1] Lechowska W., *Badania empiryczne i symulacje komputerowe wpływu oszklonych stref buforowych na bilans energetyczny budynku*, [w:] J. Nyckowiak, J. Leśny (red.), *Architektura*, t. 1, Młodzi Naukowcy, Poznań 2015, 113–119.
- [2] Hegger M., Fuchs M., Stark T., Zeumer M., *Energy Manual. Sustainable Architecture*, Birkhäuser, Basel–Boston–Berlin 2008.
- [3] Laupland K.B., *Fever in the critically ill medical patient*, „Critical Care Medicine” 2009, Vol. 37, Iss. 7, 273–278.
- [4] Marx J., *Rosen’s emergency medicine: concepts and clinical practice*, Mosby, Elsevier, St. Louis 2006.
- [5] *Mosby’s Medical, Nursing & Allied Health Dictionary*, 4<sup>th</sup> ed., Mosby-Year Book, St. Louis 1994.
- [6] *Nauka o pracy – bezpieczeństwo, higiena, ergonomia*, Centralny Instytut Ochrony Pracy, [nop.ciop.pl/m4-7/m4-7\\_1.htm](http://nop.ciop.pl/m4-7/m4-7_1.htm) [accessed: 14.02.2016].
- [7] Romanovsky A.A., *Thermoregulation: some concepts have changed. Functional architecture of the thermoregulatory system*, „American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology” 2007, Vol. 292, Iss. 1, 37–46.
- [8] *ASHRAE Green Guide. The design, Construction and Operation of Sustainable Buildings*, 3<sup>rd</sup> ed., American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta 2010.
- [9] Skrzyniowska D., *Parametry powietrza wewnątrz pomieszczeń do stałego przebywania ludzi*, „Czasopismo Techniczne. Środowisko” 2012, R. 109, z. 4-Ś, 15–35.
- [10] Bauer M., Möhle P., Schwarz M., *Green Building. Guidebook for Sustainable Architecture*, Springer, Berlin–Heidelberg 2010.
- [11] *Design Builder Manual*, „Design Builder”, [http://www.design-buildersoftware.com/docs/designbuilder/DesignBuilder\\_2.1\\_Users-Manual\\_Ltr.pdf](http://www.design-buildersoftware.com/docs/designbuilder/DesignBuilder_2.1_Users-Manual_Ltr.pdf) [accessed: 22.06.2016].
- [12] Planck M., *The Theory of Heat Radiation*, 2<sup>nd</sup> ed., P. Blakiston’s Son & Co, 1914, [ia902306.us.archive.org/14/items/theheatradiation00planrich/theheatradiation00planrich.pdf](http://ia902306.us.archive.org/14/items/theheatradiation00planrich/theheatradiation00planrich.pdf) [accessed: 14.02.2016].
- [13] *The Sims Wiki. Temperature*, [sims.wikia.com/wiki/Temperature](http://sims.wikia.com/wiki/Temperature) [accessed: 14.02.2016].

### Streszczenie

W niniejszym artykule zaprezentowano metodę umożliwiającą ocenę komfortu termicznego w pomieszczeniach funkcjonujących jako termiczne strefy buforowe. Zaproponowano scenariusz gry oraz prototyp pozwalający na symulowanie zmian warunków termicznych w budynku, zachodzących pod wpływem informacji wprowadzanych do modelu przez gracza. Zaprojektowany algorytm umożliwia różne działania gracza, takie jak definiowanie kształtu i wielkości budynku, ustawianie jednego bądź wielu graczy, dla których budynek musiałby być zoptymalizowany pod kątem różnych potrzeb, a także określanie aktywności fizycznej wpływającej na metabolizm mieszkańca – tym samym na odczuwanie przez niego temperatury. Pozwala on również na prowadzenie symulacji różnych pór dnia i roku. Symulacje w programie Design Builder Energy Plus prowadzone na prototypowym modelu budynku skupiają się na zmianach czasu, przestrzeni oraz energii w teoretycznym budynku, zlokalizowanym we Wrocławiu. Ich głównym celem było określenie najlepszych ustawień dla strefy buforowej, tak aby możliwe było przebywanie w niej w najcieplejsze i najchłodniejsze dni w roku bez potrzeby dodatkowego chłodzenia czy ogrzewania tego pomieszczenia. W artykule przedstawiono proponowane ulepszenia dla strefy oraz kryteria oceny komfortu termicznego i zadowolenia użytkowników pomieszczenia.

**Słowa kluczowe:** strefa buforowa, komfort termiczny, bilans energetyczny, odczuwanie temperatury

### Abstract

This article presents a methodology for assessing thermal comfort in building’s adjacent spaces, which may function as buffer zones. The game scenario and prototype model were proposed as the result of the research project. This prototype allows conducting simulations of the changes introduced by the player to the building’s model and consequences in the building’s thermal conditions. The created game algorithm includes the player’s actions, such as defining geometry, volume and openings in the building’s model; setting preferences (one or a multi player, members of the family) and describing the activity (metabolic rate). The algorithm also includes loops with additional changes, namely time of day and seasons, construction and insulation materials, small heat gains sources, virtual partitions, etc. Prototype analyses, conducted in Design Builder Energy Plus program, were focused on altering time, material, spatial, and energy settings in a theoretical building, located in Wrocław. The main aim of these simulations was to define best settings for the buffer zone, so that it will be possible to spend time there in the hottest week in summer and the coldest in winter. The project description also includes projected improvements and evaluation criteria for satisfying thermal comfort and happiness of the inhabitants.

**Key words:** buffer zone, thermal comfort, energy balance, thermic sensation