

Robert Cichowicz<sup>1</sup>, Henryk G. Sabiniak<sup>2</sup>, Anna Lewandowska<sup>3</sup>

## WYBRANE PARAMETRY KOMFORTU CIEPLNEGO W POMIESZCZENIACH BIBLIOTEK UNIWERSYTECKICH

### Wprowadzenie

Analizę parametrów komfortu cieplnego wewnątrz budynków można wykonać, przeprowadzając pomiary w pomieszczeniach i/lub budując modele geometryczne oparte o komputerowe metody numeryczne [1, 2]. Komfort cieplny najczęściej determinowany jest między innymi przez takie parametry, jak: temperatura powietrza, prędkość przepływu strug powietrza w strefie przebywania ludzi, wilgotność, średnia temperatura powierzchni przegród budowlanych [3-5]. Jednocześnie należy pamiętać, że jeżeli dążymy do zapewnienia komfortu cieplnego, to musimy tak dobrać temperaturę i prędkość ruchu powietrza, aby uwzględnić zarówno przeznaczenie pomieszczenia, jak i aktywność osób w nim przebywających [4-6]. Niestety, komfort cieplny może być pogarszany np.: przez pyły dostające się do pomieszczeń z zewnątrz, zanieczyszczenia mikrobiologiczne, a także zastosowane materiały budowlane i znajdujący się sprzęt biurowy [7]. Zanieczyszczenia dostające się do budynków mogą mieć różne źródła, a ich wpływ na zdrowie ludzi jest trudny do określenia [8].

Mikroklimat pomieszczeń bibliotek jest specyficzny i trudny w realizacji, ponieważ z jednej strony powinien gwarantować komfort cieplny osobom przebywającym, jak i nie wpływać negatywnie na przechowywane zasoby książkowe. Podstawowym problemem stają się wahania wilgotności w czasie, które, niestety, powodują degradację papieru [9]. Dodatkowo również niesprzyjające są zmiany temperatury w tego rodzaju pomieszczeniach (dotyczy to zarówno ludzi, jak i księgozbiorów). W zależności od pory roku utrzymanie stałych parametrów (szczególnie tam gdzie znajdują się zbiory) jest utrudnione, ponieważ zimą powietrze ma wysoką temperaturę (działa centralne ogrzewanie) i małą wilgotność względną. Natomiast

<sup>1</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mail: robert.cichowicz@p.lodz.pl

<sup>2</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mail: henryk.sabiniak@p.lodz.pl

<sup>3</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mail: anna.lewandowska@dokt.p.lodz.pl

latem obydwa parametry przewyższają wartości graniczne przedstawione w normach [10]. Dlatego tak ważną staje się regulacja parametrów mikroklimatu oraz dostarczanie powietrza w wymaganej ilości i jakości. Umożliwiają to instalacje ogrzewania i wentylacji, których głównym zadaniem jest utrzymanie stałych warunków komfortu cieplnego w pomieszczeniach [3-5]. Prawidłowo działająca instalacja wentylacji powinna również zapewnić właściwą cyrkulację powietrza w pomieszczeniach biblioteki z uwzględnieniem przestrzeni między regałami [10].

W celu przeprowadzenia analizy warunków komfortu cieplnego niezbędne jest wykorzystanie oprogramowania komputerowego, dzięki któremu możliwa staje się analiza zmian zjawisk na modelu numerycznym przepływów strug powietrza i warunków temperaturowych panujących w pomieszczeniu bibliotek. Dzięki temu można ustalić poprawność przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych już na etapie projektowania instalacji lub wprowadzenia zmian w istniejących systemach. Zastosowanie programów komputerowych związanych z mechaniką płynów CFD (z ang. Computational Fluid Dynamics) do oceny parametrów mikroklimatu pozwala uzyskać informację o obszarach niespełniających wymagań komfortu cieplnego. Ponieważ analiza analityczna parametrów stanu powietrza opiera się na złożonych obliczeniach, dlatego do wyznaczenia rozkładów temperatur i prędkości powietrza w pomieszczeniach wykorzystuje się programy komputerowe, na przykład takie jak: Ansys Fluent, Autodesk Simulation CFD lub DesignBuilder. Otrzymane z ich pomocą wyniki obliczeń, po porównaniu z zalecanymi wartościami dla danej kategorii pomieszczeń, umożliwiają ocenę spełnienia warunków komfortu cieplnego w dowolnym punkcie pomieszczenia czy też budynku [1, 4, 5, 10].

Zgodnie z normą PN-ISO 11799:2006 [11], w pomieszczeniach do długotrwałego przechowywania często wypożyczanych zbiorów wykonanych z papieru oraz w magazynach, w których przebywają pracownicy, temperatura powinna wynosić od 14 do 18°C, a wilgotność względna mieścić się w granicach 35÷50% [11]. Jednocześnie w normie PN-EN ISO 7730:2006 [12] zamieszczono kryteria projektowe wskaźników komfortu cieplnego dla różnych rodzajów budynków, z możliwością odniesienia ich do innych kategorii obiektów. Dlatego z powodu braku danych odnoszących się do bibliotek w tabeli 1 [12] przedstawiono wymogi projektowe dla biur. Założono tak ze względu na podobny sposób wykorzystania tego rodzaju pomieszczeń. Wskazane wartości mogą stanowić kryteria oceny komfortu cieplnego dla osób przebywających w bibliotekach.

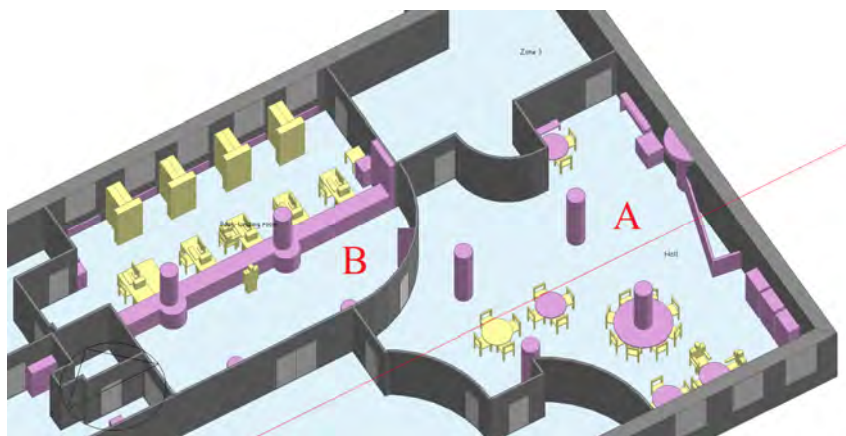
TABELA 1

**Kryteria projektowe dla pomieszczeń biurowych (opracowane na podstawie [12])**

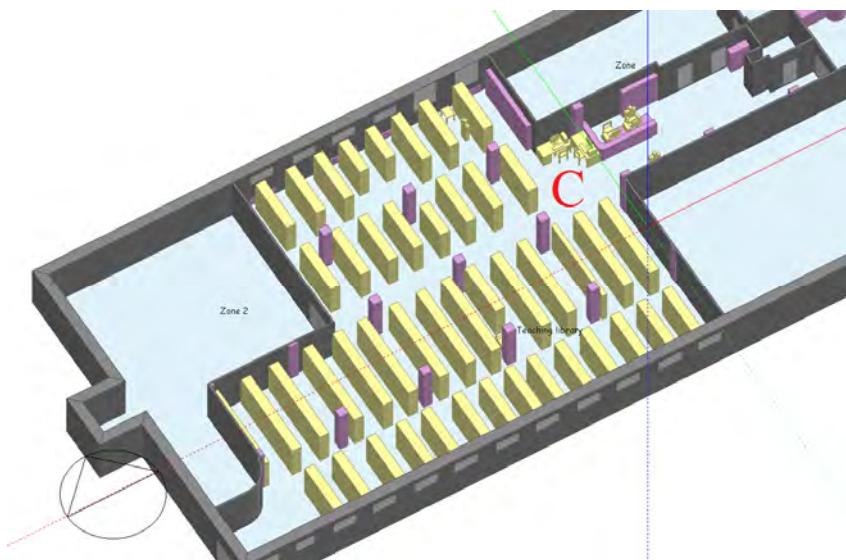
Kategoria	Temperatura (lato)	Maksymalna prędkość powietrza (lato)	Temperatura (zima)	Maksymalna prędkość powietrza (zima)
A	24,5 ± 1,0°C	0,12 m/s	22,0 ± 1,0°C	0,10 m/s
B	24,5 ± 1,5°C	0,19 m/s	22,0 ± 2,0°C	0,16 m/s
C	24,5 ± 2,5°C	0,24 m/s	22,0 ± 3,0°C	0,21 m/s

## 1. Metodyka pomiarów parametrów powietrza i obliczeń numerycznych

Ocena komfortu termicznego w badanych pomieszczeniach została przeprowadzona na podstawie otrzymanych rozkładów temperatury i prędkości powietrza po wykonaniu obliczeń w programie DesignBuilder. Analizie poddano trzy pomieszczenia wyposażone w instalację wentylacji mechanicznej znajdujące się na pierwszym piętrze budynku Biblioteki Głównej Politechniki Łódzkiej: A (hol o powierzchni 152,8 m<sup>2</sup>) (rys. 1), B (wypożyczalnia książek o powierzchni 131,2 m<sup>2</sup>) (rys. 1) oraz C (księgozbiór o powierzchni 469,6 m<sup>2</sup>) (rys. 2).



Rys. 1. Model pomieszczeń A (hol) i B (wypożyczalnia książek)



Rys. 2. Model pomieszczenia C (księgozbiór)

Podstawą do wprowadzenia do programu DesignBuilder warunków brzegowych i wykonania obliczeń CFD były wyniki pomiarów temperatury oraz prędkości strug powietrza dostarczanego i usuwanego, a także temperatury powierzchni wewnętrznych przegród budowlanych (tab. 2). Dwie serie pomiarowe średniej prędkości strug powietrza nawiewanego i wywiewanego w pomieszczeniach biblioteki wykonano anemometrem skrzydełkowym. Uśredniona wartość strugi powietrza odczytywana była dla 10-sekundowego pomiaru. Natomiast temperaturę powietrza nawiewanego zmierzono termometrem elektronicznym. Wyniki pomiarów odczytywano po ustabilizowaniu się temperatury powietrza nawiewanego. Temperaturę wewnętrznych powierzchni ścian i okien zmierzono pirometrem. W tabeli 2 zamieszczono wyniki uśrednionych wartości pomiarów temperatury, które przyjęto w obliczeniach CFD w programie DesignBuilder.

TABELA 2

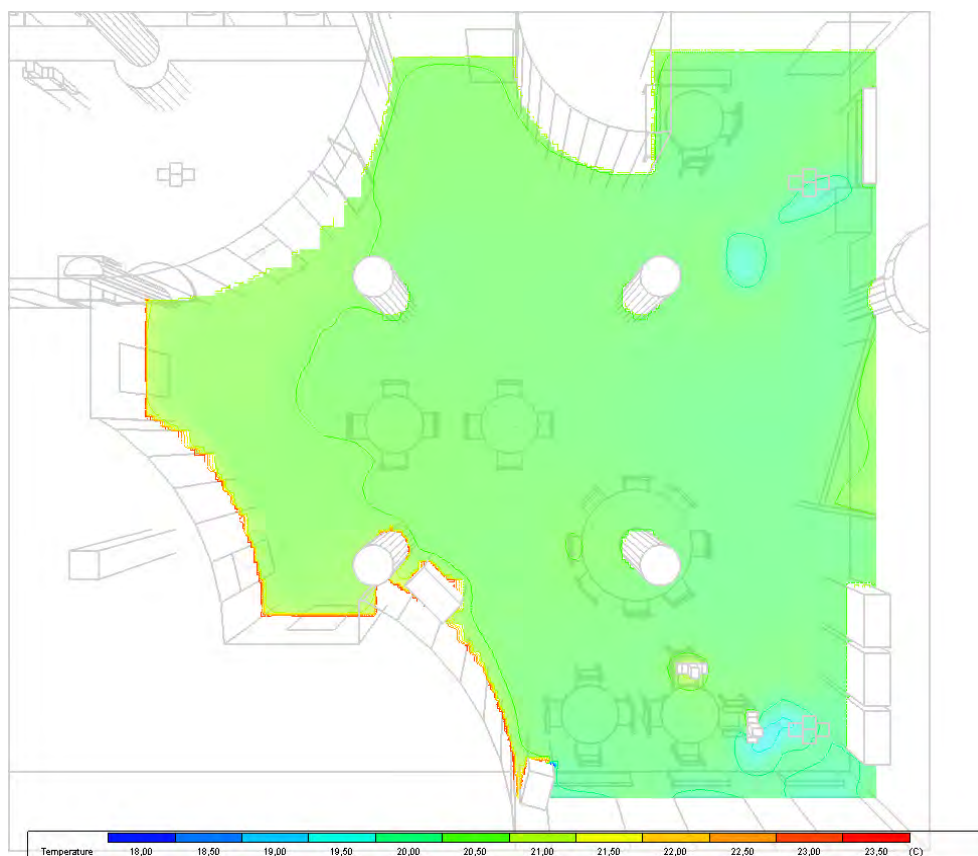
**Warunki brzegowe wprowadzone do programu DesignBuilder**

Parametr	Wartość
Wewnętrzna temperatura powierzchni wewnętrznych	23,0°C
Wewnętrzna temperatura powierzchni zewnętrznych	21,0°C
Wewnętrzna temperatura powierzchni okien	17,0°C
Temperatura powierzchni grzejników	21,5°C
Średnia temperatura powietrza	22,5°C
Temperatura powietrza nawiewanego	18,0°C

W pomieszczeniach A i B osoby przebywają w pozycji siedzącej, dlatego w celu określenia warunków komfortu cieplnego analizie poddano parametry powietrza na wysokości głowy osoby siedzącej, czyli 1,1 m. Natomiast w pomieszczeniu C użytkownicy najczęściej przebywają w pozycji stojącej, dlatego ocenie poddano parametry powietrza na wysokości głowy osoby stojącej, czyli 1,75 m.

## 2. Wyniki obliczeń numerycznych

Analizując rozkład temperatury w pomieszczeniu A (rys. 3), można zaobserwować w lewej części pomieszczenia, w okolicy ścian wewnętrznych, wyższą temperaturę powietrza ze względu na wpływ temperatury przegród wewnętrznych, która jest wyższa od średniej temperatury w tym pomieszczeniu. Natomiast niższe wartości można zauważyć w prawej części pomieszczenia A ze względu na obecność nawiewników dostarczających powietrze o temperaturze niższej niż występująca w pomieszczeniu. Temperatura powietrza w całym obszarze pomieszczenia na wysokości głowy osoby siedzącej (1,1 m) zmieniała się w granicach od 19,5 do 21,5°C. Otrzymany rozkład pokazuje, że w znacznej części pomieszczenia temperatura wynosiła od 20 do 21°C, co spełnia kryteria dla kategorii B pomieszczeń dla okresu zimowego zgodnie z normą PN-EN ISO 7730:2006 [12].

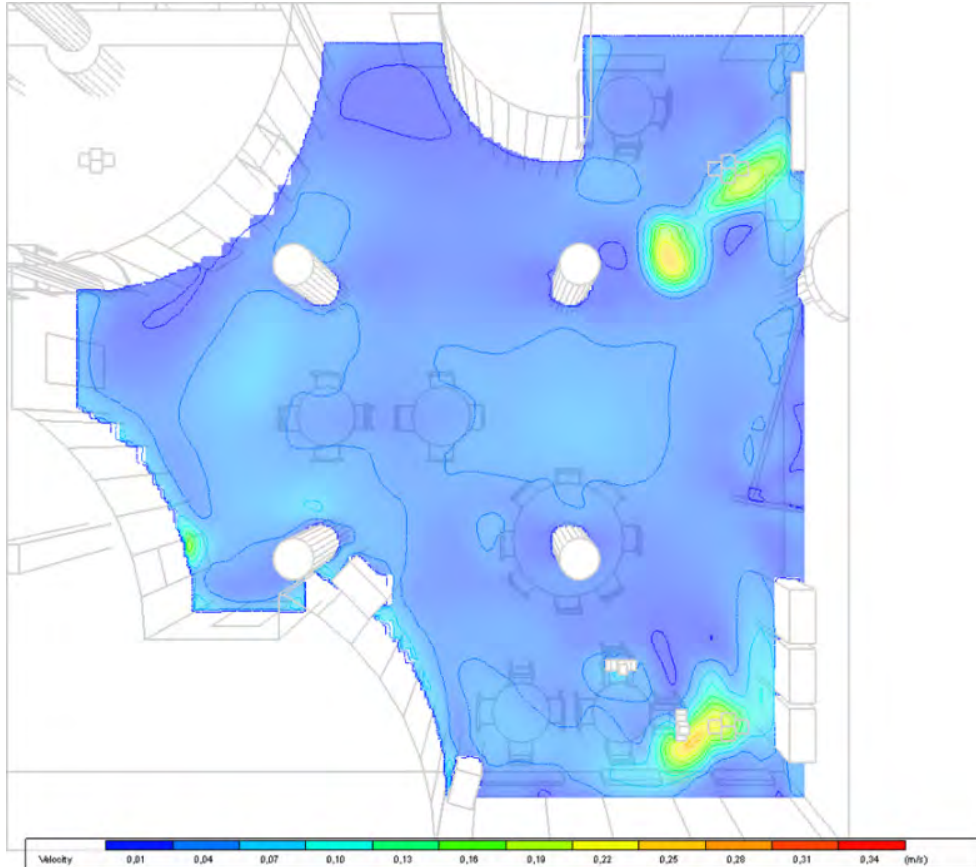


Rys. 3. Rozkład temperatury w pomieszczeniu A na wysokości 1,1 m

Na rysunku 4 natomiast przedstawiono rozkłady prędkości strug powietrza w pomieszczeniu A, w którym maksymalna prędkość strug powietrza wynosiła 0,25 m/s. Taka wartość prędkości strug powietrza dotyczy tylko niewielkich obszarów zlokalizowanych w okolicach działania nawiewników. W przeważającej części pomieszczenia na wysokości 1,1 m prędkość strug powietrza nie przekraczała wartości 0,10 m/s, co odpowiada kryteriom dla pomieszczeń o kategorii A (PN-EN ISO 7730:2006 [12]).

Kolejnym analizowanym pomieszczeniem jest wypożyczalnia książek (B), gdzie temperatura powietrza na wysokości 1,1 m wahała się w granicach od 19 do 23°C (rys. 5). Na podstawie rozkładu temperatury w pomieszczeniu B można zauważyć, że w górnej części rysunku (obszar przeznaczony do stałego przebywania pracowników biblioteki - rys. 5) temperatura w pomieszczeniu była wyższa i wynosiła około 20,5°C. Zapewnienie takiej temperatury umożliwia istniejąca wentylacja mechaniczna, która w tej części pomieszczenia realizowana jest za pomocą anemostatów nawiewnych trójkierunkowych. Zaletą tego rozwiązania jest brak bezpośredniego wpływu chłodniejszej strugi doprowadzanego powietrza do przestrzeni, gdzie

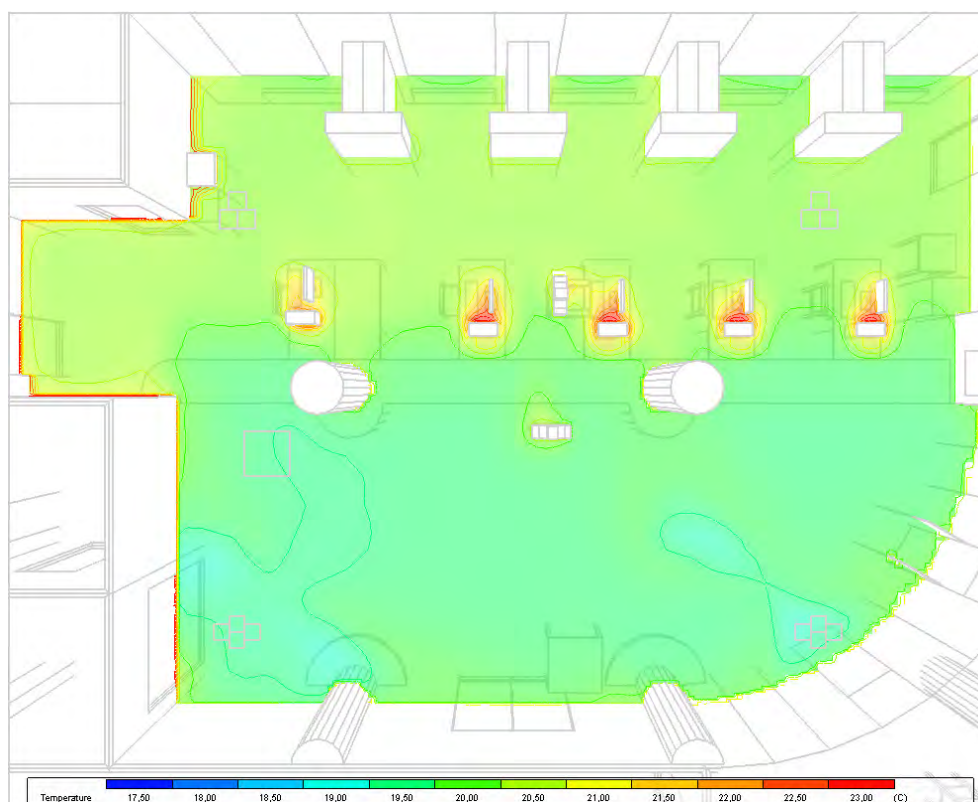
znajdują się pracownicy. Ponadto, stanowiska pracy wyposażone są w komputery stacjonarne, które są dodatkowymi źródłami ciepła, powodującymi podwyższenie temperatury w tym obszarze do 23°C. W pozostałej części pomieszczenia, w której pracownicy nie przebywają na stałe, temperatura wynosiła 19,5°C. Na niewielkich obszarach widoczne jest obniżenie temperatury do 19°C. Spowodowane jest to oddziaływaniem strugi powietrza nawiewanego do pomieszczenia o temperaturze 18°C.



Rys. 4. Rozkład prędkości strug powietrza w pomieszczeniu A na wysokości 1,1 m

Na rysunku 6 można zauważyć, że prędkość strug powietrza w pomieszczeniu B zawierała się w granicach od 0,01 do 0,25 m/s. Natomiast prędkość strug powietrza powyżej 0,15 m/s znajdowała się w obszarze będącym strefą bezpośredniego oddziaływania nawiewników. Jednocześnie zaobserwowano zwiększony ruch powietrza w okolicy stanowisk pracy, co wynika ze zjawiska konwekcji wywołanego przez komputery stacjonarne umieszczone na biurkach pracowników. Prędkość strug powietrza wynosiła tam około 0,13 m/s, co zgodnie z kryteriami przedstawionymi w tabeli 1 spełnia wymagania dla kategorii pomieszczeń B [12].

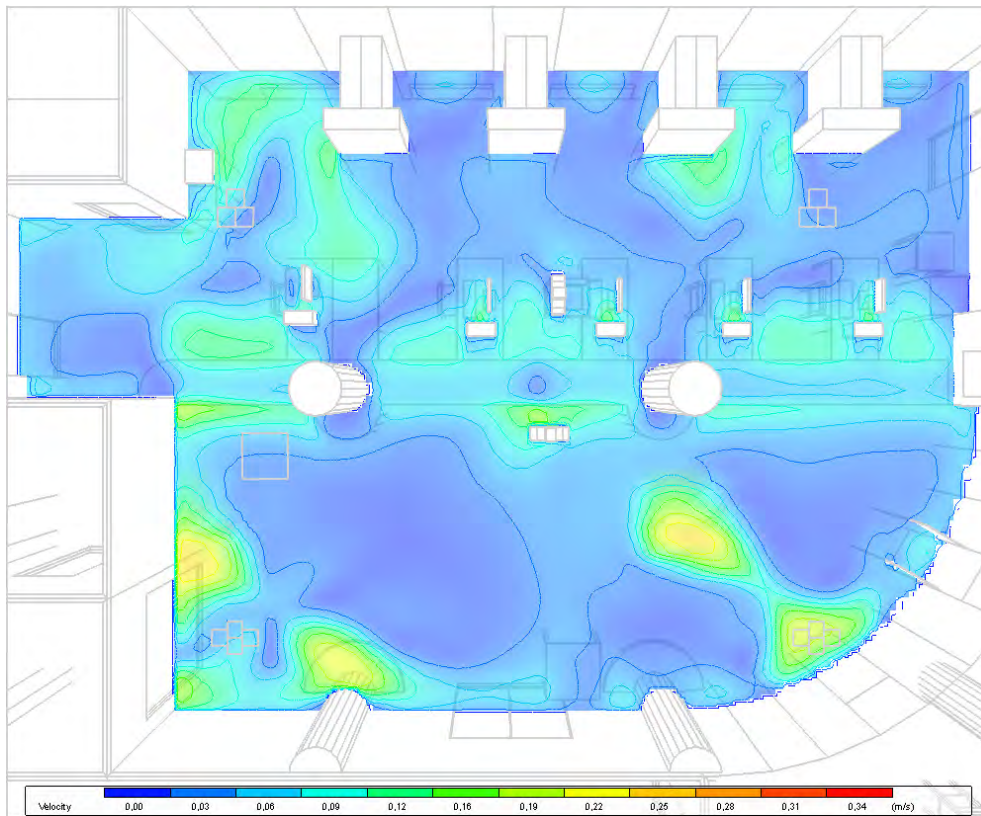




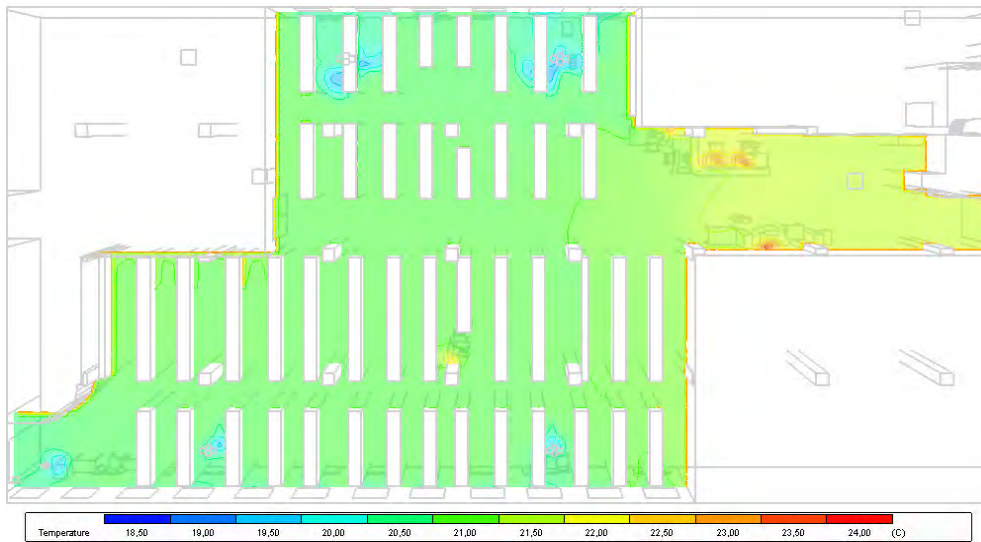
Rys. 5. Rozkład temperatury w pomieszczeniu B na wysokości 1,1 m

Temperatura powietrza w pomieszczeniu C zmieniała się w granicach od 19 do 23,5°C (rys. 7). Najniższe wartości temperatury powietrza (19°C) znajdowały się w obszarach bezpośredniego oddziaływania strumieni powietrza nawiewanego. Natomiast w części pomieszczenia przeznaczonej do przechowywania zasobów książkowych temperatura wynosiła 21°C, a w okolicy okien zlokalizowanych w ścianie północnej temperatura była niższa o 0,5°C. Jednocześnie zaobserwowano wyższe wartości temperatury w prawej części pomieszczenia C (rys. 7), w której przebywają pracownicy biblioteki. Temperatura wynosiła tam 22°C, co spełnia wymagania zamieszczone w tabeli 1 dla kategorii pomieszczeń A dla okresu zimowego (zgodnie z PN-EN ISO 7730:2006 [12]). Może być to spowodowane brakiem elementów nawiewnych instalacji wentylacyjnej w tej części pomieszczenia oraz dodatkowymi źródłami ciepła, jakimi są komputery stacjonarne.

Rozkład prędkości strug powietrza w pomieszczeniu C pokazano na rysunku 8. Wartości prędkości strug powietrza znajdują się w przedziale od 0,04 do 0,22 m/s. Przy czym w przeważającej części pomieszczenia prędkość strug powietrza była mniejsza od 0,13 m/s. Taka prędkość powietrza spełnia wymagania komfortu, gdy w pomieszczeniu przebywają ludzie, oraz jest zgodna z kryteriami dla biur w pomieszczeniach kategorii B [12].

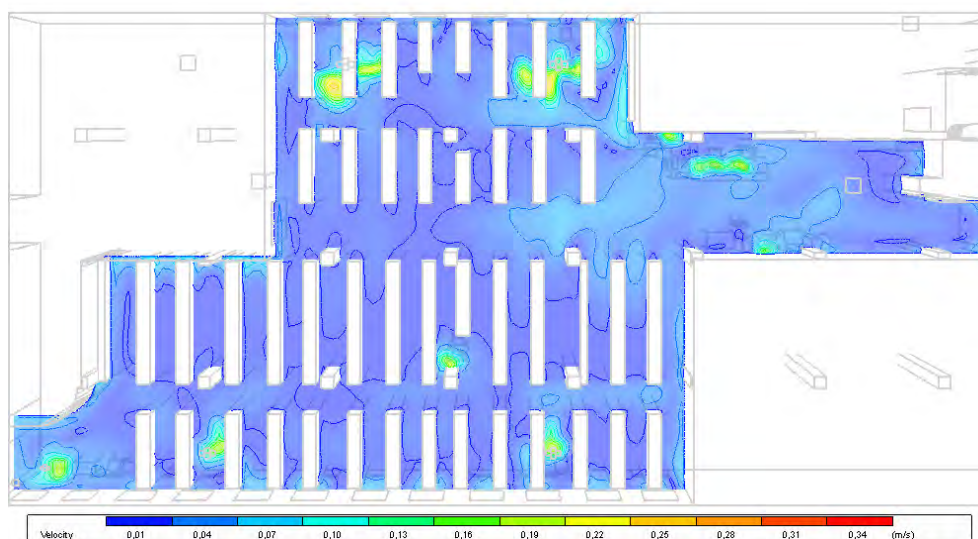


Rys. 6. Rozkład prędkości strug powietrza w pomieszczeniu B na wysokości 1,1 m



Rys. 7. Rozkład temperatury w pomieszczeniu C na wysokości 1,75 m





Rys. 8. Rozkład prędkości strug powietrza w pomieszczeniu C na wysokości 1,75 m

### Podsumowanie

Po przeprowadzeniu analizy stwierdzono, że ze względu na zbyt wysoką temperaturę powietrza w pomieszczeniu przeznaczonym do przechowywania zasobów bibliotecznych nie zostały spełnione wymagania określone w normie PN-ISO 11799: 2006. W konsekwencji nie są zapewnione odpowiednie parametry środowiska wewnętrznego, co może wpływać na szybsze zniszczenie zbiorów książkowych znajdujących się w tym pomieszczeniu.

Na podstawie analizy rozkładów parametrów powietrza (takich jak temperatura i prędkość przepływu strug powietrza) w pomieszczeniach bibliotecznych, otrzymanych w wyniku obliczeń numerycznych w programie DesignBuilder, stwierdzono, że w analizowanych pomieszczeniach biblioteki spełnione są wymagania dotyczące temperatury i prędkości przepływu strug powietrza tak jak dla pomieszczeń biurowych dla okresu zimowego zgodnie z normą PN-EN ISO 7730: 2006. Przy czym wartości temperatury nieznacznie wykraczają poza ten zakres (dotyczy to obszarów oddziaływania strug powietrza dostarczanego przez anemostaty nawiewne). Jest to efekt nawiewanego powietrza o niższej temperaturze od średniej w pomieszczeniach o około 3°C. Jednocześnie nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych wartości prędkości strug powietrza w strefie przebywania ludzi.

Rozwiązaniem powyższej sytuacji byłoby zastosowanie klimatyzacji strefowej w celu zapewnienia komfortu termicznego zarówno osobom przebywającym w bibliotece, jak i zoptymalizowania warunków przechowywania zbiorów książkowych. Natomiast dzięki zastosowaniu analiz numerycznych już na etapie projektowania (zamiast badań prowadzonych na modelach w skalach rzeczywistych lub pomniej-

szonych) można ograniczyć koszty i czas. Jest tak przy jednoczesnym optymalnym doborze rozwiązań oraz uniknięciu lub ograniczeniu błędów związanych z niewłaściwym funkcjonowaniem instalacji wentylacji i klimatyzacji (niespełniających założonych wymagań). Należy jednak pamiętać, że zastosowanie analizy numerycznej nie może całkowicie wyeliminować badań eksperymentalnych, które są konieczne zarówno do weryfikacji samych modeli geometrycznych/obliczeniowych, jak i do ustalenia prawidłowych warunków brzegowych.

### Literatura

- [1] Lipska B., Palmowska A., Ciuman P., Koper P., Modelowanie numeryczne CFD w badaniach i projektowaniu rozdziału powietrza w pomieszczeniach wentylowanych, *Instal* 2015, 3, 33-43.
- [2] Cichowicz R., Rozkład obciążenia w zazębieniu ślimakowym, Praca doktorska, Politechnika Łódzka, Łódź 2005.
- [3] Fanger P.O., Komfort cieplny, Arkady, Warszawa 1974.
- [4] Indulski J.A., Sabiniak H.G. i inni, Higiena pracy. Podstawy fizjologiczno-ergonomiczne. Zagrożenia chemiczne i pyłowe, Wentylacja przemysłowa, Instytut Medycyny Pracy im. Jerzego Nofera 2000, Tom I, Rozdział XIII, 485-511.
- [5] Sabiniak H.G., Wentylacja, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2016.
- [6] Śliwowski L., Mikroklimat wewnątrz i komfort cieplny ludzi w pomieszczeniach, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.
- [7] Cichowicz R., Sabiniak H., Wielgosiński G., The influence of a ventilation on the level of carbon dioxide in a classroom at a higher university, *Ecological Chemistry and Engineering S.* 2015, 22(1), 61-71.
- [8] Cichowicz R., Wielgosiński G., Targaszewska A., Analysis of CO<sub>2</sub> concentration distribution inside and outside small boiler plants, *Ecological Chemistry and Engineering S.* 2016, 23(1), 49-60.
- [9] Steeman M., De Paepe M., Janssens A., Impact of whole-building hygrothermal modeling on the assessment of indoor climate in a library building, *Building and Environment* 2010, 45, 1641-1652.
- [10] Kuberka A., Daszewski W., Chyrczakowska M., Jaraczewski S., Wskazówki do projektu klimatyzacji dla bibliotek i archiwów w świetle praktyki konserwatorskiej, *Instal* 2012, 7-8, 11-16.
- [11] PN-ISO 11799: Informacja i dokumentacja. Wymagania dotyczące warunków przechowywania materiałów archiwalnych i bibliotecznych, 2006.
- [12] PN-EN ISO 7730: Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów miejscowego komfortu termicznego, 2006.

### Streszczenie

Mikroklimat w bibliotekach powinien zarówno zapewniać warunki przechowywanym zbiorom (książkom, obrazom itp.), nie prowadząc do ich zniszczenia, jak i nie powodować dyskomfortu u pracujących w nich ludzi oraz nie oddziaływać destrukcyjnie na eksploatację tego rodzaju pomieszczeń. Analizę parametrów komfortu cieplnego przeprowadzono dla trzech pomieszczeń budynku Biblioteki Głównej Politechniki Łódzkiej, tworząc model geometryczny i wykorzystując program DesignBuilder. Warunki brzegowe ustalono doświadczalnie, przeprowadzając pomiary w pomiesz-

zeniach biblioteki, mierząc w nich prędkość ruchu powietrza i temperaturę. Otrzymane z analizy numerycznej rozkłady temperatury i prędkości strug powietrza w strefach przebywania ludzi porównano z zaleceniami podanymi w polskich normach.

**Słowa kluczowe:** pomieszczenia bibliotek, komfort cieplny, rozkład temperatur i prędkości

## **Selected parameters of thermal comfort in rooms of university libraries**

### **Abstract**

The microclimate in the libraries should provide conditions both for the stored collections (books, paintings, etc.), not to lead to their destruction, not to cause discomfort to the working people and not to act destructively on the exploitation of this type of rooms. The analysis of thermal comfort parameters was performed for the three rooms of the Main Library of Lodz University of Technology by building geometric model and using the DesignBuilder software. Boundary conditions were determined experimentally, by the measurements carried out in the library rooms, by measuring air velocity and temperature within. The received from the numerical analysis distributions of temperature and air velocity in the zones of human presence were compared with the guidelines presented in Polish standards.

**Keywords:** library rooms, thermal comfort, temperature and speed distribution