

Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego i strefy klimatyczne Polski do obliczania mocy w systemach chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków

Outside air design parameters and climate regions for calculating building space cooling loads in Poland

PIOTR NAROWSKI

DOI 10.36119/15.2020.12.3

Wartości obliczeniowe mocy chłodniczej urządzeń w systemach chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków zależą od wielu parametrów przestrzeni zewnętrznej i wewnętrznej budynków i ich zmienności w reprezentatywnym okresie przyjętym jako obliczeniowy. Wartość projektowanej mocy chłodniczej dla budynku zależy w największym stopniu od całkowitego natężenia promieniowania słonecznego oraz parametrów powietrza zewnętrznego. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego dla potrzeb chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynku muszą uwzględniać możliwość obliczenia projektowej mocy chłodniczej ciepła jawnego oraz ciepła utajonego związanego z osuszaniem powietrza wentylacyjnego. W związku z tym parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego powinny umożliwić wyznaczenie zarówno jego temperatury termometru suchego oraz zawartości wilgoci i entalpii powietrza wilgotnego. Zwyczajowo w obliczeniach systemów chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji projektanci posługują się strefami klimatycznymi i przypisanymi do nich parametrami powietrza zewnętrznego podanymi w wycofanej normie PN-B 03420:1976 [1] opracowanymi na podstawie danych meteorologicznych z lat 60- i 70-tych ubiegłego wieku. W artykule przedstawiono wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego dla stref klimatycznych Polski wyznaczonych na podstawie danych pomiarowych z 58 stacji meteorologicznych Polski oraz 68 stacji meteorologicznych zlokalizowanych w państwach sąsiednich na obszarze Europy Centralnej. Wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego do określania mocy chłodniczej dla budynków przedstawiono na mapach Polski w podziale na obszary Voronoi oraz za pomocą stref klimatycznych rozdzielanych izoliniami oraz w postaci tabelarycznej. *Słowa kluczowe: parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego, obliczeniowe obciążenie chłodnicze, wentylacja i klimatyzacja, diagram Voronoi, izotermy i izoentalpy obliczeniowe, strefy klimatyczne Polski*

Design space cooling loads of building ventilation and air conditioning systems depend on many parameters of the external and internal space of buildings and their variability in a representative period taken for calculations. The value of space cooling loads for a building depends to the greatest extent on the total intensity of solar radiation and the parameters of the outside air. Calculation parameters of the outdoor air for cooling, ventilation and air conditioning must take into account the possibility of calculating the design cooling capacity of sensible heat and latent heat associated with drying the ventilation air. Therefore, the calculation parameters of the outside air should enable the determination of both its dry bulb temperature and the moisture content and enthalpy of the humid air. It is customary to calculate the cooling, ventilation and air-conditioning systems by designers using the climatic zones and the parameters of the outside air assigned to them, given in the withdrawn standard PN-B 03420: 1976 [1], compiled on the basis of meteorological data from the 1960s and 1970s. The article presents the values of the design parameters of the outside air for the Polish climatic zones determined on the basis of measurement data from 58 Polish meteorological stations and 68 meteorological stations located in the neighboring countries in the area of Central Europe. The values of the design parameters of the outside are presented on the maps of Poland divided into Voronoi areas and by means of climatic zones separated by isolines and in tabular form.

Keywords: design outside air temperature parameters, space cooling loads for air conditioning, Voronoi diagram, design isotherms and isoenthalpy, climate zones of Poland

Wprowadzenie

Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego, obok natężenia promieniowania słonecznego, stanowią podstawowe wartości

wejściowe niezbędne do określania obciążenia chłodniczego dla systemów chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków. Zmienna temperatura powietrza zewnętrznego wpływa bezpośrednio na wielkości strumieni ciep-

nych przenikających przez przegrody nieprzezroczyste i przezroczyste budynku w okresie letnim do jego wnętrza w stanach nieustalanej wymiany ciepła. W przypadku wentylacji temperatura termometru suchego

Dr inż. Piotr Narowski <https://orcid.org/0000-0003-2484-6863> – Zakład Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska. Adres do korespondencji/Corresponding author: piotr.narowski@pw.edu.pl

i temperatura termometru wilgotnego (wilgotność względna) powietrza wpływają bezpośrednio na wielkości zysków ciepła jawnego i ciepła utajonego od powietrza wentylacyjnego, które należy z niego usunąć w celu zapewnienia założonego poziomu komfortu cieplnego w pomieszczeniach budynku. W tym miejscu należy odróżnić wewnętrzne zyski ciepła jawnego i utajonego w budynku od zysków ciepła związanych z wprowadzeniem określonego strumienia objętości powietrza zewnętrznego do budynku w celu jego wentylacji. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego mają zatem bezpośredni wpływ na wielkość mocy chłodniczej urządzeń chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego powinny być starannie dobrane ponieważ wielkość obciążenia chłodniczego dla budynku jest kompromisem pomiędzy potrzebami komfortu cieplnego użytkowników budynku i kosztami inwestycyjnymi systemów wentylacji, klimatyzacji i chłodzenia. Zrównoważenie potrzeb związanych z utrzymaniem komfortu cieplnego we wnętrzu budynku i kosztów związanych z budową i eksploatacją instalacji budynku, które ten komfort utrzymują wymaga zbilansowania z jednej strony potrzeb użytkowników budynku, którzy oczekują, że instalacje wentylacji i chłodzenia zapewnią temperaturę wewnętrzną powietrza (rzadziej wilgotność względną) w budynku na poziomie niezbędnym dla zdrowia i komfortu użytkownika oraz z drugiej strony racjonalnych kosztów inwestycyjnych systemów i ich kosztów eksploatacyjnych. W większości przypadków instalacje ogrzewcze budynków nie są projektowane na absolutne ekstrema parametrów powietrza zewnętrznego dla danej lokalizacji. Wynika to z faktu, że instalacje zaprojektowane na wartości ekstremalne pracowałyby ze swoją maksymalną wydajnością w niezwykle rzadko występujących okresach występowania wartości maksymalnych temperatury i wilgotności względnej powietrza zewnętrznego. Projektowanie systemów zapewniających komfort cieplny w pomieszczeniach budynków dla ekstremalnie wysokich wartości temperatury jest zazwyczaj nieopłacalne ze względu na wysokie koszty inwestycyjne oraz obniżanie sprawności energetycznej tych systemów w trakcie eksploatacji budynku ze względu na ich przewymiarowanie dla zdecydowanej większości godzin użytkowania budynku w ciągu roku. Przewymiarowanie instalacji budynku prowadzi do zwiększonych strat energii wytwarzania oraz dystrybucji chłodu w budynku wynikających z charakterystyk urządzeń chłodniczych. Z drugiej strony, z powodu zmian klimatycznych, należy zastanowić się, czy wyznaczone ponad czterdzieści lat temu dane obliczeniowe odpowiadają obecnemu klima-

towi na obszarze Polski. Wartości podawane przez normę, mogą być zaniżone w stosunku do aktualnych wielkości, co może powodować niedowymiarowanie systemów chłodzenia budynków i zwiększoną liczbę godzin ich przegrzewania w okresie lata.

Mając na uwadze powyższe, praktycznym rozwiązaniem tego zagadnienia jest wybranie jako wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego dla projektowania obciążenia chłodniczego budynków wielkości występujących rzadko, ale nie będących wartościami ekstremalnymi dla klimatu w danej lokalizacji geograficznej. W trakcie projektowania instalacji chłodzenia lub klimatyzacji budynku w oparciu o parametry powietrza zewnętrznego, które nie są wartościami maksymalnymi klimatu dla położenia geograficznego projektowanego budynku, zawiera się kompromis pomiędzy wielkością urządzeń instalacji, ich kosztów budowy oraz eksploatacji a prawdopodobieństwem niedotrzymania obliczeniowych parametrów cieplnych w kontrolowanych ciepłnie pomieszczeniach budynku w okresach występowania ekstremalnych parametrów przestrzeni zewnętrznej budynku. Przyjęcie tego kompromisu oznacza, że projektant przyjmuje określone prawdopodobieństwo niedotrzymania parametrów komfortu cieplnego wewnątrz budynku. Prawdopodobieństwo wystąpienia takiej sytuacji jest równe prawdopodobieństwu występowania wartości parametrów powietrza zewnętrznego większych od przyjętych jako wartości obliczeniowe. Projektanci systemów chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków powinni mieć możliwość wyboru wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego oraz powinni określać możliwość przegrzewania budynków i określać jego prawdopodobieństwo wystąpienia. Stopień niedotrzymania parametrów komfortu cieplnego budynków zarówno w przypadku ogrzewania jak i chłodzenia zależy od bezwładności cieplnej kontrolowanych ciepłnie pomieszczeń, a zatem od konstrukcji budynku. Konstrukcje masywne budynków o dużej pojemności cieplnej mają zazwyczaj duże stałe czasowe, co powoduje, że występujące zazwyczaj w krótkich okresach maksymalne wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza zewnętrznego będą powodowały wzrost temperatury wewnątrz budynków, ale będzie on ograniczony i przesunięty w czasie ze względu na energię chłodniczą magazynowaną w masie termicznej pomieszczeń. W przypadku budynków o konstrukcji lekkiej lub bardzo lekkiej zaprojektowane urządzenia chłodzenia lub klimatyzacji nie zapewnią utrzymania zadanego komfortu cieplnego. Rozwiązaniem w takich przypadkach może być stosowanie materiałów

zmiennofazowych lub uwzględnienie komfortu adaptacyjnego użytkowników w okresach występowania maksymalnych parametrów powietrza zewnętrznego.

Mając na uwadze powyższe należy przyjąć, że definicja wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego dla obliczania mocy chłodniczej dla budynków powinna uwzględniać oddziaływanie pomiędzy środowiskiem zewnętrznym i parametrami przestrzeni wewnętrznych budynku o określonej konstrukcji. Wynika z tego wniosek, że dla danej lokalizacji projektant powinien mieć możliwość wyboru wartości temperatury obliczeniowej w zależności od przeznaczenia budynku i typu jego konstrukcji, dla którego wykonuje obliczenia zapotrzebowania na moc chłodniczą. Wybór ten powinien być określony jednoznacznie kryteriami w zależności od bezwładności cieplnej (stałej czasowej) budynku, trybu chłodzenia i wentylacji lub klimatyzacji z uwzględnieniem rodzaju regulacji i sterowania (praca ciągła, z obniżeniem parametrów lub przerwami w pracy) oraz przeznaczenia budynku. Projektant przyjmując określone wartości parametrów obliczeniowych powietrza do obliczenia obciążenia chłodniczego systemu powinien określać prawdopodobieństwo niedotrzymania projektowych parametrów wewnętrznych w pomieszczeniach budynku o kontrolowanej temperaturze (i / lub wilgotności względnej).

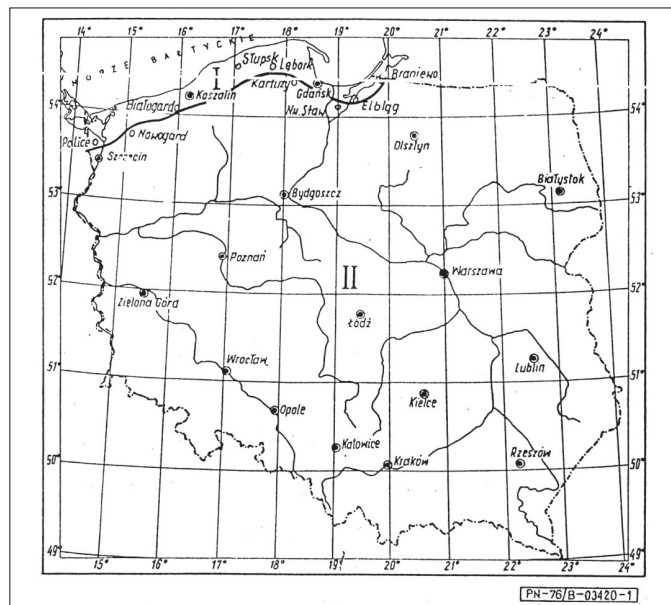
Uwzględniając powyższe założenia wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego dla potrzeb wyznaczania mocy chłodniczej dla budynku powinny być wyznaczone dla jak największej liczby miejscowości analizowanego obszaru uwzględniając typowe dla niego budownictwo i definiując prawdopodobieństwo niedotrzymania parametrów wewnętrznych w budynkach w okresach występowania ekstremalnych wartości parametrów klimatu zewnętrznego. Wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego dla obliczeń systemów chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków mają wiele aspektów technicznych, ekonomicznych i społecznych, zatem prawidłowe ich wyznaczenie ma ogromne znaczenie, ponieważ dane te są wielkościami podstawowymi dla projektowania.

Jednym z podstawowych dokumentów prawnych w Polsce określających metody projektowania dla budynków jest Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2015 r. poz. 1422 i z 2017 r. poz. 2285) wraz z późniejszymi zmianami [2] – zwanym „Warunkami Technicznymi – WT”. W rozporządzeniu tym w dziale IV rozdziale 6 dotyczącym wentylacji i klimatyzacji brak jest jakiegokolwiek odniesienia do parametrów

obliczeniowych powietrza zewnętrznego do projektowania mocy chłodniczej budynku. W przeciwieństwie, w przypadku instalacji ogrzewania budynku rozporządzenie w dziale IV rozdziale 5 odnosi się do Polskiej Normy określającej temperaturę powietrza zewnętrznego i poprzez wykaz norm w rozporządzeniu odnosi się w całości do norm: wycofanej w 2014 r. PN – B 02403:1982 [3] oraz PN-EN 12831:2006 [4] zastąpionej jej nowszą angielską wersją z 2017 r. W artykule [5] można znaleźć informacje na temat zaktualizowanych wartości obliczeniowych temperatury powietrza zewnętrznego i strefy klimatyczne Polski do wyznaczania projektowego obciążenia cieplnego budynków. W przeciwieństwie do instalacji ogrzewania Warunki Techniczne nie określają z jakich wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego należy korzystać przy projektowaniu instalacji chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji dla budynków. Oznacza to, że projektanci mają swobodę w stosunku do wyboru tych parametrów. Zwyczajowo w Polsce korzysta się nadal z wycofanej w 2011 r. normy PN-B 03420:1976 [1] oraz z podręczników i opracowań [6], [7], [8], w których tę normę przywołano lub jej wcześniejszą wersję z 1964 r. Norma PN-B 03420:1976 zawiera mapę Polski z podziałem na dwie strefy klimatyczne z przypisanymi wartościami temperatury termometru suchego oraz termometru wilgotnego powietrza zewnętrznego dla sześciu miesięcy od kwietnia do września. Strefie nr I, północna część, przypisano wartości termometru suchego w zakresie od 18,6°C do 28°C, oraz termometru wilgotnego od 15,8°C do 21°C. Pozostała część obszaru Polski została przypisana do strefy II z wartościami temperatury według termometru suchego od 19,5°C do 30°C oraz termometru wilgotnego od 15,5°C do 21°C. W normie tej podano również wartości entalpii powietrza wilgotnego, wilgotności względnej i zawartości wilgoci przypisanych dla obu stref klimatycznych. Norma zawiera również godzinowe odchyłki od wartości obliczeniowych temperatury według termometru suchego i wilgotnego, co umożliwia wyznaczenie wartości temperatury od godziny 8 do 20 z krokiem 2 godzinowym. Wadą tego rozwiązania jest to, że nie można wyznaczyć za pomocą tej normy wartości parametrów powietrza zewnętrznego z krokiem godzinowym dla całej reprezentatywnej doby danego miesiąca do obliczeń projektowych systemów chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków. Rysunek 1 przedstawia mapę podziału Polski na strefy klimatyczne okresu letniego według normy PN-B 03420:1976.

Należy zaznaczyć, że strefy klimatyczne Polski przedstawione na tym rysunku zostały wykreślone w latach 70-tych ubiegłego wieku na podstawie dostępnych wówczas danych

Rys.1
Podział terytorium Polski na dwie strefy klimatyczne okresu letniego wg PN-B 03420:1976
Fig.1 The division of the territory of Poland into two climatic zones for the summer period according to PN-B 03420:1976 standard



meteorologicznych obejmujących lata 50-te, 60-te i połowę lat 70-tych-te ubiegłego wieku. Począwszy od połowy lat 70-tych XX wieku, wartości parametrów obliczeniowych nie zmieniano i w znakomitej większości są one wykorzystywane w projektowaniu do dziś. W związku z obserwowanymi zmianami klimatu [8] oraz w związku z tym, że wartości obliczeniowe parametrów powietrza zewnętrznego są podstawowymi wielkościami wymiarowania systemów chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji należy wyznaczyć te parametry dla jak największej liczby lokalizacji na obszarze Polski oraz wykreślić strefy klimatyczne Polski na podstawie dostępnych danych meteorologicznych.

Dane meteorologiczne w obliczeniach projektowych systemów chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków wykorzystywane są w dwóch celach. Pierwszy z nich to wyznaczenie obliczeniowego obciążenia chłodniczego w warunkach projektowych. W obliczeniach tych wykorzystywane są wartości parametrów obliczeniowych przestrzeni zewnętrznej (natężenie promieniowania słonecznego, parametrów powietrza zewnętrznego, temperatury promieniowania długofalowego nieboskłonu i otoczenia budynku) zregulowane do jednej doby obliczeniowej charakterystycznej dla danego miesiąca. Metody projektowania wg wartości godzinowych typowego dnia obliczeniowego systemów klimatyzacji opisane są w literaturze [9], [10], [11] oraz powszechnie stosowanej na świecie metodyce ASHRAE [11]. Drugi z tych celów to wyznaczenie przeciętnego dla okresu co najmniej 20 lat rocznego zapotrzebowania na energię do chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynku. W takim przypadku do obliczeń wykorzystuje się typowe lata meteorologiczne [12], które nie mogą być wykorzystywane jako źródło danych do

obliczeń projektowych, ponieważ w trakcie ich wyznaczania odrzucane są wszelkie dane zawierające wartości ekstremalne parametrów powietrza zewnętrznego, jak również innych parametrów meteorologicznych. Zagadnienia związane z obliczaniem rocznego zapotrzebowania na energię dla budynków przedstawiono w artykule [13], w którym opisano również różne rodzaje typowych lat meteorologicznych.

W Polsce podejmowano temat parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego zarówno dla potrzeb wyznaczania obciążenia cieplnego ogrzewania i chłodniczego dla systemów chłodzenia i klimatyzacji budynków [14], [15]. Wartości wyznaczanych parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego, przedstawiane w tych publikacjach, określone były na podstawie danych zamieszczonych w typowych latach meteorologicznych wyznaczonych dla obszaru Polski dla potrzeb systemu świadectw energetycznych w 2004 r. [12], [13], a nie na podstawie mierzonych parametrów meteorologicznych wieloletnia dla danej lokalizacji. W artykule [16] przedstawiono wpływ wyboru statystycznych danych klimatycznych na zapotrzebowanie na energię do uzdatniania powietrza klimatyzującego. W publikacji tej wykazano różnice pomiędzy zapotrzebowaniem na energię dla systemów wentylacji i klimatyzacji obliczoną z wykorzystaniem dwóch różnych zestawów typowych lat meteorologicznych dla 10 lokalizacji na terenie Polski. Pierwszy z tych zestawów danych to typowe lata meteorologiczne opracowane w 2004 r. [12], natomiast drugi zestaw to typowe lata meteorologiczne wyznaczone za pomocą oprogramowania Meteororm [17].

W podręczniku ASHRAE Handbook of Fundamentals [11] podane są dane klimatyczne do projektowania obciążeń cieplnych

dla systemów ogrzewania i nawilżania oraz chłodzenia i odwilżania przestrzeni wewnętrznych budynków dla 5564 lokalizacji na całym świecie w tym dla 59 stacji meteorologicznych w Polsce. W podręczniku tym podano między innymi wartości temperatury obliczeniowych powietrza zewnętrznego dla termometru suchego i współwystępującej temperatury powietrza według termometru wilgotnego z częstością występowania 0,4%, 1%, 2% i 5% dla okresu co najmniej 20 lat. Podane w tej publikacji wartości temperatury termometru suchego i wilgotnego powietrza zewnętrznego dla obliczeń obciążenia chłodniczego budynków zlokalizowanych w Warszawie dla częstości występowania 0,4 % (czyli najwyższe temperatury obliczeniowe) wynoszą: w wydaniu z 1999 r. 29°C i 19,5°C natomiast w wydaniu z 2009 r. odpowiednio 29,6°C i 20°C. Obserwuje się zatem wzrost wartości temperatury obliczeniowej, co jest dodatkową motywacją do wyznaczenia stref klimatycznych okresu letniego dla obszaru Polski na podstawie nowych danych meteorologicznych.

Metody

Dla potrzeb określenia parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego i stref klimatycznych Polski dla obliczeń mocy chłodniczej systemów chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków wykorzystano metody wyznaczania tych wartości według normy PN-EN – ISO 15927-2 oraz według metody opisanej w podręczniku ASHRAE Fundamentals.

W normie PN-EN – ISO 15927-2:2010 [18] zdefiniowano dane klimatu zewnętrznego do określania obciążenia chłodniczego budynków oraz przedstawiono metodę obliczeń i prezentacji tych danych. W normie podano definicję i określono metody obliczania i prezentacji miesięcznego projektowego klimatu zewnętrznego do stosowania w określaniu projektowej mocy chłodniczej budynków i projektowych systemów klimatyzowania powietrza. W zależności od typu budynku zakres parametrów można dostosować do wartości dobowych, trzygodzinowych lub godzinowych dla każdego miesiąca kalendarzowego. Wartości te wyznacza się dla częstości występowania 5%, 2% i 1% w okresie analizowanego wielolecia źródłowych pomiarów meteorologicznych. Norma zaleca, aby wartościami określającymi parametry obliczeniowe przestrzeni zewnętrznej były obligatoryjnie temperatura termometru suchego, natężenie całkowitego promieniowania słonecznego lub usłonecznienie (liczba godzin słonecznych), dobowy różnica temperatury termometru suchego, temperatura punktu rosy oraz prędkość wiatru. Warto-

ści maksymalne dobowe dla danego miesiąca i temperatury termometru suchego i punktu rosy wykorzystywane są do projektowania systemów klimatyzacji budynków.

Norma określa źródła danych do wyznaczenia parametrów obliczeniowych jako pliki godzinowe danych meteorologicznych, zawierające co najmniej temperaturę termometru suchego i całkowite promieniowanie słoneczne lub usłonecznienie (godziny słoneczne) dla co najmniej 10 lat. Inne parametry, takie jak temperatura punktu rosy lub dobowy zmiana temperatury i prędkości wiatru, mogą być uwzględnione, jeśli parametry dni projektowych są konieczne do obliczeń obciążenia chłodniczego dla budynków. Zastosowane parametry powinny być dokładnie udokumentowane. Norma przedkłada wartości całkowitego natężenia promieniowania słonecznego nad usłonecznienie (godziny słoneczne), ze względu na większą dokładność obliczeń zysków ciepła od promieniowania słonecznego. Metody obliczania parametrów meteorologicznych na podstawie danych pomiarowych podano w PN-EN-ISO 15927-1:2005 [18]. Źródłem danych do wyznaczenia parametrów obliczeniowych przestrzeni zewnętrznej dla wyznaczenia obciążenia chłodniczego budynków mogą być dane meteorologiczne mierzone zgodnie z metodami opisanymi w WMO Guide Nr 8 [19]. Z powyższego wynika, że do wyznaczenia parametrów obliczeniowych nie można używać danych typowych lat meteorologicznych, a jedynie ciągi terminowych pomiarów meteorologicznych z okresu minimum 10 lat.

Norma PN-EN-ISO 15927-2 określa jako dane do projektowania systemów klimatyzacji wartości temperatury termometru suchego dla granicznej częstości występowania równej 1%, 2% i 5% wraz ze współwystępującą temperaturą punktu rosy. Wartości temperatury obliczeniowej powietrza według termometru suchego oznaczają, że wartości wyższe temperatury powietrza zewnętrznego występują odpowiednio w 1%, 2% i 5% całkowitej liczby pomiarów temperatury w wieloleciu. Przykładowo jeżeli analizowany jest ciąg godzinowych pomiarów meteorologicznych z okresu 20 lat, to całkowita liczba pomiarów wynosi 175 200, natomiast w przypadku 1% częstości występowania 1752 pomiarów w ciągu 20 lat wskażą temperaturę wyższą niż projektowa. Odpowiada to w przybliżeniu 88 godzinom przekroczenia temperatury obliczeniowej w jednym roku kalendarzowym. Odpowiednio dla temperatury obliczeniowej dla częstości 2% i 5% liczba przekroczeń będzie proporcjonalnie większa. Należy zaznaczyć, że im dłuższy jest okres analizy, tym dokładniej wyznaczone zostają wartości temperatury obliczeniowej powie-

trza zewnętrznego. Należy tutaj zaznaczyć, że źródłowe dane meteorologiczne zawierają pomiary wykonywane z różnymi częstościami w ciągu doby. W zależności od dostępności danych meteorologicznych obliczenia modyfikuje się z uwzględnieniem terminowych pomiarów meteorologicznych, z terminami godzinowymi (24 pomiary na dobę), trzygodzinnymi (8 pomiarów na dobę), oraz na podstawie trzech pomiarów na dobę w godzinach 7:30, 14:30 i 21:30 lub na podstawie minimalnej i maksymalnej temperatury dobowej.

Współwystępujące z wyznaczonymi wartościami obliczeniowymi temperatury termometru suchego dla częstości występowania 1%, 2% i 5% wartości temperatury punktu rosy określa się dla przedziału $\pm 0,1^\circ\text{C}$, co oznacza szerokość przedziału $0,2^\circ\text{C}$ z wartością centralną temperatury termometru suchego, dla tego przedziału poszukuje się odpowiednio współwystępującej temperatury punktu rosy dla powietrza zewnętrznego. W wielu przypadkach danych meteorologicznych dane źródłowe nie zawierają temperatury punktu rosy lecz wilgotność względną lub temperaturę termometru wilgotnego. W takich przypadkach należy wyznaczyć temperaturę punktu rosy na podstawie zależności psychrometrycznych.

W podręczniku ASHRAE Handbook Fundamentals [6], w którym jeden z rozdziałów poświęcony jest warunkom klimatycznym i danym obliczeniowym dla potrzeb ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji budynków, przedstawione zostały wartości obliczeniowe parametrów powietrza zewnętrznego dla zimy i dla lata odpowiednio do wyznaczania obciążenia cieplnego ogrzewania, chłodzenia pomieszczeń budynków jak również nawilżania i odwilżania powietrza w ich wnętrzu. W przypadku obliczania obciążenia cieplnego do ogrzewania warunki obliczeniowe obejmują między innymi temperaturę powietrza zewnętrznego, którą określono jako temperaturę termometru suchego powietrza, dla której częstość występowania wartości temperatury powietrza większej lub równej temperaturze obliczeniowej wynosi odpowiednio 0,4%, 1%, 2% dla wielolecia oraz 0,4%, 2%, 5% i 10% dla poszczególnych miesięcy w wieloleciu. Warunki obliczeniowe według metody opisanej w podręczniku ASHRAE wyznacza się dla stacji meteorologicznych zarejestrowanych przez World Meteorological Organization (WMO) i posiadające długoterminowe obserwacje godzinowe lub trzygodzinowe o minimalnym okresie pomiarowym co najmniej 12 lat. Analogicznie jak w przypadku metody opisanej normą PN-EN-ISO 15927-2, dla wartości obliczeniowych temperatury powietrza zewnętrznego według termometru suchego

wyznacza się współwystępujące wartości termometru wilgotnego. Metoda ASHRAE wyznaczania parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego, przewiduje również wyznaczanie temperatury termometru wilgotnego jako podstawowego parametru i współwystępującej temperatury termometru suchego.

Porównując obie metody wyznaczania wartości temperatury obliczeniowej powietrza zewnętrznego dla obliczania ogrzewania budynków opisane w normie PN-EN-ISO 15927-2 oraz w ASHRAE Fundamentals można zauważyć, że obie metody są niemal identyczne a różnią się jedynie szczegółami implementacyjnymi w postaci przyjmowanych wartości częstości występowania dla wyznaczania parametrów obliczeniowych. Obie metody umożliwiają wyznaczenie kilku wartości temperatury obliczeniowej dla danej lokalizacji, które mogą być wybrane przez projektanta do wyznaczenia obciążenia chłodniczego budynku w zależności od jego przeznaczenia i pojemności cieplnej konstrukcji.

W przypadku obu metod do wyznaczenia wartości temperatury obliczeniowej powietrza zewnętrznego niezbędne jest wyznaczenie histogramów temperatury powietrza zewnętrznego dla wielolecia oraz dodatkowego parametru w postaci albo temperatury punktu rosy w przypadku metody opisanej w normie PN-EN-ISO 15927-2, albo temperatury termometru wilgotnego, w przypadku metody ASHRAE. Histogramy wartości temperatury termometru suchego oblicza się dla meteorologicznych pomiarów terminowych. Na podstawie wyznaczonych histogramów wyznacza się częstości występowania wartości temperatury dla przyjętych w histogramach przedziałów temperatury. Wyznaczone wartości częstości występowania temperatury powietrza zewnętrznego całkowane są ze zmienną górną granicą całkowania w celu określenia dystrybuant występowania temperatury termometru suchego. Wyznaczone dystrybuanty służą następnie do wyznaczenia wartości temperatury obliczeniowej powietrza zewnętrznego dla określonych częstości występowania według obu metod. Dla potrzeb tego artykułu wykorzystano metodę ASHRAE określania parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego do obliczania obciążenia chłodniczego budynku z częstością występowania 0,4% i 1% oraz współwystępującą temperaturą termometru wilgotnego. Przyjęte parametry wynikają z konieczności porównania wyników tych analiz z parametrami obliczeniowymi powietrza zewnętrznego podanymi w normie PN-B 03420. W pracy wyznaczono parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego dla wielolecia w celu określenia stref klimatycz-

nych oraz wyznaczono parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego dla poszczególnych stref klimatycznych dla sześciu miesięcy od kwietnia do września.

Wyniki

W Polsce do obliczeń świadectw energetycznych, auditingu energetycznego i wyznaczania rocznego zapotrzebowania na energię budynków wykorzystywane są typowe lata meteorologiczne opracowane w 2004 r. dostępne na rządowej stronie internetowej [20]. W związku z tym, że typowe lata meteorologiczne zostały opracowane na podstawie terminowych pomiarów meteorologicznych z lat 1971 – 2000, przedstawione poniżej wyniki obliczeń wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego również opracowano dla tego wielolecia w celu porównania ich z wartościami jakie zostały wyznaczone w opisanych powyżej pracach podejmujących próby wyznaczenia tych wartości.

Z bazy danych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej wygenerowane zostały zbiory danych niezbędne do wyznaczenia obliczeniowych wartości temperatury powietrza zewnętrznego dla 59 stacji meteorologicznych na terenie Polski. Dodatkowo dla potrzeb określenia przebiegu izoterm, izoentalt oraz wyznaczenia stref klimatycznych analizowano wartości temperatury powietrza zewnętrznego w tych latach dla 68 stacji meteorologicznych zlokalizowanych w państwach sąsiadujących z Polską. Analizowane terminowe pomiary meteorologiczne z lat 1971 – 2000 dla obszaru Polski to dane zawierające trzygodzinne pomiary terminowe dla godzin 0:00, 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00. Dane te zawierały temperatury termometru suchego, wilgotności względnej oraz innych parametrów meteorologicznych. Na podstawie wartości temperatury termometru suchego, wilgotności względnej oraz ciśnienia barometrycznego obliczano temperaturę termometru wilgotnego dla określenia tej temperatury występującej z temperaturą obliczeniową termometru suchego. Pełen zestaw pomiarów terminowych dla pojedynczej stacji meteorologicznej powinien zawierać (30 lat x 365 dni + 8 dni przestępnych) x 8 pomiarów czyli 87664 rekordów zawierających wartości temperatury termometru suchego i pozostałych pomiarów meteorologicznych. Ze względu na dużą liczbę danych do analiz statystycznych opracowano autorski program METEOSTAT napisany w języku C++ do analiz danych meteorologicznych. Program ten wykorzystuje dane źródłowe w postaci plików tekstowych z pomiarami terminowymi. W plikach danych zawierających pomiary terminowe występują braki i nieciągłości pomiarów. Krótsze okre-

sy pomiarowe określane jako braki danych do 48 godzin, były uzupełniane poprzez interpolację za pomocą krzywych sklejanych trzeciego stopnia z zachowaniem wartości pochodnych na granicach uzupełnianego przedziału. W przypadku dłuższych przerw w danych źródłowych oznaczano je jako nieciągłości pomiarów i godziny, w których występowały nieciągłości pomiarów nie były zliczane w celu określenia ogólnej liczby wartości pomiarów terminowych. W przypadku obliczeń wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego pomiary terminowe wykorzystywano do obliczeń temperatury termometru wilgotnego na podstawie zależności psychrometrycznych i na tej podstawie budowano histogramy dla wielolecia oraz histogramy występowania temperatury powietrza dla pojedynczych miesięcy kalendarzowych wielolecia dla wszystkich 59 stacji meteorologicznych terenu Polski oraz 68 stacji państw sąsiednich. Łącznie dla każdej stacji meteorologicznej wyznaczano 7 histogramów – jeden dla wielolecia i sześć dla pojedynczych miesięcy od kwietnia do września w wieloleciu

Wartości pomiarów terminowych wykorzystano do obliczenia histogramów, częstości występowania i dystrybuant poszczególnych wartości temperatury termometru suchego i obliczonych wartości temperatury termometru wilgotnego. Wartości histogramów wyznaczano zgodnie z zależnością:

$$n = \sum_{i=1}^k m_i \quad (1)$$

gdzie

- n – jest całkowitą liczbą obserwacji, w tym przypadku temperatury powietrza zewnętrznego,
- k – liczbą przedziałów histogramu, natomiast m_i liczbą obserwacji zarejestrowaną dla przedziału i .

Wartości częstości występowania temperatury powietrza zewnętrznego lub jej średniej n -dobowej obliczano według zależności:

$$f_i = \frac{m_i}{n}, \quad i \in \{1, k\}, \quad (2)$$

natomiast dystrybuanty określające prawdopodobieństwo P wystąpienia temperatury t mniejszej lub równej t_i wyznaczano dla funkcji częstości występowania zgodnie z wzorem:

$$F_T(t) = P(T \leq t) = \sum_{t_i \leq t} P(T = t_i) = \sum_{t_i \leq t} f_i(t_i) \quad (3)$$

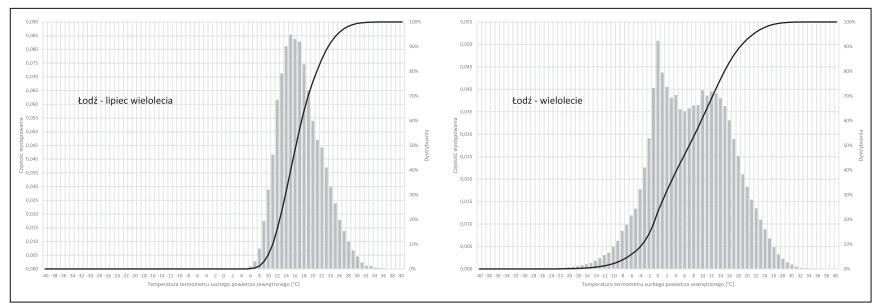
Przykładowe wykresy częstości występowania temperatury termometru suchego powietrza zewnętrznego dla przedziałów temperatury o wartości 1K wraz z odpowiadającymi im dystrybuantami dla stacji

meteorologicznej łódź dla lipca wielolecia oraz dla wszystkich pomiarów wielolecia pokazano na rysunku 2. W czasie analizy danych stacji meteorologicznych Polski i wybranych w stacji w krajach sąsiadujących wyznaczono łącznie 903 dystrybucje temperatury według termometru suchego oraz współwystępującej temperatury termometru wilgotnego powietrza zewnętrznego, które posłużyły do wyznaczenia wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego dla okresu letniego o częstościach występowania 0,4% i 1% dla wielolecia i miesięcy od kwietnia do września z wielolecia. Wybrane wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego dla obliczenia obciążenia chłodniczego systemów chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków przedstawiono w tabeli 1.

W tabeli 1 zamieszczono wartości temperatury obliczeniowej termometru suchego T_s i termometru wilgotnego T_m dla częstości występowania 0,4% i 1% w odniesieniu do wielolecia oraz w odniesieniu do najcieplejszego miesiąca – lipca wielolecia (obliczenia dla wszystkich lipców wielolecia) z częstością występowania 0,4%. Dodatkowo w tabeli zamieszczono wartości entalpii powietrza zewnętrznego wyznaczone dla wielolecia z częstością występowania 0,4%. Wartości temperatury termometru suchego wielolecia, termometru suchego lipca wielolecia, termometru wilgotnego wielolecia oraz entalpii wyznaczone dla częstości 0,4% posłużyły do wykreślenia map z izoliniami tych parametrów i wyznaczenia stref klimatycznych Polski dla okresu letniego.

Wartości temperatury obliczeniowej powietrza zewnętrznego można przedstawić na mapie w postaci obszarów z przypisanymi do nich parametrami obliczeniowymi powietrza zewnętrznego dla pojedynczej stacji meteorologicznej lub w postaci stref klimatycznych z przypisanymi do nich wartości średnich parametrów obliczeniowych wyznaczonych z parametrów obliczeniowych przypisanych do tych stref stacji meteorologicznych. Wynika z tego, że parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego dla obszaru Polski można przedstawić w postaci komórek z przypisanymi do nich wartości temperatury lub w postaci stref oddzielonych izoliniami temperatury lub entalpii dla określonej częstości występowania nazywanych często strefami klimatycznymi, choć nie opisują one w pełni klimatu a jedynie parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego.

W celu podzielenia terytorium Polski na obszary z przypisanymi wartościami temperatury obliczeniowej powietrza zewnętrznego utworzono siatkę triangulacyjną z węzłami zlokalizowanymi w 59 stacjach meteorologicznych Polski oraz 68 w krajach sąsied-



Rys.2

Histogramy i dystrybucje temperatury termometru suchego powietrza zewnętrznego dla stacji meteorologicznej Łódź w latach 1971 – 2000 dla lipca i wszystkich miesięcy

Fig. 2 Histograms and cumulative distribution functions of dry bulb temperature of ambient air – Łódź meteorological station in 1971 – 2000 years for July and all month

Tab. 1 Wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego dla obliczania obciążenia chłodniczego dla systemów chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków wyznaczone na podstawie danych źródłowych z lat 1971 – 2000 stacji meteorologicznych obszaru Polski wg metody ASHRAE
Tab. 1 External design air temperatures for space cooling loads based on source data from 1971–2000 year for Polish meteorological stations according to the ASHRAE method

#WMO	Stacja	Szer. geogr.	Dł. geogr.	Wys. n.p.m.	Częstość 0,4%		Częstość 1%		Częstość 0,4% lipiec		h 0,4% kJ/kg	Strefa *)
					T_s	T_m	T_s	T_m	T_s	T_m		
–	–	st.	st.	m	°C	°C	°C	°C	°C	°C	–	–
121000	Kołobrzeg	54,18	15,58	5	26,2	18,5	24,0	18,0	29,3	18,7	56,9	2
121050	Koszalin	54,2	16,15	34	27,1	18,8	25,2	18,1	30,9	20,7	59,3	2
121150	Ustka	54,58	16,87	11	25,6	18,5	23,4	17,9	30,1	20,3	59,1	1
121200	Łeba	54,75	17,53	6	25,4	18,3	23,4	17,6	29,2	20,9	58,4	1
121250	Łębork	54,55	17,75	41	27,5	19,1	25,8	18,4	30,8	20,3	59,1	2
121350	Hel	54,60	18,82	3	24,6	19,6	23,0	18,7	27,8	21,4	60,7	1
121500	Gdańsk	54,38	18,47	138	25,3	17,6	23,4	16,8	29,0	19,3	58,8	1
121600	Elbląg	54,17	19,43	43	27,3	19,6	25,4	18,7	30,8	20,8	60,9	2
121850	Kętrzyn	54,07	21,37	110	27,1	19,6	25,3	18,3	30,6	21,2	62,2	2
121950	Suwałki	54,13	22,95	186	26,8	18,8	25,0	17,8	30,1	19,9	60,8	2
122000	Świnoujście	53,92	14,23	5	25,9	18,7	23,9	18,3	29,5	19,9	60,1	1
122050	Szczecin	53,40	14,62	7	28,3	19,4	26,3	18,6	32,2	21,5	61,5	3
122100	Resko	53,77	15,42	56	28,1	18,9	26,3	18,3	31,7	20,4	58,7	3
122150	Szczecinek	53,72	16,68	144	27,6	18,5	25,7	17,8	30,0	19,4	58,3	2
122300	Piła	53,13	16,75	73	28,6	18,5	26,7	17,7	31,8	20,0	58,6	3
122350	Chojnice	53,72	17,55	172	27,5	18,6	25,5	17,6	31,2	19,8	59,1	2
122500	Toruń	53,05	18,58	72	28,8	18,9	26,8	17,9	32,3	19,7	60,3	3
122700	Mława	53,1	20,35	149	27,9	19,0	26,0	18,0	31,3	20,3	60,6	2
122720	Olsztyn	53,77	20,42	137	27,8	18,9	25,8	17,8	31,2	20,4	60,1	2
122800	Mikołajki	53,78	21,58	132	26,3	18,9	24,6	17,9	29,2	20,1	61,4	2
122850	Ostrołęka	53,08	21,57	97	28,2	19,1	26,3	18,3	31,1	19,6	60,8	3
122950	Białystok	53,10	23,17	151	27,2	19,0	25,4	17,8	30,3	19,7	61,4	2
123000	Gorzów Wlkp.	52,75	15,28	73	28,6	18,7	26,8	17,9	32,1	19,9	59,5	3
123100	Ślubice	52,35	14,60	24	29,3	19,2	27,5	18,7	32,8	20,2	60,5	3
123300	Poznań	52,42	16,85	84	29,2	18,8	27,3	17,8	32,6	20,1	60,0	3
123450	Koło	52,20	18,67	117	28,5	20,8	26,8	19,5	30,4	20,1	73,4	3
123600	Płock	52,58	19,73	109	28,3	19,2	26,4	18,2	31,4	19,9	60,6	3
123750	Warszawa	52,17	20,97	106	28,9	19,7	27,0	18,8	32,1	20,3	62,7	3
123850	Siedlce	52,25	22,25	155	28,1	19,2	26,3	18,3	31,2	20,0	61,5	3
123990	Terespol	52,07	23,62	137	28,1	19,4	26,3	18,7	30,9	20,1	63,2	3
124000	Zielona Góra	51,93	15,53	192	28,4	18,1	26,4	17,4	31,9	18,9	58,9	3
124150	Legnica	51,20	16,20	124	29,1	19,1	27,2	18,5	32,5	20,0	60,7	3
124180	Leszno	51,83	16,53	92	29,1	18,9	27,2	18,2	32,7	19,7	59,4	3
124240	Wrocław	51,10	16,88	124	29,0	19,1	27,1	18,3	32,5	19,8	60,8	3
124350	Kalisz	51,78	18,08	140	29,0	19,6	27,1	18,9	32,4	20,4	62,2	3
124550	Wieluń	51,22	18,57	201	28,5	19,1	26,6	18,2	31,7	19,5	60,9	3
124650	Łódź	51,73	19,40	190	28,7	18,8	26,8	18,0	31,9	19,1	60,5	3
124690	Sulejów	51,35	19,87	189	28,3	19,0	26,4	18,1	31,0	19,4	60,6	3
124950	Lublin	51,22	22,40	240	27,7	19,5	25,8	18,7	30,3	20,0	63,0	2

Tab. 1 cd.

#WMO	Stacja	Szer. geogr.	Dł. geogr.	Wys. n.p.m.	Częstość 0,4%		Częstość 1%		Częstość 0,4% lipiec		h 0,4%	Strefa *)
					Ts	Tm	Ts	Tm	Ts	Tm		
-	-	st.	st.	m	°C	°C	°C	°C	°C	°C	kJ/kg	-
124970	Włodawa	51,55	23,53	179	28,2	19,1	26,3	18,4	30,8	19,6	62,1	3
125000	Jelenia Góra	50,90	15,80	344	27,4	18,4	25,5	17,6	30,3	19,3	59,5	2
125100	Śnieżka	50,73	15,73	1613	17,4	12,9	15,9	12,1	20,1	14,0	45,1	0
125200	Kłodzko	50,43	16,62	357	27,1	18,8	25,2	18,1	30,0	19,2	60,5	2
125300	Opole	50,62	17,97	163	29,0	19,3	27,1	18,4	32,4	19,4	61,8	3
125400	Racibórz	50,05	18,20	206	28,4	19,4	26,7	18,6	31,3	19,9	62,2	3
125500	Częstochowa	50,82	19,10	295	27,6	18,2	25,8	17,5	30,4	19,5	60,3	2
125600	Katowice	50,23	19,03	284	28,5	19,2	26,7	18,2	31,2	19,9	60,8	3
125660	Kraków	50,08	19,80	237	29,2	19,9	27,2	19,1	31,8	20,6	62,8	3
125700	Kielce	50,82	20,70	261	28,1	19,3	26,3	18,4	30,8	20,8	61,7	3
125750	Tarnów	50,03	20,98	209	28,5	19,7	26,7	18,8	31,1	20,7	63,3	3
125800	Rzeszów	50,10	22,05	201	28,2	19,7	26,4	18,8	30,5	20,3	64,1	3
125850	Sandomierz	50,70	21,72	218	28,1	19,5	26,3	18,7	30,5	19,9	62,9	3
125950	Zamość	50,70	23,25	213	27,9	19,7	26,1	19,0	30,5	20,2	62,8	2
126000	Bielsko-Biała	49,80	19,00	399	27,2	18,9	25,4	18,0	29,9	19,3	61,1	2
126250	Zakopane	49,30	19,97	857	24,4	16,5	22,8	15,8	26,8	17,2	55,5	1
126500	Kasprowy Wie.	49,23	19,98	1989	15,5	11,1	14,2	10,6	17,6	12,4	42,2	0
126600	Nowy Sącz	49,62	20,70	295	28,6	19,6	26,8	18,8	31,0	19,9	63,9	3
126900	Lesko	49,47	22,35	422	26,9	19,0	25,3	18,2	28,8	19,9	61,3	2
126950	Przemysł	49,80	22,77	280	27,5	19,3	25,9	18,8	30,0	21,0	61,2	2

*) Uwaga – strefa "0" oznacza, że parametrów obliczeniowych powietrza danej lokalizacji nie uwzględniano w obliczeniach parametrów średnich dla przyporządkowanej strefy klimatycznej Polski – np. ze względu na położenie stacji meteorologicznej na szczytach gór.

nich. Siatka triangulacyjna umożliwiła wyznaczenie diagramu Voronoi [21], który tworzy podział płaszczyzny na wypukłe wielokąty w taki sposób, że każdy wielokąt zawiera dokładnie jeden punkt generowania, a każdy punkt w danym wielokącie jest bliżej swojego punktu generowania niż jakiegokolwiek innego. Punkty lokalizacji stacji meteorologicznych stanowią w tym przypadku punkty generowania diagramu Voronoi, do których przypisuje się wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego. Komórki diagramu Voronoi tworzą na mapie Polski obszary, do których jednoznacznie przypisuje się wartości tych parametrów. W przypadku lokalizacji geograficznych, w wierzchołkach, lub na krawędziach wielokątów tworzących obszary przyporządkowane poszczególnym stacjom meteorologicznym należy przyjmować wartość najwyższą temperatury z sąsiadujących obszarów. Na rysunku 3 pokazano podział terytorium Polski na obszary Voronoi z przypisanymi do nich wartościami temperatury obliczeniowej termometru suchego powietrza zewnętrznego obliczonymi wg metody ASHRAE dla częstości występowania 0,4% na podstawie danych źródłowych z lat 1971–2000.

Podział obszaru Polski na strefy wymaga wyznaczenia przebiegu izolinii temperatury obliczeniowej lub entalpii powietrza zewnętrznego. Obszar obejmujący lokalizację 59 stacji meteorologicznych Polski oraz

68 stacji meteorologicznych w krajach sąsiednich został podzielony siatką 150 x 150 punktów, co generuje regularną siatkę 22 500 punktów, dla których interpolowano wartości temperatury obliczeniowej. W celu wyznaczenia wartości parametru obliczeniowego (temperatury termometru suchego, termometru wilgotnego lub entalpii) w punktach siatki regularnej zastosowano interpolację dwusześcienną [22] z wartościami wybranego parametru w rozproszonych punktach lokalizacji stacji meteorologicznych. Do interpolacji dwusześcienną jako interpolator dla siatki równomiernej wykorzystano krzywe sklejane trzeciego stopnia. W takim przypadku dla każdego obszaru wyznaczonym przez cztery węzły siatki regularnej zamiast rozwiązywać układ równań liniowych do wyznaczenia współczynników wielomianu interpolacyjnego stosuje się dla obu kierunków przestrzeni spłot funkcji z następującą funkcją wagi z typową wartością $a = -0,5$:

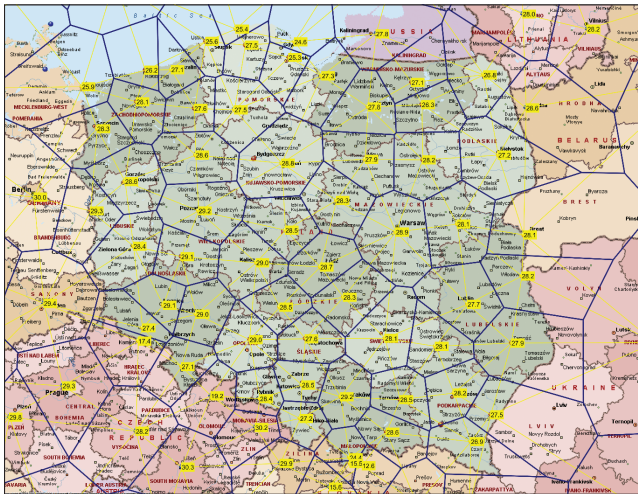
$$W(x) = \begin{cases} (a+2)|x|^3 - (a+3)|x|^2 + 1 & \text{dla } |x| \leq 1 \\ a|x|^3 - 5a|x|^2 + 8a|x| - 4a & \text{dla } 1 \leq |x| \leq 2 \\ 0 & \text{dla } |x| > 2 \end{cases} \quad (4)$$

Wyznaczone w węzłach siatki regularnej wartości wybranego parametru obliczeniowego umożliwiły wykreślenie przebiegu izo-

linii, których punkty na krawędziach siatki regularnej obliczono z wykorzystaniem interpolacji liniowej. Wyznaczona siatka regularna interpolowana wykorzystywana była różnymi wartościami węzłów rozproszonych, co oznacza, że ta sama siatka regularna interpolowana była różnymi wartościami temperatury obliczeniowej.

W tabeli 1 dla każdej stacji meteorologicznej Polski podano sześć wartości temperatury obliczeniowej powietrza zewnętrznego oraz entalpii. Wartości temperatury obliczeniowej termometru suchego, termometru mokrego i entalpii dla częstości występowania 0,4% dla wszystkich pomiarów meteorologicznych wielolecia oraz temperatury termometru suchego częstości występowania 0,4% dla lipca wielolecia zostały wykorzystane do wykreślenia izolinii na mapie Polski i krajów sąsiednich. Na podstawie przebiegów tych izolinii wybrano jeden z parametrów, na podstawie którego określono podział terytorium na strefy, dla których przypisano średnie strefowe parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego. Na rysunkach od 4 do 7 przedstawiono odpowiednio przebieg izoterm temperatury obliczeniowej termometru suchego wyznaczonej dla wielolecia dla częstości 0,4%, współwystępującej do temperatury termometru suchego, temperatury termometru mokrego, temperatury termometru suchego dla lipca wielolecia dla częstości 0,4% oraz entalpii powietrza dla wielolecia dla częstości 0,4%.

Na podstawie czterech map przedstawionych na powyższych rysunkach jako podstawę określenia stref klimatycznych Polski dla okresu letniego przyjęto mapę z izotermami termometru suchego wyznaczonymi dla częstości występowania 0,4% dla całego wielolecia. Przebieg izoterm na tej mapie jest najbardziej zbliżony do przebiegu linii podziału na strefy klimatyczne Polski dla okresu letniego według normy PN-B 03420:1976. Jako podstawę podziału na strefy klimatyczne można również przyjąć przebieg izolinii entalpii powietrza zewnętrznego. W wyznaczonych w ten sposób strefach klimatycznych najbardziej istotnym parametrem obliczeniowym jest entalpia wilgotnego powietrza. Strefy w ten sposób wyznaczone przedstawiają obszary, w których zbliżona jest całkowita ilość ciepła jawnego i utajonego, którą należy odprowadzić z powietrza wentylacyjnego. Jednak ze względu na przyzwyczajenia projektantów strefy klimatyczne zdefiniowane w ten sposób mogą być niezrozumiałe w ich użytkowaniu. Dla potrzeb wyznaczenia podziału terytorium Polski na strefy klimatyczne okresu letniego przyjęto mniejszą liczbę izolinii w porównaniu do mapy pokazanej na rysunku 4, co wyznacza mniejszą liczbę stref klimatycznych. Podstawę podziału Polski na



Rys.3

Podział terytorium Polski na obszary Voronoi z przypisanymi wartościami temperatury obliczeniowej termometru suchego powietrza zewnętrznego obliczonymi wg metody ASHRAE dla częstości występowania 0,4% na podstawie danych źródłowych z lat 1971–2000

Fig.3 Division of the Polish territory into Voronoi cells with assigned design external air temperature for space cooling loads calculations according to the ASHRAE method for the occurrence frequency 0.4% – source data 1971–2000 year



Rys.5

Przebieg izoterm współwystępującej temperatury obliczeniowej powietrza zewnętrznego termometru wilgotnego wyznaczonych wg metody ASHRAE dla częstości występowania 0,4% na podstawie danych źródłowych z lat 1971 – 2000

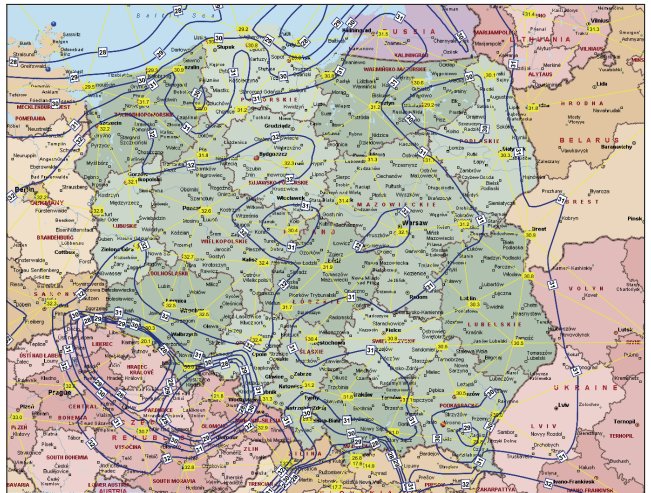
Fig.5 External air mean coincident wet bulb isotherms for design heat loads for space heating calculated according to the ASHRAE method for the occurrence frequency 0.4%– source data 1971–2000 year



Rys.4

Przebieg izoterm temperatury obliczeniowej powietrza zewnętrznego termometru suchego wyznaczonych wg metody ASHRAE dla częstości występowania 0,4% na podstawie danych źródłowych z lat 1971–2000

Fig.4 External air dry bulb isotherms for design cooling loads calculated according to the ASHRAE method for the occurrence frequency 0.4% – source data 1971–2000 year



Rys.6

Przebieg izoterm temperatury obliczeniowej powietrza zewnętrznego termometru suchego dla lipca w wieloletiu wyznaczonych wg metody ASHRAE dla częstości występowania 0,4% na podstawie danych źródłowych z lat 1971–2000

Fig.6 External air dry bulb isotherms for July for design cooling loads calculated according to the ASHRAE method for the occurrence frequency 0.4% – source data 1971–2000 year

strefy klimatyczne stanowią izotermy o wartościach 26°C, 28°C i 30°C wyznaczone dla temperatury termometru suchego o częstości występowania 0,4%. Na rysunku 8 przedstawiono mapę podziału terytorium Polski na trzy strefy klimatyczne oznaczone odpowiednio I, II, i III.

Strefa I o najniższych wartościach parametrów obliczeniowych stanowi bezpośrednią strefę brzegową przyległą do Morza Bałtyckiego oraz tereny górskie Sudetów, Beskidów i Karpat. Strefa II to tereny wyżyn, natomiast strefa III to tereny nizinne obszaru Polski. Przebieg izolini podziału na strefy klimatyczne przyporządkował poszczególne stacje mete-

orologiczne do stref klimatycznych. Przyporządkowanie to zostało przedstawione w tabeli 1. Na podstawie tego przyporządkowania obliczono parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego do obliczania mocy w systemach chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji jako wartości średnie dla wszystkich wyznaczanych parametrów stacji meteorologicznych znajdujących się w danej strefie. Wyjątki stanowiły górskie stacje meteorologiczne położone na szczycie Śnieżki oraz Kasprowego Wierchu. Stacjom tym przyporządkowano strefę „0” w tabeli 1 i nie wliczano ich do obliczania średnich dla strefy I ze względu na wysokie położenie nad poziomem morza.

W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości temperatury termometru suchego T_s , termometru wilgotnego T_m , wilgotności względnej RH, entalpii h i zawartości wilgoci x dla

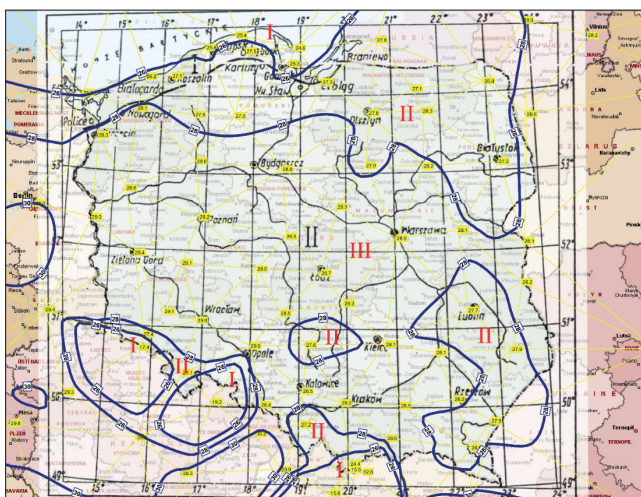
Tab. 2 Średnie parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego dla stref klimatycznych Polski okresu letniego dla danych źródłowych 1971–2000
Tab. 2 Average external design air temperatures for space cooling loads for climate zones of Poland based on source data from 1971–2000

Strefa	T_s °C	T_m °C	RH %	h kJ/kg	x g/kg
I	25,2	18,2	53,2	52,5	10,64
II	27,3	19,0	47,8	55,1	10,83
III	28,6	19,2	43,2	55,7	10,56



Rys.7
Przebieg izoliny entalpii powietrza zewnętrznego wg metody ASHRAE dla częstości występowania 0,4% na podstawie danych źródłowych z lat 1971–2000

Fig. 7 External air enthalpy isolines calculated according to the ASHRAE method for the occurrence frequency 0.4% – source data 1971–2000 year



Rys.8
Porównanie wyznaczonych stref klimatycznych Polski dla okresu letniego ze strefami klimatycznymi wg normy PN-B 03420 – izotermi termometru suchego z częstością występowania 0,4% dla danych źródłowych 1971–2000

Fig. 7 Climate zones of Poland for summer – dry bulb isotherms for the occurrence frequency 0.4% plotted on map from PN-B-03420 standard – source data 1971–2000 year

stref klimatycznych I, II i III obliczone dla wielolecia z częstością występowania 0,4%. Należy zaznaczyć, że nie są to średnie miesięczne lecz wartości średnich obliczanych dla parametrów stacji meteorologicznych

przyrządkowanych do danej strefy klimatycznej. W tabeli 3 przedstawiono średnie wartości temperatury termometru suchego T_s , termometru wilgotnego T_m , wilgotności względnej RH, entalpii h i zawartości wilgoci

Tab. 3 Średnie parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego dla poszczególnych miesięcy dla stref klimatycznych Polski okresu letniego dla danych źródłowych 1971–2000

Tab. 3 Average external design air temperatures for space cooling loads for climate zones of Poland in months based on source data from 1971–2000 year

Strefa	Miesiąc	T_s °C	T_m °C	RH %	h kJ/kg	x g/kg
I	kwiecień	22,2	13,3	36,7	37,8	6,10
	maj	24,2	16,4	46,8	46,7	8,80
	czerwiec	26,2	18,1	47,6	52,1	10,10
	lipiec	28,7	19,8	46,1	57,8	11,35
	sierpień	27,1	19,1	49,3	55,4	11,05
II	wrzesień	23,2	16,4	52,0	46,8	9,21
	kwiecień	23,1	14,0	37,0	39,7	6,49
	maj	25,9	17,4	44,8	49,8	9,33
	czerwiec	27,8	19,5	48,4	56,8	11,30
	lipiec	30,3	20,0	40,6	58,5	10,96
III	sierpień	29,4	19,9	43,7	58,2	11,19
	wrzesień	24,8	17,0	47,6	48,6	9,28
	kwiecień	23,8	14,5	36,9	41,1	6,75
	maj	27,0	17,8	42,2	51,1	9,38
	czerwiec	29,3	19,9	44,1	58,2	11,24
	lipiec	31,6	20,0	35,9	58,4	10,42
	sierpień	30,6	19,9	39,0	58,1	10,70
	wrzesień	25,9	17,5	45,4	50,1	9,46

x dla stref klimatycznych I, II i III obliczone dla miesięcy wielolecia od kwietnia do września. Analogicznie jak w tabeli 2 średnie obliczono dla parametrów stacji meteorologicznych przyrządkowanych do danej strefy klimatycznej. Na podstawie wyznaczonych parametrów dla poszczególnych miesięcy można stwierdzić, że minimalna temperatura obliczeniowa termometru suchego wynosi 22,2°C, natomiast jej maksymalna wartość to 31,6°C. W przypadku temperatury obliczeniowej termometru wilgotnego minimalna wartość wynosi 13,3°C, natomiast wartość maksymalna to 20°C. Obliczone dla stref klimatycznych Polski wartości tych parametrów są wyższe od podawanych w normie PN-B 03420, które wynoszą odpowiednio od 19,5°C do 30°C dla temperatury termometru suchego oraz od 15,5°C do 21°C dla temperatury termometru wilgotnego.

Wnioski

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń dla 59 stacji meteorologicznych w Polsce prowadzących do wyznaczenia wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego do określania obciążenia chłodniczego dla systemów chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków oraz przedstawienia tych wartości w formie graficznej na mapach terytorium Polski oraz w postaci tabelarycznej. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń na mapie Polski wykreślono izotermi temperatury termometru suchego powietrza zewnętrznego wyznaczone dla częstości występowania 0,4%, które wyznaczyły podział na trzy strefy klimatyczne dla okresu letniego. Strefom tym następnie przypisano wartości średnie przestrzenne parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego z wartości parametrów wyznaczonych dla wszystkich stacji meteorologicznych przypisanych do danej strefy. Obecnie do obliczeń mocy chłodniczej systemów chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków w Polsce wykorzystywana jest powszechnie wycofana norma PN-B 03420, w której opublikowano mapę podziału Polski na dwie strefy klimatyczne z przypisanymi do nich wartościami obliczeniowymi parametrów powietrza zewnętrznego dla okresu letniego. Należy podkreślić, że dane prezentowane w tej normie zostały określone na podstawie pomiarów meteorologicznych z lat 50-tych i 60-tych oraz częściowo lat 70-tych XX wieku. Jak wykazano w tym artykule obliczone wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego dla okresu letniego dla trzech stref klimatycznych Polski są wyższe od wartości podawanych we wspomnianej normie. Wynika z tego, że urządzenia projektowane według wartości powszechnie używanych mogą być niedowymiarowane

co w konsekwencji prowadzi do niedotrzymania projektowanych parametrów powietrza wewnętrznego w okresach najwyższych wartości temperatury powietrza zewnętrznego przy jednoczesnych dużych wartościach natężenia promieniowania słonecznego. W przypadku budynków masywnych o dużych pojemnościach cieplnych i dużych statych czasowych w okresach krótkotrwałych wystąpień wysokich wartości temperatury powietrza zewnętrznego, problem przegrzewania klimatyzowanych pomieszczeń nie powinien być uciążliwy w przypadku systemów zaprojektowanych z użyciem wartości parametrów obliczeniowych z normy PN-B 03420. Problemem dla tak zaprojektowanych systemów chłodzenia lub klimatyzacji stają się długotrwałe okresy występowania maksymalnych parametrów powietrza zewnętrznego latem. Okresy takie pojawiają się coraz częściej w związku z obserwowanymi zmianami klimatu. W tych okresach systemy zaprojektowane z zaniżonymi wartościami parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego nie będą w stanie zapewnić projektowych parametrów powietrza wewnętrznego nawet w budynkach o dużej pojemności cieplnej. Mając powyższe na uwadze w artykule przedstawiono próbę wyznaczenia nowych stref klimatycznych dla Polski dla okresu lata wraz z nowymi wartościami parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego. Należy zaznaczyć, że wartości te zostały wyznaczone na podstawie danych meteorologicznych dla lat 1971-2000 w celach porównawczych z dostępnymi typowymi latami meteorologicznymi, które zostały wyznaczone dla tego samego okresu i w związku z tym nie odzwierciedlają najnowszych zmian klimatu obszaru Polski i Europy Centralnej.

Wyznaczone wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego dla okresu letniego za pomocą metody opisanej w ASHRAE Fundamentals i normie PN-EN-ISO 15927-2 posłużyły do określenia nowych stref klimatycznych Polski. Porównanie przebiegu izolinii podziału na strefy klimatyczne według normy PN-B 03420 oraz izolinii wyznaczonych w tej pracy wskazuje na podobieństwa. Jak pokazano na rysunku 7 strefa I obejmuje bezpośredni obszar przyległy do linii brzegowej Morza Bałtyckiego oraz tereny wysokogórskie Sudetów, Beskidów i Karpat. Strefa II obejmuje pobrażę Bałtyku, Warmię, Mazury i częściowo Podlasie oraz tereny wyżynne Polski. Strefa III, podobnie jak w normie PN-B 03420, obejmuje największy obszar nizin Polski, w których obserwuje się najwyższe wartości parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego dla okresu letniego. Na rysunkach od 4 do 7 pokazano przebieg izolinii parametrów

obliczeniowych powietrza zewnętrznego. Na rysunku 3 przedstawiono podział terytorium Polski na obszary, którym jednoznacznie można przypisać parametry obliczeniowe. Taki sposób wyznaczania parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego jest bardziej dokładny ponieważ wiąże daną lokalizację geograficzną z najbliższą stacją meteorologiczną, dla której wyznaczono parametry obliczeniowe dla okresu letniego.

Ciekawym rozwiązaniem sposobu przypisania temperatury do lokalizacji geograficznej może być przypisanie tej wartości do jednostki podziału administracyjnego jak pokazano w opracowaniu [23] opisującym podział na regiony klimatu dla terytorium USA.

Obecnie dostępne są źródłowe dane meteorologiczne obejmujące lata 1971 – 2019 dla 61 stacji meteorologicznych Polski. W związku z powyższym wydaje się zasadne wyznaczenie parametrów obliczeniowych powietrza zewnętrznego do obliczania mocy systemów chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków dla ciągu danych pomiarowych obejmujących ostatnie 20 lat, co pozwoli uwzględnić obserwowane zmiany klimatu. Obliczeniowe parametry powietrza zewnętrznego dla okresu zimy i lata powinny być wyznaczone jednocześnie z nowymi typowymi latami meteorologicznymi do obliczania przeciętnego rocznego zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia budynków.

LITERATURA

- [1] Norma PN-B-03420:1976, „Wentylacja i klimatyzacja – Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego”, data wycofania: 16-09-2011
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. z 2015 r. poz. 1422 i z 2017 r. poz. 2285 – tekst jednolity
- [3] Norma PN-B 02403:1982, „Ogrzewnictwo – Temperatury obliczeniowe zewnętrzne”, data wycofania: 22-05-2014
- [4] Norma PN-EN 12831:2006, „Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego”, data wycofania: 08-08-2017
- [5] Narowski P., Zaktualizowane obliczeniowe temperatury powietrza zewnętrznego i strefy klimatyczne Polski do wyznaczania projektowego obciążenia cieplnego dla ogrzewania budynków, Rynek Energii, ISSN 1425-5960, nr 3 (148), 2020, str. 30-40
- [6] Hendiger J., Ziętek P., Chludzińska M., Wentylacja i Klimatyzacja – Materiały pomocnicze do projektowania, Venture Industries, 2016
- [7] Przydrożny S., Ferencowicz J., Klimatyzacja, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, 1988
- [7] Malicki M., Wentylacja i klimatyzacja, PWN, 1974
- [8] IPCC, Climate Change and Land, An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse

- gas fluxes in terrestrial ecosystems, 07 August 2019, <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/Fullreport-1.pdf>
- [9] Mitchell J. W., Braun J. E., Principles of Heating, Ventilation and Air Conditioning in Buildings, John Wiley & Sons Inc., 2013
- [10] McQuiston F. C., Parker J. D., Spitler J. D., Heating, Ventilating and Air Conditioning Analysis and Design, 6th Edition, John Wiley & Sons Inc., 2004, ISBN-13: 978-0471470151
- [10] Spitler J. D., Heating, Load Calculation Applications Manual SI Edition, ASHRAE, 2008, ISBN-13 : 978-1933742427
- [11] ASHRAE Handbook of Fundamentals – S-I Edition, ASHRAE, Atlanta, 1997, 2001, 2005, 2009, 2013
- [12] Budzyński K., Narowski P., Czechowicz J., Przygotowanie zbiorów zagregowanych danych klimatycznych dla potrzeb obliczeń energetycznych budynków, Ministerstwo Infrastruktury, 2004
- [13] Narowski P., Metody wyznaczania typowych lat meteorologicznych TMY2, WYEC2 oraz według normy EN ISO 15927-4, w: Ciepłownictwo, Ogrzewanie, Wentylacja, nr 12, 2014, str. 479-485
- [14] Pelech A., Klimat w Polsce. Parametry powietrza zewnętrznego w projektowaniu urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych, Instal, nr 1, 2013, str. 21-27
- [15] Pelech A., Oszczędność energii w wentylacji i klimatyzacji. Rozważania nad wyborem obliczeniowych parametrów powietrza zewnętrznego do projektowania, Instal, nr 2 (z.336), 2013, str. 30-38
- [16] Kwiecień D., Wpływ wyboru statystycznych danych klimatycznych na zapotrzebowanie energii do uzdatniania powietrza klimatyzującego, Instal, nr 2, 2020, str. 30-38, DOI 10.36119/15.2020.2.3
- [17] Meteororm, <https://meteororm.com/en/typical-meteorological-years>
- [18] Norma PN-EN – ISO 15927-2:2010, Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe budynków – Obliczanie i prezentacja danych klimatycznych – Część 2: Dane godzinowe do obliczania mocy chłodniczej
- [18] Norma PN-EN – ISO 15927-1:2005, Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe budynków – Obliczanie i prezentacja danych klimatycznych – Część 1: Średnie miesięczne niezależnych parametrów meteorologicznych
- [19] WMO-No. 8, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, Chairperson, Publications Board, World Meteorological Organization (WMO), 2014, ISBN 978-92-63-10008-5
- [20] Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków, <https://dane.gov.pl/dataset/797>
- [21] de Berg M., van Kreveld M., Overmars M., Schwarzkopf O.C., Computational Geometry. Algorithms and Applications. Springer, Berlin, Heidelberg, 2000, ISBN 978-3-662-04247-2
- [22] William H.; Teukolsky, Saul A.; Vetterling, William T.; Flannery, Brian P., Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing (3rd ed.), 2007. New York: Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-88068-8.
- [23] Baechler M., Gilbride T., Cole P., Hefty M., Ruiz K., Guide to Determining Climate Regions by County, Building America Best Practices Series, Vol. 7.3, Pacific Northwest National Laboratory, U.S. Department of Energy under Contract DE-AC05-76RLO 1830