

DANE KLIMATYCZNE DLA POTRZEB MODELOWANIA TRANSPORTU CIEPŁA I WILGOCI W PRZEGRODACH BUDOWLANYCH

Piotr NAROWSKI*, Dariusz HEIM**

* Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Zakład Klimatyzacji i Ogrzewnictwa
ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, e-mail: piotr.narowski@is.pw.edu.pl

** Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mail: dariusz.heim@p.lodz.pl

Streszczenie: W referacie omówiono sposób wyznaczania danych klimatycznych dla potrzeb symulacyjnych metod obliczeniowych prognozowania transportu ciepła i masy w niejednorodnych elementach budowlanych. Opisano zakres parametrów zewnętrznego zbioru danych źródłowych oraz zasady obliczania pozostałych wartości na podstawie odpowiednich modeli i równań termodynamicznych. W drugiej części pracy zaprezentowano przykładowe profile danych klimatycznych opracowanych dla wybranej lokalizacji obszaru Polski – miasta Łodzi.

Słowa kluczowe: dane meteorologiczne, rewitalizacja, obiekty zabytkowe, zacinający deszcz, procesy sprzężone, transport ciepła i masy, metody symulacyjne.

1. WPROWADZENIE

Współczesne narzędzia do oceny ciepłno-wilgotnościowej przegród budowlanych oparte są na precyzyjnych metodach numerycznych, uwzględniających zmienny charakter zjawiska dla bardzo krótkich przedziałów czasowych. Aby w pełni wykorzystać aktualne możliwości narzędzi komputerowych a wyniki analiz nie zawierały znacznych błędów niezbędne jest określenie prawidłowych warunków początkowych i brzegowych. Po zewnętrznej stronie przegrody warunki te opisywane są często poprzez parametry klimatu będące zbiorem danych meteorologicznych mierzonych w 1 lub 3 godzinnych odstępach czasu. W celu określenia charakterystycznych przebiegów podstawowych parametrów tj. temperatury, wilgotności, opadów, kierunków i prędkości wiatru, tworzone są, w oparciu o wieloletnie dane pomiarowe, pliki danych wejściowych różnych typów np.: TMY, TRY, WYEC, CWY, HSY, ISO. Przykładem opracowań zbiorów danych wybranych parametrów pogody dla obszaru Polski mogą być prace: Gawin i Kossecka [1], Gawin, Kossecka i Koniorczyk [2] oraz Narowski [3,4]. Prowadzone w ostatnich

latach na Politechnice Warszawskiej prace badawcze miały na celu opracowanie uniwersalnej bazy danych meteorologicznych obszaru Polski dla potrzeb programów symulacyjnych budynków [4].

W niniejszej pracy omówiono sposób przygotowania danych Typowego Roku Meteorologicznego do obliczeń energetycznych na podstawie ISO (pr EN ISO 15974-2). Zgodnie z powyższą procedurą stworzono plik danych meteo dla Łodzi, częściowo w oparciu o dane mierzone a częściowo o dane obliczeniowe. W dalszej części pracy przedstawiono przykładowe przebiegi podstawowych parametrów klimatu dla miasta Łodzi, które stanowią będą niezbędne dane do analiz ciepłno-wilgotnościowych z użyciem dwuwymiarowego modelu transportu ciepła i masy.

2. ŹRÓDŁOWE DANE METEOROLOGICZNE

Z bazy danych IMiGW wygenerowane zostały zbiory danych niezbędne do wyznaczenia typowych lat meteorologicznych i zagregowanych danych klimatycznych dla potrzeb analiz i symulacji energetycznych budynków.

Wygenerowane zbiory zawierały dane źródłowe z okresu trzydziestu lat począwszy od roku 1971, a skończywszy na roku 2000, dla stacji meteorologicznych z obszaru Polski posiadających ciągi danych terminowych co najmniej 3-godzinne z okresu co najmniej 10 lat.

Z pośród 61 stacji, dla których zostały wygenerowane dane źródłowe, 43 stacje posiadają pełne ciągi danych dla 30 lat, w tym także stacje dla specyficznych lokalizacji:

- stacja 135 – Hel,
- stacja 550 – Śnieżka,
- stacja 650 – Kasprowy Wierch.

Dla pozostałych 19 stacji meteorologicznych długości ciągów danych źródłowych wynoszą od 11 do 29 lat, z tym, że nie zawsze są to kolejne lata.

Wygenerowane dane źródłowe zawierały dane obserwacyjne godzinowe lub 3-godzinowe. W przypadku danych obserwacyjnych o 8 terminach w ciągu doby przeprowadzono interpolację w celu wyznaczenia danych godzinowych. Wszelkie dalsze analizy ciągłości i spójności danych wykonywane były podczas wyznaczania typowych lat meteorologicznych.

Dane źródłowe wykorzystane do wyznaczenia typowych lat meteorologicznych i parametrów statystycznych oraz zagregowanych danych klimatycznych zawierały następujące mierzone lub obserwowane parametry meteorologiczne:

- kod stacji,
- rok,
- miesiąc,
- dzień,
- godzina,
- zachmurzenie ogólne,
- zachmurzenie w czterech warstwach chmur (od chmur niskich do chmur wysokich),
- kierunek wiatru,
- prędkość wiatru,
- opad za 6 godzin,
- temperatura termometru suchego,
- wilgotność względna powietrza,
- ciśnienie barometryczne,
- parametr pogody bieżącej,
- parametr pogody ubiegłej,
- wartości promieniowania całkowitego na powierzchnię poziomą.

Dane te w postaci plików tekstowych zawierających 30 lat \times 8760 godzin = 262800 linii z 16 parametrami stanowiły punkt wyjścia do wyznaczenia typowych lat meteorologicznych i zagregowanych danych klimatycznych.

3. WYZNACZENIE TYPOWYCH LAT METEOROLOGICZNYCH DLA OBSZARU POLSKI

W wyniku przetworzenia danych źródłowych przy pomocy autorskiego programu TMY.EXE (autor P. Narowski) otrzymano 61 \times 6 = 366 plików z typowymi latami meteorologicznymi według standardu TRY, HSY, CWY, WYEC2, TWY2 i ISO zawierających meteorologiczne dane źródłowe oraz 61 plików pomocniczych MDS, w których zapisano statystyki, na podstawie których dokonano wyboru poszczególnych miesięcy lub lat dla typowych lat meteorologicznych. Pliki te posłużyły do wygenerowania przy pomocy programu MIP.EXE (autor P. Narowski) plików typowych lat meteorologicznych z da-

nyymi rozszerzonymi. Parametry znajdujące się w wersji rozszerzonej typowych lat meteorologicznych, które pochodzą z obserwacji meteorologicznych zostały wyznaczone na podstawie odpowiednich modeli i równań termodynamicznych. Poniżej przedstawiono pola danych meteorologicznych w formacie rozszerzonym dla typowych lat meteorologicznych:

- **rok,**
- **miesiąc,**
- **dzień,**
- **godzina,**
- **temperatura termometru suchego,**
- temperatura termometru mokrego,
- temperatura punktu rosy,
- **wilgotność względna,**
- zawartość wilgoci,
- gęstość powietrza,
- **ciśnienie barometryczne,**
- **prędkość wiatru,**
- **kierunek wiatru w 36 sektorach,**
- **zachmurzenie ogólne,**
- flaga opadu deszczu,
- flaga opadu śniegu,
- **rodzaj opadu,**
- **całkowite natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą,**
- bezpośrednie natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą,
- rozproszone natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą,
- temperatura promieniowania nieboskłonu.

Drukiem wytłuszczonym wskazano parametry meteorologiczne pochodzące z obserwacji. Pozostałe wielkości zostały obliczone na podstawie innych danych pochodzących z obserwacji.

Poniżej zamieszczono skrócony opis typowych lat meteorologicznych opracowanych dla Polski.

3.1. Rok odniesienia ASHRAE - TRY

Rok meteorologiczny zaproponowany przez ASHRAE o nazwie TRY – „Typical Reference Year” Z ciągu kilkudziesięciu lat obserwacji wybiera się jeden rzeczywisty rok danych pomiarowych opierając się na obliczanych średnich miesięcznych temperaturach termometru suchego. W metodzie zaproponowanej przez ASHRAE należy unikać lat z ekstremalnymi wartościami średnich miesięcznych temperatur. Spośród ciągu lat branych pod uwagę należy wybrać ten rok, który jest najłagodniejszy i ma najmniejszą liczbę ekstremalnych wartości średnich miesięcznych temperatur powietrza. Metoda ta jest bardzo prosta i szybka w obliczeniach.

3.2. Rok odniesienia dla najcieplejszego lata - HSY

Rok meteorologiczny (zaproponowany przez P. Narowskiego) o nazwie HSY – „Hottest Summer Year” Z ciągu kilkudziesięciu lat obserwacji wybiera się jeden rzeczywisty rok danych pomiarowych opierając się na obliczanych średnich miesięcznych temperaturach termometru suchego. W metodzie tej porównuje się średnie temperatury lipca i sierpnia i wybiera się rok z ekstremalnymi wartościami średnich miesięcznych temperatur dla tych miesięcy. Wyznaczony w ten sposób rok meteorologiczny może służyć do symulacji energetycznej budynków w okresach najcieplejszych.

3.3. Rok odniesienia dla najchłodniejszej zimy - CWY

Rok meteorologiczny (zaproponowany przez P. Narowskiego) o nazwie CWY – „Coldest Winter Year” Z ciągu kilkudziesięciu lat obserwacji wybiera się jeden rzeczywisty rok danych pomiarowych opierając się na obliczanych średnich miesięcznych temperaturach termometru suchego. W metodzie tej porównuje się średnie temperatury stycznia i lutego i wybiera się rok z ekstremalnymi wartościami średnich miesięcznych temperatur dla tych miesięcy. Wyznaczony w ten sposób rok meteorologiczny może służyć do symulacji energetycznej budynków w okresach najchłodniejszych.

3.4. Meteorologiczny rok odniesienia dla obliczeń energetycznych - WYEC2

Meteorologiczny rok odniesienia o nazwie „Weather Year for Energy Calculations, Version 2” (WYEC2) został opracowany dla ASHRAE przez Watson Simulation Laboratory. Roczny ciąg danych pogodowych dla obliczeń energetycznych tworzony jest z 12 miesięcy wybranych z okresu minimum 30 lat obserwacji meteorologicznych dla danej lokalizacji. Poszczególne miesiące wybierane są poprzez porównanie statystyczne pojedynczego miesiąca z wartościami wieloletnimi. Złożony indeks porównawczy dla poszczególnych miesięcy obliczany jest jako funkcja wagowa z wartości średniej dziennego natężenia promieniowania słonecznego, wartości średniej, minimalnej i maksymalnej termometru suchego, wartości średniej, minimalnej i maksymalnej temperatury punktu rosy oraz wartości średniej i maksymalnej prędkości wiatru.

3.5. Typowy rok meteorologiczny dla obliczeń energetycznych - TMY2

Typowy rok meteorologiczny dla obliczeń energetycznych o nazwie „Typical Meteorological Year, Version 2” (TMY2) został opracowany przez National Renewable Energy Laboratory. Roczny ciąg danych pogodowych dla obliczeń energetycznych tworzony jest z 12 miesięcy wy-

branych z okresu minimum 30 lat obserwacji meteorologicznych dla danej lokalizacji. Poszczególne miesiące wybierane są poprzez porównanie statystyczne pojedynczego miesiąca z wartościami wieloletnimi. Złożony indeks porównawczy dla poszczególnych miesięcy obliczany jest jako funkcja wagowa z wartości średniej dziennej sumy całkowitego natężenia promieniowania słonecznego, średniej dziennej sumy bezpośredniego natężenia promieniowania słonecznego, wartości średniej, minimalnej i maksymalnej termometru suchego, wartości średniej, minimalnej i maksymalnej temperatury punktu rosy oraz wartości średniej i maksymalnej prędkości wiatru.

3.6. Typowy rok meteorologiczny wg prEN ISO 15974-2

Typowy rok meteorologiczny dla obliczeń energetycznych ISO został opracowany przez International Organization for Standardization i zaakceptowany przez CEN jako projekt normy prEN ISO 15927-4 „Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data – Part 4 Data for assessing the annual energy for cooling and heating systems”. Roczny ciąg danych pogodowych dla obliczeń energetycznych tworzony jest z 12 miesięcy wybranych z okresu minimum 10 lat obserwacji meteorologicznych dla danej lokalizacji. Wybór miesiąca przeprowadza się poprzez wyznaczenie z wielolecia trzech miesięcy, dla których suma statystyk Finkelsteina-Schafer'a dla natężenia całkowitego promieniowania słonecznego, temperatury termometru suchego i wilgotności względnej jest najmniejsza. Spośród tych trzech miesięcy jako najlepszy wybiera się ten, dla którego odchylenie średniej prędkości wiatru od miesięcznej średniej wieloletniej jest najmniejsze.

Opis dotyczy wszystkich plików typowych danych meteorologicznych ISO, WYEC2, TMY2, TRY, CWY i HSY. Dane typowych lat meteorologicznych znajdują się w plikach tekstowych których nazwa jest następującego formatu wmo999xxx.txt. Liczba 999 odpowiada numerowi stacji meteorologicznej natomiast litery xxx odpowiadają skrótowi typowego roku meteorologicznemu. Na przykład plik wmo375iso.txt to plik zawierający dane typowego roku meteorologicznego dla Warszawy obliczony w oparciu o normę ISO.

4. FORMAT DANYCH PRZY WYZNACZANIU ZACINAJĄCEGO DESZCZU

Standardowe pliki danych meteorologicznych wykorzystywanych w analizach energetycznych budynków ograniczone są często jedynie do podstawowych parametrów mających wpływ na wymianę ciepła i wilgoci przez przegrody budowlane lub elementy systemu. W większości

przypadków nie uwzględnia się transportu wody opadowej do wnętrza przegród budowlanych spowodowanego zacinającym deszczem. Dane te są natomiast niezbędne przy analizie sprzężonych procesów transportu ciepła i wilgoci w materiałach i komponentach budowlanych.

W celu wyznaczenia ilość wody deszczowej docierającej do zewnętrznej powierzchni ściany skorzystano z trzech parametrów meteorologicznych: kierunku wiatru, stopnia zachmurzenia oraz rodzaju opadu. Format danych oraz sposób opisu i gradacja dla trzech wymienionych parametrów zestawiono w tablicach 1-3. W pliku opisującym opad atmosferyczny uwzględniono nie tylko samo zjawisko ale jego rodzaj i intensywność. Dodatkowe parametry pogodowe dla których opracowano zestaw danych to: prędkość wiatru, temperatura termometru suchego, wilgotność względna, natężenie bezpośredniego i rozproszonego promieniowania słonecznego, ciśnienie całkowite.

Tabela 1. Klucz kierunku wiatru – pole nr 13 rekordów w plikach typowych lat meteorologicznych.

Table 1. Key for wind direction – area no. 13 in Typical Meteorological Year data file.

Liczba klucza	Kierunek wiatru w stopniach
0	cisza
1	5-14 °
2	15-24 °
3	25-34 °
4	35-44 °
----	-----
35	345-354 °
36	355-4 °
99	zmienny

Tabela 2. Klucz zachmurzenia ogólnego – pole nr 14 rekordów w plikach typowych lat meteorologicznych.

Table 2. Key for cloudiness – area no. 14 in Typical Meteorological Year data file.

Liczba klucza	Części ósme (oktanty)
0	Niebo bezchmurne
1	1/8 lub mniej, lecz nie 0/8
2	2/8
3	3/8
4	4/8
5	5/8
6	6/8
7	7/8 lub więcej, lecz nie 8/8

Tabela 3. Klucz rodzaju opadu – pole nr 17 rekordów w plikach typowych lat meteorologicznych.

Table 3. Key for precipitation – area no. 17 in Typical Meteorological Year data file.

Liczba klucza	Rodzaj opadu
0	brak opadu
5	rosa, szadź, szron, mgła
6	deszcz, mżawka
7	deszcz ze śniegiem, śnieg, igły lodowe, śnieg przelotny, śnieg ziarnisty
8	grad, deszcz lodowy, krupa lodowa
9	deszcz ze śniegiem, śnieg, krupa lodowa, grad, śnieg przelotny, śnieg ziarnisty

5. WYZNACZANIE DANYCH METEOROLOGICZNYCH DLA ŁODZI

Dane w formacie plików CCD dla analiz ciepno-wilgotnościowych przegród budowlanych dla obszaru Łodzi wygenerowano na podstawie typowego roku meteorologicznego ISO dla stacji WMO 124650 Łódź wyznaczonego na podstawie danych źródłowych oraz rozszerzonego formatu danych, którego format przedstawiono powyżej.

W celu wyznaczenia kompletu danych meteorologicznych dla programu CHAMPS (*Coupled Heat, Air, Moisture and Pollutant Simulation*) należało wyznaczyć dziewięć plików danych tekstowych w formacie CCD. Pojedynczy plik danych CCD zawiera jeden parametr meteorologiczny. Program CHAMPS wykorzystuje następujące parametry meteorologiczne:

- zachmurzenie ogólne, wartość niemianowana jako ułamek dziesiąty od 0 do 1 – *cloudcover*,
- temperatura termometru suchego, wyrażona w °C – *temper*,
- wilgotność względna, wartość niemianowana jako ułamek dziesiąty – *relhum*,
- natężenie bezpośredniego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą, wyrażone w W/m^2 – *soldir*,
- natężenie rozproszonego promieniowania słonecznego, wyrażone w W/m^2 – *soldiff*,
- prędkość wiatru, wyrażona w m/s – *windvel*,
- kierunek wiatru, wyrażona w stopniach – *windir*,
- ciśnienie całkowite, wyrażone w hPa – *totalpressure*,
- opad, wyrażony w mm/h – *rain*.

Wszystkie pliki CCD mają identyczny format. Pierwszych pięć linii pliku stanowi nagłówek, w którym zapisane są: nazwa miejscowości i nazwa parametru meteorologicznego. Kolejne 8760 linii zawiera w pierwszej kolumnie numer dnia w roku, numer godziny w dniu oraz parametr meteorologiczny.

W przypadku temperatury termometru suchego, natężenia bezpośredniego i rozproszonego promieniowania słonecznego, ciśnienia całkowitego oraz prędkości wiatru wartości tych parametrów zostały bez jakichkolwiek obliczeń przepisane z pliku typowego roku meteorologicznego ISO do odpowiednich plików CCD. Pozostałe parametry meteorologiczne wymagały obliczeń. W przypadku kierunku wiatru numer sektora kierunku wiatru z pliku ISO został przeliczony na wartość kąta kierunku geograficznego. Wartość wilgotności względnej wyrażonej w procentach w pliku ISO została przeliczona do ułamka dziesiątego. Parametr zachmurzenia ogólnego wyrażony w pliku ISO wartościami od 0 do 8 dostał przeliczony do ułamka dziesiątego przy czym 0 w pliku ISO odpowiada

0 w pliku CCD, a 8 w pliku ISO odpowiada 1 w pliku CCD.

Wartość opadu godzinowego została wyznaczona na podstawie mierzonych wartości opadu z sześciu godzin oraz parametru pogody ubiegłej z pliku danych źródłowych danych meteorologicznych. W zależności od wartości parametru pogody ubiegłej dla godziny pomiaru opadu oraz parametru pogody ubiegłej 3 godziny wcześniej wyznacza się okres opadu na 3 lub 6 godzin. Wartość pomierzona opadu wyrażona w mm/3h lub mm/6h podzielona jest odpowiednio podzielona przez 3 lub 6. Wyznaczone w ten sposób wartości godzinowe opadu wyrażone w mm/h zostają przypisane odpowiednio trzem albo sześciu godzinom w okresie poprzedzającym pomiar opadu.

Wyznaczone parametry meteorologiczne dla Łodzi zostały zapisane w odpowiednich plikach tekstowych CCD zgodnie z ich formatem.

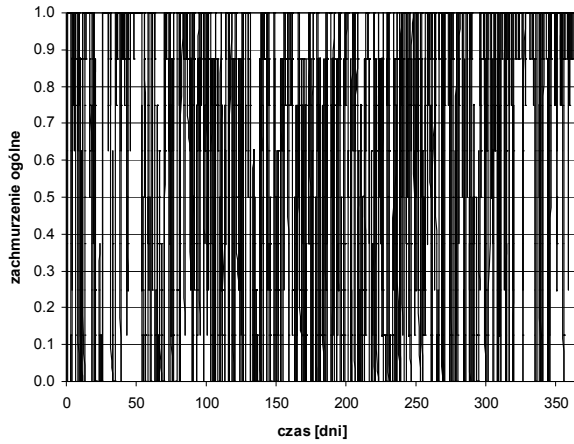
Na rysunkach 1-9 zamieszczono roczne przebiegi parametrów pogody wykorzystywanych przez program CHAMPS do symulacji procesów ciepno-wilgotnościowych w przegrodach budowlanych.

6. PODSUMOWANIE

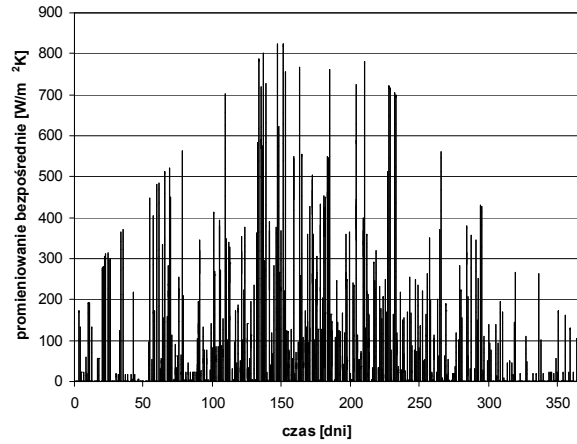
W pracy przedstawiono metodykę wyznaczania lat meteorologicznych dla obszaru Polski. Szczegółowo omówiono sposób określenia parametrów pogody dla potrzeb symulacji ciepno-wilgotnościowych z uwzględnieniem wpływu zacinającego deszczu. Otrzymane wyniki oraz pliki klimatyczne mogą zostać z powodzeniem wykorzystane przy szczegółowych analizach symulacyjnych dla różnych rodzajów ścian zewnętrznych poddanych niekorzystnym wpływom środowiska zewnętrznego. W szczególności będą one przydatne dla analiz intensywności przebiegu procesów destrukcyjnych dla obiektów zabytkowych. Analizowane mogą być obiekty w stanie nienaruszonym oraz te poddane modernizacji, ze szczególnym uwzględnieniem zmian warunków i obciążeń ciepno-wilgotnościowych jakim poddawane są budynki i ich przegrody.

CLIMATIC DATA FOR MODELLING OF HYGROTHERMAL PROCESSES IN BUILDING ELEMENTS

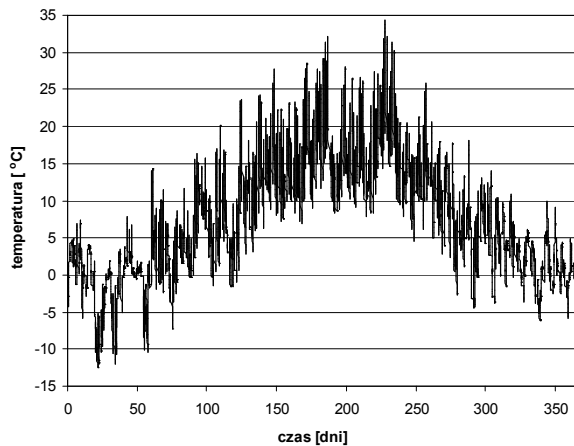
Summary: The paper presents methodology and calculation procedure of weather parameters for Polish climatic conditions. The following parameters were estimated according to ISO methodology: cloud cover, temperature, relative humidity, solar direct radiation, solar diffuse radiation, wind velocity, wind direction, total pressure and rainfall. Weather conditions were estimated for central part of Poland (Lodz) and is going to be used for hygro-thermal analysis of building constructions elements.



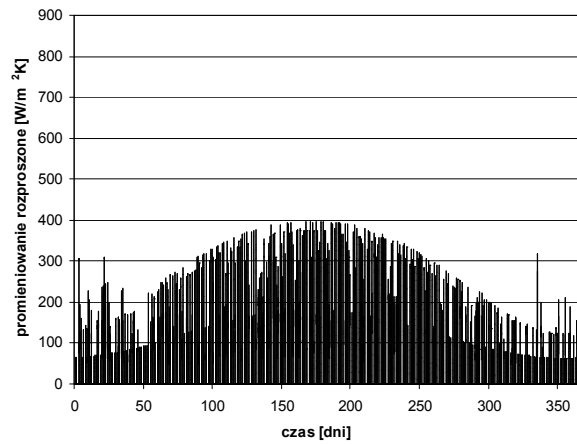
Rys. 1. Roczny przebieg zachmurzenia ogólnego dla Łodzi.
Fig. 1. Cloud cover distribution for Lodz.



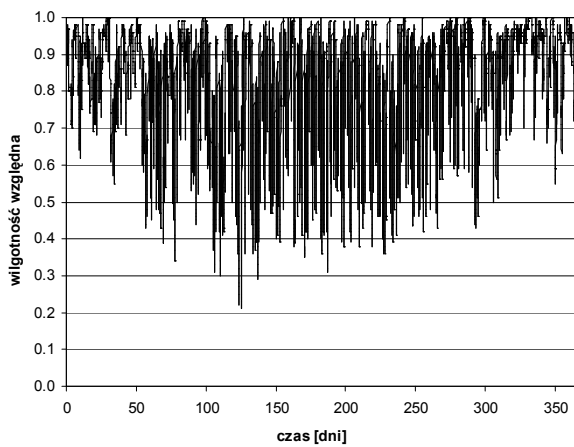
Rys. 4. Roczny przebieg promieniowania bezp. dla Łodzi.
Fig. 4. Direct solar radiation distribution for Lodz.



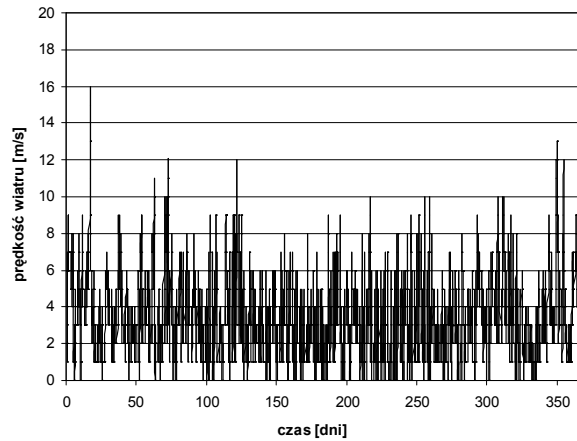
Rys. 2. Roczny przebieg temperatury dla Łodzi.
Fig. 2. Temperature distribution for Lodz.



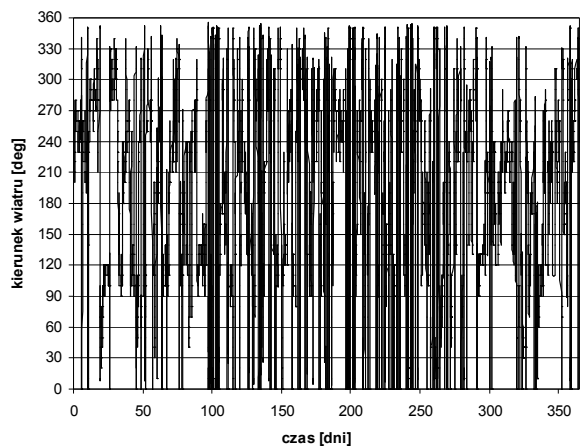
Rys. 5. Roczny przebieg promieniowania rozprosz. dla Łodzi.
Fig. 5. Diffuse solar radiation distribution for Lodz.



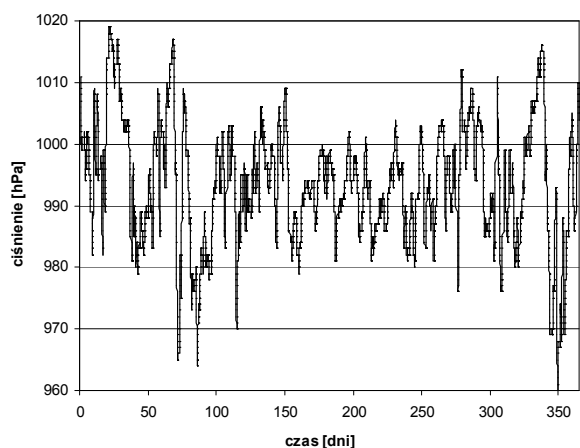
Rys. 3. Roczny przebieg wilgotności względnej dla Łodzi.
Fig. 3. Relative humidity distribution for Lodz.



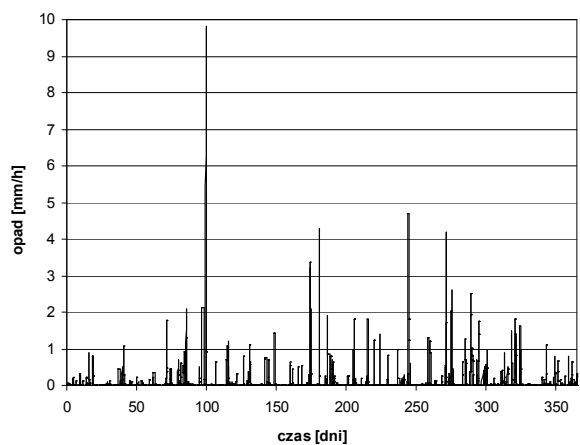
Rys. 6. Roczny przebieg prędkości wiatru dla Łodzi.
Fig. 6. Wind speed distribution for Lodz.



Rys. 7. Roczny przebieg kierunku wiatru dla Łodzi.
Fig. 7. Wind direction distribution for Łódź.



Rys. 8. Roczny przebieg ciśnienia całkowitego dla Łodzi.
Fig. 8. Total pressure distribution for Łódź.



Rys. 9. Roczny przebieg opadu dla Łodzi.
Fig. 9. Rainfall distribution for Łódź.

Literatura

- [1] Gawin D., Kossecka E. [red.]; „*Typowy rok meteorologiczny do symulacji wymiany ciepła i masy w budynkach*” Politechnika Łódzka, 2002.
- [2] Gawin D., Kossecka E., Koniorczyk M.; Wilgotnościowy projektowy rok odniesienia do analizy procesów ciepłno-wilgotnościowych w elementach budowlanych, *Materiały XLVIII Konferencji „Krynica 2002”, t. 3*, 97-104, Krynica, 2002.
- [3] Narowski P. G.; *Metodyka wyznaczania klimatycznych warunków obliczeniowych dla instalacji ogrzewczych z uwzględnieniem dynamiki cieplnej budynków*, Praca doktorska, Politechnika Warszawska, 2001.
- [4] Narowski P.; Dane klimatyczne do obliczeń energetycznych w budownictwie, *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 11, 2006.
- [5] Narowski P.; Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski, Dane klimatyczne do obliczeń energetycznych budynków, *Energia i Budynek*, 09, 2008.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-09, jako projekt badawczy rozwojowy.

