

## METEOROLOGICZNY ROK ODNIESIENIA DO OBLICZEŃ ENERGETYCZNYCH (WYEC2) DLA POTRZEB OPTIMALIZACJI FASAD BUDYNKÓW

Piotr NAROWSKI\*, Marcin JANICKI\*\*, Dariusz HEIM\*\*

\* Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska  
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: janicki.ma@p.lodz.pl,  
dariusz.heim@p.lodz.pl

**Streszczenie:** W pracy omówiono podstawowe formaty zestawów danych meteorologicznych tworzonych dla potrzeb symulacji energetycznych budynków. Podjęto próbę opracowania Meteorologicznego Roku Odniesienia (WYEC2) dla pięciu wybranych lokalizacji w Polsce. W opracowaniu wykorzystano 30-letnie, rzeczywiste dane pomiarowe ze stacji meteorologicznych. Do obliczeń wielkości pośrednich wykorzystano zaawansowane modele transferu promieniowania z uwzględnieniem procesów fizycznych zachodzących w atmosferze. Podczas generowania lat obliczeniowych przyjęto odmienne od typowych wagi indeksów poszczególnych parametrów. Przy doborze wartości indeksów brano pod uwagę specyfikę analizowanego problemu obliczeniowego – dystrybucję masy i energii w przestrzeniach fasad podwójnych. Za najistotniejsze parametry przyjęto: temperaturę, promieniowanie słoneczne oraz kierunek i prędkość wiatru. Wpływ przyjętych kryteriów oraz lokalizacji budynku na końcowy wynik obliczeń zilustrowano przykładem zamieszczonym na końcu opracowania.

**Słowa kluczowe:** dane klimatyczne, symulacje, fasada, optymalizacja, energooszczędność.

### 1. WPROWADZENIE

Funkcjonowanie budynków, ich elementów oraz wybranych systemów energii odnawialnej jest ściśle określone warunkami meteorologicznymi danej lokalizacji. W szczególności są to jedynie wybrane parametry pogodowe wpływające na intensywność zachodzących procesów i ich wielkość. Ilość danych niezbędnych do analizy danego zagadnienia jest też zależna od stopnia złożoności modelu obliczeniowego. W najprostszych metodach bilansowych, dla okresu grzewczego, podstawowymi parametrami pogodowymi

są temperatura i promieniowanie słoneczne. Modele symulacyjne dla potrzeb analiz energetycznych wykorzystują najczęściej zestawy danych wzbogacone o kolejne 3 wielkości: wilgotność względną powietrza oraz kierunek i prędkość wiatru. Ponadto rozróżniają dystrybucję promieniowania słonecznego w formie bezpośredniej i rozproszonej. W najbardziej zaawansowanych modelach obliczeń cieplnych ilość potrzebnych danych może wzrosnąć do kilkunastu [1]. W sytuacji, gdy zadanie rozbudowane zostanie o inne zagadnienia, takie jak np. analiza oświetlenia dziennego, niezbędne staje się uwzględnienie dodatkowych parametrów. Należą do nich np. rodzaj nieboskłonu czy współczynnik zmętnienia atmosfery [2].

Obliczenia fasad podwójnych z uwagi na specyfikę zachodzących procesów fizycznych i ich sprzężony charakter są zadaniem złożonym. Aby dokładnie uwzględnić wszystkie zjawiska, stosuje się precyzyjne metody symulacyjne uwzględniające dynamikę procesów. Wymagają one szczegółowych, przynajmniej godzinowych danych meteorologicznych. W przypadku dystrybucji powietrza i światła modele takie jak *Computational Fluid Dynamic* (CFD) lub *Backward Ray Tracing* (BRT), są w stanie uwzględnić chwilowy charakter procesu, a tym samym wymagają jeszcze bardziej szczegółowych danych. Dlatego nadrzędnym celem niniejszego opracowania jest wyznaczenie niezbędnych danych meteorologicznych dla potrzeb obliczeń energetycznych fasad podwójnych. Z uwagi na ograniczenia redakcyjne prezentowane wyniki stanowią jedynie wybrany zestaw danych

## 2. DANE ŹRÓDŁOWE

Z bazy Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej wygenerowane zostały zbiory danych niezbędne do wyznaczenia typowych lat meteorologicznych dla potrzeb analiz i symulacji energetycznych budynków. Wygenerowane zbiory zawierają 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. 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 3-godzinowe [1,2].

Rekordy źródłowych danych meteorologicznych wykorzystane do wyznaczenia referencyjnych lat meteorologicznych dla obliczeń fasad budynków zawierały dane oraz mierzone lub obserwowane parametry meteorologiczne przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Dane oraz mierzone lub obserwowane parametry meteorologiczne zapisane w plikach źródłowych

Table 1. The data and measured or observed meteorological parameters recorded in source files

Nr	Wielkość	Miano	Identyfikator nagłówek
1	Numer kodowy stacji	[-]	NR
2	Rok	[-]	YYYY
3	Miesiąc	[-]	MM
4	Dzień	[-]	DD
5	Godzina	[-]	HH
6	Zachmurzenie ogólne	wg klucza Syn. FM-12	CC
7	Kierunek wiatru	wg klucza Syn. FM-12	WD
8	Prędkość wiatru	[m/s]	WS
9	Kod pogody bieżącej	wg klucza Syn. FM-12	CW
10	Kod pogody ubiegłej	wg klucza Syn. FM-12	PW
11	Opad za 6 godzin	[mm/6h]	PR
12	Rodzaj opadu terminowego	wg klucza Syn. FM-12	PT
13	Temperatura termometru suchego	[°C]	DBT
14	Całkowite natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą	[cal/(cm <sup>2</sup> h)]	ITH
15	Wilgotność względna	[%]	RH
16	Ciśnienie barometryczne na poziomie stacji	[hPa]	PB
17	Zachmurzenie chmurami niskimi i średnimi	wg klucza Syn. FM-12	LC
18	Wysokość podstawy chmur	wg klucza Syn. FM-12	CB

Dane te w postaci plików tekstowych zawierających co najwyżej 30 lat x 2920 godzin = 87600 linii z 18 parametrami stanowiły punkt wyjścia do wyznaczenia referencyjnych lat meteorologicznych. Pliki danych źródłowych zawierały „surowe” dane, zawierające wiele błędów zapisu oraz braki w obserwacjach, co znacząco komplikowało ich przetwarzanie. Niektóre z parametrów zawarte w plikach źródłowych zapisane zostały zgodnie z kluczem SYNOP FM-12.

## 3. TYPOWE LATA METEOROLOGICZNE

Klimat zewnętrzny, w sposób oczywisty, wpływa na parametry komfortu cieplnego w ogrzewanym lub chłodzonym budynku oraz na jego zapotrzebowanie na ciepło lub chłód do utrzymania żądanego komfortu cieplnego. Chcąc przeprowadzić dokładne obliczenia tego zapotrzebowania należy dysponować odpowiednim modelem obliczeniowym oraz typowym rocznym ciągiem danych meteorologicznych. W zależności od jakości i dokładności modelu matematycznego umożliwiającego określenie rocznego zapotrzebowania na energię dla budynku będzie on wymagał różnej liczby parametrów meteorologicznych. Zbiór godzinowych parametrów meteorologicznych dla całego roku kalendarzowego reprezentatywny dla klimatu określonej miejscowości jest *typowym rokiem meteorologicznym*. Łatwo obliczyć, że zbiór taki będzie posiadał 8760 rekordów danych zawierających od kilku do kilkunastu parametrów meteorologicznych. Typowy rok meteorologiczny to albo roczny ciąg danych wybrany spośród wielolecia albo kombinacja miesięcznych ciągów danych wybranych spośród danych wieloletnich [3].

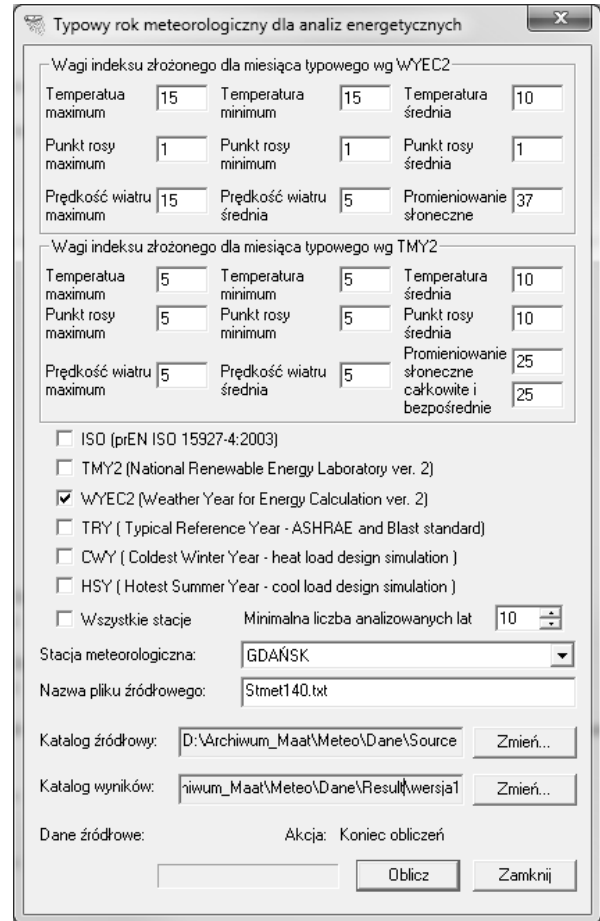
Na świecie opracowano wiele rodzajów typowych lat meteorologicznych. Najpopularniejsze i najchętniej stosowane z nich to:

- rok odniesienia ASHRAE – TRY,
  - meteorologiczny rok odniesienia dla obliczeń energetycznych – WYEC2,
  - typowy rok meteorologiczny dla obliczeń energetycznych – TMY2,
  - typowy rok meteorologiczny wg EN ISO 15974-4 – ISO.
- Dla potrzeb analiz fasad podwójnych zdecydowano o opracowaniu meteorologicznego roku odniesienia ze zmodyfikowanymi wagami poszczególnych indeksów. 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.

#### 4. METEOROLOGICZNY ROK ODNIESIENIA

W celu wyznaczenia referencyjnych danych klimatycznych dla potrzeb symulacji energetycznych fasad budynków zmodyfikowano autorski program komputerowy TMY.EXE, który wyznacza typowe lata meteorologiczne w różnych wariantach opisanych powyżej. Na rysunku 1 przedstawiono interfejs graficzny tego programu. Modyfikacja programu polegała na zmianie rodzaju danych wejściowych dla programu z formatu godzinowego na format 3-godzinny. Program w trakcie pracy wykonuje analizę ciągłości i spójności danych w plikach źródłowych określając miejsca nieciągłości danych lub zaznaczając błędne wartości ze względu na ich zakres występowania. Oznaczone miejsca nieciągłości lub braków danych w plikach źródłowych klasyfikowane są ze względu na możliwość ich uzupełnienia poprzez interpolację. Miesiące, w których występuje zbyt duża liczba braków lub zbyt duże nieciągłości w obserwacjach są zaznaczane jako błędne i nie były uwzględniane w dalszych analizach. W czasie obróbki źródłowych danych meteorologicznych w zależności od rodzaju wyznaczonego typowego roku meteorologicznego odrzucano ciągi roczne lub miesięczne, w których znajdowały się długie okresy nieciągłości lub braków obserwacji meteorologicznych. Krótsze, kilku- lub kilkunastogodzinne przerwy w danych źródłowych interpolowano przy pomocy krzywych sklepanych trzeciego stopnia. W następnym kroku wyznaczono w programie typowe lata meteorologiczne - uwzględniając poszczególne miesiące lub lata z wielolecia danych zapisanych w plikach źródłowych, dobierając odpowiednie algorytmy wyboru w zależności od rodzaju typowego roku meteorologicznego. Po wybraniu miesiąca typowego roku meteorologicznego została wykonywana interpolacja danych 3-godzinowych do wartości godzinowych dla wybranych parametrów. W przypadku danych źródłowych zapisanych w plikach wygenerowanych z bazy danych IMGiW interpolacji godzinowej poddane zostały następujące parametry meteorologiczne: zachmurzenie ogólne, kierunek wiatru – interpolacja odległości kątowej, prędkość wiatru, temperatura termometru suchego, wilgotność względna oraz ciśnienie barometryczne. W przypadku pozostałych parametrów wpisywano kod -99 oznaczający brak pomiaru. W celu wyznaczenia referencyjnych lat meteorologicznych dla potrzeb symulacji energetycznych fasad budynków przyjęto metodykę WYEC2 opisaną powyżej. Złożone indeksy poszczególnych miesięcy były wyznaczane na podstawie zestawu wag. Jako najważniejsze uznano następujące parametry: temperatura termometru suchego, całkowite natężenie promieniowania słonecznego oraz prędkość wiatru. Dla tych parametrów przyjęto mniej więcej równe istotności przy wyznaczaniu indeksu złożonego. W tabeli 2 przedstawiono wagi indeksu złożonego dla referencyjnego roku meteorologicznego.



Rys. 1. Program TMY.EXE do wyznaczania typowych lat meteorologicznych

Fig. 1. TMY.EXE program for calculation of typical meteorological year

Tabela 2. Wagi indeksu złożonego referencyjnego roku meteorologicznego dla obliczeń fasad budynków

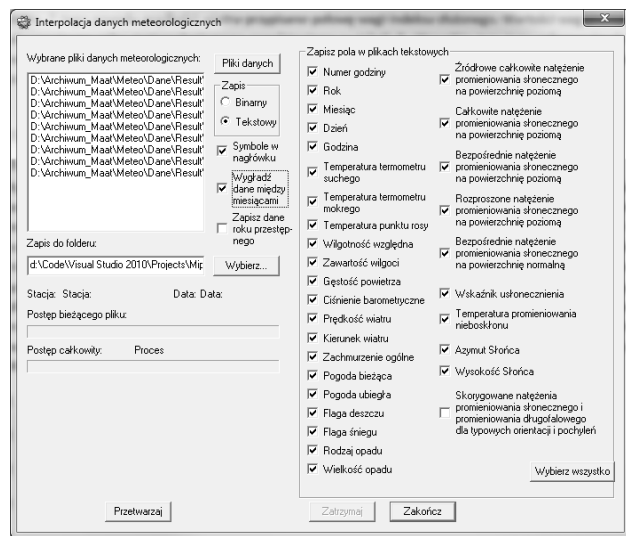
Table 2. The weight factors of composite index of the reference meteorological year for calculation of facades.

Parametr	Waga
$t_{a(max)}$	15
$t_{a(min)}$	15
$\bar{t}_a$	10
$t_{r(max)}$	1
$t_{r(min)}$	1
$\bar{t}_r$	1
$v_{w(max)}$	15
$\bar{v}_w$	5
$I_{th}$	37

Referencyjne lata meteorologiczne dla obliczeń fasad budynku wyznaczono łącznie dla 9 miejscowości w Polsce, w tym dla Gdańska, Szczecina, Białegostoku, Poznania, Warszawy, Wrocławia, Łodzi, Katowic i Rzeszowa. W niniejszej pracy zamieszczono wyniki jedynie dla 5 lokalizacji.

## 5. WYZNACZENIE ROZSZERZONYCH PARAMETRÓW REFERENCYJNYCH LAT METEOROLOGICZNYCH

Wyznaczone za pomocą programu TMY.EXE referencyjne lata meteorologiczne dla obliczeń fasad budynków posiadają identyczną liczbę parametrów meteorologicznych jak dane źródłowe. Opisane powyżej parametry, zostały interpolowane do wartości godzinowych. W zależności od złożoności obliczeń symulacyjnych do ich przeprowadzenia niezbędne są dodatkowe parametry meteorologiczne lub wartości parametrów z plików źródłowych, które nie mogły być w prosty sposób interpolowane do wartości godzinowych. Przykładem może być natężenie promieniowania słonecznego, dla dni miesięcy zimowych, gdy w danych źródłowych występują tylko dwa pomiary natężenia promieniowania słonecznego a należy z nich wnioskować o natężeniu promieniowania w ciągu co najmniej 8 godzin. W celu wyznaczenia rozszerzonych parametrów meteorologicznych i określenia parametrów niemierzonych dla danej godziny wykorzystano autorski program MIP.EXE, którego interfejs graficzny przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Program MIP.EXE do wyznaczania typowych lat meteorologicznych

Fig. 2. MIP.EXE program for calculation of typical meteorological year

Tabela 3. Dodatkowe wielkości wyznaczone programem MIP.EXE

Table 3. Additional values calculated by MIP.EXE program

Nr	Wielkość	Miano	Identyfikator nagłówka
0	Numer godziny roku	[-]	N
1	Temperatura termometru mokrego	[°C]	WBT
2	Temperatura punktu rosy	[°C]	DPT
3	Zawartość wilgoci w powietrzu	[kg/kg]	HR
4	Gęstość powietrza	[kg/m <sup>3</sup> ]	RHO
5	Flaga opadu deszczu	[-]	FD
6	Flaga opadu śniegu	[-]	FS
7	Obliczeniowe całkowite natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą	[W/m <sup>2</sup> ]	C_ITH
8	Obliczeniowe bezpośrednie natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą	[W/m <sup>2</sup> ]	C_IDH
9	Obliczeniowe rozproszone natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą	[W/m <sup>2</sup> ]	C_ISH
10	Obliczeniowe bezpośrednie natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię normalną do kierunku słońca	[W/m <sup>2</sup> ]	C_IDN
11	Obliczeniowy współczynnik usłonecznienia	[-]	C_SF
12	Temperatura nieboskłonu	[°C]	TSKY
13	Azymut słońca	[rad]	SOLAZI
14	Wysokość kąta słońca	[rad]	SOLALT

Program ten wykorzystuje algorytmy analizy sąsiadujących ze sobą źródłowych parametrów meteorologicznych w celu określenia brakujących danych godzinowych oraz algorytmy wykorzystujące termodynamikę wilgotnego powietrza w celu określenia dodatkowych parametrów powietrza zewnętrznego.

W programie wykorzystano również algorytmy geometrii słonecznej do określenia azymutu i wysokości kątowej słońca oraz algorytmy umożliwiające obliczenie wartości natężenia promieniowania słonecznego całkowitego i rozproszonego na powierzchnię poziomą dla nieboskłonu czystego i zachmurzonego. W obliczeniach tych wykorzystano również algorytm określania godzinowego współczynnika usłonecznienia na podstawie zachmurzenia ogólnego. Wyznaczenie wartości godzinowych całkowitego i rozproszonego natężenia promieniowania słonecznego umożliwiło wyznaczenie wartości bezpośredniego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą i przeliczenie tej wartości na natężenie promieniowania słonecznego na płaszczyznę normalną do kierunku słońca w danej godzinie. Dodatkowo dla potrzeb wyznaczania ilości energii cieplnej wymienianej pomiędzy budynkiem a jego otoczeniem wy-

znaczono temperaturę niebosłonu dla parametrów meteorologicznych danej godziny. Program MIP.EXE dla każdego z 13 parametrów źródłowych wykonuje analizy i uzupełnienia danych godzinowych oraz wyznacza 14 dodatkowych parametrów, które zestawiono w tabeli 3.

## 6. PIĘĆ PRZYKŁADOWYCH LOKALIZACJI

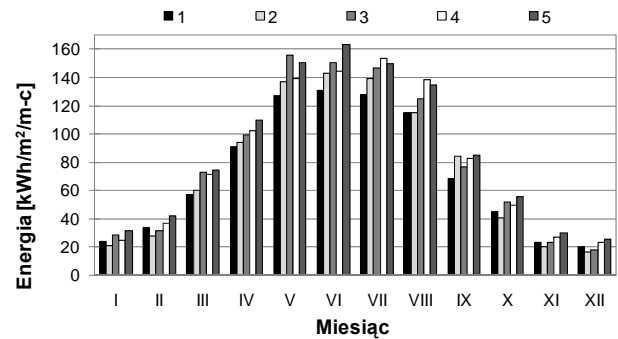
Z uwagi na położenie na obszarze Polski wybrano pięć miast reprezentujących regiony geograficzne, rys. 3., a jednocześnie różniące się pod względem klimatu. Są to:

- 1 – Szczecin (część północno-zachodnia),
- 2 – Białystok (część północno-wschodnia),
- 3 – Łódź (część centralna),
- 4 – Wrocław (część południowo-zachodnia),
- 5 – Rzeszów (część południowo-wschodnia).

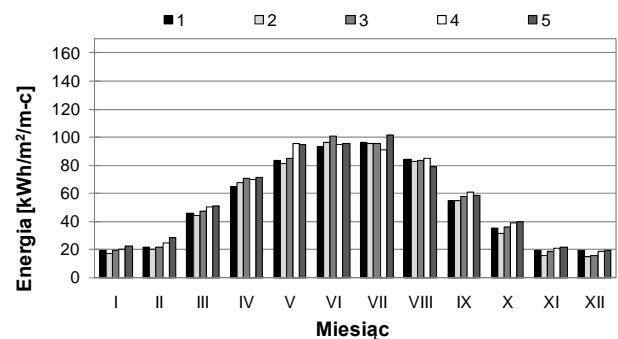


Rys. 3. Wybrane lokalizacje  
Fig. 3. Selected localisation

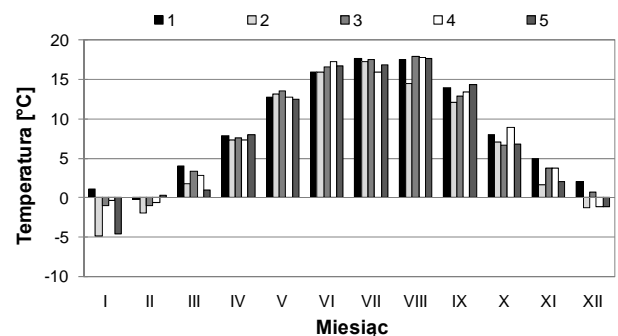
Na rysunkach 4-6 przedstawiono statystyczne wartości wykorzystywane do obliczeń energetycznych metodą bilansów miesięcznych. Prezentowane wyniki są danymi ogólnie dostępnymi i zostały opracowane wg metody opisanej w pracach [3-4]. Dla każdego z analizowanych parametrów stwierdzono różnice w wartościach miesięcznych. Z pojedynczymi wyjątkami największe wartości promieniowania, zarówno bezpośredniego jak i rozproszonego, występują dla Rzeszowa. W pewnych miesiącach, głównie letnich, maksymalne wartości zarejestrowano dla Łodzi i Wrocławia. Dla miesięcy zimowych, okresu pożądanego zysku ciepła od promieniowania słonecznego, różnice są niewielkie. Na przestrzeni roku wynoszą one od 10 do 20%. Znacznie istotniejsze będą wprawdzie dane godzinowe, aczkolwiek już teraz można podejrzewać, że pod względem sum promieniowania strategie projektowania fasad, jako systemów fototermicznej konwersji energii promieniowania słonecznego, w różnych częściach Polski będą zbliżone. Znacznie większe rozbieżności zaobserwowano porównując średnie miesięczne wartości temperatur szczególnie dla miesięcy zimowych.



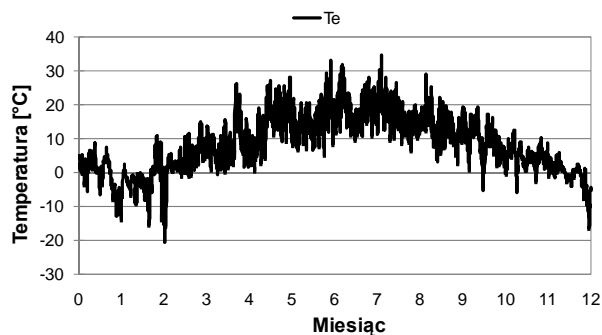
Rys. 4. Dane statystyczne dla wybranych lokalizacji: promieniowanie całkowite [kWh/m²·m-c].  
Fig. 4. National statistic meteo data – Total Irradiation on Horizontal, ITH [kWh/m²·m-c].



Rys. 5. Dane statystyczne dla wybranych lokalizacji: promieniowanie rozproszone [kWh/m²·m-c].  
Fig. 5. National statistic meteo data – Scattered Irradiation on Horizontal, ISH [kWh/m²·m-c].

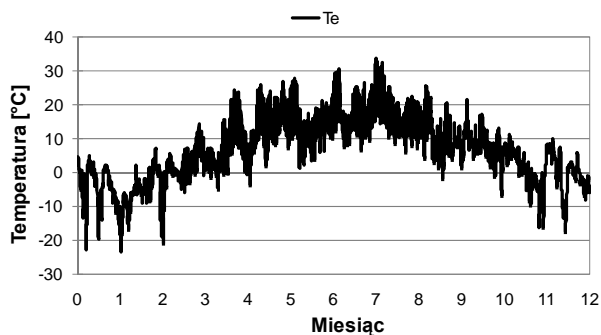


Rys. 6. Dane statystyczne dla wybranych lokalizacji: temperatura zewnętrzna termometru suchego [°C].  
Fig. 6. National statistic meteo data – Dry Bulb Temperature of External Air, TDB [°C].



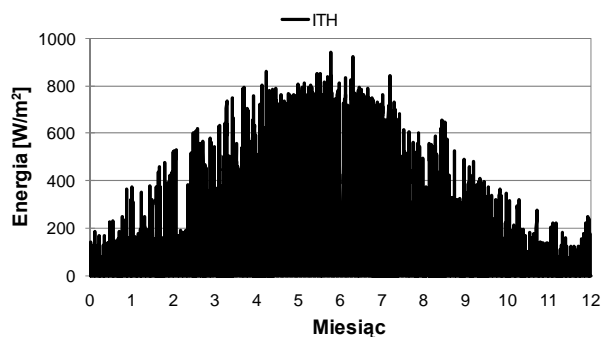
Rys. 7. Roczna historia zmian temperatury termometru suchego dla Szczecina zgodnie z WYEC2.

Fig. 7. History of dry bulb temperature for Szczecin according to WYEC2.



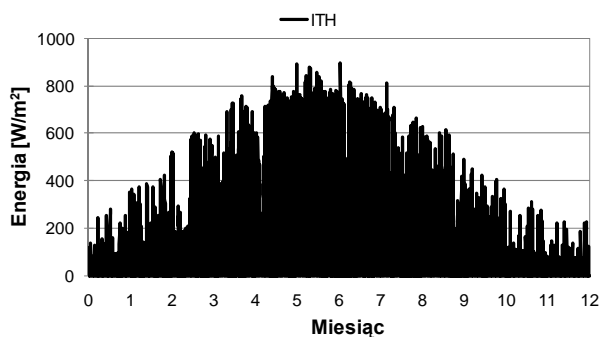
Rys. 10. Roczna historia zmian temperatury termometru suchego dla Białegostoku zgodnie z WYEC2.

Fig. 10. History of dry bulb temperature for Białystok according to WYEC2.



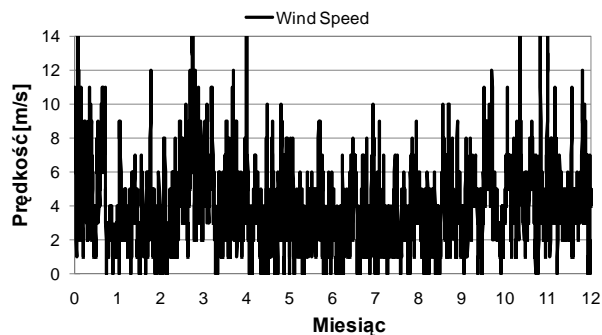
Rys. 8. Roczna historia zmian promieniowania całkowitego na powierzchnię poziomą dla Szczecina zgodnie z WYEC2.

Fig. 8. History of total solar on horizontal for Szczecin according to WYEC2.



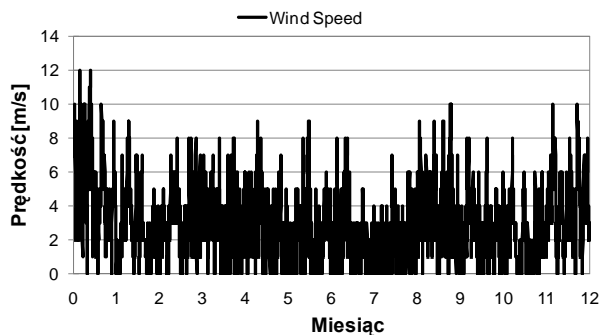
Rys. 11. Roczna historia zmian promieniowania całkowitego na powierzchnię poziomą dla Białegostoku zgodnie z WYEC2.

Fig. 11. History of total solar on horizontal for Białystok according to WYEC2.



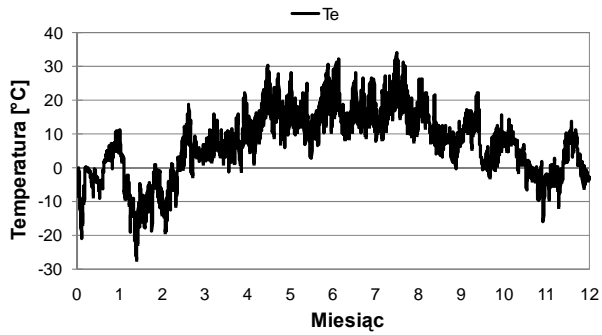
Rys. 9. Roczna historia zmian prędkości wiatru dla Szczecina zgodnie z WYEC2.

Fig. 9. History of wind speed for Szczecin according to WYEC2.



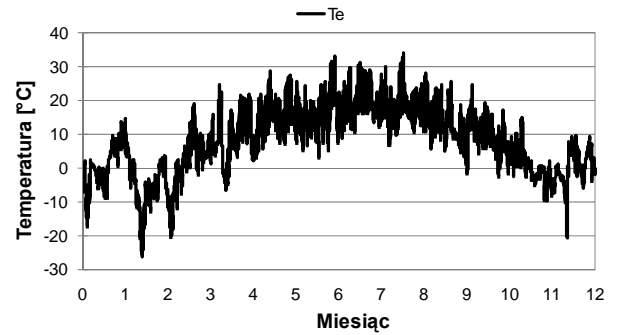
Rys. 12. Roczna historia zmian prędkości wiatru dla Białegostoku zgodnie z WYEC2.

Fig. 12. History of wind speed for Białystok according to WYEC2.



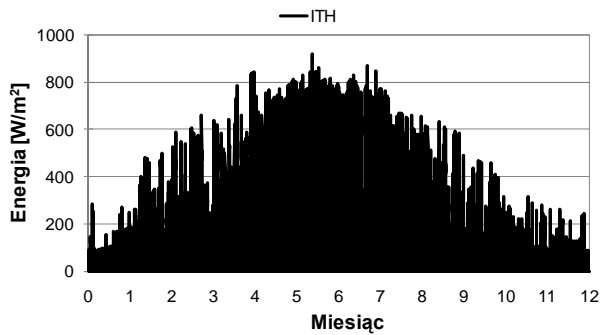
Rys. 13. Roczna historia zmian temperatury termometru suchego dla Łodzi zgodnie z WYEC2.

Fig. 13. History of dry bulb temperature for Lodz according to WYEC2.



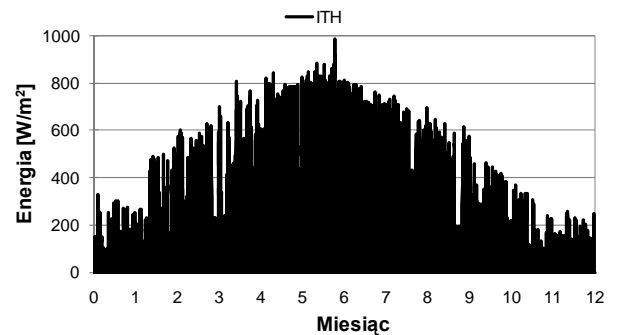
Rys. 16. Roczna historia zmian temperatury termometru suchego dla Wrocławia zgodnie z WYEC2.

Fig. 16. History of dry bulb temperature for Wrocław according to WYEC2.



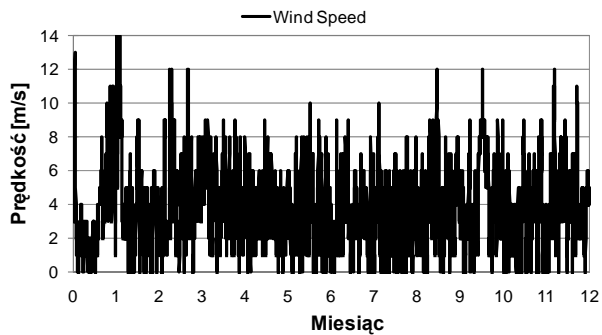
Rys. 14. Roczna historia zmian promieniowania całkowitego na powierzchnię poziomą dla Łodzi zgodnie z WYEC2.

Fig. 14. History of total solar on horizontal for Lodz according to WYEC2.



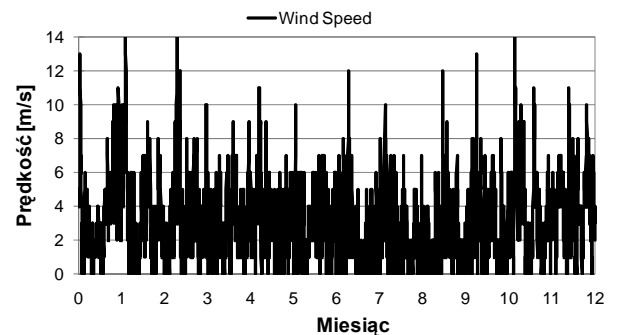
Rys. 17. Roczna historia zmian promieniowania całkowitego na powierzchnię poziomą dla Wrocławia zgodnie z WYEC2.

Fig. 17. History of total solar on horizontal for Wrocław according to WYEC2.



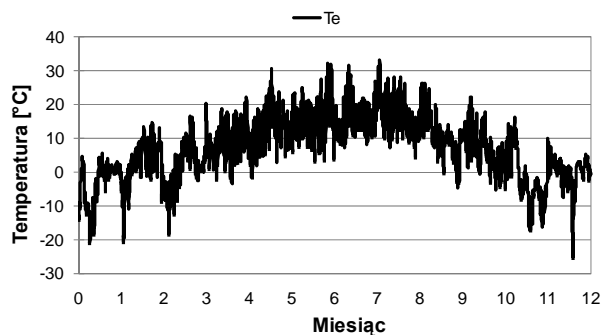
Rys. 15. Roczna historia zmian prędkości wiatru dla Łodzi zgodnie z WYEC2.

Fig. 15. History of wind speed for Lodz according to WYEC2.



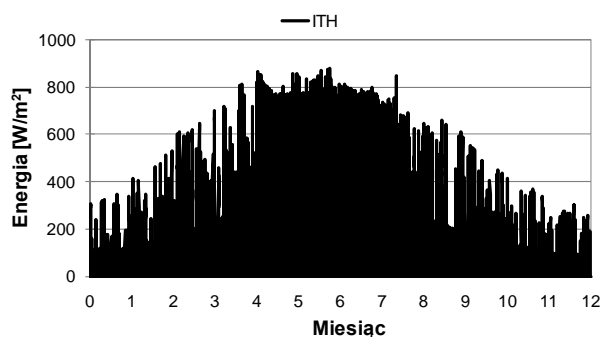
Rys. 18. Roczna historia zmian prędkości wiatru dla Wrocławia zgodnie z WYEC2.

Fig. 18. History of wind speed for Wrocław according to WYEC2.



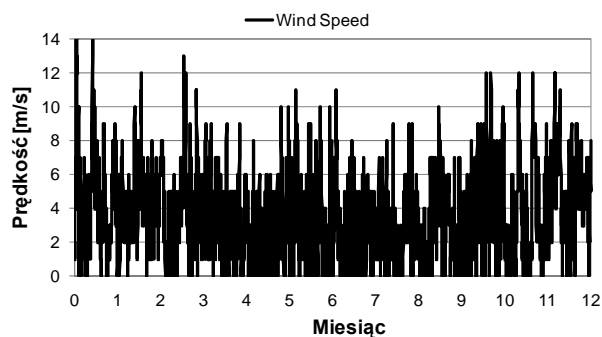
Rys. 19. Roczna historia zmian temperatury termometru suchego dla Rzeszowa zgodnie z WYEC2.

Fig. 19. History of dry bulb temperature for Rzeszów according to WYEC2.



Rys. 20. Roczna historia zmian promieniowania całkowitego na powierzchnię poziomą dla Rzeszowa zgodnie z WYEC2.

Fig. 20. History of total solar on horizontal for Rzeszów according to WYEC2.



Rys. 21. Roczna historia zmian prędkości wiatru dla Rzeszowa zgodnie z WYEC2.

Fig. 21. History of wind speed for Rzeszów according to WYEC2.

Ekstremalne średnie temperatury występują dla miast położonych na wschodzie kraju, Białegostoku i Rzeszowa. W lecie zaobserwowane różnice są niewielkie.

## 7. REFERENCYJNE DANE METEOROLOGICZNE (WYEC2)

W dalszej części pracy zamieszczono przykładowe historie zmian parametrów meteorologicznych opracowane dla pięciu wybranych miast w Polsce, rys. 3, opracowane zgodnie z metodyką opisaną w punktach 4-5.

Analizując dane dla pięciu lokalizacji widoczne są chwilowe wartości ekstremalne. W okresie lata, dla wszystkich lokalizacji, temperatury nie przekraczają  $35^{\circ}\text{C}$ . Zimą pojedyncze ekstrema różnią się co do wartości i częstości występowania. W prawie wszystkich przypadkach pojawiają się w miesiącach od grudnia do lutego. Ich największą liczbę zaobserwowano w przypadku Białegostoku. Najniższe wartości zaś dla Łodzi, Wrocławia i Rzeszowa.

W przypadku całkowitego promieniowania słonecznego wartości w poszczególnych miesiącach są zbliżone, zaś przebiegi nie charakteryzują się lokalnymi ekstremami. Od maja do czerwca wartości osiągają około  $800\text{ W/m}^2$ . W przypadku Rzeszowa wysokie wartości obserwowane są już na przełomie kwietnia i maja.

Analizując roczną zmianę prędkości wiatru w wybranych obszarach najniższe wartości oraz brak charakterystycznych ekstremów zaobserwowano dla Białegostoku. Najdłuższym okresem ciszy charakteryzuje się natomiast Rzeszów. Średnie prędkości wynoszą około  $3\text{--}4\text{ m/s}$ , choć dla niektórych miejscowości, np. Szczecina, w czasie zimy widoczne są okresy zwiększonych prędkości. Należy przy tym zaznaczyć, że prezentowane dane dotyczą terenu otwartego. W czasie dalszej realizacji pracy planuje się weryfikację danych meteorologicznych poprzez uwzględnieniem rodzaju terenu i zjawisk aerodynamicznych w badanym obszarze.

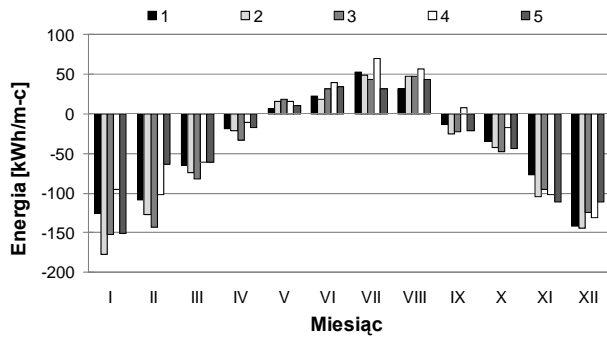
## 8. SYMULACJE ZJAWISK CIEPLNYCH W DSF

Podsumowaniem rozważań przedstawionych w pracy było przeprowadzenie symulacji energetycznych dla tego samego, teoretycznego modelu obiektu zlokalizowanego w różnych warunkach klimatycznych. Metodę obliczeń zamieszczono we wcześniejszych pracach np. [5]. Możliwe przypadki omówione zostały szerzej w referacie [6]. Dla potrzeb niniejszej analizy rozważono przykładową fasadę pionową uwzględniającą podział na 5 kondygnacji, zdefiniowaną za pomocą modelu węzłowego. W modelu przepływu powietrza wyróżniono dwa węzły zewnętrzne (dolny oraz górny), dla których określono warunki brzegowe oraz pięć węzłów wewnętrznych, po jednym przypisanym do każdej ze stref, reprezentujących poszczególne kondygnacje. Węzły połączone zostały za pośrednictwem komponentów o otwarciu 80%, decydujących o rodzaju i wielkości przepływającej strugi powietrza.

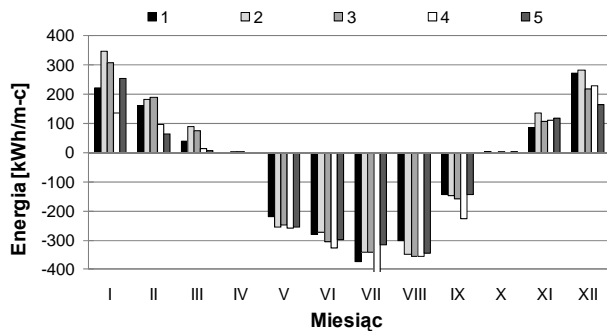
Wloty oraz wyloty powietrza, zamodelowano jako szczeliny odpowiadające 0% lub 80% procentowi otwarcia. Obli-



czenia wykonano za pomocą narzędzia symulacyjnego opisanego szczegółowo w pracy [7].



Rys. 22. Miesięczne zyski i straty ciepła przez przegrodę dzielącą pomieszczenie o kontrolowanej temperaturze od fasady.  
Fig. 22. Monthly mean gains & losses by transparent surface from room to façade.



Rys. 23. Miesięczne zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia.  
Fig. 23. Monthly energy demands for heating and cooling.

Wyniki zamieszczone na rysunkach 22 i 23 obrazują zestawione dla poszczególnych miesięcy bilanse energetyczne przegród transparentnych oraz łączne zapotrzebowanie na energię. W przypadku miesięcznych zysków i strat ciepła przez przegrodę dzielącą pomieszczenie o kontrolowanej temperaturze od fasady, rys. 22, pewne anomalie występują w styczniu i lipcu. W styczniu największe straty odnotowano dla Białegostoku, co jest efektem niskich temperatur powietrza zewnętrznego. W lipcu największe zyski ciepła odnotowano dla Wrocławia. Otrzymane wyniki przekładają się bezpośrednio na zapotrzebowanie na energię, rys. 23.

## 9. WNIOSKI

Na podstawie wartości miesięcznych można wyróżnić teryny o ekstremalnych średnich temperaturach dla okresu zimy oraz wysokich wartościach promieniowania słonecznego latem. Natomiast uwzględniając dane godzinowe największe różnice zanotowano w temperaturze powietrza zewnętrznego dla miesięcy zimowych oraz prędkości wiatru.

Sposób przyjęcia parametrów meteorologicznych takich jak temperatura termometru suchego powietrza zewnętrznego, promieniowanie całkowite oraz prędkość wiatru ma bezpośredni wpływ na procesy zachodzące w fasadzie oraz otrzymane wyniki. Jednakże nie zauważono jednakowych tendencji i zależności w poszczególnych miesiącach, zaś za uśrednione wartości mogą odpowiadać okresowe anomalie pogodowe.

## WEATHER YEAR FOR ENERGY CALCULATION (WYEC2) FOR OPTIMALISATION OF DOUBLE SKIN FACADE

**Summary:** The discussion about basic format of meteorological data sets is presented in the paper. Initially, reference year WYEC2 – “Weather Year for Energy Calculations, Version 2” was created especially for the purposes of building energy simulation on ASHRAE demands. In presented case study WYEC2 data were developed for five selected locations in Poland. 30-year actual measurements from meteorological stations have been taken into consideration. To accurately account all physical phenomena and dynamics of the processes simulation methods needs to apply precise and specified at least hourly meteorological data, including inter alia: temperature, relative humidity, wind speed and direction, solar direct and diffuse radiation distribution. Due to lack of hourly measurements, 3-hours complete observations records have been selected and transformed via originally developed programs TMY.EXE and MIP.EXE into typical meteorological year files. Mentioned programs have implied engine, which allows to select appropriate algorithms and weight factors to interpolate 3-hours time-step data into hourly ones. As the most important transform parameters were considered: dry bulb temperature, total solar irradiance and wind speed. On the basis of the calculations five files for five representative locations were computed (for Szczecin, Białystok, Lodz, Wrocław and Rzeszow). Implemented in the tool, described wider in work [7], data allowed to conduct computational energy simulation. On the figures 22 and 23 have been illustrated outputs of the simulations. It can be stated, that the method of adopting meteorological parameters, such as weight factor assigned to dry bulb temperature, total solar radiation and wind speed have a direct impact on the processes occurring in the façade and the obtained results.

## Literatura

- [1] Budzyński K., Narowski P., Czechowicz J.: *Przygotowanie zbiorów zagregowanych danych klimatycznych dla potrzeb obliczeń energetycznych budynków*, Ministerstwo Infrastruktury, 2004
- [2] Narowski P.: *Dane klimatyczne do obliczeń energetycznych w budownictwie*, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, 11.2006
- [3] Narowski P.: *Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski, Dane klimatyczne do obliczeń energetycznych budynków*, Energia i Budynek, 09.2008

[4] Narowski P.: *Obliczenia energetyczne budynków, Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski*, Rynek Instalacyjny, 10.2008.

[5] Heim D., Janicki M.: Modelowanie metodą sieciową zjawisk transportu ciepła i masy w podwójnych fasadach budynków, *56 KONFERENCJA NAUKOWA KILiW PAN oraz KN PZITB: Problemy naukowo-badawcze budownictwa*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2010, s. 97-104.

[6] Heim D., Janicki M.. Transport ciepła w obudowie fasad podwójnych o różnych rozwiązaniach konstrukcyjno-przestrzennych, *Materiały Konferencyjne Międzynarodowej Konferencji Projektu PL0077 – STEP – „Sustainable Thermomodernization of Public Buildings”*, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Warszawa, 2010, s. 19.

[7] Clarke J.A.: *Energy simulation in building design*, 2<sup>nd</sup> edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.

---

*Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki (umowa numer 2059/B/T02/2011/40).*