

# Analiza porównawcza typowych lat meteorologicznych Polski wyznaczonych na podstawie danych źródłowych z lat 2001-2020

Comparative Analysis of Typical Meteorological Years for Poland, Determined on the Basis of Source Data from 2001-2020

PIOTR NAROWSKI

DOI 10.36119/15.2022.10.2

W artykule przedstawiono wyniki analizy porównawczej dwóch parametrów klimatycznych nowych typowych lat meteorologicznych dla Polski obliczonych na podstawie dostępnych danych meteorologicznych stacji synoptycznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej IMGiW oraz modeli powtórnej analizy wstecznej bazy danych ERA5 systemu Copernicus obejmujących lata 2001 – 2020 z danymi typowych lat meteorologicznych wyznaczonych na podstawie danych źródłowych z lat 1971-2000 dla wybranych sześciu stacji synoptycznych. Typowe lata meteorologiczne używane do chwili obecnej w Polsce w analizach energetycznych budynków zostały opracowane w 2004 r. na podstawie danych meteorologicznych IMGiW obejmujących lata 1971 – 2000. Dane źródłowe wykorzystane wówczas zawierały kilka podstawowych 3-godzinnych parametrów meteorologicznych oraz modelowane wartości natężenia promieniowania słonecznego pochodzące z nieopisanego modelu matematycznego. Przebiegi wartości w typowych latach meteorologicznych opracowanych w 2004 r. wielokrotnie poddawane były krytyce, a w szczególności dotyczyło to wartości natężenia promieniowania słonecznego. Dostępność nowych zbiorów danych meteorologicznych i klimatycznych oraz krytyczne uwagi na temat zbioru danych typowych lat meteorologicznych dla obszaru Polski wyznaczonych 18 lat temu spowodowały, że dane te należy uznać za nieaktualne. Artykuł przedstawia nowe typowe lata meteorologiczne wyznaczone dla obszaru Polski – TLM2000, dla których wykonano analizę porównawczą z danymi wyznaczonymi w 2004 r. oznaczonymi jako TLM1970.  
*Słowa kluczowe: dane klimatyczne, symulacje energetyczne budynków, meteorologiczne dane synoptyczne, powtórna analiza wsteczna ERA5,*

The article presents the results of a comparative analysis of two climatic parameters of new typical meteorological years for Poland, calculated on the basis of the available meteorological data of the synoptic stations of the Institute of Meteorology and Water Management (IMGiW) based on source data from 1971-2000 for selected six synoptic stations. Typical meteorological years used to date in Poland in energy analyzes of buildings were developed in 2004 based on meteorological data of the IMGiW for the years 1971 – 2000. The source data used at that time included several basic 3-hour meteorological parameters and modeled values of solar radiation intensity from an indescribable mathematical model. The values in typical meteorological years developed in 2004 were criticized, particularly the values of solar irradiation. The availability of new meteorological and climatic data sets and critical comments on the data set of typical meteorological years for the area of Poland designated for 18 years meant that these data should be considered out of date. The article describes new typical meteorological years for Poland – TLM2000, for which a comparative analysis was performed with the data determined in 2004, marked as TLM1970.  
*Keywords: climate data, building energy simulations, meteorologic synoptic data, ERA5 reanalysis*

## Wprowadzenie

### Typowe lata meteorologiczne – definicja

Typowe lata meteorologiczne to zbiór dostępnych dla poszczególnych stacji meteorologicznych, najlepiej z okresem pomiarowym równym jednej godzinie, rozpatrywanego obszaru geograficznego parametrów meteorologicznych reprezen-

tujących przeciętny klimat. Dane te wykorzystywane są głównie do potrzeb obliczeń energetycznych w budownictwie w celu wyznaczenia średniego, przeciętnego dla wielolecia, zapotrzebowania na energię użytkową budynków. Dane typowych lat meteorologicznych są danymi wejściowymi dla wszystkich systemów symulacji energetycznych w budownictwie oraz są powszechnie wykorzystywane

w fizyce budowli. Typowe lata meteorologiczne opracowywane są, w zależności od metody, na podstawie ciągów pomiarów meteorologicznych co najmniej 10-cio letnich, z preferencją ciągów 20-to lub 30-to letnich. Typowy rok meteorologiczny to najczęściej szereg danych meteorologicznych z dwunastu miesięcy, pochodzących z różnych lat kalendarzowych analizowanego wielolecia, które na podstawie

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: e-mail: piotr.narowski@pw.edu.pl

metody wyboru zostały uznane za najbardziej reprezentatywne. Istnieją również typowe lata meteorologiczne, które są całym rokiem kalendarzowym parametrów meteorologicznych wybranym z wiekolecia za pomocą algorytmów eliminacji poszczególnych lat z wiekolecia. W związku z tym, że typowe lata meteorologiczne zawierają najbardziej przeciętne, typowe przebiegi parametrów klimatu dla poszczególnych miesięcy, w większości przypadków nie zawierają one wartości ekstremalnych parametrów meteorologicznych występujących w długich okresach w danej lokalizacji geograficznej.

W dalszej części artykułu nowe typowe lata meteorologiczne dla Polski wyznaczone z danych źródłowych obejmujących lata 2001-2020 oznaczone zostały skrótem TLM2000, natomiast obecnie dostępne typowe lata meteorologiczne opracowane na podstawie danych źródłowych z lat 1971-2000 są oznaczone skrótem TLM1970.

### *Typowe lata meteorologiczne w Polsce – stan aktualny*

W związku z wprowadzonym w Polsce w 2008 r. prawem dotyczącym świadectw charakterystyki energetycznej budynków w 2004 r. zostały podjęte prace, których celem było wyznaczenie typowych lat meteorologicznych dla obszaru Polski. Dane te są niezbędne do wyznaczania metodą godzinową zapotrzebowania na energię użyteczną budynków oraz w obliczeniach wykonywanych systemami symulacji energetycznych budynków. Podjęte prace zaowocowały wyznaczeniem typowych lat meteorologicznych obliczonych dla 61 stacji meteorologicznych w Polsce [1]. Dane te zostały opisane w artykułach [2], [3], w których szczegółowo omówiono te dane. Poniżej skrótkowo opisano źródło pochodzenia obecnie używanych typowych lat meteorologicznych dla Polski.

Dane typowych lat meteorologicznych dla Polski obejmujące lata 1971-2000 wyznaczono na podstawie informacji pochodzących z bazy danych IMiGW. W 2004 r. zostały wygenerowane zbiory niezbędnych parametrów meteorologicznych. Dostarczone zbiory zawierały dane z okresu trzydziestu lat od roku 1971 do roku 2000, dla stacji synoptycznych z obszaru Polski posiadających ciągi danych terminowych co najmniej 3-godzinne z okresu co najmniej 10 lat. Dostarczone przez IMGiW dane meteorologiczne dla 61 stacji, miały 30 letnie ciągi pomiarowe dla 43 stacji meteorologicznych. Dla pozostałych 19 stacji meteorologicznych długości ciągów danych pomiarowych wynosiły

od 11 do 29 lat, z tym, że nie zawsze były to kolejne lata kalendarzowe. Dostarczone dane źródłowe zawierały dane obserwacyjne 3-godzinowe z typowymi 8 terminami pomiarowymi wg WMO. Parametry meteorologiczne znajdujące się w plikach źródłowych opisane były zgodnie z kluczem SYNOP FM-12 wykorzystywanym w meteorologii [8].

W trakcie opracowywania typowych lat meteorologicznych dla Polski – TLM1970 IMGiW nie przekazał dokładnego źródła pochodzenia poszczególnych parametrów meteorologicznych. Należy przypuszczać, że wiele z tych parametrów było aproksymowanych lub modelowanych. W trakcie opracowywania tych danych nie były powszechnie dostępne dane synoptyczne zbierane przez IMGiW, a dla potrzeb opracowania TLM1970 dostarczono opisane powyżej zbiory danych nie wskazując ich rzeczywistego pochodzenia. Przyczyniło się to do nieprecyzyjnego określenia typowych lat meteorologicznych dla Polski opracowanych w 2004 roku i wprowadzeniu nieścisłości i błędów, zwłaszcza w odniesieniu do natężenia promieniowania słonecznego. Opracowane w 2004 r. typowe lata meteorologiczne – TLM1970 umieszczone są w chwili obecnej na stronach Serwisu Rzeczypospolitej Polskiej [4].

W związku z tym, że obecnie dostępne typowe lata meteorologiczne dla Polski – TLM1970, zostały opracowane w 2004 r. na podstawie nieprecyzyjnie zdefiniowanych danych uzyskanych z IMGiW obejmujących lata kalendarzowe 1971-2000 oraz mając na uwadze obecną dostępność w polskich i światowych serwisach internetowych danych meteorologicznych i klimatycznych dla obszaru Polski, a także uwzględniając wprowadzane Dyrektywami Parlamentu Europejskiego i Rady Europy [16], [17] zmiany w metodyce wyznaczania świadectw charakterystyki energetycznej budynków polegające na wprowadzeniu do metodyki wyznaczania świadectwa charakterystyki energetycznej budynku metody godzinowej, niezbędne stało się opracowanie nowych typowych lat meteorologicznych dla Polski – TLM2000.

Uwzględniając wszystkie powyższe aspekty, nowe typowe lata meteorologiczne – TLM2000 zostały opracowane na podstawie dostępnych dla obszaru Polski danych meteorologicznych i klimatycznych pochodzących ze stacji synoptycznych oraz danych powtórnej analizy wstecznej obserwacji meteorologicznych obejmujących lata kalendarzowe 2001-2020. Okres 20 lat danych źródłowych do obliczeń mieści się w zakresie definicji

typowych lat meteorologicznych, natomiast przyjęty okres obejmuje lata kalendarzowe.

### **Dane źródłowe do obliczeń typowych lat meteorologicznych – TLM200**

Opisane w artykule nowe typowe lata meteorologiczne dla Polski – TLM2000 obejmujące lata kalendarzowe 2001-2020 obliczono na podstawie danych meteorologicznych i klimatycznych pochodzących z dwóch źródeł:

- dane pomiarowo-obszaryjne Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGiW) [5],
- dane klimatyczne ERA5 Europejskiego Centrum Copernicus – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) [6].

Dane synoptyczne światowych stacji meteorologicznych, w tym położonych na terytorium Polski, dostępne są również w serwisie internetowym National Centers for Environmental Information – Narodowej Administracji Oceanicznej i Atmosfery USA – NOAA [7].

### **Dane pomiarowo-obszaryjne IMGiW**

Baza danych pomiarowo-obszaryjnych IMGiW w dziale danych meteorologicznych zawiera trzy zbiory danych – ze stacji synoptycznych (synop), klimatologicznych (klimat) i opadowych (opad) dla różnych przedziałów czasu – miesięczne, dobowe i terminowe. Do obliczeń TLM2000 wykorzystano bazę terminowych danych synoptycznych (synop) pochodzących z 67 stacji obserwacyjnych IMGiW. Na stronie internetowej IMGiW przedstawiono opis tych zbiorów danych. Analiza dostępnych danych ze stacji synoptycznych IMGiW umożliwiła opracowanie nowych typowych lat meteorologicznych (TLM2000) dla **56 lokalizacji** w Polsce na podstawie danych z lat 2001 – 2020. Dane obserwacyjno-pomiarowe zapisane zostały w plikach w formacie CSV. Format danych synoptycznych zawartych w plikach CSV przedstawiono zgodnie z formatem danych WMO [8] SYNOP FM-12, który jest międzynarodowym formatem zapisu i wymiany danych synoptycznych. Format ten pozwala zinterpretować wartości zapisane w poszczególnych rekordach danych terminowych zbioru (synop).

Terminowe dane synoptyczne IMGiW nie zawierają informacji dotyczących natężenia promieniowania słonecznego, które były niezbędne do wyznaczenia TLM2000. W opisanej powyżej bazie danych

pomiarowo-observacyjnych IMGiW znajduje się katalog z danymi aktywnymi dla Polski z 28 lokalizacji, które nie pokrywają się z lokalizacją stacji synoptycznych. Zakres czasowy dostępnych danych natężenia promieniowania słonecznego i promieniowania długofalowego atmosfery uniemożliwia wykorzystanie danych aktywnych IMGiW do obliczeń TLM2000. Dane te są bardzo ograniczone w zakresie zarówno dla czasu jak i przestrzeni, i nie mogą być wykorzystane w obliczeniach TLM2000, lecz mogą służyć do weryfikacji danych uzyskanych z innych źródeł – takich jak modele meteorologiczne natężenia promieniowania słonecznego opisane przez Muneer'a [9].

Problem dostępności i poprawności pomiarów natężenia promieniowania słonecznego i promieniowania długofalowego atmosfery w kierunku do powierzchni Ziemi jest powszechny na całym świecie. Na przykład typowe lata meteorologiczne dla USA zostały przygotowane w oparciu o dane pochodzące z 239 stacji pomiarowych z których tylko 56 posiadało dane pomiarowe natężenia promieniowania słonecznego [10]. Z tego powodu w typowych latach meteorologicznych dopuszcza się stosowanie wartości natężenia promieniowania słonecznego i promieniowania długofalowego atmosfery, które wyznaczane są na podstawie parametrów meteorologicznych za pomocą meteorologicznych modeli matematycznych promieniowania słonecznego i promieniowania długofalowego atmosfery [9]. Modele tego typu stosowane są również w analizach danych pochodzących z meteorologicznych pomiarów satelitarnych. Mając na względzie powyższe uwagi, wartości natężenia promieniowania słonecznego i promieniowania długofalowego atmosfery zostały wyznaczone za pomocą modeli meteorologicznych systemu danych ERA5 wykorzystującej powtórny analizę wsteczną z użyciem archiwalnych danych meteorologicznych pochodzących z obserwacji naziemnych i satelitarnych europejskiego centrum prognoz średnioterminowych Copernicus – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) [6].

## Dane klimatyczne ERA5

Ze względu na ograniczenia czasowe i przestrzenne danych aktywnych IMGiW w bazie danych obserwacyjno-pomiarowych IMGiW do obliczeń TLM200 wykorzystano dane natężenia promieniowania słonecznego całkowitego i bezpośredniego na powierzchnię poziomą gruntu, bezpośredniego dla powierzchni normalnej

do kierunku padania promieniowania na grunt oraz natężenia promieniowania długofalowego atmosfery na powierzchnię poziomą na gruncie pochodzące z bazy ERA5. Dane godzinowe tych wartości dla wszystkich stacji synoptycznych uzyskano na podstawie kwerend wysłanych do systemu ERA5 europejskiego centrum danych środowiskowych i klimatycznych Copernicus [6] (<https://www.copernicus.eu/en>). Baza danych ERA5 jest jedną z kilkunastu baz danych meteorologicznych i klimatycznych dostępnych w tym serwisie.

Baza danych ERA5 umożliwia uzyskanie danych godzinowych parametrów meteorologicznych na pojedynczych poziomach nad powierzchnią ziemi od roku 1959 do chwili obecnej. ERA5 dostarcza godzinowych wartości modelowanych dla dużej liczby parametrów atmosferycznych, zafalowania oceanów i parametrów powierzchni lądów. System ten spełnia wymagania większości typowych zastosowań analiz danych atmosferycznych, powierzchni oceanów i lądów. Dane ERA5, scharakteryzowane w tabeli 1, zostały dopasowane do regularnej siatki 0,25 stopnia szerokości i długości geograficznej dla powtórnej analizy wstecznej parametrów i 0,5 stopnia szerokości i długości geograficznej dla oszacowania ich niepewności (odpowiednio 0,5 i 1 stopień dla falowania oceanów).

**Tab. 1** Ogólny opis danych dostępnych w systemie ERA5

Rodzaj danych	Siatka danych
Projekcja	Regularna siatka szerokości i długości geograficznej
Pokrycie horyzontalne	Globalne
Rozdzielczość horyzontalna	Powtórna analiza wsteczna (reanalysis): 0,25° x 0,25° długości i szerokości geograficznej (atmosfera), 0,5° x 0,5° (falowanie oceanów), średnie, rozkłady i statystyki: 0,5° x 0,5° (atmosfera), 1° x 1° (falowanie oceanów)
Pokrycie w czasie	Od 1959 r. do chwili obecnej
Rozdzielczość w czasie	Godzinowa
Format pliku danych	GRIB
Częstotliwość uaktualnień	Dzienna

Dane pochodzące z systemu ERA5 są sformatowane jako pliki GRIB (ang. grid in binary) – jest to format danych Światowej Organizacji Meteorologicznej WMO, który umożliwia kompresję danych i ich opis (dane o danych). Dla potrzeb wyznaczenia TLM2000 z bazy danych ERA5 wygenerowano godzinowe dane dotyczące natężenia promieniowania słonecznego i promieniowania długofalowego nieboskłonu dla lokalizacji wszystkich 67 stacji synoptycznych Polski dla okresu 2001 – 2020. Dane te zostały przekonwertowane

do formatu CSV i zawierają znacznik czasu UTC, współrzędne geograficzne, wysokość nad poziomem morza, całkowite natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą, bezpośrednie natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą oraz natężenie promieniowania długofalowego nieboskłonu na powierzchni ziemi.

## Integracja terminowych danych synoptycznych IMGiW i danych z systemu ERA5

Dane terminowe dla 67 stacji synoptycznych zostały udostępnione w postaci archiwów ZIP zawierających pliki danych w formacie CSV. Dla potrzeb wyznaczenia TLM2000 z serwisu IMGiW pobrano 67 x 20 lat = 1340 plików. W przypadku danych pochodzących z kwerend systemu ERA5 zawierających dane natężenia promieniowania słonecznego i promieniowania długofalowego nieboskłonu wygenerowano 67 plików danych w formacie CSV, z których każdy zawierał komplet danych z okresu 2001-2020 dla pojedynczej stacji.

W przypadku terminowych danych synoptycznych dane zapisane w plikach posiadały rekordy danych dla terminów synoptycznych poszczególnych stacji meteorologicznych. Oznacza to, że dane te nie zawierają rekordów danych dla wszystkich godzin w okresie 2001-2020, lecz zgodnie z przyporządkowanymi terminami. W większości przypadków są to dane godzinowe, ale w danych synoptycznych występują również dane 3-godzinowe (osiem terminów w ciągu doby) oraz dzienne dane 3-godzinowe (pięć terminów w ciągu doby). W przeciwieństwie do terminowych danych synoptycznych IMGiW system ERA5 za pomocą kwerend generuje parametry meteorologiczne dla dowolnej lokalizacji przestrzennej i czasowej w siatce 0,25 x 0,25 stopnia szerokości i długości geograficznej z rozdzielczością godzinową.

W związku z tym, że dane IMGiW i ERA5 zostały zapisane w wielu plikach CSV i z różnymi krokami czasowymi niezbędna stała się integracja tych danych do jednolitej bazy danych z godzinowymi znacznikami czasu. W trakcie prac nad TLM2000 przyjęto, że dane te zostaną zintegrowane w bazie danych SQL służącej jako źródło danych do dalszych analiz.

## Rodzaje typowych lat meteorologicznych TLM2000

Istnieje wiele rodzajów zbiorów danych określanych jako typowe lata meteorologiczne. Dla potrzeb obliczeń

energetycznych w budownictwie najbardziej użyteczne są zbiory danych, które określa się na podstawie procedur opisanych w:

- Raporcie technicznym National Renewable Energy Laboratory NREL/TP-581-43156 z maja 2008 r. opisującym zbiory danych typowych lat meteorologicznych TMY3 [10],[11] – określone w dalszej części raportu jako pliki **TMY**,
- Normie PN-EN ISO 15927-4 Ciepno-wilgotnościowe właściwości użytkowe budynków. Obliczanie i prezentacja danych klimatycznych. Część 4: Dane godzinowe do oceny rocznego zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia. [12] – określone w dalszej części jako dane **ISO**,
- dokumentacji ASHRAE i programu Blast symulacji energetycznych budynków – określane jako typowy rok referencyjny „Test Reference Year” [13], [14] – określone w dalszej części jako dane **TRY**.

Dodatkowo, dla potrzeb spójności z danymi typowych lat meteorologicznych wyznaczonych w 2004 r. wyznaczono autorskie zbiory danych klimatycznych służące do obliczeń energetycznych budynków w postaci:

- danych meteorologicznych z najcieplejszym latem – obejmujących dane od 1 stycznia do 31 grudnia jednego roku kalendarzowego z analizowanego okresu – określone dalej jako dane roku odniesienia **HSY** (ang. Hot Summer Year),
- danych meteorologicznych z najzimniejszą zimą – służących do obliczeń zapotrzebowania na energię dla ciągłego okresu zimy – obejmujący dane od 1 lipca do 30 czerwca następnego roku kalendarzowego – zawierający najzimniejszy pełen sezon grzewczy z analizowanego okresu – określone dalej jako dane roku odniesienia **CWY** (ang. Cold Winter Year)

Zbiór trzech rodzajów typowych lat meteorologicznych (TMY, ISO i TRY) oraz dwóch ciągów danych dla najcieplejszego lata i najchłodniejszej zimy (HSY i CWY) wyznaczonych dla pojedynczej stacji meteorologicznej zbierających dane synoptyczne z obszaru Polski obliczonych na podstawie danych z lat kalendarzowych 2001-2020 nazwano TLM2000. Poniżej w podrozdziałach opisano poszczególne rodzaje zbiorów danych meteorologicznych TLM2000.

Dodatkowo należy rozróżnić rodzaje typowych lat meteorologicznych lub specyficznych danych klimatycznych od formatu

ich zapisu w plikach komputerowych. Rodzaje typowych lat meteorologicznych lub specyficznych zbiorów danych klimatycznych zależą jedynie od procedur ich wyznaczania, natomiast wyznaczone za pomocą tych procedur dane mogą być zapisane w najróżniejszych formatach zrozumiałych dla systemów symulacji energetycznych. Przykładowo pliki wyznaczone według procedur TMY, ISO lub TRY mogą być zapisane w postaci plików danych klimatycznych z rozszerzeniem EPW dla systemu EnergyPlus lub DesignBuilder. Analogiczne te same dane mogą być zakodowane w plikach z rozszerzeniem TM2, które są wczytywane przez system TRNSYS, lub w plikach z rozszerzeniem CLM zrozumiałych dla programu ESPr.

### Typowe lata meteorologiczne – TMY

Procedury wyznaczania typowych lat meteorologicznych TMY można znaleźć w literaturze [10] i [11]. Opisują one dane określane jako TMY2 i TMY3. Opracowana w Sandia National Laboratories metoda jest empirycznym sposobem wyboru

**Tab. 2 Wagi indeksu złożonego statystyk Finkelsteina-Schafera wykorzystywane do wyznaczania typowych lat meteorologicznych – według Sandia Lab. i TMY2/3**

Parametr	$t_{a(max)}$	$t_{a(min)}$	$\bar{t}_a$	$t_{r(max)}$	$t_{r(min)}$	$\bar{t}_r$	$v_{w(max)}$	$\bar{v}_w$	$I_{th}$	$I_{dh}$
Sandia Lab.	1/24	1/24	2/24	1/24	1/24	2/24	2/24	2/24	12/24	n.d.
TMY2/3	1/20	1/20	2/20	1/20	1/20	2/20	1/20	1/20	5/20	5/20

Uwaga: dla potrzeb wyznaczania zbiorów danych TMY w TLM2000 wykorzystano wagi TMY2/3

pojedynczych, indywidualnych miesięcy spośród wielolecia, które tworzą typowy rok meteorologiczny. Oznacza to, że poszczególne miesiące typowego roku meteorologicznego dla danej miejscowości mogą pochodzić z różnych lat kalendarzowych analizowanych danych meteorologicznych. Przykładowo jeżeli analizowano okres dwudziestoletni, to spośród wszystkich 20 styczeni tego okresu wybierany jest jeden uznany za najbardziej reprezentatywny i jest on włączany do typowego roku meteorologicznego. Analogicznie postępuje się z pozostałymi miesiącami, tworząc w ten sposób składankę 12 miesięcy, które najczęściej pochodzą z różnych lat kalendarzowych analizowanego okresu. W pierwszym kroku wyboru miesiąca do typowego roku meteorologicznego spośród danych obserwacji długoterminowych wybiera się pięć miesięcy, których dystrybuanty dziennych dziewięciu wybranych parametrów są najbardziej zbliżone do dystrybuant tych parametrów miesiąca w analizowanym wieloleciu. Analizowane parametry to maksymalna, minimalna i średnia temperatura termometru suchego, oraz tempera-

tury punktu rosy, maksymalna i średnia prędkość wiatru oraz suma natężenia całkowitego oraz bezpośredniego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą. Na podstawie wyznaczonych dystrybuant obliczane są statystyki Finkelsteina-Schafera [15] określające jak bardzo dystrybuanty danego miesiąca różnią się od dystrybuanty miesiąca dla wielolecia. W kolejnym kroku wyboru spośród wybranych na podstawie indeksu złożonego statystyk FS – tabela 2 – pięciu miesięcy kandydatów uszeregowanych według najmniejszych wartości indeksu złożonego statystyk FS, wybiera się ten, którego wybrane średnie i mediany parametrów są najbardziej zbliżone do średniej i mediany tych parametrów obliczonych dla wielolecia. Dystrybuanty wybranych pięciu miesięcy analizowane są w celu wyeliminowania miesięcy z długimi okresami niskiej lub wysokiej wartości średniej dobowej temperatury termometru suchego – długie okresy chłodne i ciepłe – oraz miesięcy z długimi okresami małych wartości natężenia promieniowania – długie okresy pochmurne.

### Typowe lata meteorologiczne – ISO

Norma PN-EN-ISO 15927-4 [12] opracowana została dla potrzeb pakietu norm związanych z systemem wyznaczania charakterystyk energetycznych budynków i opisuje metodę wyznaczania typowych lat meteorologicznych z wartościami godzinowymi. Norma ta preferuje analizę źródłowych danych meteorologicznych w ciągu co najmniej 10-letnim. Typowy rok meteorologiczny dla danej lokalizacji wyznaczany według normy PN-EN ISO 15927-4 powinien zawierać co najmniej następujące parametry: temperaturę termometru suchego, bezpośrednie i rozproszone natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą, jeden z parametrów wilgotnościowych – wilgotność względna, zawartość wilgoci, ciśnienie cząstkowe pary wodnej lub temperaturę punktu rosy oraz prędkość wiatru na wysokości 10 m nad powierzchnią gruntu. W normie przyjęto, że temperatura i wilgotność powietrza oraz natężenie promieniowania słonecznego są kluczowymi parametrami meteorologicznymi wpływającymi na obliczenia zapotrzebowania na

energię do ogrzewania i chłodzenia budynków i te parametry służą do budowy typowych lat meteorologicznych. Procedura tworzenia typowego roku meteorologicznego według normy PN-EN ISO 15927-4 jest zasadniczo zgodna z metodami tworzenia danych TMY2 i WYEC2. Z danych długookresowych, co najmniej 10-letnich, wybierane są najbardziej typowe miesiące kalendarzowe, a następnie łączone są one ze sobą tworząc typowy rok meteorologiczny. Procedura opisana w normie została zaprojektowana tak, aby zapewnić żeby wartości średnie parametrów, ich rozkład i częstość występowania oraz korelacje pomiędzy parametrami dla tworzonego typowego roku meteorologicznego były możliwie bliskie tym wartościom poszczególnych miesięcy dla wielolecia. Analogicznie, jak w przypadku typowych lat meteorologicznych TMY2 lub TMY3 wyznacza się statystyki Finkelsteina-Schafera dystrybuant wartości średnich dobowych podstawowych parametrów meteorologicznych. W następnym kroku procedury miesiące szereguje się rosnąco względem statystyk FS dla każdego parametru oddzielnie. Wartości oddzielnych rang statystyk FS parametrów pierwszorzędowych pojedynczych miesięcy należy dodać do siebie a ich suma traktowana jako całkowita ranga przypisywana jest do pojedynczego miesiąca. Kandydatami miesiąca kalendarzowego do typowego roku meteorologicznego są trzy miesiące z wielolecia o najmniejszych rangach całkowitych. W ostatnim kroku wyboru miesiąca do typowego roku meteorologicznego spośród trzech kandydatów o najmniejszej randze całkowitej wybiera się ten, dla którego wartość odchylenia średniej miesięcznej prędkości wiatru od średniej miesięcznej prędkości wiatru wielolecia dla danego miesiąca kalendarzowego jest najmniejsza.

### Typowe lata meteorologiczne – TRY

Procedura wyznaczania TRY (Test Reference Year) została opracowana wspólnie w NBS (National Bureau of Standards), NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration), DOE (Departament of Energy) i ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning) i powstała w 1976 r. [14]. Procedura TRY wybiera z wielolecia jeden kalendarzowy rok danych pomiarowych eliminując z wielolecia lata o ekstremalnych wartościach średnich miesięcznych temperatury termometru suchego. Spośród wielole-

cia należy wybrać ten rok kalendarzowy, który jest najłagodniejszy i ma najmniejszą liczbę ekstremalnych wartości średnich miesięcznych temperatury powietrza. Metoda ta jest bardzo prosta i szybka w obliczeniach. Procedura wyboru TRY przyjmuje zasadę eliminowania lat, w których średnia miesięczna temperatura termometru suchego jest wyjątkowo wysoka lub niska. Miesiące są uporządkowane według ważności dla porównania zapotrzebowania na energię budynków. Za najważniejszy uważa się gorący lipiec i zimny styczeń. Wszystkie miesiące są uszeregowane naprzemiennie pomiędzy ciepłą połową (od maja do października) a zimną połową (od listopada do kwietnia) roku, jak pokazano w tabeli 3. Proce-

Tab. 3 Ranking miesięcy procedury eliminacji dla wyboru danych TRY z wielolecia

1.Najcieplejszy lipiec	9.Najcieplejszy maj	17.Najzimniejszy czerwiec
2.Najzimniejszy styczeń	10.Najzimniejszy listopad	18.Najcieplejszy grudzień
3.Najcieplejszy sierpień	11.Najcieplejszy październik	19.Najzimniejszy wrzesień
4.Najzimniejszy luty	12.Najzimniejszy kwiecień	20.Najcieplejszy marzec
5.Najcieplejszy czerwiec	13.Najzimniejszy czerwiec	21.Najzimniejszy maj
6.Najzimniejszy grudzień	14.Najcieplejszy styczeń	22.Najcieplejszy listopad
7.Najcieplejszy wrzesień	15.Najzimniejszy sierpień	23.Najzimniejszy październik
8.Najzimniejszy marzec	16.Najcieplejszy luty	24.Najcieplejszy kwiecień

durę powtarza się do momentu wyeliminowania wszystkich lat z wielolecia oprócz jednego roku, który staje się rokiem danych TRY.

### Rok odniesienia dla najcieplejszego lata – HSY

W celu wyznaczenia roku odniesienia dla najcieplejszego lata o nazwie – „Hottest Summer Year” – HSY, z ciągu kilkudziesięciu lat danych meteorologicznych wybiera się jeden rok kalendarzowy danych pomiarowych na podstawie średnich i median miesięcznych temperatury termometru suchego i sumy całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą. W metodzie zaproponowanej przez autora wyznacza się średnie miesięczne i mediany temperatury termometru suchego dla czerwca, lipca oraz sierpnia i wybiera się trzy lata kandydatów z największymi wartościami tych statystyk. Spośród trzech kandydatów wybiera się rok z największą sumą całkowitego natężenia promieniowania słonecznego dla czerwca, lipca i sierpnia. Wyznaczony w ten sposób rok meteorologiczny może służyć do symulacji energetycznej budynków w okresach najcieplejszych. Rok danych meteorologicznych HSY obejmuje dane z jednego roku kalendarzowego od 1 stycznia do 31 grudnia.

### Rok odniesienia dla najchłodniejszej zimy – CWY

Rok odniesienia dla najchłodniejszej zimy „Coldest Winter Year” – CWY wyznacza się analogicznie jak rok HSY wybierając z wielolecia jeden ciąg danych pomiarowych o długości roku kalendarzowego zawierający pełen sezon grzewczy na podstawie średniej i mediany temperatury termometru suchego i średniej prędkości wiatru. W metodzie tej porównuje się wartości średnich i median temperatury termometru suchego dla grudnia, stycznia i lutego, a następnie wybiera się sezon grzewczy z najmniejszymi wartościami dla tych miesięcy. Spośród trzech kandydatów wybiera się ciąg danych z najwięk-

szą średnią prędkością wiatru dla grudnia, stycznia i lutego. Wyznaczony w ten sposób rok odniesienia dla najchłodniejszej zimy może służyć do symulacji energetycznej budynków w okresach najzimniejszych. Cechą charakterystyczną tego roku odniesienia jest to, że zawiera on cały sezon ogrzewczy, czyli zaczyna się od 1 lipca poprzedzającego zimę roku i kończy się 30 czerwca roku następnego.

### Wyniki analiz danych źródłowych do obliczeń typowych lat meteorologicznych

Opisane w poprzednim rozdziale metodyki wyznaczania danych typowych lat meteorologicznych TMY, ISO i TRY oraz danych lat odniesienia HSY i CWY zostały oprogramowane w języku C++, który posłużył do stworzenia autorskiego programu obliczeniowego TMY.EXE. Opracowany autorski program, który posłużył do wyznaczania zbiorów danych syntetycznych TMY, ISO, TRY oraz HSY i CWY na podstawie zintegrowanych w bazie SQL danych źródłowych – terminowych danych synoptycznych IMGiW i danych promieniowania słonecznego oraz promieniowania długofalowego niebosktonu ERA5.

Dane wyjściowe z programu to pliki analizy zintegrowanych danych źródłowych, w których wskazywane są wszystkie

błędy i nieciągłości danych zapisywane w plikach dzienników (\*.log), pliki z wartościami statystyk poszczególnych miesięcy wykorzystywanych w obliczeniach metodyk wyznaczania poszczególnych typów zbiorów danych typowych lat meteorologicznych – TLM2000 (\*.mids) oraz syntetyczne dane opisujące typowe lata meteorologiczne w postaci zbiorów określających miesiące i lata wchodzące w skład poszczególnych zbiorów danych (TMY.CSV, ISO.CSV, TRY.CSV, HSY.CSV i CWY.CSV).

**Tab. 4. Przykładowe dane syntetyczne typowych lat meteorologicznych TMY, ISO i TRY oraz meteorologicznych danych odniesienia HSY i CSY wyznaczonych dla stacji Łeba (120), Warszawa (375), Siedlce (385), Zielona Góra (400), Łódź (465) i Zakopane (625)**

Kod stacji	Rodzaj TLM2000	M1	R1	M2	R2	M3	R3	M4	R4	M5	R5	M6	R6	M7	R7	M8	R8	M9	R9	M10	R10	M11	R11	M12	R12
120	TMY_120	1	2018	2	2004	3	2015	4	2001	5	2020	6	2002	7	2003	8	2003	9	2017	10	2004	11	2010	12	2020
120	ISO_120	1	2018	2	2005	3	2010	4	2003	5	2007	6	2014	7	2005	8	2003	9	2009	10	2004	11	2005	12	2005
120	TRY_120	1	2015	2	2015	3	2015	4	2015	5	2015	6	2015	7	2015	8	2015	9	2015	10	2015	11	2015	12	2015
120	HSY_120	1	2018	2	2018	3	2018	4	2018	5	2018	6	2018	7	2018	8	2018	9	2018	10	2018	11	2018	12	2018
120	CWY_120	7	2019	8	2019	9	2019	10	2019	11	2019	12	2019	1	2020	2	2020	3	2020	4	2020	5	2020	6	2020
375	TMY_375	1	2003	2	2004	3	2001	4	2012	5	2010	6	2014	7	2016	8	2001	9	2010	10	2017	11	2017	12	2007
375	ISO_375	1	2019	2	2001	3	2003	4	2004	5	2017	6	2011	7	2008	8	2012	9	2002	10	2004	11	2003	12	2008
375	TRY_375	1	2014	2	2014	3	2014	4	2014	5	2014	6	2014	7	2014	8	2014	9	2014	10	2014	11	2014	12	2014
375	HSY_375	1	2018	2	2018	3	2018	4	2018	5	2018	6	2018	7	2018	8	2018	9	2018	10	2018	11	2018	12	2018
375	CWY_375	7	2006	8	2006	9	2006	10	2006	11	2006	12	2006	1	2007	2	2007	3	2007	4	2007	5	2007	6	2007
385	TMY_385	1	2003	2	2007	3	2009	4	2012	5	2008	6	2002	7	2016	8	2001	9	2017	10	2016	11	2017	12	2007
385	ISO_385	1	2012	2	2001	3	2012	4	2010	5	2017	6	2007	7	2002	8	2017	9	2015	10	2011	11	2015	12	2016
385	TRY_385	1	2014	2	2014	3	2014	4	2014	5	2014	6	2014	7	2014	8	2014	9	2014	10	2014	11	2014	12	2014
385	HSY_385	1	2018	2	2018	3	2018	4	2018	5	2018	6	2018	7	2018	8	2018	9	2018	10	2018	11	2018	12	2018
385	CWY_385	7	2006	8	2006	9	2006	10	2006	11	2006	12	2006	1	2007	2	2007	3	2007	4	2007	5	2007	6	2007
400	TMY_400	1	2016	2	2007	3	2001	4	2004	5	2009	6	2015	7	2016	8	2010	9	2019	10	2007	11	2010	12	2005
400	ISO_400	1	2019	2	2017	3	2002	4	2012	5	2001	6	2007	7	2019	8	2012	9	2019	10	2004	11	2020	12	2014
400	TRY_400	1	2004	2	2004	3	2004	4	2004	5	2004	6	2004	7	2004	8	2004	9	2004	10	2004	11	2004	12	2004
400	HSY_400	1	2018	2	2018	3	2018	4	2018	5	2018	6	2018	7	2018	8	2018	9	2018	10	2018	11	2018	12	2018
400	CWY_400	7	2006	8	2006	9	2006	10	2006	11	2006	12	2006	1	2007	2	2007	3	2007	4	2007	5	2007	6	2007
465	TMY_465	1	2014	2	2007	3	2009	4	2006	5	2013	6	2002	7	2016	8	2004	9	2017	10	2017	11	2013	12	2005
465	ISO_465	1	2012	2	2004	3	2002	4	2010	5	2017	6	2014	7	2004	8	2017	9	2019	10	2013	11	2016	12	2008
465	TRY_465	1	2003	2	2003	3	2003	4	2003	5	2003	6	2003	7	2003	8	2003	9	2003	10	2003	11	2003	12	2003
465	HSY_465	1	2018	2	2018	3	2018	4	2018	5	2018	6	2018	7	2018	8	2018	9	2018	10	2018	11	2018	12	2018
465	CWY_465	7	2006	8	2006	9	2006	10	2006	11	2006	12	2006	1	2007	2	2007	3	2007	4	2007	5	2007	6	2007
625	TMY_625	1	2005	2	2004	3	2001	4	2004	5	2015	6	2013	7	2001	8	2016	9	2017	10	2017	11	2009	12	2014
625	ISO_625	1	2011	2	2001	3	2007	4	2004	5	2008	6	2012	7	2016	8	2007	9	2012	10	2014	11	2014	12	2014
625	TRY_625	1	2016	2	2016	3	2016	4	2016	5	2016	6	2016	7	2016	8	2016	9	2016	10	2016	11	2016	12	2016
625	HSY_625	1	2012	2	2012	3	2012	4	2012	5	2012	6	2012	7	2012	8	2012	9	2012	10	2012	11	2012	12	2012
625	CWY_625	7	2019	8	2019	9	2019	10	2019	11	2019	12	2019	1	2020	2	2020	3	2020	4	2020	5	2020	6	2020

Uwaga: W analizie porównawczej TLM1970 i TLM2000 wykorzystano typowe lata meteorologiczne rodzaju TMY

Tabela 4 przedstawia przykładowe dane syntetyczne typowych lat meteorologicznych TMY, ISO i TRY oraz meteorologicznych danych odniesienia HSY i CSY wyznaczonych dla analizowanych w artykule stacji: Łeba (120), Warszawa (375), Siedlce (385), Zielona Góra (400), Łódź (465) i Zakopane (625). W tabeli tej podany jest kod stacji, nazwa rodzaju danych meteorologicznych oraz dwanaście zestawów M i R, od M1, R1 do M12, R12 wskazujących na konkretne numery miesięcy i lat z wielolecia dla danej stacji, który należy wybrać z bazy SQL, aby utworzyć dany rodzaj typowego roku meteorologicznego. Dane syntetyczne TLM2000, były następnie wykorzystywane do wygenerowania z bazy danych SQL zbiorów danych parametrów wszystkich rodzajów typowych lat meteorologicznych i meteorologicznych danych odniesienia.

Łącznie wygenerowano 840 plików danych dla 56 stacji meteorologicznych w Polsce. Dla każdej stacji wyznaczono 5 rodzajów danych zapisanych w 3 formatach CSV, TXT i XLSX. Całkowita objętość wyznaczonych danych TLM2000 to około 2 GB.

## Analiza porównawcza TLM1970 i TLM2000

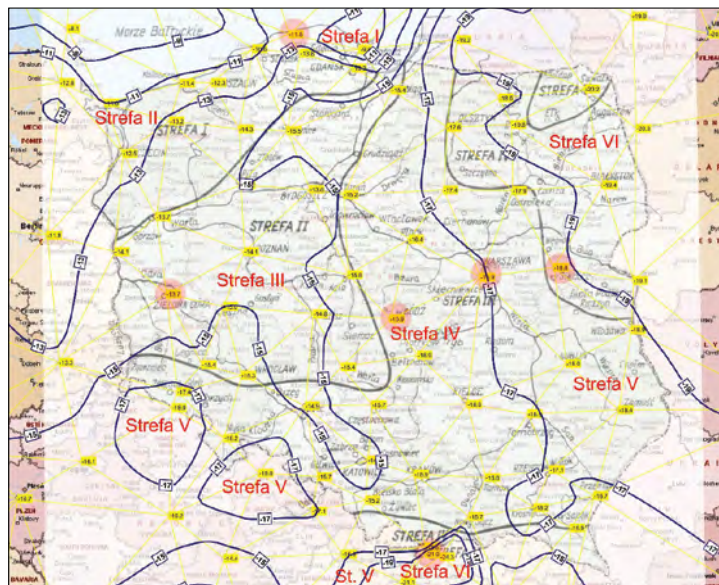
Typowe lata meteorologiczne TLM2000 obejmują łącznie 280 zbiorów zawierających dane dla 56 stacji synoptycznych Polski wyznaczone dla trzech rodzajów typowych lat meteorologicznych i dwóch rodzajów lat odniesienia opisanych powyżej. W celu przeprowadzenia analizy porównawczej typowych lat meteorologicznych wyznaczonych dla lat 1971-2000 oraz

metody TMY3 [11]. W analizie porównano dane dla pięciu stacji meteorologicznych: Łeba (kod stacji – 120), Zielona Góra (kod stacji – 400), Łódź (kod stacji – 465), Siedlce (kod stacji – 385) i Zakopane (kod stacji – 625), które wybrano na podstawie przynależności do pięciu obecnie obowiązujących stref klimatycznych Polski oraz dodatkowo dla Warszawy (kod stacji – 375) reprezentującej duży ośrodek miejski. Spośród wielu parametrów meteorologicznych zapisanych w typowych latach meteorologicznych do analizy porównawczej przyjęto dwa parametry, które mają kluczowe znaczenie dla obliczeń zapotrzebowania na energię użytkową budynków: temperaturę termometru suchego powietrza zewnętrznego oraz natężenie całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą. Na rysunku 1 przedstawiono położenie stacji meteorologicznych, dla których przeprowadzono analizę porównawczą na tle mapy stref klimatycznych obecnie obowiązujących i wyznaczonych dla temperatury obliczeniowej dla potrzeb ogrzewania na podstawie danych meteorologicznych z lat 1971-2000 [18].

Na podstawie przebiegów zmienności obu parametrów w TLM1970 i TLM2000 wyznaczono następujące statystyki i funkcje:

- minimalna temperatura termometru suchego – miesięczna i roczna,
- maksymalna temperatura termometru suchego – miesięczna i roczna,
- średnia temperatura termometru suchego – miesięczna i roczna,

**Rys. 1** Lokalizacja stacji meteorologicznych, dla których przeprowadzono analizę porównawczą na tle stref klimatycznych [18]



2001-2020 postanowiono ograniczyć do kilku liczbę zbiorów wybranych stacji meteorologicznych oraz liczbę porównywanych parametrów. Analiza porównawcza została wykonana dla typowych lat meteorologicznych rodzaju TMY obliczonych według

- mediana temperatury termometru suchego – miesięczna i roczna,
- liczba stopniodni ogrzewania – miesięczna i roczna,
- liczba stopniodni chłodzenia – miesięczna i roczna,

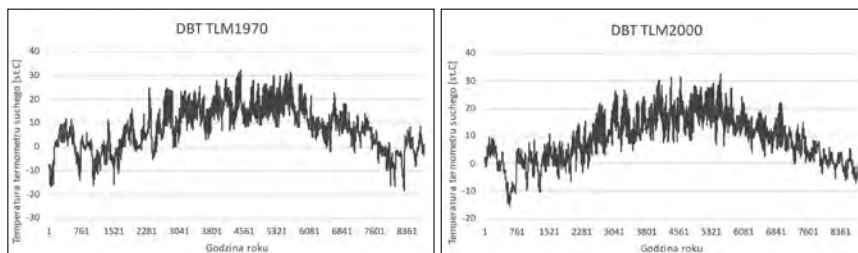
- suma energii całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą – miesięczna i roczna,
- histogram temperatury termometru suchego – dla przebiegów rocznych,
- dystrybuanta temperatury termometru suchego – dla przebiegów rocznych,
- histogram natężenia całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą – dla przebiegów rocznych,
- dystrybuanta natężenia całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą – dla przebiegów rocznych.

Liczba stopniodni ogrzewania i chłodzenia została wyznaczona na podstawie wartości temperatury termometru suchego dla temperatury bazowej 18°C. Wartości histogramów wyznaczono dla przedziałów temperatury termometru suchego równych 0,5°C. W przypadku histogramów natężenia całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą przyjęto przedziały równe 20 W/m<sup>2</sup>. Histogramy i dystrybuanty natężenia promieniowania słonecznego wykreślono z pominięciem zerowych wartości natężenia, zatem suma częstości ich występowania jest mniejsza od 8760 godzin w roku i jest równa liczbie godzin w czasie dni z pominięciem godzin w czasie nocy.

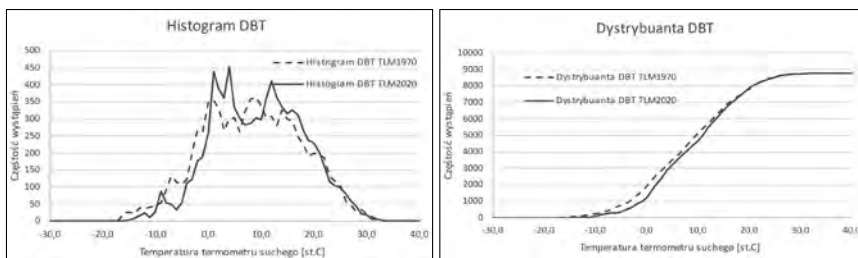
W celu zobrazowania różnic pomiędzy TLM1970 i TLM2000 na rysunkach w tabelach poniżej przedstawiono wartości analizowanych statystyk, histogramów i dystrybuant. Wyniki analiz szczegółowo opisano na podstawie analiz dla stacji meteorologicznej Łódź-Lublinek – kod stacji 465. Dla pozostałych pięciu analizowanych stacji meteorologicznych wyniki porównania przedstawiono graficznie na rysunkach od Z1 do Z5, które znajdują się w załączniku.

Dla każdej z analizowanych stacji meteorologicznych oraz obu zbiorów danych typowych lat meteorologicznych TLM1970 i TLM2000 przedstawiono przebieg zmienności temperatury termometru suchego oraz natężenia całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą oraz ich histogramy i dystrybuanty. Na rysunku 2 pokazano porównanie przebiegów zmienności temperatury termometru suchego dla Łodzi według obu zbiorów danych. Wartości temperatury utrzymują się w bardzo zbliżonym zakresie jednak w przypadku TLM2000 występuje niższa minimalna wartość temperatury. Temperatura maksymalna jest bardzo zbliżona w obu przypadkach.

Wykresy na rysunku 3 pokazują histogramy i dystrybuanty temperatury termometru suchego dla Łodzi według obu zbiorów danych. Wykresy te



**Rys. 2**  
Temperatura termometru suchego – przebieg zmienności w TLM1970 i TLM2000 dla Łodzi

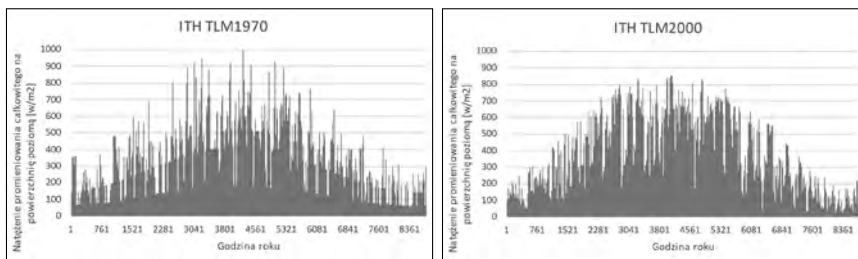


**Rys. 3**  
Histogramy i dystrybuanty temperatury termometru suchego w TLM1970 i TLM2000 stacji Łódź-Lublinek

metru suchego dla obu zbiorów TLM1970 i TLM2000 dla Łodzi. Na wykresie dystrybuant temperatury termometru suchego można zaobserwować przesunięcie dystrybuanty DBT\_TLM2000 w prawo w stosunku do dystrybuanty DBT\_TLM1970. Oznacza to, że w danych typowego roku meteorologicznego dla Łodzi wyznaczonych z danych meteorologicznych z lat 2001-2020 częściej występują wyższe wartości temperatury powietrza w porównaniu do wartości zapisanych w danych typowego roku meteorologicznego wyznaczonego na podstawie danych z lat 1971-2000. Analizując przebiegi dystrybuant temperatury termometru suchego powietrza zewnętrznego dla pozostałych stacji można zauważyć, że we wszystkich przypadkach w danych typowych lat meteorologicznych TLM2000 częściej występują wyższe wartości temperatury termometru suchego powietrza zewnętrznego w porównaniu do danych zapisanych w TLM1970.

Przebiegi zmienności wartości natężenia całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą dla Łodzi zapisanych w danych TLM1970 i TLM2000 pokazano na rysunku 4. Wykres natężenia promieniowania słonecznego dla TLM1970

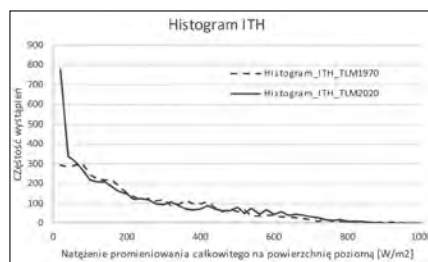
pokazuje niedoskonałość użytego przez IMGiW w 2004 roku nieopisanego modelu promieniowania słonecznego zastosowanego do wygenerowania wartości natężenia promieniowania słonecznego przekazanych autorowi jako dane źródłowe do wyznaczenia TLM1970. W przebiegach zmienności natężenia promieniowania słonecznego w danych TLM1970 dla wszystkich analizowanych stacji można zaobserwować charakterystyczne przebiegi sinusoidalne o różnych amplitudach z generowanymi, zapewne w oparciu o parametr zachmurzenia ogólnego, stochastycznymi zmiennościami wartości natężenia promieniowania. Zastosowany model wygenerował w większości przypadków zaniżoną roczną sumę natężenia promieniowania słonecznego, jednocześnie z bardzo dużymi chwilowymi wartościami natężenia całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą przekraczającymi wartości 1000 W/m<sup>2</sup>. Oba błędy, zaniżona roczna suma energii promieniowania słonecznego oraz chwilowe wartości natężenia promieniowania słonecznego przekraczające wartości pomiarowe dla szerokości geograficznej Polski, są najczęściej wskazywane przez użytkowników danych



**Rys. 4**  
Natężenie całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą – przebieg zmienności w TLM1970 i TLM2000 stacji Łódź-Lublinek

TLM1970. Wartości natężenia całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą zapisane w TLM2000 pochodzą z modelu powtórnej analizy wstecznej bazy danych ERA5 systemu Copernicus i obliczane są na podstawie wielu parametrów meteorologicznych zapisanych w danych archiwalnych pomiarów synoptycznych i pomiarów satelitarnych. We wszystkich analizowanych przypadkach modelowane wartości promieniowania słonecznego nie wykazują charakterystycznych gładkich przebiegów sinusoidalnych wartości tak jak w danych TLM1970, a wartości rocznej sumy natężenia promieniowania słonecznego dla analizowanych stacji oscylują w okolicy 1000 kWh/m<sup>2</sup>. Również chwilowe wartości natężenia promieniowania słonecznego nie przekraczają 900 W/m<sup>2</sup>, co jest zgodne z obserwacjami dla obszaru Polski.

Rysunek 5 przedstawia histogramy i dystrybuanty natężenia całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą dla stacji Łódź-Lublinek w danych TLM1970 i TLM2000. Wykresy te przedstawiają częstości występowania promieniowania słonecznego o wartościach większych od zera, zatem całkowita liczba godzin występowania to wartość około 4700 godzin w roku co odpowiada liczbie godzin w ciągu dni w roku kalendarzowych dla obszaru Polski. Na wykresach dystrybuanty można zauważyć przesunięcie obu dystrybuant ITH\_TLM1970 i ITH\_TLM2000 dla wszystkich analizowanych stacji. Oznacza to, że model natężenia promieniowania słonecznego, który był użyty do wyznaczenia danych źródłowych TLM1970 zaniżał częstość występowania



Tab. 5 Temperatura powietrza zewnętrznego – minimalna, maksymalna, średnia i mediana w poszczególnych miesiącach i roku dla TLM1970 i TLM2000 (rodzaj typowych lat meteorologicznych – TMY) dla Łodzi

Miesiąc	TLM1970				TLM2000			
	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>średnia</sub>	T <sub>mediana</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>średnia</sub>	T <sub>mediana</sub>
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1	-16,6	12,1	0,0	1,5	-15,4	9,6	-1,7	-0,4
2	-16,2	11,3	-1,9	-0,7	-10,4	8,5	0,0	0,9
3	-16,0	16,0	0,9	0,2	-6,3	12,0	2,6	2,5
4	-5,2	24,7	8,9	7,6	-3,1	21,8	9,0	8,4
5	-0,3	25,3	13,9	13,9	4,5	26,7	14,4	13,5
6	3,1	28,5	16,0	15,9	7,7	30,3	16,9	16,4
7	8,4	32,2	17,5	16,3	7,6	31,5	18,8	18,9
8	8,2	31,4	18,6	18,6	6,5	32,7	19,2	18,6
9	-0,4	26,4	11,1	10,1	4,0	24,2	13,4	12,9
10	-2,4	22,9	8,8	8,5	0,0	22,3	9,7	9,7
11	-16,1	14,3	1,5	1,4	-3,7	14,9	5,2	4,8
12	-18,2	8,9	-2,2	-1,8	-6,9	5,9	-0,4	0,1
Rok	-18,2	32,2	7,8	7,9	-15,4	32,7	9,0	9,0

i rocznej mediany dla danych TLM2000 są wyższe od tych statystyk danych zapisanych w TLM1970. Analogicznie w przypadku pozostałych stacji synoptycznych wartość średnich rocznych i median rocznych temperatury termometru suchego dla TLM2020 są wyższe od tych statystyk dla TLM1970 co pokazano na przykładzie wybranych stacji w tabeli 8.

W tabeli 6 zestawiono liczbę stopniodni ogrzewania i chłodzenia dla poszczególnych miesięcy stacji Łódź-Lublinek dla obu zbiorów danych TLM1970 i TLM2000. Temperatura bazowa dla obliczenia stopniodni ogrzewania i chłodzenia wynosiła 18°C. Z zestawienia wynika, że liczba stopniodni ogrzewania według TLM2000 jest mniejsza niż w przypadku danych TLM1970 dla wszystkich analizowanych w artykule stacji meteorologicznych. Licz-

Tab. 6 Liczba stopniodni (temperatura bazowa 18°C) ogrzewania HDD i chłodzenia CDD w poszczególnych miesiącach i roku dla TLM1970 i TLM2000 (rodzaj typowych lat meteorologicznych – TMY) dla Łodzi

Miesiąc	TLM1970		TLM2000	
	Suma HDD	Suma CDD	Suma HDD	Suma CDD
	° dzień	° dzień	° dzień	° dzień
1	558,2	0,0	611,6	0,0
2	557,3	0,0	502,8	0,0
3	531,1	0,0	477,9	0,0
4	286,8	13,6	273,2	2,1
5	149,4	23,2	138,0	24,9
6	96,3	37,6	79,0	47,5
7	78,2	61,5	44,8	68,6
8	58,3	78,4	39,8	78,4
9	219,1	12,6	141,2	4,1
10	287,3	1,5	259,3	2,0
11	494,2	0,0	383,7	0,0
12	625,4	0,0	569,1	0,0
Rok	3941,7	228,3	3520,3 (-10,7%)	227,5 (-0,4%)

Tab. 7 Suma energii całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą w poszczególnych miesiącach i roku dla TLM1970 i TLM2000 (rodzaj typowych lat meteorologicznych – TMY) dla Łodzi

Miesiąc	TLM1970	TLM2000
	Suma ITH kWh/m <sup>2</sup>	Suma ITH kWh/m <sup>2</sup>
1	28,2	23,8
2	35,1	37,2
3	65,8	77,7
4	93,8	127,1
5	143,2	141,4
6	146,1	156,5
7	146,6	155,7
8	127,1	140,1
9	81,3	71,8
10	51,5	48,6
11	25,8	23,1
12	19,7	14,5
Rok	964,0	1017,6 (+5,6%)

Rys. 5 Histogramy i dystrybuanty natężenia całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą w TLM1970 i TLM2000 dla stacji Łódź-Lublinek

całkowitego promieniowania słonecznego dla mniejszych wartości i jednocześnie generował występowania dużych chwilowych wartości tego parametru.

W tabeli 5 przedstawiono zestawienie statystyk temperatury termometru suchego dla poszczególnych miesięcy oraz roku z danych zapisanych w TLM1970 i TLM2000 dla stacji Łódź-Lublinek. Z tabeli tej wynika, że wartości średnie roczne

ba stopniodni chłodzenia dla analizowanych stacji w przypadku obu zbiorów jest podobna, lecz należy zwrócić uwagę, że w przypadku obliczania zapotrzebowania na energię użytkową chłodzenia w budynkach na jej wartość ma wpływ suma energii promieniowania słonecznego.

W tabeli 7 przedstawiono miesięczne i roczne sumy energii promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą



dla stacji Łódź-Lublinek dla obu zestawów danych TLM1970 i TLM2000. Z danych tych wynika, że suma natężenia promieniowania słonecznego obliczona na podstawie TLM1970 jest niższa od sumy obliczonej na podstawie TLM2000. Analogicznie dla większości analizowanych w artykule stacji roczna suma energii promieniowania jest, albo niemal równa, albo większa w przypadku danych TLM2000, co pokazano w tabeli 10.

Zarówno liczba stopniodni chłodzenia jak również roczna suma energii promieniowania słonecznego mają wpływ na obliczenia zapotrzebowania na energię użyteczną do chłodzenia budynków. Oba parametry wskazują, że obliczenia wykonane z wykorzystaniem TLM1970 mogą wykazać mniejsze zapotrzebowanie na energię chłodzenia, niż w przypadku obliczeń z użyciem TLM2000.

W tabelach 8, 9 i 10 zestawiono odpowiednio roczne statystyki temperatury termometru suchego, liczbę stopniodni ogrzewania i chłodzenia oraz sumy energii całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą dla obu zbiorów danych TLM1970 i TLM2000 dla przyjętych do analizy porównawczej stacji meteorologicznych. Zestawienia te umożliwiają zauważyć trend związany ze zmniejszaniem zapotrzebowania na energię do ogrzewania i wzrost zapotrzebo-

**Tab. 10 Roczna suma energii całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą dla TLM1970 i TLM2000 (rodzaj typowych lat meteorologicznych – TMY) dla wybranych stacji synoptycznych**

Stacja	TLM1970	TLM2000
	Suma $I_{TH}$	Suma $I_{TH}$
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Warszawa	998,8	995,5 (-0,3%)
Łeba	875,9	1048,1 (+16,4%)
Zielona Góra	895,2	1026,4 (+14,7%)
Łódź	964,0	1017,6 (+5,6%)
Siedlce	921,7	996,3 (+8,1%)
Zakopane	1037,7	1058,8 (+2,0%)

wania na energię do chłodzenia budynków obliczanych za pomocą nowych typowych lat meteorologicznych wyznaczonych dla obszaru Polski z danych źródłowych lat 2001-2020.

## Wnioski

Przeprowadzona analiza porównawcza TLM1970 i TLM2000 (rodzaj TMY) dla wybranych sześciu stacji meteorologicznych dla przebiegów temperatury termometru suchego i natężenia całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą wykazuje różnice w wartościach statystyk tych parametrów.

**Tab. 8 Roczna temperatura powietrza zewnętrznego – minimalna, maksymalna, średnia i mediana dla TLM1970 i TLM2000 (rodzaj typowych lat meteorologicznych – TMY) dla wybranych stacji synoptycznych**

Stacja	TLM1970				TLM2000			
	$T_{min}$	$T_{max}$	$T_{średnia}$	$T_{mediana}$	$T_{min}$	$T_{max}$	$T_{średnia}$	$T_{mediana}$
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Warszawa	-20,2	33,2	8,0	8,0	-22,2	31,4	8,8	9,1
Łeba	-17,4	36,7	8,0	7,5	-21,2	29,7	8,7	8,4
Zielona Góra	-16,9	33,6	8,5	8,8	-14,3	32,4	8,9	9,1
Łódź	-18,2	32,2	7,8	7,9	-15,4	32,7	9,0	9,0
Siedlce	-21,3	31,2	6,6	6,5	-23,7	31,3	8,1	7,5
Zakopane	-20,6	30,4	5,5	5,8	-18,9	29,8	6,4	7,0

**Tab. 9 Roczna liczba stopniodni (temperatura bazowa 18°C) ogrzewania HDD i chłodzenia CDD w dla TLM1970 i TLM2000 (rodzaj typowych lat meteorologicznych – TMY) dla wybranych stacji synoptycznych**

Stacja	TLM1970		TLM2000	
	Suma HDD	Suma CDD	Suma HDD	Suma CDD
	° dzień	° dzień	° dzień	° dzień
Warszawa	3838,3	199,9	3578,4 (-6,8%)	234,9 (+17,5%)
Łeba	3765,0	102,5	3478,3 (-7,6%)	87,5 (-14,6%)
Zielona Góra	3671,0	219,9	3497,4 (-4,7%)	181,7 (-17,4%)
Łódź	3941,7	228,3	3520,3 (-10,7%)	227,5 (-0,4%)
Siedlce	4319,6	166,6	3852,0 (-10,8%)	227,3 (+36,4%)
Zakopane	4658,4	83,2	4311,6 (-7,4%)	95,5 (+14,8%)

W przypadku temperatury termometru suchego średnie i mediany dla wszystkich analizowanych stacji w danych TLM2000 mają większe wartości niż w przypadku TLM1970. Wnioski takie można również wyciągnąć analizując przebiegi dystrybuant temperatury termometru suchego dla tych stacji wyznaczonych z obu zbiorów danych.

Przebiegi zmienności, dystrybuanty oraz sumy roczne natężenia całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą wskazują, że do wyznaczenia tego parametru w TLM1970 użyto bardzo uproszczonego modelu matematycznego, który wykazuje tendencję do zaniżania rocznej sumy energii promieniowania słonecznego przy jednoczesnym zawyżaniu wartości chwilowych natężenia promieniowania.

Analiza porównawcza stopniodni ogrzewania i chłodzenia wskazuje, że liczba stopniodni ogrzewania dla wszystkich analizowanych stacji dla TLM2000 jest niższa niż w przypadku TLM1970. Liczba stopniodni chłodzenia utrzymuje się na zbliżonym poziomie w obu zbiorach danych dla analizowanych stacji, ale w połączeniu z zaniżoną sumą energii promieniowania słonecznego obliczenia wykonane z użyciem TLM1970 mogą prowadzić do zaniżenia zapotrzebowania energii na chłodzenie budynków.

Wykonana analiza porównawcza TLM1970 i nowego zbioru danych TLM2000 wykazała słuszność podjętej decyzji opracowania nowych zbiorów danych typowych lat meteorologicznych dla obszaru Polski na podstawie danych meteorologicznych i klimatycznych obejmujących lata 2001-2020.

## Podsumowanie

Typowe lata meteorologiczne odgrywają kluczową rolę w analizach energetycznych budynków. Używane są one powszechnie w auditingu energetycznym, metodach wyznaczania świadectw charakterystyki energetycznej budynków oraz projektowania budynków i ich instalacji wewnętrznych. Szczególną rolę odgrywają w projektowaniu instalacji ogrzewania i chłodzenia budynków, dla których źródłem energii są pompy ciepła. Analogicznie, poprawne projektowanie złożonych systemów i instalacji wytwarzania energii na miejscu w oparciu o systemy fotowoltaiczne, lub układy trigeneracji energii również wymagają całorocznych analiz energetycznych, do przeprowadzenia których niezbędne są dane typowych lat meteorologicznych dla danej lokalizacji.

Zmieniające się wymagania stawiane przez Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady Europy [16], [17] wymuszają wprowadzanie zmian w metodyce obliczeń świadectw charakterystyki energetycznej budynków poszczególnych państw członkowskich Unii Europejskiej, polegających na implementacji obliczeń godzinowych zapotrzebowania na energię użytkową budynków, do których niezbędne są zaktualizowane typowe lata meteorologiczne.

Typowe lata meteorologiczne opracowane w 2004 r. wyznaczono na podstawie parametrów meteorologicznych i klimatycznych pochodzących z lat 1971-2000. Wartości natężenia promieniowania słonecznego wykorzystane wówczas do ich utworzenia pochodzą z nieokreślonego modelu matematycznego. Z tego powodu powszechnie dostępne dane typowych lat meteorologicznych TLM1970 należy uznać za nieaktualne, co wykazano w przedstawionej analizie porównawczej.

Do powszechnego używania w systemach symulacji energetycznych i obliczeniach świadectw charakterystyki energetycznej budynków rekomenduje się dane TMY, ponieważ do ich wyznaczenia używana jest największa liczba statystyk parametrów meteorologicznych oraz są one najbardziej powszechnie stosowanym na świecie rodzajem danych typowych lat meteorologicznych. Dane tego rodzaju udostępniane są wraz z programem symulacji energetycznej EnergyPlus dla ponad 2000 lokalizacji na całym świecie w postaci plików EPW, w tym również dla Polski lecz wyznaczonych dla lat wcześniejszych niż okres 2001-2020.

W związku z tym, że przygotowane dane TLM2000 są bezpośrednim wyborem danych ze zintegrowanej bazy danych pochodzących z IMGiW oraz bazy ERA5 Copernicus wymagają one jeszcze prac związanych z uzupełnieniem braków wartości pomiarowych, które naturalnie występują w bazach pomiarów meteorologicznych, przeliczenia parametrów psychrometrycznych powietrza (np. brak wartości temperatury punktu rosy przy istniejących pomiarach temperatury termometru suchego i temperatury termometru wilgotnego), wygładzeniu połączeń parametrów pomiędzy poszczególnymi miesiącami oraz wyznaczeniu dodatkowych parametrów występujących w plikach danych dla systemów symulacji energetycznych, takich jak na przykład natężenie oświetlenia i luminancja zenitu.

Wyznaczenie dodatkowych parametrów umożliwi zapisanie danych TLM2000 w dowolnym formacie plików rozpoznawanych przez systemy symulacji

energetycznych, takich jak: EnergyPlus, ESPr, TRNSYS itp.

Wyznaczone nowe typowe lata meteorologiczne dla Polski – TLM2000 przed ich upublicznieniem wymagają jeszcze prac polegających na weryfikacji ich poprawności poprzez analizę wyników obliczeń wykonanych za pomocą systemów symulacji energetycznych. Analizy tego typu będą przedmiotem kolejnych badań i publikacji.

## Podziękowania

Artykuł został przygotowany w ramach projektu TLM2000 opracowania typowych lat meteorologicznych dla Polski na podstawie danych źródłowych z lat 2001 – 2020 realizowanego w ramach wsparcia finansowego udzielonego przez Polską Organizację Rozwoju Technologii Pomp Ciepła (PORT PC), Stowarzyszenie Producentów i Importerów Urządzeń Grzewczych (SPiUG) i firmę KAN Sp. z o.o.



## LITERATURA

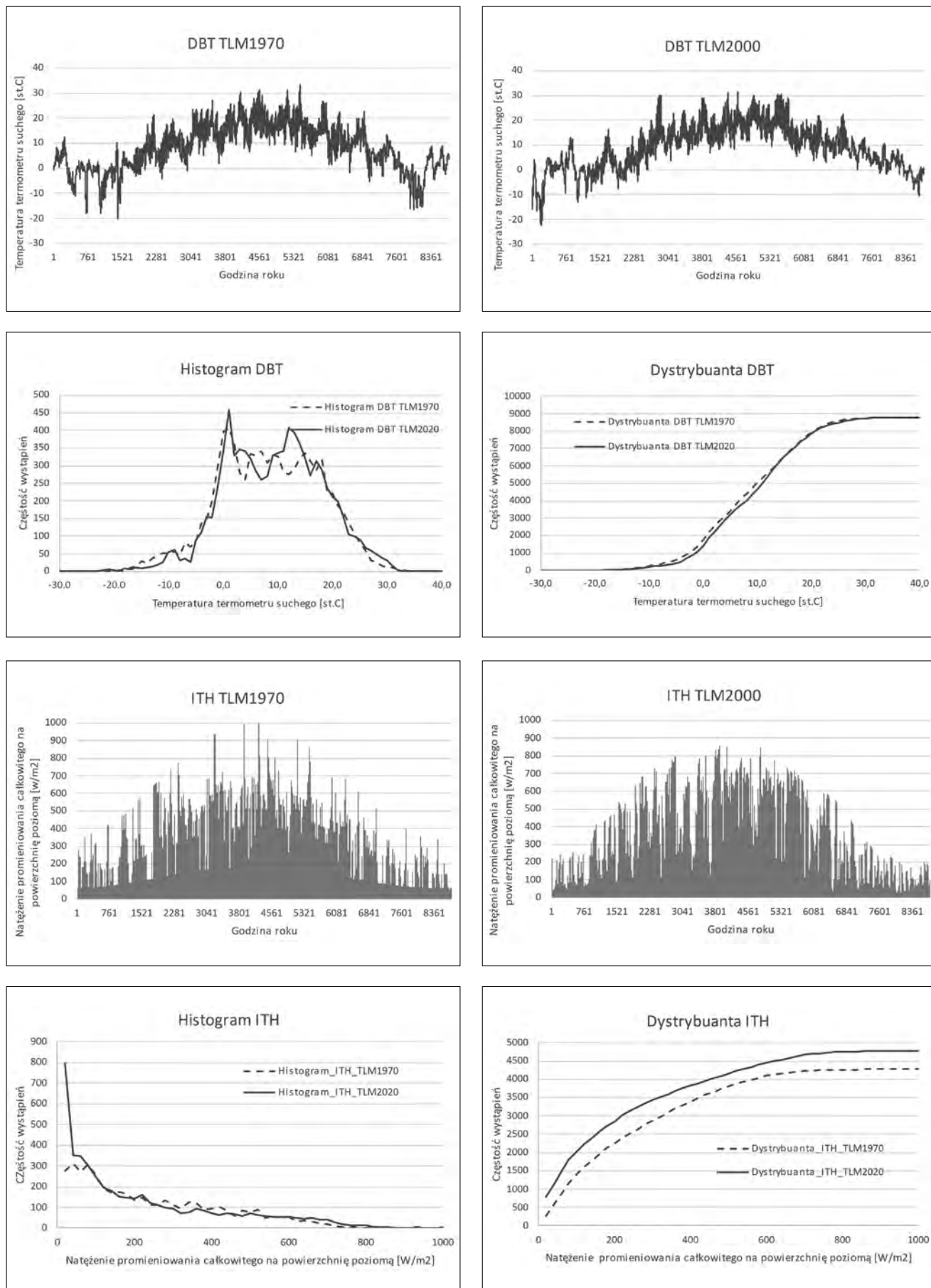
- [1] Budziński K., Narowski P., Czechowicz J., Przygotowanie zbiorów zagregowanych danych klimatycznych dla potrzeb obliczeń energetycznych budynków, Ministerstwo Infrastruktury, 2004
- [2] Narowski P., Metody wyznaczania typowych lat meteorologicznych TMY2, WYEC2 oraz według normy EN ISO 15927-4, w: Ciepłownictwo, Ogrzewanie, Wentylacja, nr 12, 2014, str. 479-485
- [3] Narowski P., Dane klimatyczne do obliczeń energetycznych, Energia i Budynek, nr 9, 2008, str. 18-24, ISSN: 1897-5879
- [4] Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków, <https://dane.gov.pl/en/dataset/797,typowe-lata-meteorologiczne-i-statystyczne-dane-klimatyczne-dla-obszaru-polski-do-obliczen-energetycznych-budynkow>, Serwis Rzeczypospolitej Polskiej
- [5] Dane pomiarowo-observacyjne Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, <https://danepubliczne.imgw.pl/>, Serwis internetowy IMGiW
- [6] Dane klimatyczne ERA5 europejskiego centrum Copernicus, [https://cds.climate.coperni-](https://cds.climate.coperni)

[cus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview](https://cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview), Serwis internetowy European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)

- [7] Globalne dane godzinowe stacji synoptycznych, <https://www.ncei.noaa.gov/>, Serwis internetowy National Centers for Environmental Information (NOAA)
- [8] WMO-No. 306, Manuals on Codes, International Codes Vol. I.1 Annex II to the WMO Technical Regulations, Part A – Alphanumeric Codes, 2019 edition
- [9] Muneer T, Solar Radiation and Daylight Models, Elsevier B&H, Second edition 2004
- [10] Marion W., Urban K., User's Manual for TMY2s Typical Meteorological Years, National Renewable Energy Laboratory, 1995
- [11] Wilcox S., Marion W., Users Manual for TMY3 Data Sets, Technical Report NREL/TP-581-43156, National Renewable Energy Laboratory, 2008
- [12] Norma PN-EN ISO 15927-4 „Ciepłota-wilgotnościowe właściwości użytkowe budynków. Obliczanie i prezentacja danych klimatycznych. Część 4: Dane godzinowe do oceny rocznego zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.”, 2007
- [13] Weather Data for Simplified Energy Calculation Methods, Volume IV. United States: WYEC Data, Pacific Northwest Laboratory, U.S. Department of Energy by Battelle Memorial Institute, 1984
- [14] Test Reference Year (TRY) Tape Reference Manual, TD-9706, National Climatic Center, Asheville, North Carolina, 1976
- [15] Finkelstein, J.M.; Schafer, R.E., Improved Goodness-of-Fit Tests, Biometrika, 1971, 58 (3), s. 641-645
- [16] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (OJ L 153, 18.6.2010, p. 13-35), zwana dalej Dyrektywa 2010/31/UE
- [17] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej (OJ L 156, 19.6.2018, p. 75-91), zwana dalej Dyrektywa 2018/844/UE
- [18] Narowski P. G., Zaktualizowane obliczeniowe temperatury powietrza zewnętrznego i strefy klimatyczne Polski do wyznaczania projektowego obciążenia cieplnego dla ogrzewania budynków, Rynek Energii, 2020, vol. 148, nr 3, s.30-40

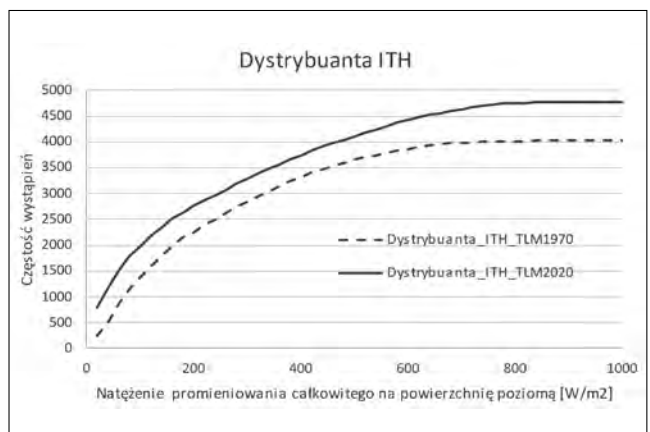
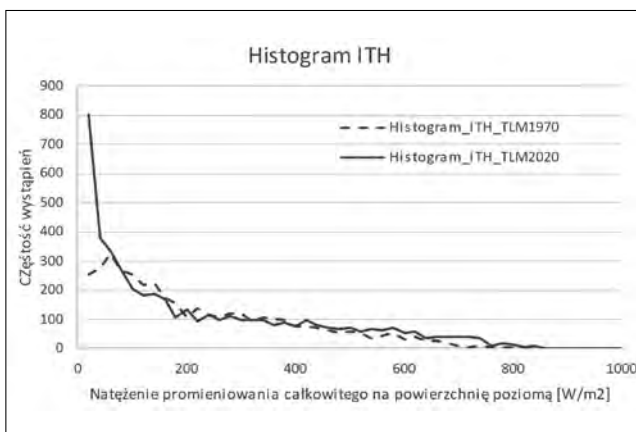
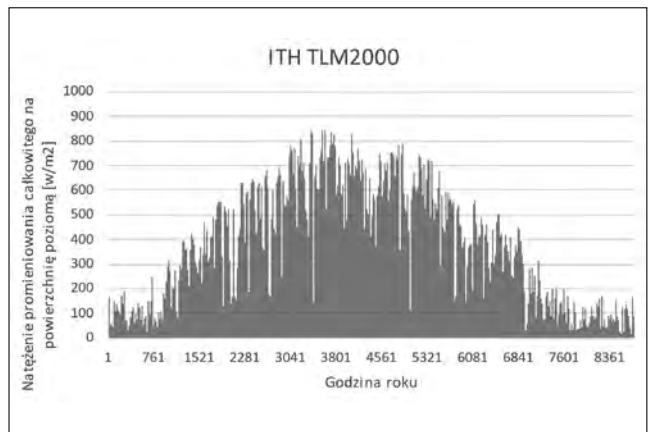
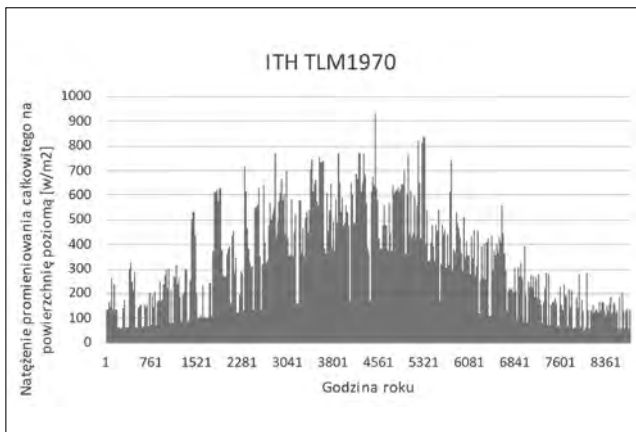
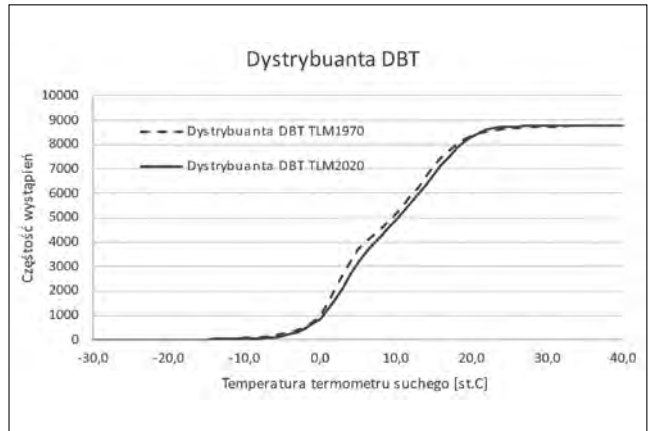
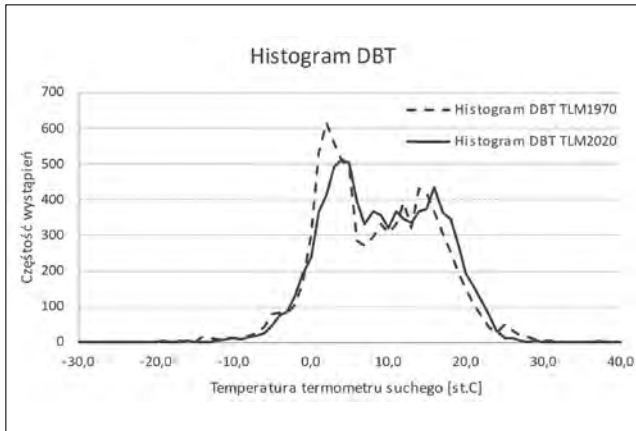
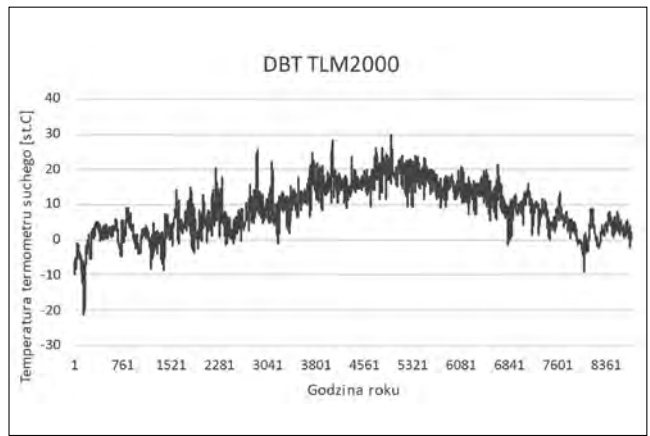
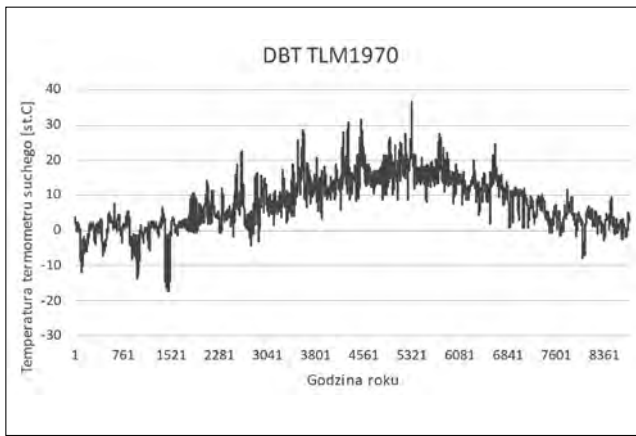
## Załącznik

Na wykresach przedstawionych na rysunkach od Z1 do Z5 przedstawiono porównanie przebiegów zmienności temperatury termometru suchego oraz natężenia całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą wraz z histogramami i dystrybucjami tych parametrów w typowych latach meteorologicznych TLM1970 (lata 1971-2000) i TLM2000 (lata 2001 – 2020) dla analizowanych stacji meteorologicznych: Warszawa (kod stacji 375), Łeba (kod stacji 140), Zielona Góra (kod stacji 400), Siedlce (kod stacji 385) i Zakopane (kod stacji 625).

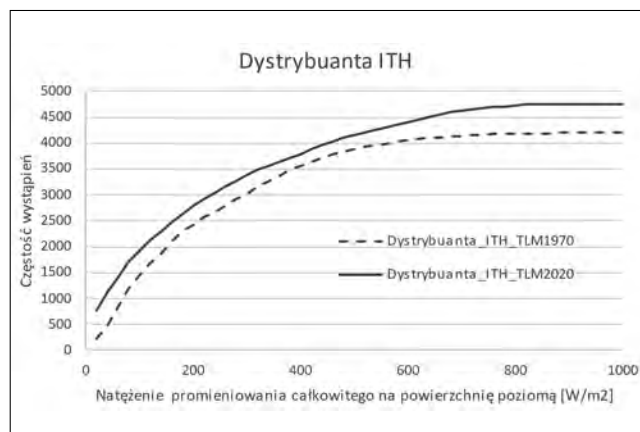
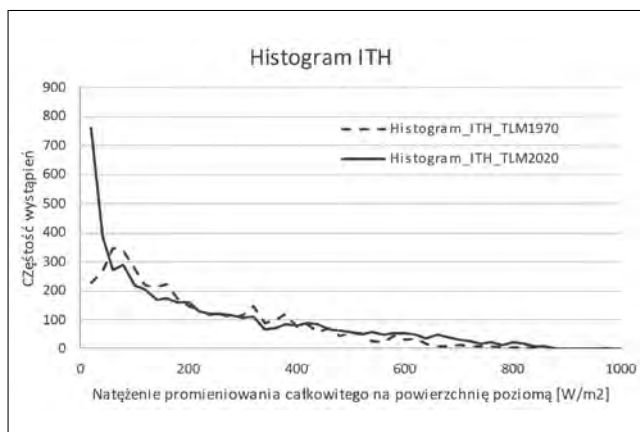
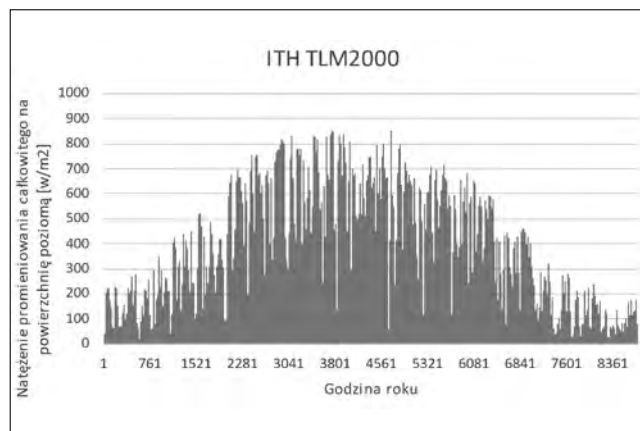
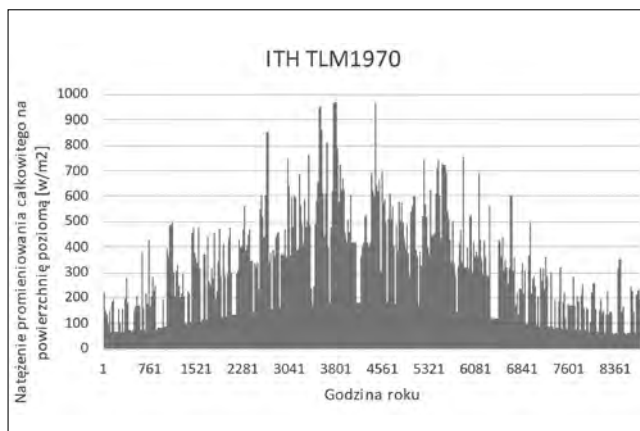
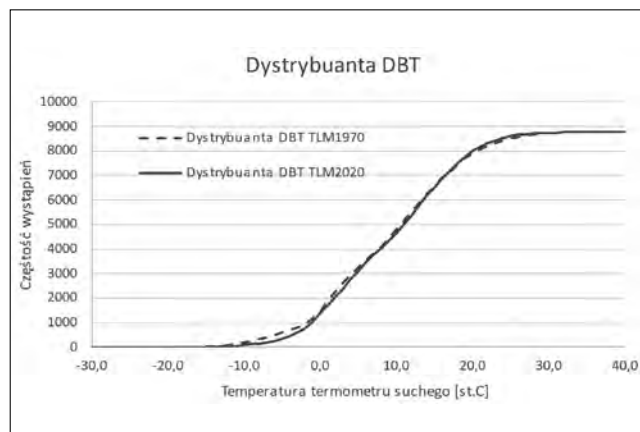
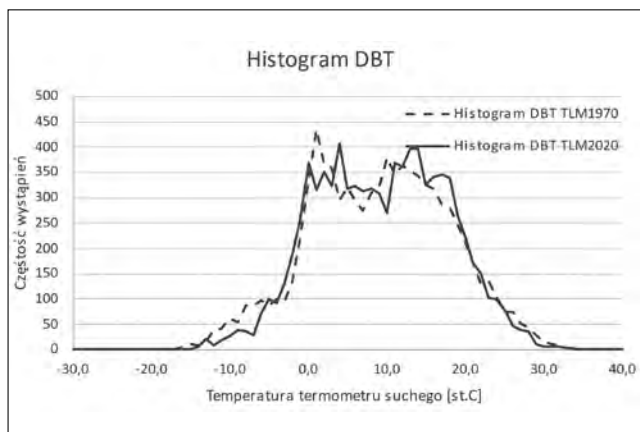
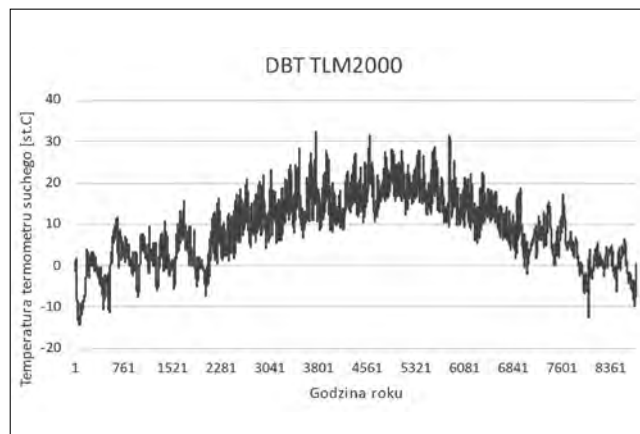
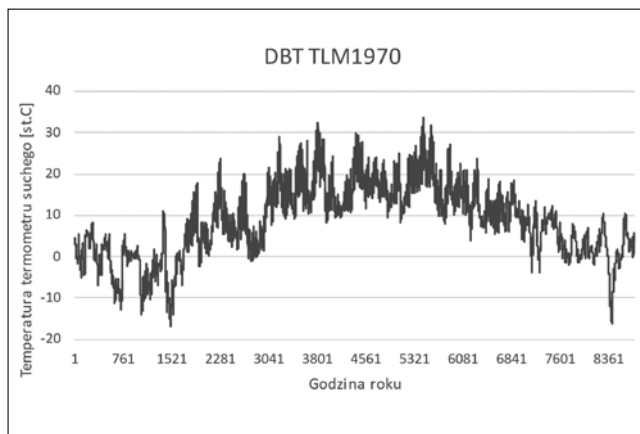


Rys. Z1

Przebiegi zmienności temperatury termometru suchego i całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą oraz histogramy i dystrybuanty dla TLM1970 i TLM2020 dla Warszawy

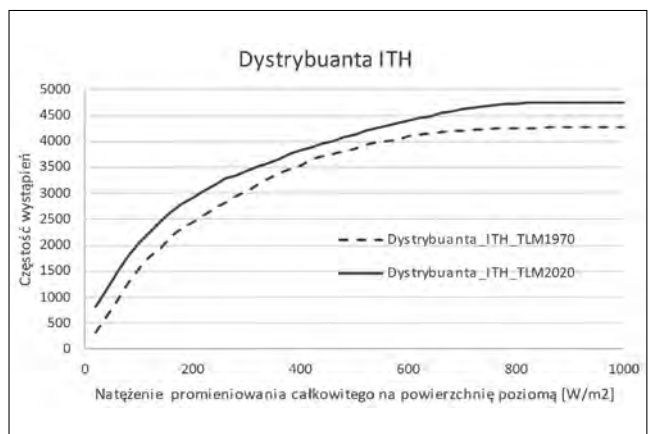
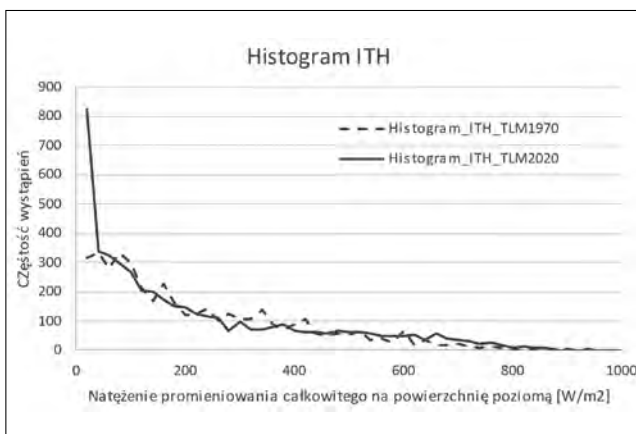
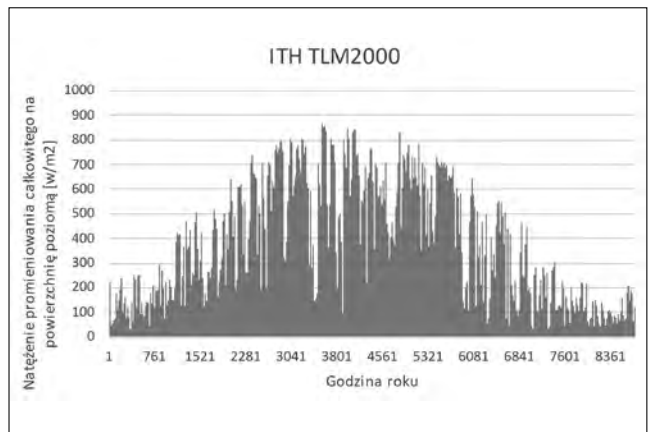
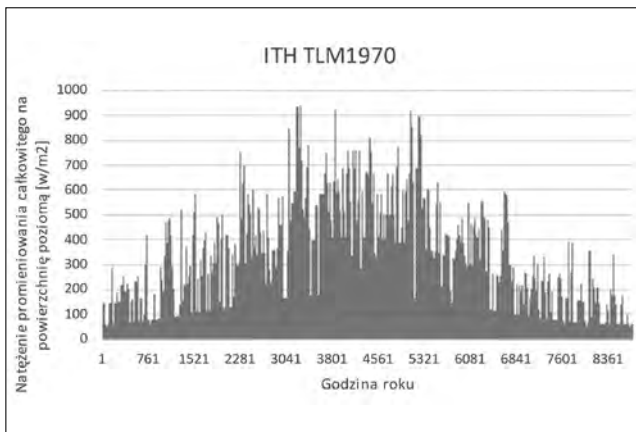
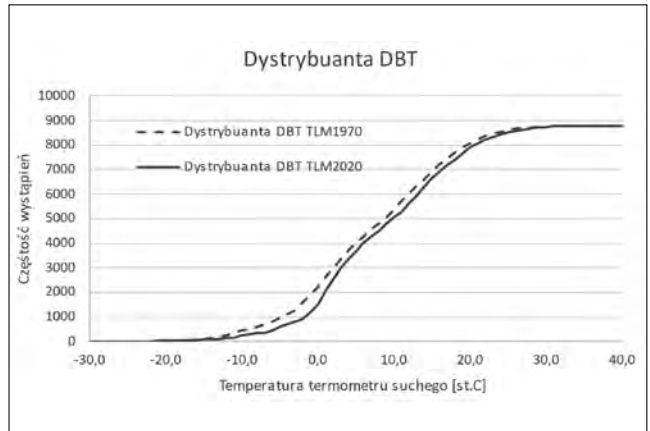
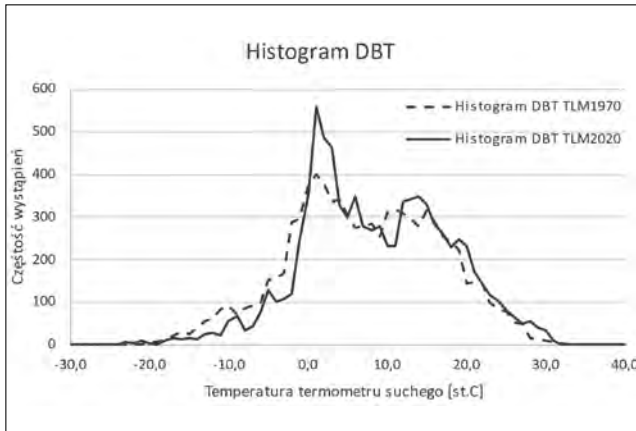
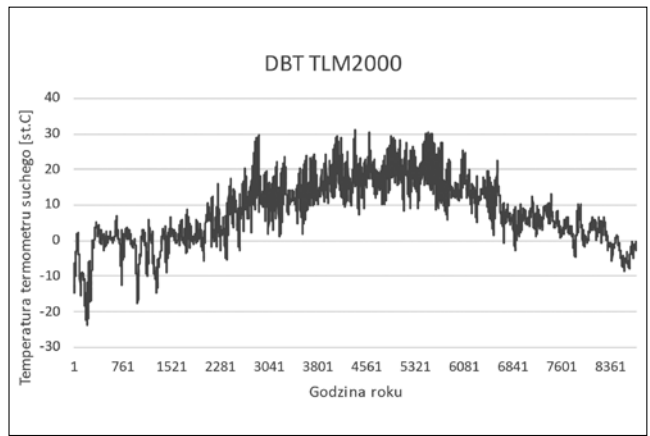
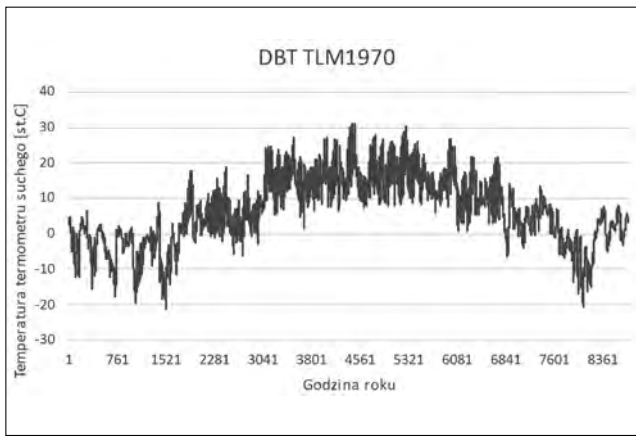


**Rys. Z2** Przebiegi zmienności temperatury termometru suchego i całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą oraz histogramy i dystrybuanty dla TLM1970 i TLM2000 dla łęby

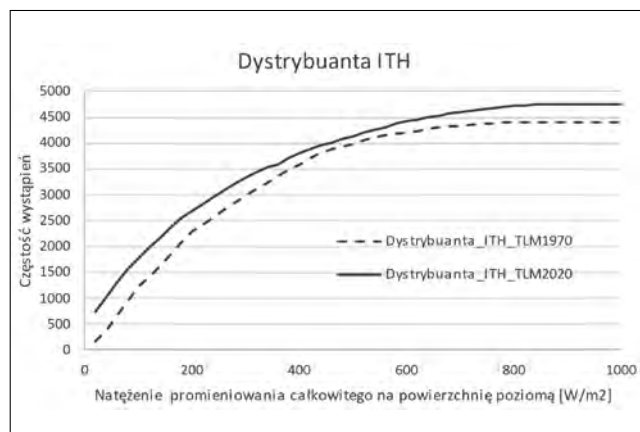
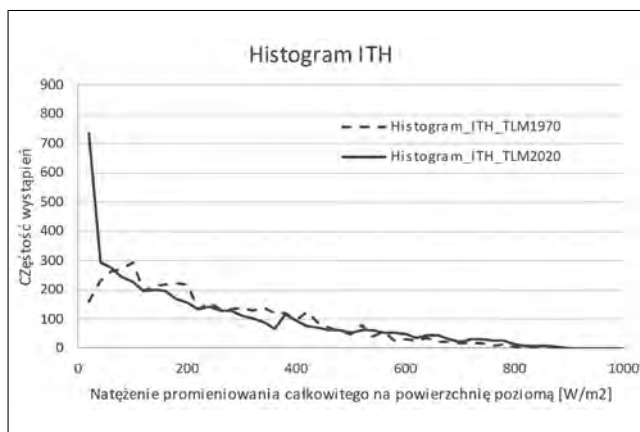
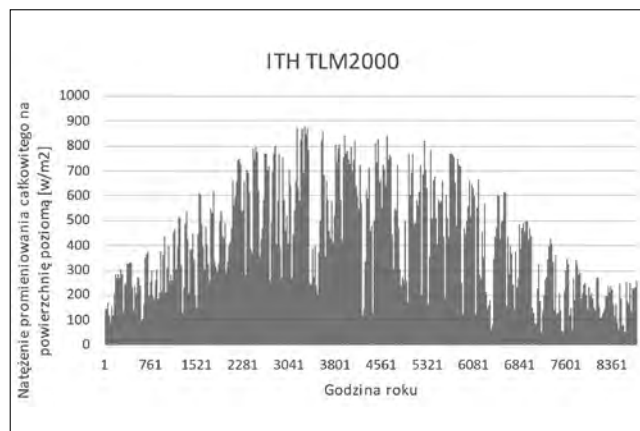
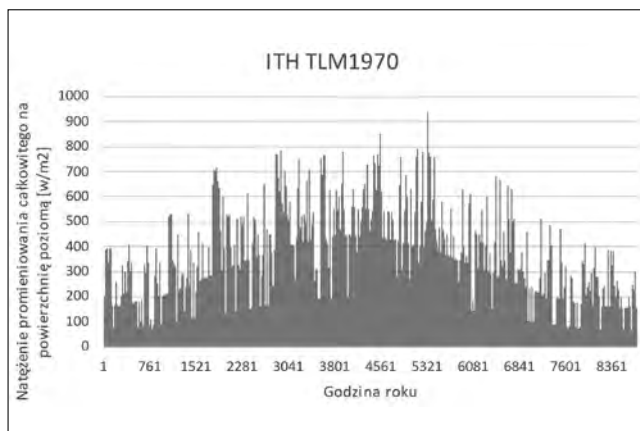
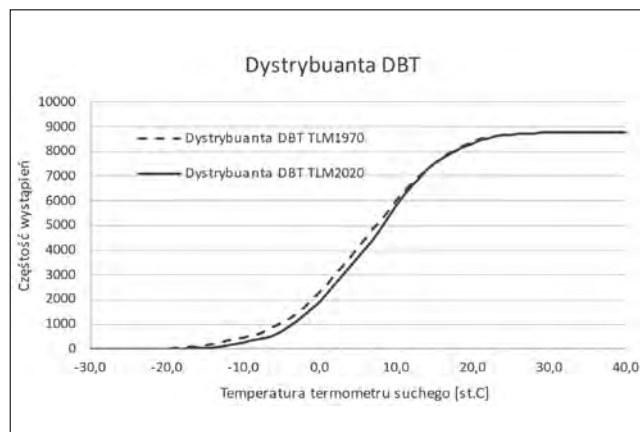
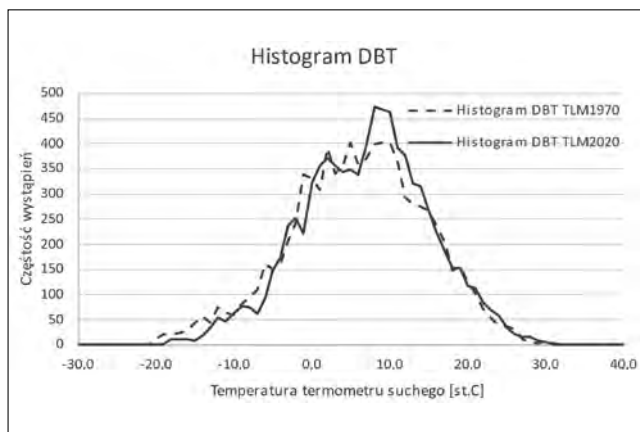
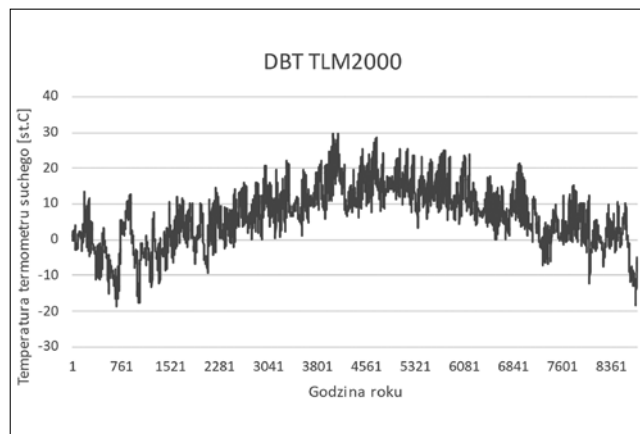
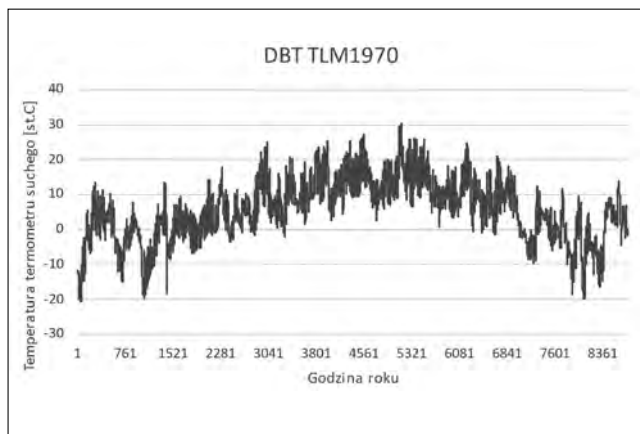


Rys. Z3

Przebiegi zmienności temperatury termometru suchego i całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą oraz histogramy i dystrybuanty dla TLM1970 i TLM2000 dla Zielonej Góry



**Rys. Z4**  
Przebiegi zmienności temperatury termometru suchego i całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą oraz histogramy i dystrybuanty dla TLM1970 i TLM2000 dla Siedlec



Rys. Z5

Przebiegi zmienności temperatury termometru suchego i całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą oraz histogramy i dystrybuanty dla TLM1970 i TLM2000 dla Zakopanego