

# WPLYW CZYNNIKÓW ZEWNĘTRZNYCH I WEWNĘTRZNYCH NA ZUŻYCIE ENERGII CIEPLNEJ NA POTRZEBY OGRZEWANIA BUDYNKÓW

Małgorzata Basińska

*Zakład Ogrzewnictwa, Klimatyzacji i Ochrony Powietrza, Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska, Poznań*

## 1 WSTĘP

Dla zapewnienia wymaganej temperatury wewnętrznej w budynku, niezbędnej do utrzymania komfortu cieplnego w ogrzewanym pomieszczeniu przy możliwie najmniejszym zużyciu energii pierwotnej, przeprowadza się analizy zjawisk związanych z przepływem ciepła w budynku oraz wpływu różnych czynników zakłócających. Budynek o danych parametrach projektowych zlokalizowany w danym klimacie poddany jest działaniu:

- zmiennych w czasie elementów i procesów klimatycznych tj.: temperatura powietrza zewnętrznego, ilość energii promienistej, wilgotność powietrza oraz wietrzność;
- czynników związanych z instalacją ogrzewczą i sterującą tj.: parametry regulacyjne, czas użytkowania, właściwości dynamiczne instalacji, źródła ciepła oraz budynku;
- czynników związanych ze sposobem użytkowania budynku tj.: intensywność wymiany powietrza na drodze wentylacji naturalnej oraz wewnętrzne źródła ciepła.

Wpływ parametrów projektowych, operacyjnych (eksploatacyjnych) oraz zakłócających oddziałujących na budynek można opisać poprzez liczbę stopniodni w ujęciu dynamicznym, których liczba jest proporcjonalna do ilości energii cieplnej niezbędnej do utrzymania komfortu cieplnego w budynku.

## 2 CELE BADAWCZE PRACY

Podstawowe cele badawcze pracy to:

- szczegółowa analiza zmienności elementów klimatycznych;
- aproksymacja ich zmienności pewnym rozkładem prawdopodobieństwa;
- określenie korelacji elementów klimatycznych;
- opracowanie metody wyboru roku porównawczego z ciągu lat pomiarowych oraz określenie charakterystyki tego roku;
- zastosowanie do analiz zużycia energii stopniodni w ujęciu dynamicznym polegające na uwzględnieniu wpływu na system ogrzewania zmienności czynników zewnętrznych i wewnętrznych, takich jak: promieniowanie słoneczne, zmienność temperatury zewnętrznej, zyski przypadkowe.

Do analizy zmienności stopniodni w ujęciu dynamicznym posłużono się własnym efektywnym modelem obliczeniowym realizującym bilans energetyczny budynku w chwilowych stanach ustalonych w rzeczywistych warunkach dobowych klimatu zewnętrznego z uwzględnieniem współczynnika efektywności wykorzystania zysków słonecznych i wewnętrznych.

## 3 BADANIA ZMIENNOŚCI ELEMENTÓW KLIMATU ZEWNĘTRZNEGO

Analizie poddano zmiany mikroklimatyczne czyli zmiany zjawisk i procesów klimatycznych w okresie pomiarowym II'94 do XII'99 (długoterminowa zbieżność) występujące w zasięgu lokalnym, dla których analizy wystarczające są

dane z jednej stacji pomiarowej zlokalizowanej na terenie Politechniki Poznańskiej (rys. 1.).



Rys. 1. Obiekt doświadczalny Politechniki Poznańskiej, Instytutu Inżynierii Środowiska.

## 4 ROK REPREZENTATYWNY

### 4.1 Rok średni

Rok średni został utworzony z uśredniania po godzinowych wartościach elementów klimatycznych dla wszystkich lat pomiarowych. Brakujące w wyniku awarii systemu pomiarowego dane, do analiz statystycznych uzupełnione najczęściej wartościami średnio-miesięcznymi, nie stanowiły wkładu w wartości uśrednione. Powstał w ten sposób średni rok statystyczny o statystycznej charakterystyce przedstawionej w tabeli (tab. 1.).

Tabela 1. Statystyki opisowe roku średniego.

średnia	PU <sub>l</sub>	PU <sub>p</sub>	mediana	min
9,5	9,3	9,6	9,2	-8,9
max	rozstęp	odchylenie standardowe		wariancja
28,7	37,7	8,0		63,2

### 4.2 Wybór roku reprezentatywnego

Zaproponowano wybór roku reprezentatywnego w oparciu o metodę porównawczego roku ASHRAE z analizą różnicy wariancji roku średniego i pomiarowego. Wartości godzinowe 8760 elementów temperatury dla każdego roku porównano z wartościami godzinowymi roku średniego utworzonego z uśrednienia wartości godzinowych okresu pomiarowego bez uzupełniania brakujących danych. Metoda porównaw-

czego roku ASHRAE pozwoliła na eliminację roku ekstremalnego – 1996.

Wariancja będąca miarą rozproszenia informuje nas o rozrzucie od wartości oczekiwanej.

$$\text{Jeżeli } Z_i = \bar{x}_{t_i} - x_{t_i}^{\text{rok pomiarowy}} \quad (1)$$

gdzie:

$\bar{x}_{t_i}$  - i-ty element temperatury roku średniego,  
 $x_{t_i}^{\text{rok pomiarowy}}$  - i-ty element temperatury analizowanego roku pomiarowego;

to  $\text{Var}(Z)$  jest miarą dopasowania elementów próby do wartości średnich. Minimalna wartość  $\text{min Var}(Z)$  jest kryterium wyboru roku reprezentatywnego. W (tab. 2.) przedstawiono wartości  $Z$  dla lat pomiarowych.

Tabela 2. Wariancja funkcji  $Z$  dla lat pomiarowych 1996 do 99.

	1996	1997	1998	1999
$\text{Var}(Z) [^{\circ}\text{C}^2]$	14.59	14.61*	15.80	16.52

Rokiem reprezentatywnym wybrano rok 1997, po odrzuceniu roku 1996 tzw. roku ekstremalnego wchodzącego w obliczenia roku średniego. Poprawność dokonanego wyboru potwierdza współczynnik korelacji temperatur średnio-dobowych roku średniego z temperaturami lat pomiarowych. W tabeli (tab. 3.) przedstawiono wartości współczynnika korelacji dla całego roku, okresu zimowego i letniego.

Tabela 3. Współczynniki korelacji temperatury powietrza zewnętrznego roku pomiarowego i średniego.

	1996	1997	1998	1999
rok średni	0,92*	0,89*	0,88*	0,88*
rok średni – okres zimowy	0,86*	0,68*	0,68*	0,68*
rok średni – okres letni	0,78*	0,82*	0,75*	0,66*

\* korelacja istotna na poziomie  $\alpha = 0,01$ .

Charakterystykę opisową roku reprezentatywnego 1997 przedstawiono w tabeli (tab. 4.).

Tabela 4. Statystyki opisowe roku reprezentatywnego 1997.

średnia	PU <sub>l</sub>	PU <sub>p</sub>	mediana	min
9,5	9,8	10,1	9,4	-14,5
max	rozstęp	odchylenie standardowe		wariancja
36,7	51,2	8,4		71,0

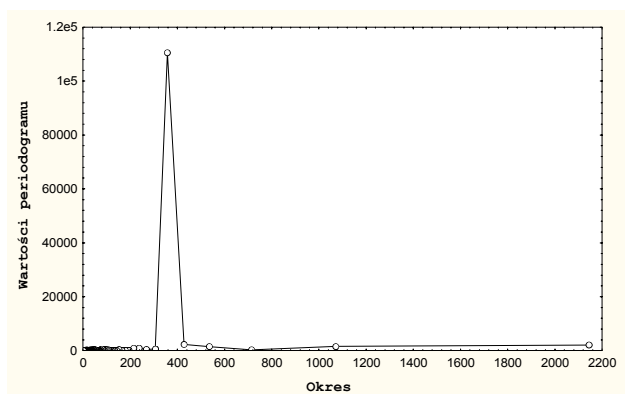
### 4.3 Charakterystyka statystyczna elementów i procesów klimatycznych

Wykonując analizy dynamiczne procesów wymiany ciepła w budynku wykorzystuje się ciągi danych klimatycznych reprezentatywne dla danej lokalizacji analizowanego obiektu. Temperatury projektowe są określane na podstawie temperatur najwyższych i najniższych, na jakie można liczyć z pewną określoną częstotliwością. Użyteczność danych oparta jest na założeniu, że poziom częstotliwości w określonym odcinku czasu będzie powtarzalny w przyszłości. Natomiast wartości średnie wykorzystywane są do oceny zachowania budynku w danym okresie czasu. Wydaje się, że tylko analiza stochastyczna pozwala na odwzorowanie losowego charakteru przebiegu elementów klimatycznych.

#### 4.3.1 Temperatura powietrza zewnętrznego

W celu znalezienia odpowiedzi na pytanie: *Czy mamy do czynienia z ociepleniem klimatu?*, dane pomiarowe temperatury powietrza zewnętrznego zgrupowano w jeden ciąg pomiarowy zawierający 2145 elementów temperatury średniej dobowej.

Dokonano analizy danych wykorzystując szeregi czasowe. Z danych można wyodrębnić składnik systematyczny oraz losowy szum (zakłócenie) utrudniające identyfikację struktury zjawiska. Analiza widmowa identyfikuje korelację funkcji sinus i cosinus o różnej częstotliwości z obserwowanymi danymi [1,3,6]. Duża wartość przy sinusie lub cosinusie informuje o silnej okresowości w danej częstotliwości. Z przedstawionego periodogramu (rys. 2.) wynika, że największa wartość współczynnika cosinus, jak należało przewidywać, jest dla okresu w przybliżeniu rocznego ( $\nu=357$ ).



Rys. 2. Periodogram dla temperatury powietrza zewnętrznego.

Można opisywać rozkład badanej cechy przy pomocy pierwszej harmonicznej i średniej wg poniższej zależności:

$$X_{t_{DR}} = 9,92 - 10,0121 \cos [2\pi * 0,002799 (t_{DR} - 1)] + 1,68568 \sin [2\pi * 0,002799 (t_{DR} - 1)] \quad (2)$$

gdzie:

$$t_{DR} = \begin{cases} DR - 320 & \text{dla } DR \leq 45 \\ DR - 45 & \text{dla } DR > 45 \end{cases}$$

DR – dzień roku.

Wartość obserwowanego zjawiska rozważano jako funkcję zmiennej czasowej  $X_t(\tau)$  oraz zakłóceń losowych. Wyróżniono następujące składowe szeregu czasowego:

- trend (T),
- wahania sezonowe (o okresie równym jeden rok) (S),
- wahania losowe ( $\epsilon_t$ ).

Proces można zatem opisać zależnością:

$$X_t = T + S + \epsilon_t \quad (3)$$

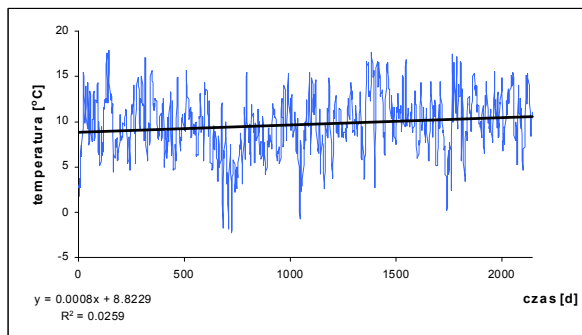
Założono addytywny przebieg procesu, czyli wymienione składowe nakładają się poprzez sumowanie, przy założeniu okresu równego 365 dni. Wyszczególniony trend aproksymowano linią

$$y = ax + b \quad (4)$$

otrzymując:

$$a = 0.0008, b = 8.8229 \text{ (rys. 3.)}$$

Dodatnią wartość współczynnika kierunkowego interpretuje się jako wskaźnik ocieplenia, z 5-cio letniej bazy danych, zbyt krótkiej do określenia tendencji wieloletniej.

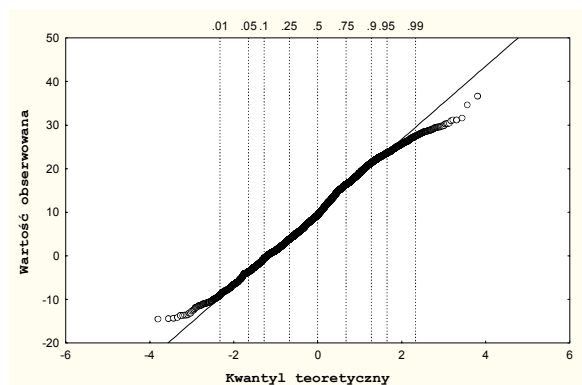
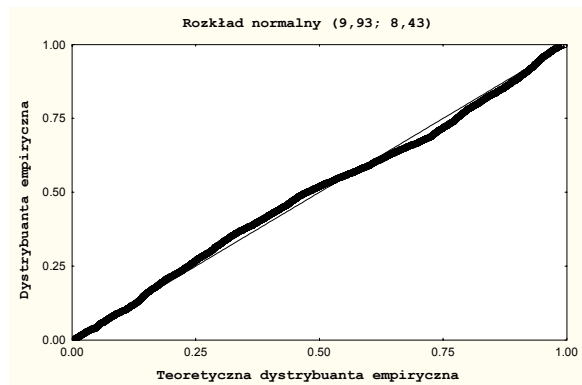
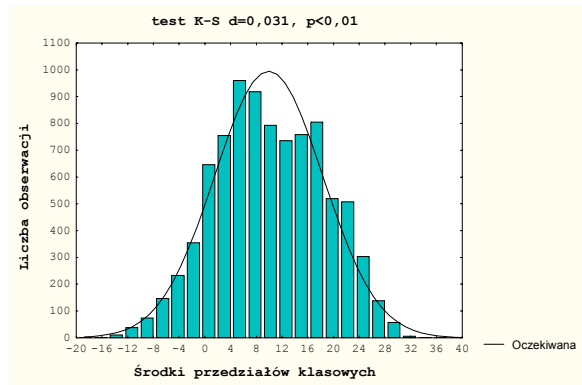


Rys. 3. Trend temperatury powietrza zewnętrznego.

Zmienna losowa  $X_t(\tau)$  jest realizacją zmian temperatury powietrza zewnętrznego w czasie. Ponieważ zmienna ta jest ograniczona, to znaczy

dla każdego roku może przyjmować wartości z zakresu  $(t_e^{\max}, t_e^{\min})$ , to istnieje jej wartość oczekiwana  $EX_t$  i wariancja  $VarX_t$ .

Dokonano weryfikacji hipotezy  $H_0$  o normalności rozkładu temperatury powietrza zewnętrznego. Wykorzystano test zgodności Kołmogorowa–Smirnowa.



Rys. 4. Aproksymacja zmienności temperatury powietrza zewnętrznego w 1997 roku rozkładem normalnym.

Na histogramie licznosci przedstawiono aproksymację rozkładem normalnym zmian godzinowych elementu klimatycznego jakim jest temperatura. Dla weryfikacji tezy o normalności rozkładu godzinowych wartości temperatury powietrza przedstawiono dodatkowo rysunki K–K i P–P odpowiednio kwartyła wartości danej i teoretycznej oraz dystrybuanty wartości danej

i teoretycznej. Na podstawie przeprowadzonej weryfikacji można stwierdzić, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$  o normalności rozkładu temperatury powietrza zewnętrznego.

Jeśli kolejne wartości zaobserwowane w danych pomiarowych oznaczymy jako  $x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{tn}$ , to funkcję  $F_n$  określoną dla każdego  $x_t \in R$  wzorem:

$$F_n(X_t) = \frac{1}{n} \text{Card } A \{i : X_{t_i} < X_t \text{ dla } i = 1, 2, \dots, n\} \quad (5)$$

nazywać będziemy dystrybuantą empiryczną. Dystrybuanta empiryczna jest więc dystrybuantą zmiennej losowej typu dyskretnego o punktach skokowych  $X_{t_i}$ .

$$F_n(X_t) = \begin{cases} 0 & \text{dla } X_t \leq X_{t_1} \\ \frac{k}{n} & \text{dla } X_{t_k} < X_t \leq X_{t_{k+1}} \\ 1 & \text{dla } X_{t_n} < X_t \end{cases} \quad (6)$$

Dystrybuanta rozkładu dostarcza nam informacji o prawdopodobieństwie wystąpienia temperatury niższej od zadanej.

Przy przyjęciu prawdopodobieństwa wystąpienia danej temperatury w okresie całorocznym na poziomie 1 %, 2,5 % oraz 5 % dla okresu zimowego oraz 99 %, 97,5 % dla okresu letniego temperatura obliczeniowa winna wynosić (tab.5.)

Tabela 5. Temperatury zewnętrzne obliczeniowe [°C] przy danym poziomie prawdopodobieństwa.

	Okres zimowy			Okres letni	
	1 %	2,5 %	5 %	99 %	97,5 %
1995	-11,5	-8,3	-5,4	30,2	26,9
1996	-14,4	-10,9	-7,9	29,7	26,6
1997	-9,7	-6,6	-3,9	29,5	26,5
1998	-9,2	-6,1	-3,5	30,0	26,9
1999	-8,6	-5,5	-2,8	30,5	27,4

Wysoce dyskusyjne jest, na potrzeby projektowania instalacji ogrzewczych, przyjmowanie temperatury zewnętrznej obliczeniowej na poziomie  $t_e = -18 \text{ °C}$  dla II strefy klimatycznej; ale ciąg pomiarowy, na podstawie którego zostały wyciągnięte przedstawione wnioski jest zbyt krótki (analizę przeprowadzono na podstawie godzinowych danych od 15.02.94 do 31.12.99 roku), aby móc stawiać wniosek o weryfikacji parametrów obliczeniowych.

### 4.3.2 Natężenie promieniowania słonecznego

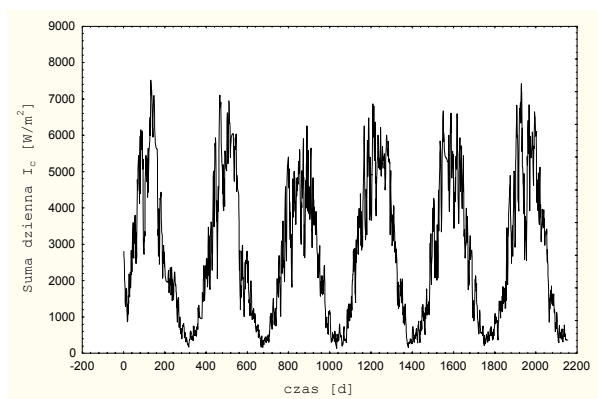
Podstawowym zadaniem w identyfikacji sum miesięcznych natężenia promieniowania słonecznego jest określenie przebiegu zmian w czasie. Ponieważ proces klimatyczny jakim jest promieniowanie słoneczne tworzy szereg czasowy o składowej deterministycznej oraz składniku losowym, można proces ten przedstawić wg zależności:

$$X_p = S + \varepsilon_p \quad (7)$$

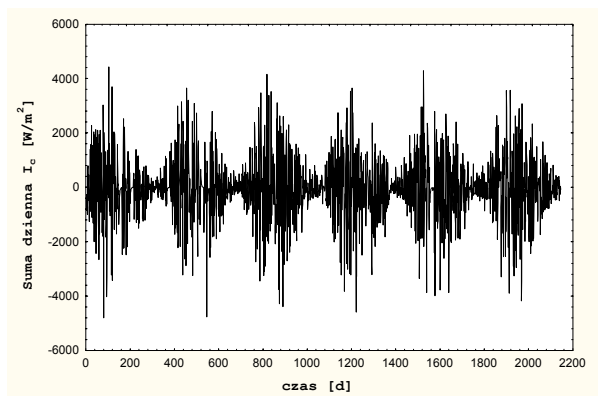
gdzie:

$S$  – składnik sezonowy,  
 $\varepsilon_p$  - składnik losowy, ciąg szumów.

W wyniku przeprowadzonej analizy wyrównania wykładniczego dla danych sum dziennych natężenia promieniowania słonecznego wyszczególniono składową deterministyczną oraz szum, których zmienność przedstawiono odpowiednio na rys. 5. i rys.6.



Rys. 5. Składowa deterministyczna sum dziennych natężenia promieniowania słonecznego.



Rys. 6. Składowa losowa sum dziennych natężenia promieniowania słonecznego.

Można opisać rozkład badanej cechy (sum dziennych natężenia całkowitego promieniowania słonecznego) przy pomocy pierwszej harmonicznej i średniej wg poniższej zależności:

$$X_{pDR} = 2804,7 - 2075 \cos [2\pi * 0,002799 (p_{DR} - 1)] + 1377 \sin [2\pi * 0,002799 (p_{DR} - 1)] \quad (8)$$

gdzie:

$$p_{DR} = \begin{cases} DR - 320 & \text{dla } DR \leq 45 \\ DR - 45 & \text{dla } DR > 45 \end{cases}$$

DR – dzień roku.

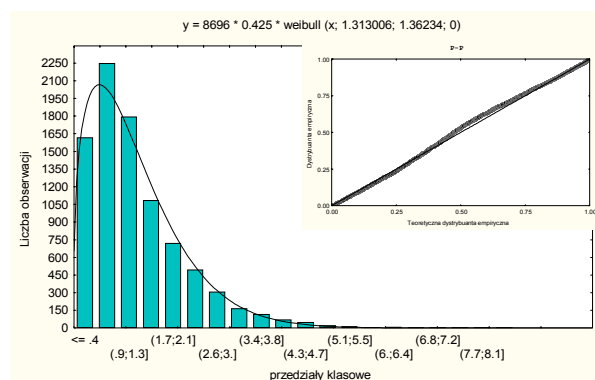
### 4.3.3 Prędkość i kierunek wiatru

Postawiono hipotezę  $H_0$  o aproksymacji zmiennej losowej  $X_v$  rozkładem:

- gamma;
- normalnym;
- log-normalnym;
- Weibulla.

W wyniku analizowania bardzo dużej liczby danych i posługiwanie się programem statystycznym bez możliwości przeprowadzenia testu statystycznego Kołmogorowa–Smirnowa dla rozkładu Weibulla i Rayleigha, zdecydowano się na ocenę dopasowania teoretycznej funkcji rozkładu prawdopodobieństwa do danych pomiarowych poprzez wykres prawdopodobieństwo–prawdopodobieństwo (P–P) oraz kwartył–kwartył (K–K).

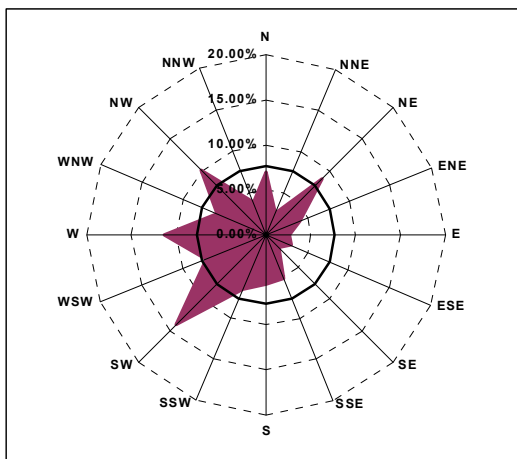
Dla wszystkich lat pomiarowych rozkładem teoretycznym najlepiej aproksymującym zmienność prędkości wiatru w czasie okazał się rozkład Weibulla.



Rys. 7. Aproksymacja godzinowych wartości prędkości wiatru roku 1997 teoretycznym rozkładem prawdopodobieństwa Weibulla.

Istotną cechą wiatru obok prędkości jest również kierunek. Kierunek wiatru jest podawany najczęściej według ośmioramiennej lub szes-

nastoramienniej róży wiatrów, która charakteryzuje siłę wiatru oraz jego kierunek w liczbach obserwacji wyrażonych procentowo (czyli określa częstotliwość występowania danych wartości). Dla techniki ogrzewania szczególne znaczenie mają wiatry o większych prędkościach w zimie ( $v \geq 5$  m/s), gdyż zwiększają one udział ciepła infiltracji w całkowitym zapotrzebowaniu na ciepło.



Rys. 8. Róża wiatru dla roku 1997.

Przy przyjęciu prędkości istotnej na poziomie 5 m/s wynika, że w 49 % są to wiatry zachodnie.

#### 4.4 Korelacje elementów klimatycznych

W statystyce używa się wielu miar siły powiązań między zmiennymi. Wybór odpowiednich z nich zależy od ilości zmiennych, skali pomiarowych oraz od natury badanych relacji. Dla bazy danych pomiarowych wyznaczono dla wszystkich lat pomiarowych empiryczne współczynniki korelacji.

Zanalizowano następujące składowe procesu pogody:

- $t_e^d(n)$  – temperatura średnio-dobowa,
  - $q_s^d(n)$  – dobowa suma całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na płaszczyznę poziomą,
  - $v^d(n)$  – prędkość wiatru średnio-dobowa,
  - $x^d(n)$  – zawartość wilgoci średnio-dobowa,
- gdzie  $n$  jest numerem kolejnego dnia w roku.

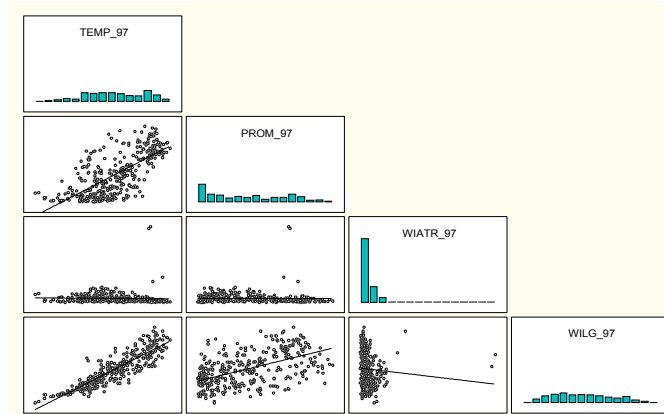
Uzyskane macierze empirycznych współczynników korelacji łącznie dla całego roku świadczą o dużym prawdopodobieństwie istnienia pewnej liniowej stochastycznej zależności pomiędzy niektórymi zmiennymi losowymi opisującymi klimat.

Tabela 6. Współczynniki korelacji dla elementów klimatycznych.

1997	$X_t$ [°C]	$X_p$ [W/m <sup>2</sup> ]	$X_v$ [m/s]	$X_x$ [g/kg]
$X_t$ [°C]	1,000	0,720*	-0,037	0,902*
$X_p$ [W/m <sup>2</sup> ]	0,720*	1,000	-0,012	0,555*
$X_v$ [m/s]	-0,037	-0,012	1,000	-0,080
$X_x$ [g/kg]	0,902*	0,555*	-0,080	1,000

\* oznacza korelacje istotne na poziomie  $\alpha = 0,05$ .

Dla lat pomiarowych wyznaczone współczynniki są istotne z poziomem prawdopodobieństwa  $\alpha = 0.05$  dla wszystkich elementów pogodowych z wyjątkiem prędkości wiatru w roku 1997 (tab. 6.). Na rysunku (rys. 9.) przedstawiono proste regresji.



Rys. 9. Proste regresji między zmiennymi klimatycznymi dla roku 1997.

## 5 ZMIENNOŚĆ LICZBY STOPNIODNI DYNAMICZNYCH OKRESU OGRZEWANIA

### 5.1 Przyjęta metoda analizy

W celu wykonania analizy zmienności temperatury bazowej i liczby stopniodni przy różnych założeniach wykorzystano algorytm obliczeń chwilowych stanów stacjonarnych w rzeczywistych warunkach klimatu zewnętrznego. Zastosowano następujące zależności obliczeniowe:

$$Sd_z = \sum_{m=1}^{Ld} [t_b(d) - t_e^{sr}] \tag{9}$$

gdzie:

- $t_b(d)$  – temperatura bazowa dnia [°C],
- $t_e^{sr}$  – średnia dobowa temperatura powietrza zewnętrznego [°C],
- $Ld$  – liczba dni ogrzewania [-].

Metoda oparta jest na bilansie energetycznym w stanie stacjonarnym dla budynku z uwzględnieniem zysków wewnętrznych i słonecznych oraz dynamiki ich oddziaływania.

Temperaturę  $t_b$  można wyznaczyć dla każdego dnia wg zależności:

$$t_b(d) = t_i^e - \frac{\eta(d)[Q_i(d) + Q_s(d)]}{C} \quad (10)$$

gdzie:

$\eta(d)$  – współczynnik wykorzystania zysków ciepła w dniu

$$\eta(d) = 1 - e^{-\frac{1}{GLR}} \quad (11)$$

GLR – stosunek zysków do strat wg zależności

$$GLR = \frac{Q_s(d) + Q_i(d)}{Q_{strat}(d)} \quad (12)$$

gdzie:

$Q_s(d)$  – dobowe zyski słoneczne [Wh/d];  
 $Q_i(d)$  – dobowe zyski wewnętrzne [Wh/d];  
 $Q_{strat}(d)$  – dobowe straty ciepła budynku [Wh/d].

Z wcześniejszych wyników badań przeprowadzonych różnicowym modelem numerycznym uzyskano zmienność  $\eta$  w funkcji GLR dla warunków średniego roku porównawczego m. Poznania. Wynikiem jest kilkutyśięczny zbiór punktów przedstawiony na rysunku (rys. 10).

Analizowano zależności pomiędzy  $\eta$  a GLR postaci:

- krzywa ISO wyrażona zależnością (11),
- krzywa ISO-ideal wyrażona zależnością [2]:

$$\eta = \begin{cases} 1 & \text{dla } GLR < 1 \\ \frac{1}{GLR} & \text{dla } GLR \geq 1 \end{cases} \quad (13)$$

- krzywa R-2 (z dopuszczalnym dwustopniowym przegrzewem dla budynków masywnych) wyrażona zależnością [4,5]:

$$\eta = 1 - B_0 \exp^{-\frac{B_1}{GLR}} \quad (14)$$

dla:

$$B_0 = 0,824$$

$$B_1 = 1,820$$

- własna krzywa estymacji będąca dopasowaniem zadeklarowanej funkcji metodą najmniejszych kwadratów z danych godzinowych, otrzymanych w wyniku analizy zachowania termicznego obiektu przy pomocy modelu różnicowego postaci:

Metoda oparta jest na bilansie energetycznym w stanie stacjonarnym dla budynku z uwzględnieniem zysków wewnętrznych i słonecznych oraz dynamiki ich oddziaływania.

$$\eta = \begin{cases} 1 - B_0 \exp^{-\frac{B_1}{GLR^{B_2}}} & \text{dla } GLR < 1,7 \\ \frac{1}{GLR} & \text{dla } GLR \geq 1,7 \end{cases} \quad (15)$$

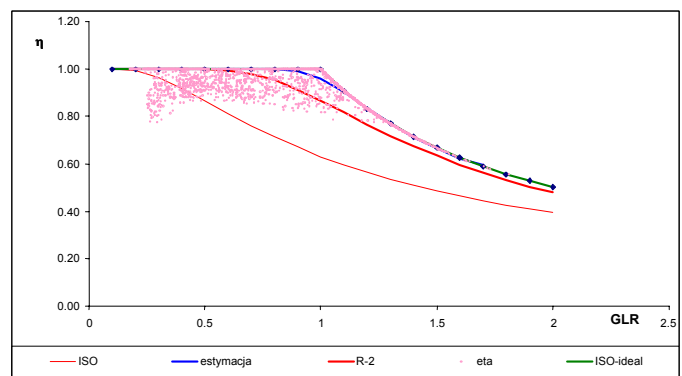
dla:

$$B_0 = 0,522164$$

$$B_1 = 2,590820$$

$$B_2 = 4,388668$$

Na rysunku (rys. 10) pokazano porównanie zależności  $\eta$  w funkcji GLR oparte na standardach międzynarodowych uzupełnione punktami z własnych wyników obliczeń oraz z estymowaną funkcją postaci wykładniczej według zależności (15).



Rys. 10. Porównanie zależności  $\eta = f(GLR)$  według standardów międzynarodowych i własnych obliczeń.

## 5.2 Zastosowanie modelu

Model wykorzystano do obliczeń wpływu poszczególnych parametrów termicznych i eksploatacyjnych budynku na zmienność stopniody dynamicznych okresu ogrzewania w rzeczywistych warunkach klimatu zewnętrznego, a w szczególności:

- izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych,
- izolacyjności cieplnej i transmisyjności przegród przeszklonych,
- udziału przeszklenia w powierzchni ścian zewnętrznych,
- strumienia objętości powietrza zewnętrznego, wnikającego do budynku, na drodze wentylacji naturalnej,
- wewnętrznych zysków pochodzących od ludzi, oświetlenia i odbiorników elektrycznych, sposobu eksploatacji, nawyków i przyzwyczajzeń użytkowników.

Budynek umieszczono w znanym, określonym przez wartości średnio-godzinowe, klimacie zewnętrznym. Analizowano wpływ zmian średnich-dobowych wartości temperatury powietrza zewnętrznego oraz zmian dziennych sum całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na temperaturę bazową średnio-dobową i stopniodni dynamiczne okresu ogrzewania.

## 6 WNIOSKI

Dokonana analiza zmienności liczby stopniodni dla budynku mieszkalnego wielorodzinnego wykazała konieczność uwzględniania w obliczeniach liczby stopniodni poza elementami klimatycznymi również zmienności parametrów konstrukcyjnych, termicznych i eksploatacyjnych. Podstawowymi elementami kształtującymi zmienność liczby stopniodni są czynniki zewnętrzne: temperatura powietrza zewnętrznego, natężenie promieniowania słonecznego oraz czynniki wewnętrzne: strumień objętości powietrza wentylacyjnego, liczba mieszkańców oraz wewnętrzna struktura składowych zysków wewnętrznych.

Podsumowując można stwierdzić, że:

- ◆ Dla oceny zachowania termicznego budynku konieczna jest znajomość zmienności minimum średnio-dobowej elementów i procesów klimatycznych;
- ◆ Czynniki zewnętrzne (elementy i procesy klimatyczne) wpływają najsilniej na zużycie energii przez budynek;
- ◆ Zmienność parametrów eksploatacyjnych budynku wpływa bardziej na zużycie ciepła przez budynek niż zmienność parametrów obudowy budynku (w tym przeszklenia) w ramach określonych wiekiem budynku charakterystyk izolacyjności cieplnej. Łączna izolacyjność cieplna budynku uzależniona jest od standardów ochrony cieplnej, a więc w warunkach polskich praktycznie od roku budowy;
- ◆ Stopniodni w ujęciu dynamicznym pozwalają na dogodną, wystarczająco szczegółową analizę zużycia energii cieplnej przez budynek w funkcji zmienności czynników zewnętrznych i wewnętrznych.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) Grandt S. 1998. *Analiza danych. Metody statystyczne i obliczeniowe*. Warszawa: PWN.
- 2) ISO 9164 *Thermal insulation. Calculation of space heating requirements for residential buildings*.
- 3) Kot S. M. 1999. *Prognozowanie i analiza szeregów czasowych. Materiały szkoleniowe*, Kraków: StatSoft Polska Sp. z o. o.
- 4) Radon J., Werner H. 1992. Quantifizierung des Solar-Ausnutzungsgrades zur Berechnung des Heizenenergiebedarfs von Gebäuden. *Bauphysic*. № 14, pp. 7 – 11.
- 5) Ritschewald W. 1996. *Beitrag zur thermischen und ökologischen bewertung von Fenstern*. Poznań- Bremen: Dissertation.
- 6) STATISTICA™ PL. *Materiały informacyjne do programu komputerowego*. Kraków: StatSoft Polska Sp. z o. o.