

USTALENIE PROGRAMU KLIMATU SYMULOWANEGO W KOMORZE STARZENIOWEJ

Jerzy BOCHEN*, Beata WILK-SŁOMKA*

* Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, e-mail: jerzy.bochen@polsl.pl, e-mail: beata.wilk-slomka@polsl.pl

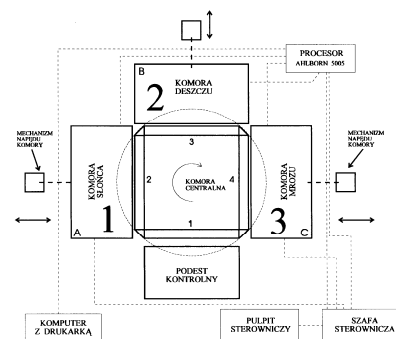
Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę danych klimatu naturalnego dla Regionu Śląska z okresu 2000-2009 udostępnionych przez IMGW w ramach grantu badawczego. Dane stanowią zbiór uśrednionych charakterystyk głównych czynników klimatycznych, takich jak: temperatura powietrza, nasłonecznienie, deszcz i wiatr, tworząc w całości charakterystykę uśrednionego roku meteorologicznego (URM). Na tej podstawie określona została charakterystyka klimatu symulowanego (SRM) w komorze starzeniowej. Celem pracy było określenie metodyki ustalania programu klimatycznego w komorze dla dowolnego obszaru klimatycznego.

Słowa kluczowe: uśredniony rok meteorologiczny, komora starzeniowa, klimat symulowany.

1. WPROWADZENIE

Materiały budowlane ekspozowane na działanie środowiska atmosferycznego podlegają procesom degradacyjnym. W celu badania odporności materiałów na czynniki atmosferyczne w warunkach laboratoryjnych stosowane są różne procedury badań starzeniowych i trwałości, np. amerykańska ASTM E632-81 [1], brytyjska BS ISO 15686-2/2001 [2], polska stosowana w ITB według wytycznych dyrektywy unijnej 89/106/EWG. Metody badań starzeniowych i trwałości można ogólnie podzielić na: metody w warunkach naturalnych, metody bez udziału symulacji klimatycznej – bezpośrednie i pośrednie oraz metody badań z udziałem symulacji klimatycznej. Testy w warunkach naturalnych są najbardziej miarodajne, jednak są długotrwałe. Metody bez udziału symulacji wykorzystują zależności pomiędzy mrozoodpornością a wybranymi parametrami fizycznymi jak np.: porowatość i struktura porów, wytrzymałość na rozciąganie lub ściskanie, odkształcalność termiczna, nasiąkliwość, moduł sprężystości, itp. Metody badań z udziałem symulacji klimatycznej polegają na symulacji czynników

klimatycznych w specjalnie przystosowanych komorach wytwarzających takie czynniki jak: nagrzewanie i nasświetlanie oraz nawilżanie i zamrażanie. Często uwzględniane są też takie czynniki jak promieniowanie ultrafioletowe oraz roztwory kwasów. W ramach grantu badawczego podjęto zadanie weryfikacji programu klimatycznego w rotacyjnej komorze przyspieszonego starzenia. Zasadniczą częścią stanowiska jest centralna komora obrotowa o czterech ścianach ekspozycyjnych o wymiarach 1,6x2,1 m każda, współpracująca z trzema komorami klimatycznymi (rys.1.).



Rys. 1. Schemat komory starzeniowej.

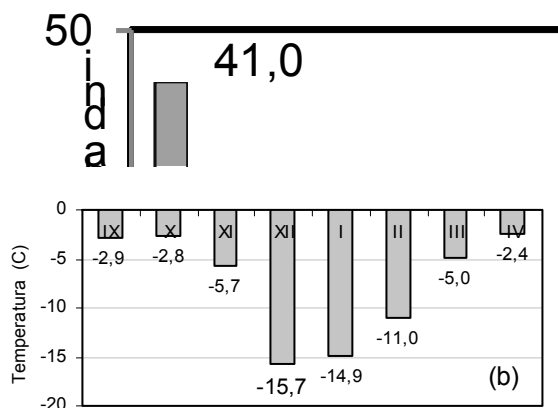
Fig. 1. Scheme of the ageing chamber.

„Komora słońca” zadaje promieniowanie zbliżone do naturalnego słonecznego poprzez układ 20 lamp metalohalogenkowych oraz promienników nadfioletu o długościach fal 185 i 255 nm imitujących promieniowanie UV. Maksymalna temperatura na powierzchni ekspozowanej to +75°C. „Komora deszczu” symuluje deszcz ukośny i wiatr za pomocą specjalnego układu dysz. Podmuchy powietrza są o regulowanej amplitudzie i częstotliwości. W „komorze mrozu” obniżana jest temperatura do -25°C. Komora centralna obraca się co 60 minut względem sąsiednich komór klimatycznych. Pełny cykl pracy

stanowiska trwa 4,5 godziny przy jednostkowym 1-godzinnym cyklu dla poszczególnych komór klimatycznych.

2. CHARAKTERYSTYKA KLIMATU NATURALNEGO

W celu ustalenia klimatu symulowanego (SRM) w komorze opracowano w pierwszej kolejności charakterystykę uśrednionego roku meteorologicznego na przykładzie klimatu regionu Śląska. W opracowaniu wykorzystano dane obserwacyjno-pomiarowe ze stacji meteorologicznej (synoptycznej) w Katowicach-Muchowcu z okresu 10-letniego (2000-2009). Dane przygotowane zostały jako średnie miesięczne. Określono oddzielne charakterystyki: temperatury, nasłonecznienia, opadów deszczu i wiatru o wartościach przeciętnych i ekstremalnych w odniesieniu do każdej komory klimatycznej stanowiska starzeniowego. Dla charakterystyki temperaturowej określono poniższe dane jako średnie wartości: temperatura powietrza w dni z deszczem (średnia roczna 10,1°C) i bez deszczu (średnia roczna 7,9°C) oraz we wszystkie dni (średnia roczna 9,0°C), dni z temperaturą ujemną (101,7 dni w roku), czas trwania ujemnej temperatury (średnio 14,0 h na dobę), dni ze zjawiskiem zamarzania i rozmrażania (41,0 dni) (rys.2a). Szczególnie istotne były dane o temperaturach minimalnych (rys.2b) oraz maksymalnych (rys.3a).

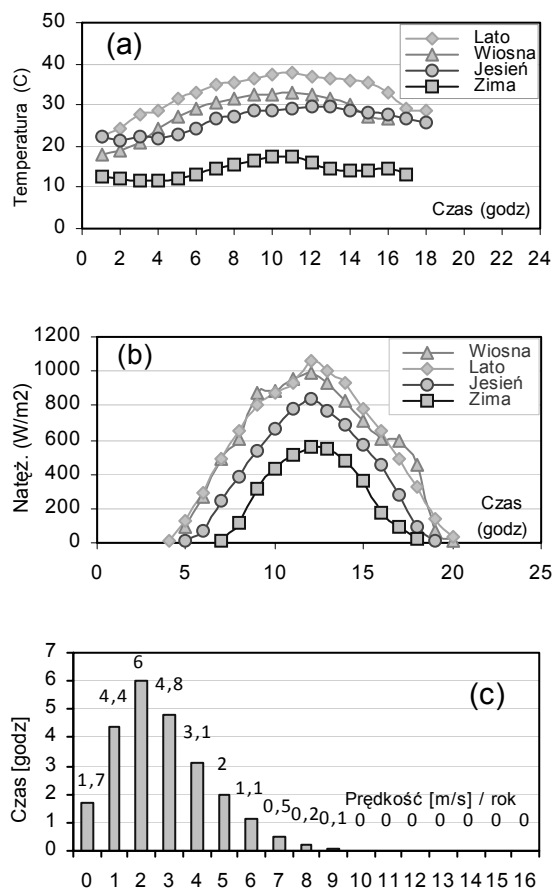


Rys. 2. Dane klimatu Śląska z okresu 2000-2009: a) liczba cykli zamrażania-rozmrażania, b) temperatury minimalne.

Fig. 2. Silesian climate data of 2000-2009: a) number of freezing-thawing cycles, b) minimum temperatures.

Wielkości te wyniosły odpowiednio: -15,9°C dla stycznia i +36,4°C dla lipca. Charakterystykę nasłonecznienia określono poprzez określenie średniego natężenia promieniowania całkowitego na płaszczyznę poziomą, którego średnia maksymalna wartość wyniosła od 296 W/m² w grudniu do 918 W/m² w miesiącu lipcu (rys.3b). Dla charakterystyki opadów deszczu (nie wliczano opadów śniegu) określono: liczbę dni z opa-

dem (186,7 dni) i bez opadu (178,6 dni), czas i wielkość opadu w ciągu doby (7,0h; 3,4 mm) oraz sumy opadów miesięczne (od 29,4 mm w lutym do 103,5 mm w lipcu). Istotna była całkowita roczna ilość opadu deszczu wynosząca 642,1mm. Dla charakterystyki wiatru określono: średnią prędkość wiatru w dni bez deszczu (2,3m/s), średnią prędkość wiatru w dni z deszczem (2,8 m/s), czas bezwietrza w dni bez deszczu (średnio w dobie 3,4 godz) i w dni z deszczem (średnio w dobie 1,7 godz), liczbę dni bezdeszczowych i deszczowych z porywami wiatru (58,2 dni i 106,4 dni), średnią wielkość porywu w dni bez deszczu i w dni z deszczem (10,9 m/s, 11,3 m/s), średni czas porywów w dobie w dni bez deszczu (4,2 godz) i w dni z deszczem (5,5 godz). Ponadto dla określenia zmienności wiatru określono czasy trwania składowych dla poszczególnych prędkości od 0,0 m/s do 16,0 m/s (rys.3c) a także rozkłady prawdopodobieństwa zdarzenia poszczególnych składowych wiatru.



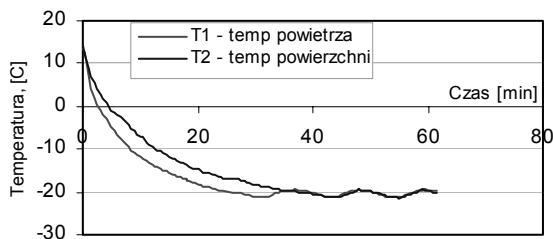
Rys. 3. Dane klimatu Śląska z okresu 2000-2009: a) temperatury maksymalne, b) natężenie promieniowania na płaszczyznę poziomą, c) rozkład trwania wiatrów zależnie od ich prędkości.

Fig. 3. Silesian climate data of 2000-2009: a) maximum temperatures, b) solar radiation on the horizontal plane, c) time distribution of winds depend on their velocities.

3. CHARAKTERYSTYKA KLIMATU SYMULOWANEGO

Na podstawie analizy danych IMGW przystąpiono do określania charakterystyki klimatu symulowanego z rozdziałem na oddzielne charakterystyki: temperatury, nasłonecznienia, opadów deszczu i prędkości wiatru, dla poszczególnych komór klimatycznych. Dla każdej z komór określono dwa parametry: intensywność działania i czas działania z zachowaniem podobieństwa względem charakterystyki URM poprzez przyjmowanie wartości odniesienia, tzw. wartości referencyjnych.

Tworzenie charakterystyki klimatu symulowanego rozpoczęto od charakterystyki klimatu w „komorze mrozu”. Działanie tej komory klimatycznej przyjęto jako dominujące z uwagi na główne działanie degradacyjne, decydujące o trwałości. Dla zachowania podobieństwa warunków ekstremalnych SRM względem URM przyjęto do przeniesienia takie parametry jak: średnia minimalna temperatura ujemna ($-15,9^{\circ}\text{C}$) i ilość dni ze zjawiskiem zamrażania i rozmrażania (41 dni). Zgodnie z doświadczeniami naukowymi [3] liczba przejść przez temperaturę 0°C decyduje o odporności na czynniki atmosferyczne. Na tej podstawie przyjęto, że test symulowany z ilością cykli zamrażania-rozmrażania taką samą jak w URM, odpowiada warunkom naturalnym o długości jednego roku (1 rok naturalny = N cykli zamrażania-rozmrażania w TRM). Zatem 1 rok meteorologiczny dla Śląska odpowiada 41 cyklom testu starzeniowego. Długość czasu zamrażania a tym samym czas pracy „komory mrozu” ustalono z warunku osiągnięcia minimalnej temperatury referencyjnej ($-15,9^{\circ}\text{C}$ dla URM) na powierzchni testowanych materiałów. Czas ten określono empirycznie poprzez pomiar kinetyki zamrażania (rys.4). Minimalna temperatura referencyjna była osiągnięta po czasie około 30 minut.



Rys. 4. Charakterystyka kinetyki schładzania w komorze mrozu.
Fig. 4. Cooling kinetics characteristics in freezing chamber.

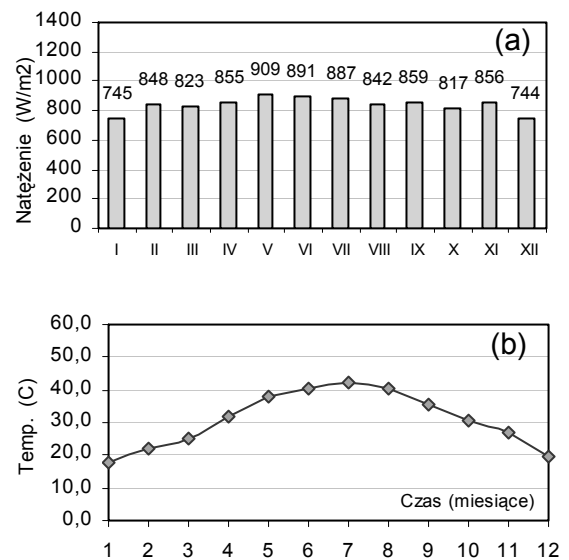
Podobne podejście przyjęto przy ustalaniu charakterystyki klimatu w „komorze słońca”. W tym celu określono parametry związane z nagrzewaniem w miesiącach letnich, takie jak: średnia maksymalna temperatura w ciągu dnia w dni bezchmurne oraz natężenie promieniowania słonecznego na płaszczyznę pionową. Dla zachowania podobieństwa przyjęto działanie komory z warunku zachowania ekstre-

malnej słonecznej temperatury powietrza zewnętrznego (1) na powierzchni pionowej elewacji.

$$t_s = t_z + \frac{A \cdot I_c}{\alpha_z} \quad (1)$$

gdzie: t_z – temperatura powietrza zewnętrznego, A – współczynnik absorpcji promieniowania, I_c – natężenie całkowitego promieniowania słonecznego, α_z – współczynnik przyjmowania ciepła po stronie zewnętrznej.

Wartości natężeń promieniowania słonecznego na płaszczyznę poziomą przekształcono do składowej na płaszczyznę pionową korzystając ze znanych do tego celu przekształceń poszczególnych składników: promieniowania bezpośredniego, rozproszonego i odbitego [4]. Uzyskano w ten sposób wartości $744\text{--}909 \text{ W/m}^2$ (rys.5a). Łącząc te wartości w wyrażeniu (1) z temperaturami powietrza zewnętrznego uzyskano temperatury słoneczne o wartościach od $+18,0^{\circ}\text{C}$ w styczniu do $+42,2^{\circ}\text{C}$ w lipcu (rys.5b).



Rys. 5. Dane klimatu Śląska z okresu 2000-2009: a) natężenie promieniowania na płaszczyznę pionową, b) temperatury słoneczne.

Fig. 5. Silesian climate data of 2000-2009: a) solar radiation on vertical plane, b) sun radiation temperatures.

Współczynnik absorpcji promieniowania A przyjęto dla wypraw tynkowych jak dla betonu t.j. o wartości $A_0=0,65$. Z uwagi, że temperatury powietrza zewnętrznego są wartościami średnimi, temperaturę słoneczną dla pracy „komory słońca” przyjęto dla temperatury maksymalnej t.j. $+36,4^{\circ}\text{C}$ co daje odpowiadającą jej wartość $+59,5^{\circ}\text{C}$. Czas pracy komory określono empirycznie poprzez pomiar kinetyki nagrzewania powierzchni eksponowanej. Referencyjna maksymalna temperatura słoneczna była osiągnięta po czasie 35-45 minut. Dla zachowania podobieństwa promieniowania słonecznego w komorze zastosowano lampy metalohalogenkowe o mocy 400 W dające widmo promienio-

wania najbardziej zbliżone do światła słonecznego w zakresie ultrafioletu 200-380 nm, światła widzialnego 380-780 nm i podczerwieni. Charakterystykę opadów deszczu wprowadzono do ilości wody oddziałującej na powierzchnię pionową w czasie URM. W tym celu określono ilość opadów deszczu zacinającego odpowiadającego rocznej ilości opadów deszczu na płaszczyznę poziomą w dni wietrzne (596,6 mm). Jak wiadomo deszcz ukośny zależy od prędkości wiatru. Zależność tą określają różne formuły. Norma brytyjska BS 8104 : 1992 [5] określa zależność:

$$r_v = \frac{2}{9} \cdot V \cdot r_h \% \quad (2)$$

gdzie: V – prędkość wiatru o kierunku prostym do ściany w m/s, r_h – opad deszczu na powierzchnię poziomą w mm/h.

Inny sposób określania deszczu zacinającego został zaproponowany przez Künzela [6]:

$$R_s = r_s \cdot v \cdot R_N \quad (3)$$

gdzie: R_s – opad deszczu ukośnego na powierzchnię ściany w mm/h, R_N – opad deszczu na płaszczyznę poziomą w mm/h, r_s – współczynnik położenia przegrody na wysokości, zwykle $r_s = 0,2$ s/m, v – prędkość wiatru na wysokości 10 m nad terenem w m/s.

Ilość deszczu zacinającego oszacowano na podstawie zależności (3) dającej większe wartości. Przyjęto, że w czasie testu symulującego 1 rok (41cykli) ilość wydatku wody odpowiada średniej ilości opadów deszczu na ściany budynku. Ponieważ trudna jest do określenia jednoznaczna prędkość wiatru powodująca deszcze zacinające, gdyż zależy to od wielkości kropel deszczu, przyjęto opady deszczu dla prędkości średniej wiatru 2,8 m/s. Zatem ilość wody podawana w czasie jednego testu rocznego na powierzchnię ściany wyniesie 335 mm czyli 8,1mm (dm³/m²) na 1 cykl. Wiatr cechuje największy charakter losowy. Świadczą o tym dobowe rozkłady czasów trwania wiatrów o różnych prędkościach (rys.3c) i rozkłady prawdopodobieństwa różne dla poszczególnych miesięcy. Wynika z tego, że charakterystyka podmuchów wentylatora powinna być wielostanowa a przynajmniej dwustanowa z uwagi na występowanie porywów wiatru ($v_{sr}=11,3$ m/s). Niższą prędkość podmuchów wentylatora odpowiada średniej prędkości rocznej wiatru ($v_{1sr} = 2,8$ m/s) natomiast wyższą prędkość średniej prędkości porywów wiatru ($v_{2sr} = 11,3$ m/s). Ponieważ liczba przejść od prędkości średniej $v_{1sr}=2,8$ m/s do prędkości średniej porywów jest bardzo mała (poniżej 20 w ciągu 10 lat) zatem właściwsza jest charakterystyka dwustanowa o wartościach $v_1=0,0$ m/s dla bezwietrza i $v_2=v_{sr}=2,8$ m/s. Z uwagi na znikomy udział bezwietrza w ciągu doby (1,7 h) charakterystyka ta może być także przyjęta jako jednostanowa. Określając charakterystyki klimatyczne poszczególnych komór określono tym samym program klimatyczny całego stanowiska.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza danych klimatycznych przykładowego uśrednionego roku meteorologicznego pozwoliła określić, które parametry klimatyczne są istotne dla ustalenia programu klimatycznego komory starzeniowej. W ten sposób powstała metodyka pozwalająca na określanie parametrów klimatu symulowanego dla dowolnego obszaru geograficznego i tym samym ustalania programu klimatycznego w komorze starzeniowej.

DEFINITION OF SIMULATED CLIMATE PROGRAM IN AGEING CHAMBER

Summary: Analysis of natural climate data of Silesia region from 2000-2009 is presented. The data determine the average characteristics of general climatic factors such as: temperature, sun radiation, rain and wind, giving in total the characteristics of average meteorological year. On this base the simulate climate characteristics in ageing chamber was determined. The aim of studies was working out of method for definition of climate program in the chamber for free climate region.

Literatura

- [1] ASTM E632-81. Standard practice for developing accelerated tests to aid prediction of service life of building components and materials. ASTM, Philadelphia 1982
- [2] BS ISO 15686-2:2001. Buildings and constructed assets – Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures.
- [3] Pihlajavaara S. E.. The prediction of service life with the aid of multiple testing, reference materials, experience data and value analysis, III Int. Conf. of durability, VTT Espoo 1984, vol.2, p.37-63.
- [4] Smolec W. *Fototermiczna konwersja energii słonecznej*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
- [5] BS 8104 : 1992 British Standard Code of practice for assessing the exposure of walls to wind-driven rain. British Standard Institution, 1992.
- [6] Künzel H. M. *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components*, IRB Verlag, 1995.