

Zapotrzebowanie energii do ochładzania i osuszania powietrza w oparciu o różne dane klimatyczne

Energy demand for air cooling and dehumidification based on different climate data

DARIUSZ KWIECIEŃ, PIOTR KOWALSKI

DOI 10.36119/15.2023.6.5

W artykule wykazano wpływ, jaki ma wybór dostępnych danych klimatycznych na wyniki obliczenia całorocznego zapotrzebowania energii do chłodzenia i osuszania powietrza wentylującego. Porównano ze sobą pięć danych źródłowych pod kątem zmian temperatury i zawartości wilgoci w powietrzu zewnętrznym, reprezentujących tzw. typowe lata meteorologiczne dla sześciu wybranych lokalizacji na terenie Polski. Dla jednostkowego strumienia masy powietrza wentylującego $m = 1,0 \text{ kg/s}$ obliczono całoroczne zapotrzebowanie na energię całkowitą i jawną do chłodzenia, częstość występowania potrzeby chłodzenia i osuszania powietrza oraz ilość niezbędnej do odprowadzenia pary wodnej z powietrza. Wyniki obliczeń określone z nowszych baz danych klimatycznych (z lat 2001-2020) wskazują na znaczący wzrost zapotrzebowania na energię i potrzebę osuszania powietrza dla prawie wszystkich analizowanych scenariuszy. W stosunku do starszych danych klimatycznych (z lat 1971-2000) zapotrzebowanie na energię do ochładzania powietrza może być większe o 200%, zaś potrzeba osuszania powietrza w odniesieniu do masy zasymilowanej pary wodnej może nawet przekraczać tę wartość. W większości analizowanych przypadków największe różnice w stosunku do starszych danych klimatycznych uzyskano dla tzw. roku najcieplejszego.

Słowa kluczowe: typowy rok meteorologiczny, TMY, TRY, wentylacja i klimatyzacja

The article shows the influence of the choice of available climatic data on the results of calculating the year-round energy demand to cool and dehumidify the ventilation air. Five source data were compared with each other in terms of changes in the temperature and moisture content of outdoor air, representing so-called typical meteorological years for six selected locations in Poland. For the mass flow rate of the ventilating air $m = 1.0 \text{ kg/s}$, the year-round demand for total and sensible energy for cooling, the frequency of the need to cool and dehumidify the air, and the amount of water vapour necessary to remove water vapour from the air were calculated. The results of the calculations determined from more recent climate databases (2001-2020) show a significant increase in energy demand and the need for air dehumidification for almost all scenarios analysed. Compared to older climate data (1971-2000), the energy demand for air cooling can be 200% higher, and the need for air drying in relation to the mass of assimilated water vapour can even exceed this value. In most of the cases analysed, the greatest differences in relation to older climatic data were obtained for the so-called warmest year.

Keywords: Typical Meteorological Year, TMY, TRY, ventilation and air-conditioning

Wstęp

Do zapewnienia odpowiednich warunków mikroklimatu pomieszczeń wentylowanych w półroczu ciepłym konieczne jest zazwyczaj jego ochładzanie, a nierzadko także osuszanie. Ponadto procesy te związane są z istotnym zapotrzebowaniem energii do ich realizacji. W ocenie energetycznej budynków w Polsce uwzględnia się energię na chłodzenie powietrza związaną z utrzymaniem temperatury powietrza w pomieszczeniu, pomijając przy tym kwestie związane z utrzymaniem odpowied-

nich warunków wilgotnościowych [1]. Energia związana z kondensacją i parowaniem nie jest przy tym rozróżniana. Tymczasem potrzebna do ochłodzenia powietrza energia jawna, związana z obniżaniem jego temperatury, stanowi tylko część energii całkowitej, dzięki której możliwe jest obniżenie także entalpii powietrza.

W praktyce inżynierskiej, a także w obliczeniach naukowych, wymagane jest często określenie zapotrzebowania energii na cele chłodzenia w oparciu o, zawierające możliwe szczegółowe informacje, aktualne dane klimatyczne. Należą do nich takie pa-

rametry, jak: wartości temperatury, wilgotności względnej lub zawartości wilgoci powietrza zewnętrznego oraz wartości promieniowania słonecznego w okresie całorocznym lub sezonowym. Zwykle informacje takie uzyskuje się z odpowiednio opracowanych danych klimatycznych, najczęściej w postaci tzw. typowych lat meteorologicznych. Do wyznaczania świadectw charakterystyk energetycznych oraz w symulacjach i analizach energetycznych budynków wciąż preferowane są typowe lata meteorologiczne, dostępne od wielu już lat na stronie internetowej Ministerstwa Rozwoju

dr inż. Dariusz Kwiecień <https://orcid.org/0000-0002-4737-3889>; dariusz.kwiecien@pwr.edu.pl

dr inż. Piotr Kowalski <https://orcid.org/0000-0003-4423-9884> – Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, Politechnika Wroclawska, piotr.kowalski@pwr.edu.pl

i Technologii [2] (oznaczane dalej jako GOV). Opracowane zostały one dla 61 lokalizacji na terenie kraju.

W pracy [3] wykazano znaczne różnice w wynikach analizy, porównując obliczenia zapotrzebowania na energię do ogrzewania, chłodzenia i nawilżania powietrza, uzyskane na podstawie klimatycznych danych ministerialnych z nowszego czasookresu dla dziesięciu wybranych lokalizacji na terenie Polski. We wszystkich analizowanych przypadkach zapotrzebowanie energii do chłodzenia, obliczone na podstawie danych klimatycznych i z nowszego czasookresu, było większe, w tym w większości przypadków znacząco, od tych, które były obliczane na podstawie danych ministerialnych. Wynikało to w głównej mierze z obserwowanego od dłuższego czasu ocieplenia klimatu [4]. Zapotrzebowanie na energię do nawilżania powietrza (wykorzystywaną najczęściej w okresie zimnym) było zaś zazwyczaj mniejsze, co sugerowało, że w okresie półrocza zimnego powietrze zewnętrzne w ostatnich dziesięcioleciach cechuje się ponadto większą zawartością wilgoci. Nie zaobserwowano tak jednoznacznej tendencji zmian w zapotrzebowaniu energii do ogrzewania powietrza – w większości analizowanych scenariuszy i w większości lokalizacji zapotrzebowanie na tę energię było co prawda mniejsze (obliczając ją na podstawie nowszych danych klimatycznych), lecz w dwóch scenariuszach dla niektórych miejscowości (Koszalin, Szczecin i Warszawa) zauważono znaczący jej wzrost – nawet o ponad 60%. Podobną analizę w zapotrzebowaniu energii na cele klimatyzacji (dla jednej lokalizacji – Wrocław) przedstawiono w pracy [5]. W warunkach Polski, również w pracy [6] potwierdzono spostrzeżenia w odniesieniu do warunków klimatycznych panujących w Polsce, na przykładzie Warszawy. Z uwagi na ocieplenie klimatu zaobserwowano znaczący trend wzrostu zapotrzebowania na energię do chłodzenia (o 25% na dekadę), przy jednoczesnym spadku zapotrzebowania na energię do ogrzewania (o 19% na dekadę) i nawilżania (o 14% na dekadę) powietrza wentylującego. Również wyniki przedstawione w pracy [7] potwierdziły efekt ocieplenia w ostatnich latach (2013-2017 w stosunku do Testowego Roku Referencyjnego) na przykładzie lokalizacji w Europie Środkowej (Praga, Czechy). Oceniono, że średnie zapotrzebowanie na ciepło jest o 3,95% niższe, zaś średnie zapotrzebowanie na chłodzenie jest o 3,96% wyższe w latach 2013-2017 niż w testowym roku referencyjnym (TRY). Znaczące różnice w danych klimatycznych z różnych lat i ich wpływ na wyniki symulacji ener-

tycznej budynków zauważono także w pracy [8].

Z przeglądu wynika, że do analiz energetycznych stosuje się różne opracowane standardowe lata statystyczne, jak również na podstawie [9] do symulacji energetycznej budynków mogą być stosowane ekstremalne typowe lata meteorologiczne.

Z uwagi na nieaktualność samych danych klimatycznych (GOV) – opracowanych na podstawie danych z lat 1971-2000, a także z powodu częstego niewystępowania w tych danych temperatur zewnętrznych zbliżonych do obliczeniowych (typowym przykładem były dane dla Warszawy, w których minimalna temperatura powietrza zewnętrznego była wyższa od obliczeniowej dla okresu zimnego o blisko 8 K), ich autor – Piotr Narowski – podjął trud opracowania nowych typowych lat meteorologicznych na podstawie współczesnych danych klimatycznych z lat 2001-2020 [10-12]. Nowe lata meteorologiczne są od kilku miesięcy dostępne na stronie internetowej <https://fizyka-budowli.pl> [13].

Z uwagi na to, że opracowanych zostało kilka nowych wariantów typowych lat meteorologicznych, przeprowadzono na ich podstawie obliczenia, mające na celu określenie zapotrzebowania energii do ochładzania i osuszania powietrza wentylującego dla sześciu wybranych lokalizacji na terenie Polski. Obliczenia te miały na celu pokazać:

1. Jaki uwidacznia się wpływ źródła danych klimatycznych na zapotrzebowanie energii do chłodzenia i osuszania powietrza i czy źródło danych klimatycznych ma istotne znaczenie w analizach energetycznych.
2. Jakie można przewidzieć skrajne scenariusze w odniesieniu do zapotrzebowania energii na cele oziębiania powietrza.
3. Jaką część całkowitej energii potrzebnej do oziębiania powietrza stanowi energia jawna/utajona.
4. Jak dużo wilgoci należy odprowadzić z powietrza wentylującego, aby zapewnić założone warunki mikroklimatu w pomieszczeniach.

Wybór lokalizacji i danych źródłowych

Praca ma na celu wykazanie czy istnieją różnice w zapotrzebowaniu energii do ochładzania i osuszania powietrza obliczone w oparciu o dostępne dane klimatyczne. Do analizy przyjęto sześć lokalizacji na terenie Polski, reprezentujących różne regiony fizykogeograficzne, obejmujące naj-

większą część obszaru kraju [4]: pas Wybrzeża i Pobrzeży Południowobałtyckich (Koszalin), pas pojezierzy (Suwałki), pas nizin (Warszawa i Wrocław), pas wyżyn (Lublin) oraz rejon Podkarpacia (Kraków).

W niniejszej pracy oparto się na danych klimatycznych obejmujących okres z lat 1971-2000 i z tego powodu mocno zdezaktualizowanych [11], ale jednak wciąż dostępnych na stronie internetowej Ministerstwa Inwestycji i Rozwoju [2] (GOV) oraz najnowszych danych obejmujących okres z lat 2001-2020, opracowane przez P. Narowskiego w ramach projektu *Projekt TLM2000* [13], dostępnych na stronie internetowej blogu Fizyka Budowli [13] (ozn. ISO, TMY, TRY, HSY).

W obliczeniach korzystano z następujących danych klimatycznych:

- GOV – typowy rok meteorologiczny, opracowany na podstawie normy europejskiej EN ISO 15927:4 (z okresu 1971-2000) [2].
- ISO – typowy rok meteorologiczny, opracowany na podstawie normy europejskiej EN ISO 15927:4 (z okresu 2001-2020) [12].
- TMY – typowy rok meteorologiczny, opracowany na podstawie procedur opisanych w raporcie technicznym National Renewable Energy Laboratory NREL/TP-581-43156 (z okresu 2001-2020) [12].
- TRY – typowy rok referencyjny, opracowany na podstawie dokumentacji ASHRAE i programu Blast symulacji energetycznych budynków (z okresu 2001-2020) [12].
- HSY – najcieplejszy rok, obejmujący dane jednego roku kalendarzowego z analizowanego okresu lat 2001-2020 [12].

Wszystkie dane dostępne są z krokiem 1 h w okresie 8760 h w roku.

Co do zasady ISO, GOV, TMY opracowano po to, żeby wybrane miesiące do roku standardowego były jak najbardziej zbliżone do wartości dla miesięcy z wielolecia, natomiast TRY tworzy jeden rok kalendarzowy charakteryzujący się najmniejszymi ekstremalnymi wartościami średnich miesięcznych temperatur powietrza suchego [12]. Dlatego ww. grupa lat standardowych prezentuje dane klimatyczne uśrednione w kontekście wielolecia. Dla porównania do analiz włączono również rok typu ekstremalnego – najcieplejszy HSY.

Metodyka obliczeń

Metodyka badań opierała się na określeniu wielkości statystycznych i energii na podstawie danych klimatycznych. Obliczenia wykonano z krokiem 1 h. Obliczono:

1) skumulowane czasy występowania temperatur i zawartości wilgoci powietrza; 2) liczbę godzin chłodzenia i osuszania powietrza; 3) zapotrzebowanie na energię całkowitą i utajoną do ochładzania powietrza; 4) niezbędną do osuszania asymilację wilgoci z powietrza zewnętrznego.

Obliczenia wykonano przy następujących założeniach:

- Lokalizacja: Koszalin, Kraków, Lublin, Suwałki, Warszawa, Wrocław.
- Całodobowy czas pracy urządzenia wentylacyjnego.
- Strumień masy powietrza wentylującego: $m = 1 \text{ kg/s}$.
- Parametry powietrza w pomieszczeniu zawierają się w przedziałach:
 - temperatura powietrza: $t_{p\min} = 20^\circ\text{C}$, $t_{p\max} = 26^\circ\text{C}$, określana jako nadwyżka względem temperatury powietrza zewnętrznego w okresie zimowym wynoszącej 20°C ,
 - wilgotność względna powietrza: $\varphi_{p\min} = 40\%$, $\varphi_{p\max} = 60\%$,
 - zawartość wilgoci: $x_{p\max} = 12 \text{ g/kg}$.
- Potrzeba osuszania powietrza wentylującego występuje tylko wówczas, gdy istnieje potrzeba obniżania jego temperatury.
- Zyski ciepła jawnego w pomieszczeniu zróżnicowane, w celu pokazania wpływu przyrostu temperatur powietrza nawiewanego w pomieszczeniu, $\Delta t = t_p - t_n$:
 - brak zysków ciepła w pomieszczeniu ($\Delta t = 0 \text{ K}$) – granica minimalnych potrzeb chłodzenia,
 - występowanie różnych zysków ciepła w pomieszczeniu ($\Delta t = 2 \text{ K}$, $\Delta t = 4 \text{ K}$, $\Delta t = 6 \text{ K}$, $\Delta t = 8 \text{ K}$).
- Zyski wilgoci w pomieszczeniu, w celu pokazania wpływu przyrostu zawartości wilgoci powietrza nawiewanego w pomieszczeniu, $\Delta x = x_p - x_n$:
 - brak emisji pary wodnej w pomieszczeniu ($\Delta x = 0 \text{ g/kg}$) – granica minimalnych potrzeb osuszania,
 - występowanie zróżnicowanej emisji pary wodnej w pomieszczeniu ($\Delta x = 1 \text{ g/kg p.s.}$, $\Delta x = 2 \text{ g/kg p.s.}$, $\Delta x = 3 \text{ g/kg p.s.}$).

Tym samym poddano analizie scenariusze obliczeniowe różniące się lokalizacją, przyrostem temperatury w pomieszczeniu (Δt) i zawartości wilgoci (Δx).

W obliczeniach nie badano sposobu ochładzania i osuszania powietrza. Dlatego podane zapotrzebowania i czasy są możliwie minimalnymi teoretycznymi i zostały określone w celach porównawczych. Nie uwzględniono też odzysku energii z powietrza wywiewanego, w związku z czym, przy jego zastosowaniu, rzeczy-

wiste zapotrzebowanie na energię jawną do chłodzenia może być w tym przypadku niższe.

Wyniki

Podstawowe dane klimatyczne (wartości temperatury i zawartości wilgoci powietrza zewnętrznego, w obliczeniach nie brano pod uwagę promieniowania słonecznego) przedstawiono w tab. 1. Dla większości lokalizacji istnieją istotne różnice między średnimi wartościami temperatury i zawartości wilgoci, uzyskane z poszczególnych danych klimatycznych.

Tab. 1. Parametry powietrza zewnętrznego (t_z i x_z) w poszczególnych lokalizacjach
Tab. 1. Outdoor air parameters (t_z and x_z) at each location

Miejsce	Źródło danych	Temp. zew. tz, °C					Zawartość wilg. xz, g/kg s.p.				
		rok			okres zimny**	okres ciepły*	rok			okres zimny**	okres ciepły*
		min.	średn.	maks.	średn.	średn.	min.	średn.	maks.	średn.	średn.
Koszalin	GOV	-16,5	8,0	27,7	3,0	13,0	0,9	5,8	13,8	4,2	7,5
	ISO	-9,3	9,7	30,2	4,6	14,7	1,8	6,3	16,1	4,6	8,0
	TMY	-7,9	9,2	29,3	4,3	14,0	0,9	6,2	15,9	4,5	8,0
	TRY	-15,6	9,9	34,1	4,6	15,1	0,9	6,2	15,4	4,6	7,7
	HSY	-16,4	9,9	34,2	3,4	16,5	0,8	6,3	17,7	4,2	8,4
Kraków	GOV	-20,2	8,3	32,9	1,7	14,8	0,6	6,1	15,4	3,9	8,2
	ISO	-17,5	9,2	33,3	3,0	15,4	0,9	6,2	17,7	4,2	8,1
	TMY	-16,9	8,7	31,2	2,7	14,6	0,9	6,5	16,1	4,2	8,7
	TRY	-7,8	10,0	31,5	4,3	15,6	1,3	6,4	16,1	4,5	8,2
	HSY	-17,4	10,1	32,7	2,5	17,7	0,9	6,6	15,9	4,2	9,0
Lublin	GOV	-17,7	7,8	30,3	1,1	14,4	0,8	6,0	16,1	3,9	8,1
	ISO	-17,1	8,3	30,3	2,0	14,6	0,9	6,0	15,1	4,1	7,9
	TMY	-19,0	8,1	31,1	1,3	14,9	0,8	6,2	16,1	4,0	8,4
	TRY	-20,9	8,2	31,2	1,1	15,3	0,6	6,1	15,4	4,0	8,1
	HSY	-19,9	9,4	31,6	1,5	17,2	0,7	6,3	16,1	3,9	8,7
Suwałki	GOV	-26,2	6,4	32,5	-0,7	13,4	0,3	5,6	16,2	3,5	7,6
	ISO	-19,5	7,5	29,8	0,9	14,1	0,7	5,8	14,8	3,9	7,7
	TMY	-24,3	7,4	33,5	1,2	13,6	0,4	5,8	15,9	3,9	7,6
	TRY	-22,6	7,4	31,3	0,2	14,6	0,5	5,9	17,7	3,7	8,2
	HSY	-21,2	8,3	30,7	0,1	16,4	0,6	5,9	17,2	3,7	8,2
Warszawa	GOV	-12,3	8,3	33,2	2,4	14,1	1,1	5,9	17,0	4,1	7,7
	ISO	-15,6	9,2	34,1	2,6	15,8	1,0	5,9	15,7	4,1	7,8
	TMY	-22,2	8,8	31,4	2,4	15,2	0,6	6,3	16,3	4,2	8,3
	TRY	-17,4	9,9	32,7	3,6	16,1	0,8	6,3	15,1	4,3	8,2
	HSY	-15,2	10,5	32,3	2,6	18,4	0,7	6,3	16,4	4,0	8,7
Wrocław	GOV	-18,8	8,2	31,3	2,2	14,1	0,7	5,8	14,4	4,0	7,6
	ISO	-12,9	10,4	35,8	4,4	16,4	1,2	6,4	16,8	4,5	8,3
	TMY	-20,5	9,7	33,2	4,0	15,4	0,6	6,3	16,8	4,5	8,1
	TRY	-12,9	11,2	33,4	5,8	16,5	1,2	6,8	16,0	5,0	8,7
	HSY	-13,5	11,3	33,5	4,1	18,5	0,9	6,3	15,6	4,2	8,4

* – okres zimny od 1.10. do 31.03.

** – okres ciepły od 1.04. do 30.09.

Zwraca uwagę przede wszystkim znaczny wzrost średnich temperatur powietrza zewnętrznego, uzyskanych z nowszych danych klimatycznych (ISO, TMY, TRY, HSY) w stosunku do starszych (GOV). Największe różnice w średniej temperaturze powietrza zewnętrznego (nie uwzględniając roku ekstremalnie ciepłego HSY) można stwierdzić we Wrocławiu (dla TRY to aż

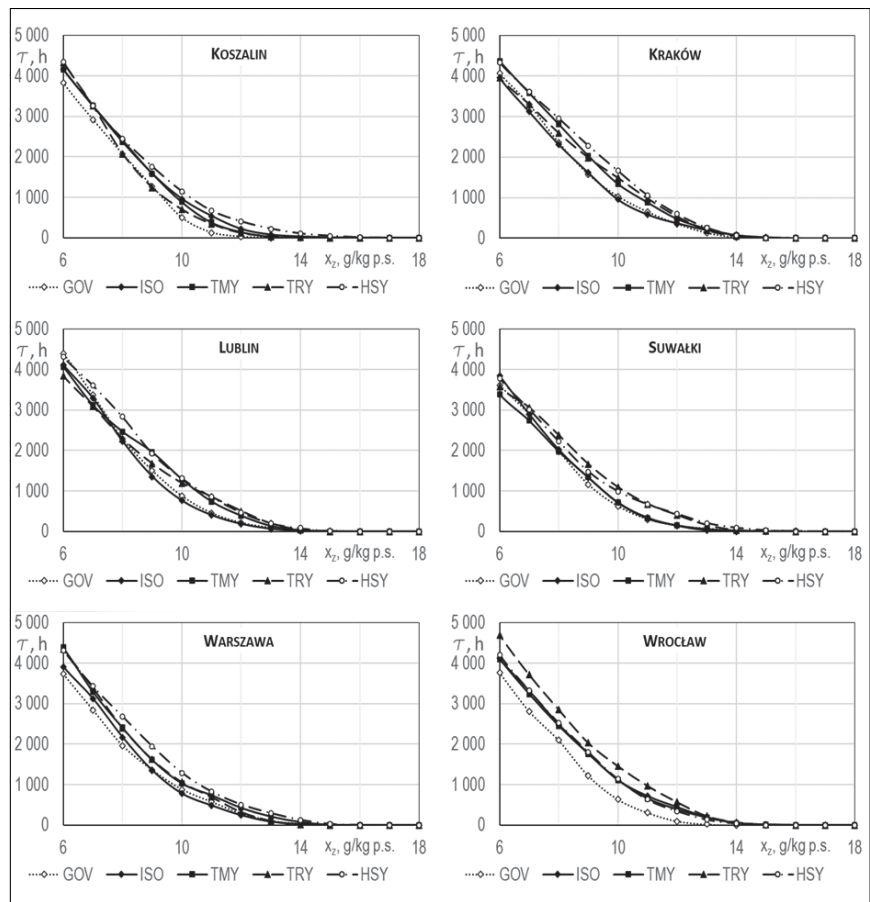
3,0 K) oraz w Koszalinie (dla TRY to 1,9 K), najmniejsze zaś w Lublinie (maksymalna wartość dla ISO to 0,5 K). Zaobserwowano także różnice w średniej zawartości wilgoci w stosunku do starszych danych GOV – największe we Wrocławiu (dla TRY to wzrost o 1,0 g/kg p.s.), a najmniejsze w Lublinie (dla ISO nie występują zmiany w stosunku do GOV). Różnice w wartościach temperatury i zawartości wilgoci powietrza zewnętrznego z poszczególnych danych klimatycznych mogą mieć istotny wpływ na zapotrzebowanie energii do ochładzania i osuszania powietrza wentylującego.

Praktycznie w każdej lokalizacji zaobserwowano także wzrost średnich temperatur powietrza zewnętrznego w odniesieniu do półroczia zimnego i ciepłego w stosunku do wartości uzyskanych z GOV. W większości analizowanych przypadków istnieje większa tendencja wzrostu wartości średnich temperatur powietrza zewnętrznego w lecie niż w zimie (wyjątki to:

ISO dla Krakowa, Lublina, Suwałk i Warszawy; TMY dla Koszalina, Krakowa, Suwałk i Warszawy; TRY dla Krakowa i Wrocławia).

Podobną tendencję zauważono w średnich wartościach zawartości wilgoci. Większość średnich wartości dla półroczy zimnego i ciepłego są większe w poszczególnych lokalizacjach w stosunku do wartości uzyskanych z GOV. Wyjątek stanowi tutaj HSY dla Warszawy w półroczu zimnym i ISO dla Krakowa i Lublina w półroczu ciepłym. Podobnie jak w odniesieniu do temperatury zewnętrznej, w większości analizowanych przypadków istnieje większa tendencja wzrostu średnich zawartości wilgoci w powietrzu zewnętrznym w lecie niż w zimie (wyjątki to: ISO dla Lublina, Suwałk i Warszawy; TMY dla Suwałk i TRY dla Koszalina, Krakowa i Lublina).

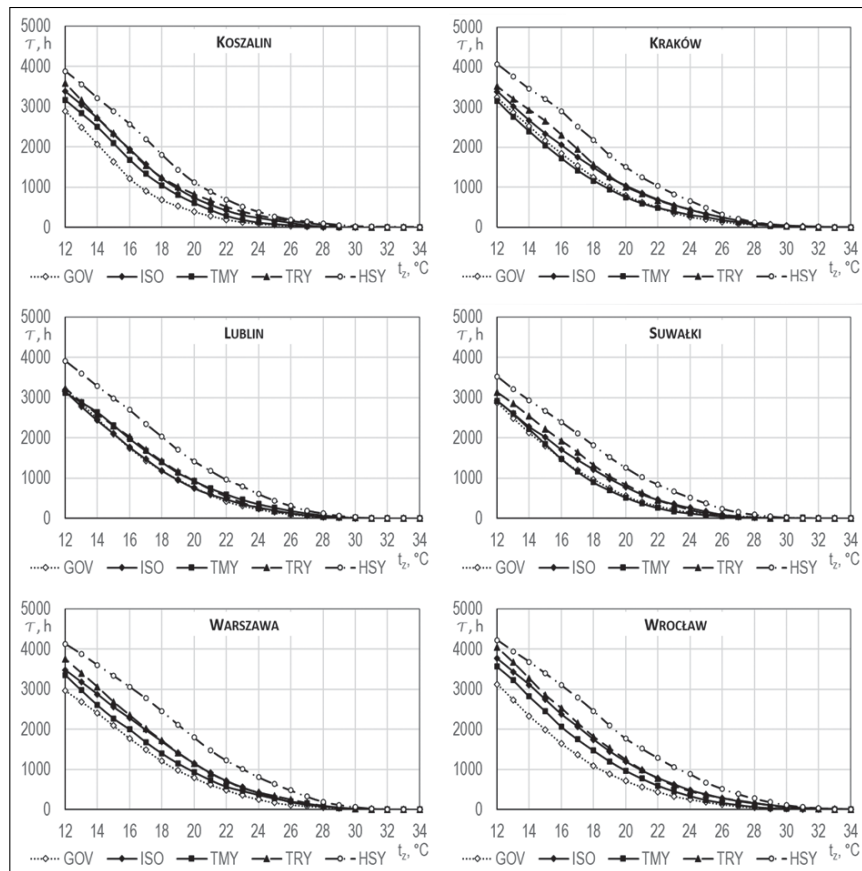
Na rysunkach 1 i 2 pokazano skumulowane czasy występowania temperatur i zawartości wilgoci powietrza zewnętrznego dla poszczególnych miast. Prawie wszystkie nowsze dane klimatyczne (poza ISO dla Lublina oraz TMY dla Krakowa i Suwałk) charakteryzują się większą częstością występowania wyższych od 12 °C temperatur powietrza zewnętrznego – a więc wówczas, gdy należy się spodzie-



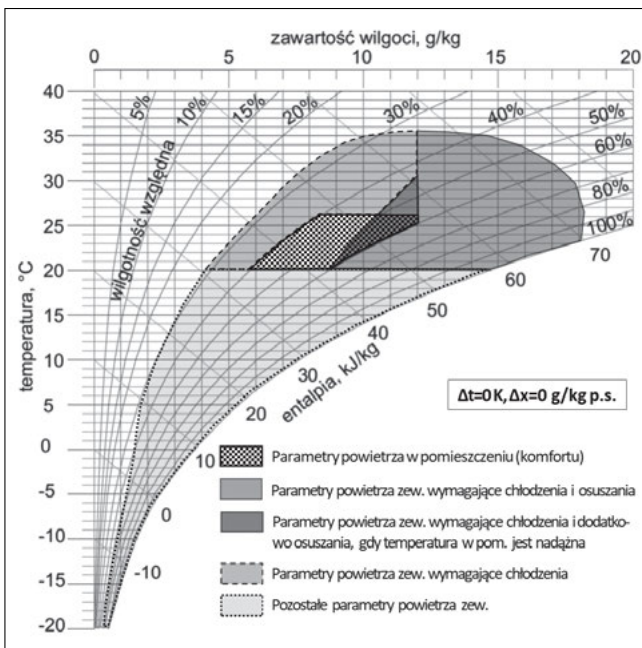
Rys. 2. Skumulowany czas występowania zawartości wilgoci w powietrzu zewnętrznym x_2 (6 g/kg p.s. i powyżej) w poszczególnych lokalizacjach
Fig. 2. Cumulative time of outdoor air moisture content x_2 (6 g/kg p.s. and above) in each location

wać konieczności ochładzania powietrza. Również prawie wszystkie nowsze dane klimatyczne wykazują większe częstości występowania zawartości wilgoci powyżej 8 g/kg p.s., a więc wówczas, gdy należy się spodziewać konieczności osuszania powietrza. Wyjątek stanowią, podobnie jak w przypadku temperatur zewnętrznych, dane ISO dla Krakowa, Lublina i w pewnym zakresie dla Warszawy oraz TMY dla Suwałk.

Zamieszczony na rys. 3. wykres $h-x$ Moliera stanowi graficzne zobrazowanie parametrów powietrza zewnętrznego, które należy, w zależności od wartości t_z i x_z w stosunku do założonych parametrów komfortu w pomieszczeniu, ochłodzić i/lub osuszyć. Na rysunku ujęto przypadek wyjściowy, w którym brak jest zysków ciepła ($\Delta t = 0$) i emisji pary wodnej ($\Delta x = 0$ g/kg p.s.) w pomieszczeniu. Obliczone dla takiego przypadku zapotrzebowanie energii oraz wymagana ilość zasymilowanej wilgoci są wartościami minimalnymi (granicznymi), poniżej których nie można już zejść dla utrzymania w pomieszczeniu zadanych parametrów powietrza. W podobny



Rys. 1. Skumulowany czas występowania temperatury powietrza zewnętrznego t_z (12°C i powyżej) w poszczególnych lokalizacjach
Fig. 1. Cumulative time of outdoor air temperature t_z (12°C and above) in each location



Rys. 3. Parametry powietrza zewnętrznego wymagające chłodzenia i/lub osuszania dla przypadku podstawowego ($\Delta t = 0$ K, $\Delta x = 0$ g/kg p.s.)
Fig. 3. Outdoor air parameters requiring cooling and/or dehumidification for the base case ($\Delta t = 0$ K, $\Delta x = 0$ g/kg p.s.)

sposób można również przedstawić graficznie parametry powietrza zewnętrznego wymagające ochładzania i/lub osuszania w pozostałych przypadkach (Δt i Δx).
 Dla wszystkich branych pod uwagę przypadków (Δt i Δx) obliczono czas,

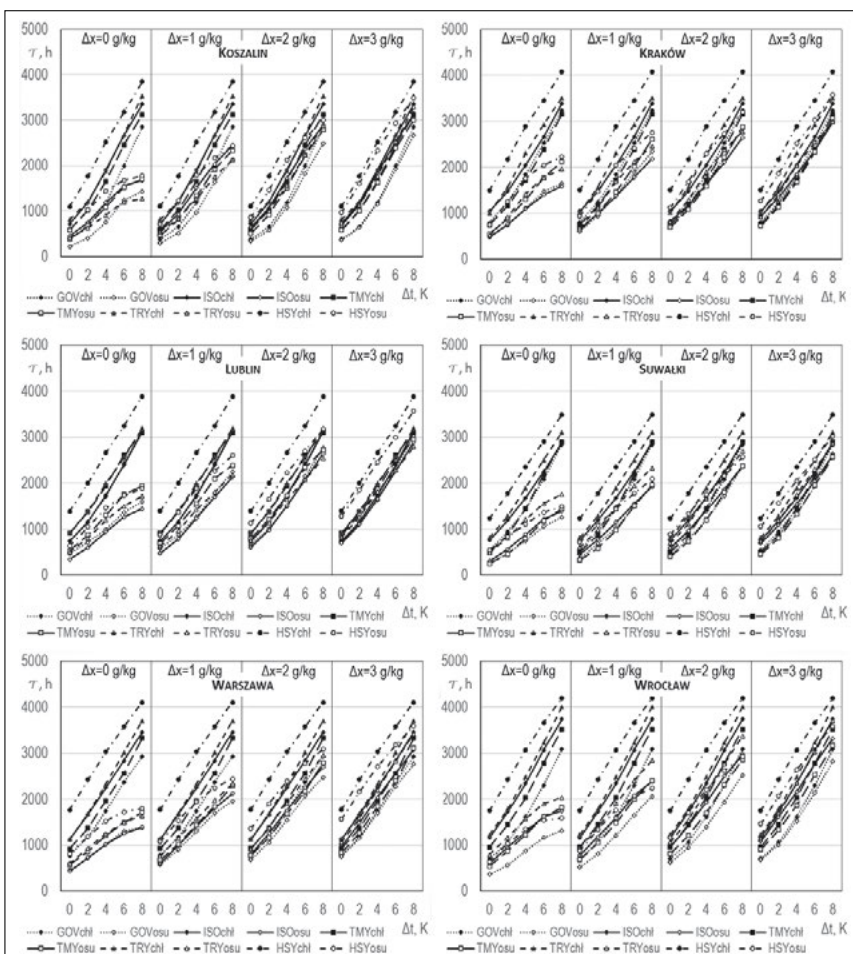
przez który wymagane jest ochładzanie powietrza (obniżanie jego temperatury) oraz niezbędny czas osuszania powietrza (obniżanie jego zawartości wilgoci) – patrz rys. 4. Czas chłodzenia jest we wszystkich przypadkach dłuższy od czasu osuszania

z uwagi na przyjęte wcześniej założenie, że osuszanie jest możliwe tylko wówczas, gdy zaistnieje potrzeba chłodzenia. W przypadkach niewielkiej wartości Δx (pomieszczenia o niewielkiej emisji pary wodnej, $\Delta x \leq 1$ g/kg p.s.) czas osuszania w stosunku do czasu chłodzenia wyraźnie maleje wraz ze wzrostem Δt . Tendencja ta jest prawie niezauważalna w przypadku dużych wartości Δx (w pomieszczeniach o znaczącej emisji pary wodnej, $\Delta x \geq 3$ g/kg p.s.). Należy zwrócić uwagę, że poza Krakowem i Lublinem, we wszystkich innych lokalizacjach, czasy chłodzenia i osuszania obliczone z danych GOV są krótsze od pozostałych, obliczonych z nowszych danych klimatycznych (choć dla Suwałk w odniesieniu do TMY różnice te są niewielkie). We wszystkich przypadkach czas chłodzenia dla roku ekstremalnie ciepłego (HSY) jest najdłuższy w stosunku do pozostałych typowych lat.

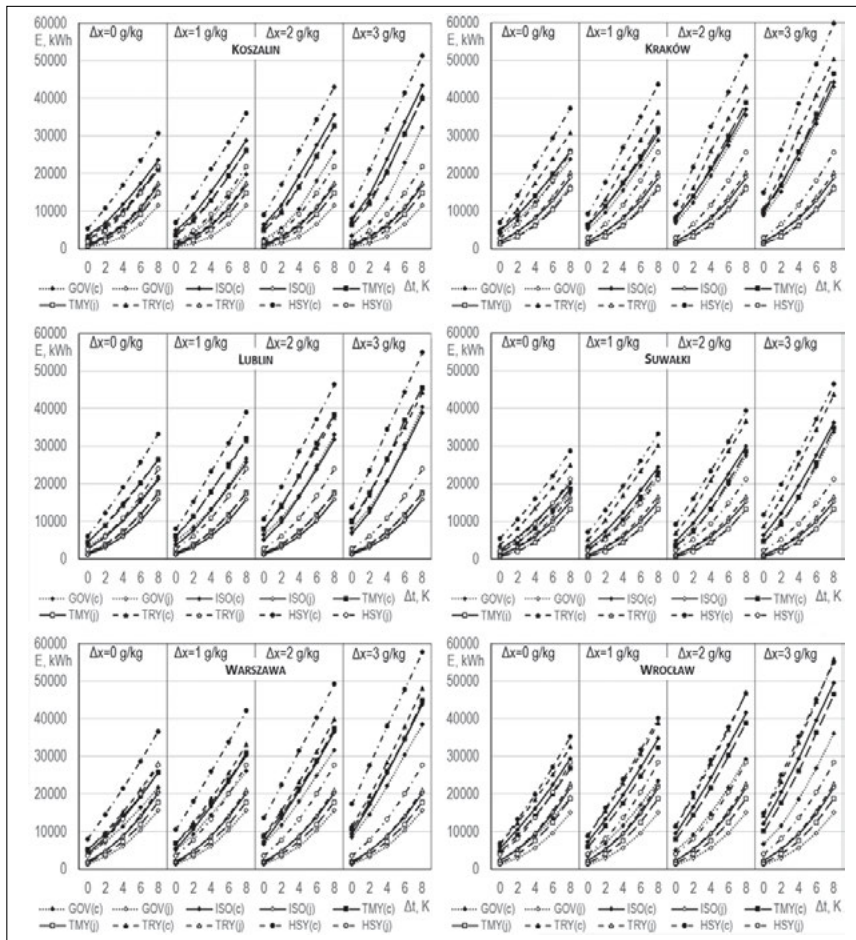
W analizowanych przypadkach zapotrzebowanie energii jawnej do chłodzenia nie zależy od przyrostu zawartości wilgoci w pomieszczeniu Δx – jest ono uzależnione jedynie od przyrostu temperatury powietrza w pomieszczeniu Δt – patrz rys. 5. Natomiast zapotrzebowanie na energię całkowitą wyraźnie zależy także od parametru Δx – wraz z jego przyrostem wzrasta również to zapotrzebowanie, gdyż zwiększa się udział energii utajonej w całkowitej. Zapotrzebowanie na energię całkowitą, obliczaną z danych klimatycznych GOV, jest zazwyczaj znacznie mniejsze niż te, którą są obliczane z nowszych danych klimatycznych. Wyjątek stanowi tu Lublin (gdzie wartości są podobne do ISO) oraz Suwałki (gdzie wartości są podobne do TMY). W zasadzie dla każdej lokalizacji wartości zapotrzebowania na energię całkowitą i jawną są znacznie wyższe dla HSY w stosunku do pozostałych danych klimatycznych – wyjątek stanowi tu Wrocław, gdzie zapotrzebowanie energii całkowitej uzyskanej z HSY są podobne do uzyskanych z TRY.

Na rys. 6. pokazano w sposób graficzny przyrosty zapotrzebowania energii całkowitej do chłodzenia powietrza w odniesieniu do przypadku wyjściowego (GOV, $\Delta t = 0$ K i $\Delta x = 0$ g/kg p.s.). Poza dwoma przypadkami (Lublin – ISO i Suwałki – TMY), wszystkie pozostałe charakteryzują się większym przyrostem zapotrzebowania energii w stosunku do GOV.

Określono także ilość wilgoci, którą należy zasymilować, aby parametry powietrza w pomieszczeniu (przy założonym Δt i Δx) odpowiadały parametrom komfortu. Uzyskane wyniki są różne i dość niejednoznaczne – patrz rys. 7. We wszystkich



Rys. 4. Wymagana liczba godzin chłodzenia τ_{chl} i osuszania τ_{osu} powietrza w poszczególnych lokalizacjach
Fig. 4. Required number of hours of cooling air τ_{chl} and dehumidifying air τ_{osu} in each location



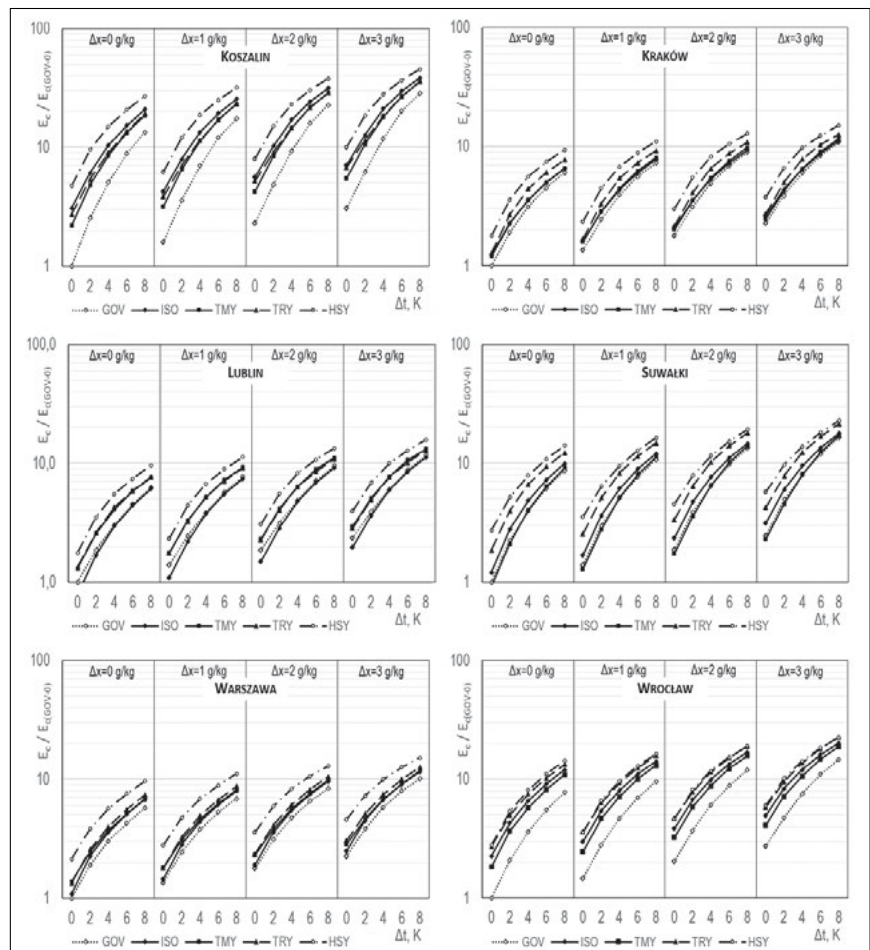
Rys. 5. Zapotrzebowanie na energię całkowitą E_c i jawną E_d do chłodzenia powietrza w poszczególnych lokalizacjach
 Fig. 5. The total energy demand E_c and the sensible energy E_d for air cooling in each location

przypadkach ilość koniecznej do odprowadzenia wilgoci jest uzależniona od parametrów Δt i Δx – wraz z ich przyrostami wzrasta również ilość wilgoci, którą należy odprowadzić. Nie zawsze jednak wartości uzyskane ze starszych danych (GOV) są mniejsze od tych uzyskanych z danych nowszych – patrz np. lokalizację w Lublinie, Suwałkach czy Warszawie. Również rok ekstremalnie ciepły (HSY) nie zawsze daje wartości największe – por. lokalizację w Suwałkach i przede wszystkim we Wrocławiu.

Wnioski

Poszczególne lata meteorologiczne były opracowywane dla różnego czasu-okresu i w większości wg różnych proce-

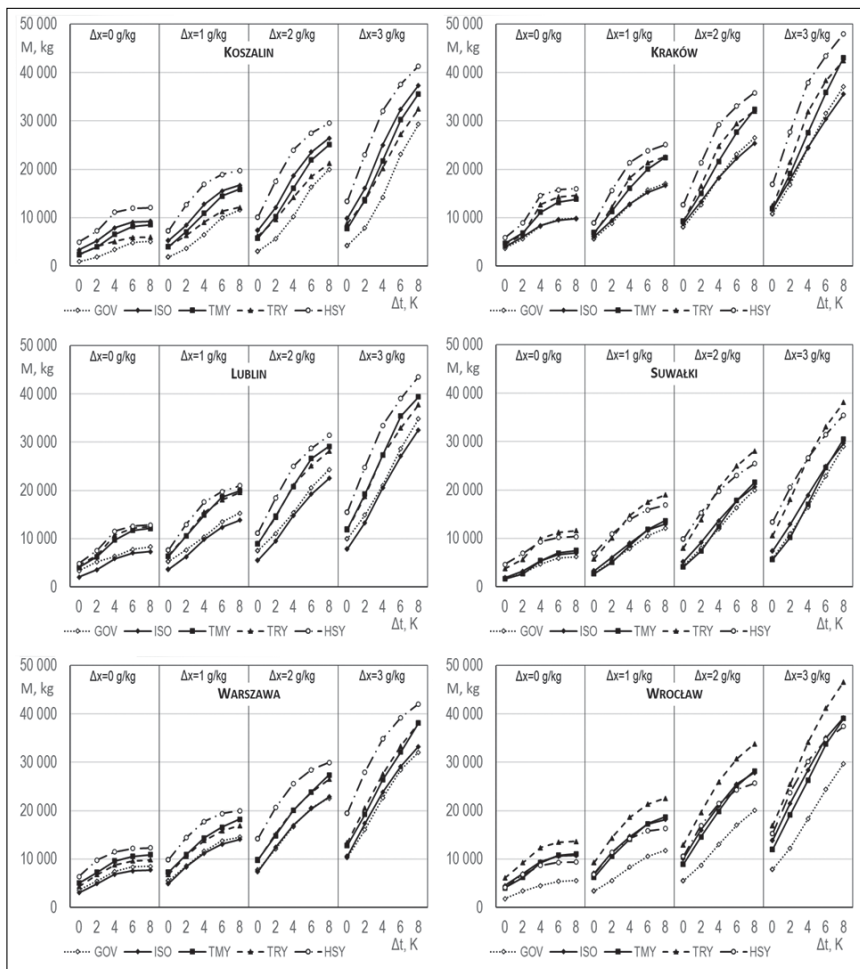
Rys. 6. Przyrost zapotrzebowania na energię całkowitą do chłodzenia w stosunku do energii dla GOV ($\Delta t = 0$ i $\Delta x = 0$)
 Fig. 6. Increase of the total energy demand for cooling compared to the energy demand for GOV ($\Delta t = 0$ and $\Delta x = 0$)



dur [11,13]. Jedynie w przypadku typowego roku meteorologicznego GOV (z lat 1971-2000) i ISO (2001-2020), z uwagi na podobny sposób jego generowania, można dokonać pewnej bezpośredniej analizy porównawczej. Całość analizy jednak uwidacznia trendy i zależności, które nie są jednak pozbawione wyjątków.

Dane zawarte w typowym roku meteorologicznym GOV i ISO potwierdziły trend wzrostu temperatury i zawartości wilgoci powietrza zewnętrznego z lat 2001-2020 w stosunku do lat 1971-2000. Największy wzrost średniej temperatury jak i zawartości wilgoci w powietrzu zewnętrznym zaobserwowano we Wrocławiu, najmniejszy w Lublinie, przy czym w Lublinie uwidocznili się nawet spadek średniej zawartości wilgoci w okresie półroczna ciepłego. Dane z pozostałych danych klimatycznych (TMY, TRY i w największym stopniu HSY) potwierdziły te tendencje, chociaż w różnym stopniu.

Istotnym wskaźnikiem, wpływającym na zapotrzebowanie energii do ochładzania i osuszania powietrza, jest czas, w którym występują temperatury i zawartość wilgoci w powietrzu zewnętrznym powyżej przyjętych wartości. Częstość występowania temperatury powietrza zewnętrznego powyżej wartości $t_z = 12$ °C jest wyższa



Rys. 7.

Niezbędna do osuszenia powietrza ilość asymilowanej wilgoci M

Fig. 7. The amount of assimilated moisture required to dry the air M

dla roku meteorologicznego ISO w stosunku do GOV dla wszystkich branych pod uwagę lokalizacji, poza Lublinem, gdzie w zasadzie nie zaobserwowano zmian. Podobnie jest w przypadku pozostałych lat meteorologicznych, poza TMY dla Suwałk, gdzie również nie zaobserwowano istotnych zmian w stosunku do GOV. Podobna tendencja występuje w przypadku częstotliwości występowania zawartości wilgoci w powietrzu zewnętrznym powyżej wartości $x_z = 6$ g/kg p.s., przy czym wartości te dla ISO w stosunku do GOV występują w Lublinie nawet rzadziej.

Czas, w którym wymagane jest ochładzanie powietrza, zależy jest od przyrostu temperatury powietrza Δt w pomieszczeniu i wzrasta wraz ze wzrostem tego parametru. Natomiast czas, w którym wymagane jest osuszanie powietrza, zależy zarówno od parametru Δt jak i Δx , przy czym dla niewielkich wartości Δx ($\Delta x = 0$ i $\Delta x = 1$ g/kg p.s.) zauważalna jest wyraźnie nieliniowa zależność tego czasu od przyrostu Δt . W każdym z rozpatrywanych przypadków dla $\Delta x > 0$ g/kg p.s. liczba godzin osuszania stanowi powyżej

50% liczby godzin chłodzenia, a przy wartościach $\Delta x = 3$ g/kg p.s. może przekraczać nawet 90%.

Dla prawie wszystkich nowszych danych klimatycznych wymagany czas chłodzenia i osuszania powietrza jest wyraźnie większy. Pomijając rok HSY, czas ten może być (dla $\Delta t = 0$ i $\Delta x = 0$) nawet dwukrotnie dłuższy w stosunku do czasu ze starszych danych klimatycznych GOV (np. w TRY_{chl} i TRY_{osu} w Koszalinie, czy TRY_{osu} we Wrocławiu). Najdłuższe czasy pracy w trybie chłodzenia uzyskano dla roku najcieplejszego HSY – dla najmniejszej wartości $\Delta t = 0$ K w Koszalinie wartości są większe o prawie 200% w stosunku do GOV. Czas pracy w trybie osuszania jest dla większości scenariuszy również najdłuższy dla HSY, jednak występują tu wyjątki dla Suwałk i Koszalina.

Zapotrzebowanie na energię całkowitą do ochładzania i osuszania powietrza wzrasta wraz ze wzrostem zarówno parametru Δt jak i Δx . Jednocześnie wraz ze wzrostem parametru Δx maleje udział zapotrzebowania na energię jawną w całkowitej.

Im większa jest potrzeba osuszania powietrza, wynikająca z większej emisji pary wodnej w pomieszczeniu (większych przyrostów zawartości wilgoci Δx), tym wyższy jest udział zapotrzebowania na energię utajoną do chłodzenia (rozumianą jako różnica energii całkowitej i jawnej) w energii całkowitej. Udział ten maleje wraz ze wzrostem zysków ciepła jawnego w pomieszczeniu (wraz ze wzrostem Δt), jednocześnie jednak dla największego parametru $\Delta x = 3$ g/kg p.s. zawsze (niezależnie od wartości Δt) przekracza wartość 50%, a dla najmniejszego parametru $\Delta t = 0$ K przekracza nawet 80%.

Dla prawie wszystkich nowszych danych klimatycznych zapotrzebowanie energii do chłodzenia i osuszania powietrza jest wyraźnie większe. Pomijając rok HSY, zapotrzebowanie to może być (dla $\Delta t = 0$ i $\Delta x = 0$) nawet o 200% (np. energii całkowitej dla ISO i jawnej dla TRY w Koszalinie) czy o ponad 150% (np. energii całkowitej dla TRY w Koszalinie i we Wrocławiu) większe w stosunku do wartości uzyskanych ze starszych danych klimatycznych GOV. Dla roku najcieplejszego HSY różnice te są najczęściej jeszcze większe i mogą przekraczać nawet 400% wartości dla GOV (w odniesieniu do energii całkowitej HSY w Koszalinie).

Pracę we wszystkich analizowanych przypadkach uwidacznia się wyraźny wzrost zapotrzebowania na energię całkowitą do ochładzania powietrza w stosunku do przypadku wyjściowego (podstawowego GOV; $\Delta t = 0$ K, $\Delta x = 0$ g/kg p.s.). Jednocześnie, poza ISO dla Lublina i TMY dla Suwałk, przyrosty w pozostałych przypadkach są większe od przyrostu, jakim charakteryzuje się GOV ($\Delta t \neq 0$ K lub $\Delta x \neq 0$ g/kg p.s.).

Pośród wszystkich analizowanych przypadków tylko w Koszalinie i we Wrocławiu stwierdzono większe potrzeby związane z osuszaniem powietrza uzyskane ze wszystkich nowszych danych klimatycznych w stosunku do starszych GOV. W pozostałych lokalizacjach występują co prawda liczne wyjątki, ale najczęściej zwiększone zapotrzebowanie na osuszanie powietrza występuje również dla nowszych danych klimatycznych. Największe potrzeby osuszania powietrza uzyskano dla roku najcieplejszego HSY (poza Wrocławiem) z maksimum dla Koszalina (gdzie $\Delta t = 0$ K i $\Delta x = 0$ g/kg p.s.) przekraczającej 500% wartości dla GOV.

Podsumowanie

Wybór poszczególnych typowych lat meteorologicznych do obliczeń energetycznych lub symulacji budynków powinien

uwzględnić czasookres, dla którego dane te były opracowywane. Rekomendowane jest stosowanie możliwie aktualnych danych klimatycznych. Jednocześnie, z uwagi na różnice w wartościach parametrów powietrza zewnętrznego występujące w poszczególnych danych (ISO, TMY, TRY), należałoby zalecić wykonanie takich obliczeń w oparciu o kilka typowych lat meteorologicznych, analizując tym samym różne możliwe scenariusze klimatyczne.

Do oceny w jaki sposób instalacja klimatyzacyjna może pracować w warunkach ekstremalnie ciepłych można wykorzystać dane HSY, chociaż jak pokazuje przykład Wrocławia, rok najcieplejszy nie musi oznaczać największego zapotrzebowania na energię do ochładzania powietrza i tym bardziej do jego osuszania. Wydaje się, że do pełnej oceny pracy układów klimatyzacyjnych należałoby opracować typowy rok meteorologiczny z większym uwzględnieniem parametrów wilgotnościowych, które w dużym stopniu decydują o mocy urządzeń chłodniczych.

LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej
- [2] Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków, <https://dane.gov.pl/pl/dataset/797,typowe-lata-meteorologiczne-i-statystyczne-dane-klimatyczne-dla-obszaru-polski-do-obliczen-energetycznych-budynkow>, 12.03.2023 r.
- [3] Kwiecień D., Wpływ wyboru statystycznych danych klimatycznych na zapotrzebowanie energii do uzdatniania powietrza klimatyzującego, *Instal*, 20/2020, s.30–38, <https://doi.org/10.36119/15.2020.2.3>.
- [4] IMGW-PIB. Klimat Polski 2021, 2022
- [5] Kwiecień D., Zapotrzebowanie na energię do klimatyzacji na podstawie statystycznych danych klimatycznych – studium przypadku dla Wrocławia, *Rynek Instalacyjny*, 12/2019, s.48–54
- [6] Kostka M., Zając A., The Impact of Climate Change on Primary Air Treatment Processes and Energy Demand in Air Conditioning Systems – A Case Study from Warsaw, *Energies* 2022, 15(1), 355; <https://doi.org/10.3390/en15010355>
- [7] Hosseini M., Tardy F., Lee B., Cooling and heating energy performance of a building with a variety of roof designs; the effects of future weather data in a cold climate, *Journal of Building Engineering* 17/2018, s.107–114, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.02.001>
- [8] Lupato G., Manzan M., Italian TRYS: New weather data impact on building energy simulations, *Energy and Building*, 185/2019, s.287–303, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.001>
- [9] Pernigotto G., Prada A., Gasparella A., Extreme reference years for building energy performance simulation. *J Build Perform Simul*, 13/2020, s.152–66, <https://doi.org/10.1080/19401493.2019.1585477>
- [10] Narowski P., Nowe typowe lata meteorologiczne dla Polsk, *Rynek Instalacyjny*, 11/2022, s.32–36
- [11] Narowski P., Analiza porównawcza typowych lat meteorologicznych Polski wyznaczonych na podstawie danych źródłowych z lat 2001–2020, *Instal*, 10/2022, s.11–25. <https://doi.org/10.36119/15.2022.10.2>
- [12] Narowski P., TLM2000 – Typowe lata meteorologiczne dla Polski wyznaczone na podstawie danych meteorologicznych i klimatycznych z lat 2001–2020, *CIĘPŁOWNICTWO, OGRZEWNICTWO, WENTYLACJA*, 9/2022, <https://doi.org/10.15199/9.2022.9.1>
- [13] Narowski P., TLM2000, <http://fizyka-budowli.pl/>, 12.03.2023 r.