

Wpływ wyboru statystycznych danych klimatycznych na zapotrzebowanie energii do uzdatniania powietrza klimatyzującego

Impact of the selection of statistical climate data on the energy demand for air conditioning treatment

DARIUSZ KWIECIEŃ

DOI 10.36119/15.2020.2.3

Zapotrzebowanie na energię do uzdatniania powietrza jest kluczowe do określenia efektywności energetycznej każdego projektowanego systemu wentylacyjnego i klimatyzacyjnego. Określa się je zazwyczaj w oparciu o dane klimatyczne, opracowane na podstawie pomiarów wieloletnich, w postaci tzw. typowych lat meteorologicznych. Wybór danych źródłowych może skutkować znaczącymi różnicami w wynikach obliczeń. Zostało to potwierdzone w obliczeniach przeprowadzonych na podstawie danych uzyskanych z dwóch różnych źródeł. W artykule przedstawiono i przedyskutowano wyniki obliczeń zapotrzebowania na energię do uzdatniania powietrza dla kilku wybranych lokalizacji na terenie Polski. Uzyskane wyniki pokazują, że wybór statystycznych danych klimatycznych ma największy wpływ na obliczeniowe zapotrzebowanie energii do oziębiania powietrza, stosunkowo najmniejszy zaś na zapotrzebowanie energii do nawilżania.

Słowa kluczowe: obliczenia energetyczne, typowy rok meteorologiczny, system wentylacyjny i klimatyzacyjny,

The energy demand for air treatment is essential for determining the energy efficiency of any designed ventilation and air conditioning system. They are normally determined on the basis of climatic data based on long-term measurements in the form of so-called Typical Meteorological Years. The choice of source of climatic data can cause significant differences in the calculation results. This was confirmed in calculations carried out on the basis of data obtained from two different sources. The article presents and discusses the results of calculations of energy demand for air treatment for several selected locations in Poland. The results obtained show that the choice of statistical climate data has the greatest impact on the calculated energy demand for air cooling and the relatively lowest on the energy demand for humidification.

Keywords: energy calculations, typical meteorological year, ventilation and air conditioning system

Wstęp

Współczesne tendencje do stosowania coraz bardziej energooszczędnych rozwiązań w technice HVAC wymuszają na projektantach systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych przeprowadzenie analizy pracy projektowanych urządzeń pod kątem zużycia energii w cyklu całorocznym. Wyniki takiej analizy powinny decydować o wyborze konkretnego rozwiązania do przyszłej realizacji.

Analizę całorocznej pracy systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych przeprowadza się zwykle w oparciu o dostępne dane klimatyczne, charakterystyczne dla danej strefy klimatycznej, regionu czy miejscowości, zlokalizowanej na terenie kraju (por. np. [11, 12]). Dane te opraco-

wywane są metodami statystycznymi na podstawie wieloletnich pomiarów, m. in. parametrów termodynamicznych powietrza zewnętrznego, prędkości wiatru, promieniowania słonecznego, zachmurzenia, czy opadów atmosferycznych. W technice wentylacyjnej i klimatyzacyjnej najważniejszymi parametrami, mającymi bezpośredni lub pośredni wpływ na energochłonność urządzeń, są: temperatura, wilgotność względna (lub zawartość wilgoci) i entalpia powietrza zewnętrznego, natężenie promieniowania słonecznego oraz ciśnienie atmosferyczne i prędkość wiatru.

Obecnie powszechnie dostępne są dane do obliczeń energetycznych budynków w postaci tzw. typowych lat meteorologicznych (dostępne na portalu internetowym Ministerstwa Inwestycji i Rozwoju

www.gov.pl [19]). Wykorzystuje się je m. in. do obliczeń charakterystyk energetycznych, sporządzania świadectw energetycznych oraz do symulacji pracy systemów HVAC w cyklu całorocznym lub sezonowym.

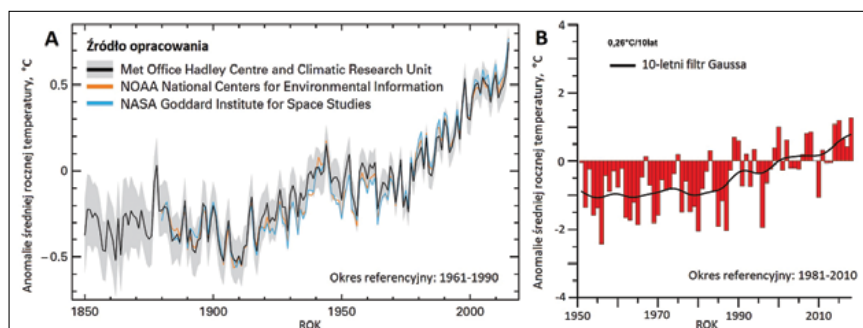
Typowe lata meteorologiczne zostały opracowane na podstawie normy europejskiej EN ISO 15927:4 dla 61 stacji meteorologicznych zlokalizowanych w różnych rejonach Polski [14, 15]. Roczny ciąg branych pod uwagę danych pogodowych utworzony został z 12 miesięcy wybranych z okresu minimum 10 lat obserwacji meteorologicznych dla danej lokalizacji. Typowe lata meteorologiczne, dostępne na portalu www.gov.pl zostały dla wszystkich analizowanych w tym artykule lokalizacji (dziesięć miast) opracowane na podstawie

danych źródłowych z okresu pełnego trzydziestolecia, tzn. z lat 1971-2000 [19].

Do oceny warunków klimatycznych stosuje się w klimatologii różne metody klasyfikacyjne w zakresie warunków termicznych [17]. Z uwagi na obserwowane zmiany klimatyczne, w szczególności zaś tendencję wzrostową temperatury powietrza zewnętrznego, zarówno w aspekcie globalnym [1,2] (por. rys. 1A), jak i krajowym [3,4,16] (por. rys. 1B), zachodzi pytanie, czy dane klimatyczne opracowane na podstawie pomiarów sprzed 20 i więcej lat są w dalszym ciągu reprezentatywne w obliczeniach zapotrzebowania energii w systemach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. Obecnie dostępne są również dane klimatyczne, opracowane na podstawie pomiarów z okresów bardziej współczesnych [21,22,23]. Do skorzystania z niektórych baz danych wymagany jest jednak zakup licencji do odpowiedniego oprogramowania. Jednym z nich jest globalna baza danych *Meteonorm*, dostępna na stronie internetowej <https://meteonorm.com> [20]. Do opracowania artykułu posłużono się danymi oferowanymi przez program *Meteonorm 7.2* (obecnie do dyspozycji jest już program w wersji 7.3), które w odniesieniu do obszaru Polski zostały uśrednione z okresów dziesięcioletnich: dla promieniowania słonecznego: 1991 – 2010 oraz 1981 – 1990, a dla temperatury zazwyczaj: 2000 – 2009.

Na potrzeby niniejszego artykułu przyjęto następujące skróty oznaczające dane w postaci typowych lat meteorologicznych, uzyskane z dwóch różnych źródeł:

- TRM1 – opracowanego na podstawie statystyk zamieszczonych na portalu www.gov.pl [19],
- TRM2 – opracowane na podstawie statystyk uzyskanych z licencjonowanego programu *Meteonorm 7.2* [20].



Rys. 1. A – Anomalie średniej rocznej temperatury powietrza na świecie [1] i B – w Polsce [3]
Fig. 1. A – Global [1] and B – in Poland [3] annual average temperature anomalies

Porównanie danych klimatycznych TRM1 i TRM2

Do oceny wpływu uzyskanych z dwóch różnych źródeł danych klimatycznych na

zapotrzebowanie energii do uzdatniania powietrza klimatyzującego wybrano dziesięć, różniących się miejscowym klimatem, lokalizacji na terenie Polski. Są to: Białystok, Koszalin, Kraków, Poznań, Lublin, Rzeszów, Suwałki, Szczecin, Warszawa i Wrocław.

W tabeli 1. ujęto charakterystyczne temperatury powietrza zewnętrznego

Tab. 1. Temperatury powietrza zewnętrznego w analizowanych miastach [19, 20].

Table 1. Outside air temperatures in the analyzed cities [19, 20]

Miejscowość	Źródło danych	Temperatura powietrza zewnętrznego, °C		
		min.	średnia	maks.
Białystok	TRM1	-17,6	6,9	30,8
	TRM2	-19,4	7,7	32,1
Koszalin	TRM1	-16,5	8,0	27,7
	TRM2	-14,2	8,9	30,9
Kraków	TRM1	-20,2	8,3	32,9
	TRM2	-16,3	8,9	33,2
Lublin	TRM1	-17,7	7,8	30,3
	TRM2	-17,9	8,3	32,4
Poznań	TRM1	-15,6	8,3	35,2
	TRM2	-15,0	9,5	33,7
Rzeszów	TRM1	-18,1	7,6	30,8
	TRM2	-17,7	8,9	33,4
Suwałki	TRM1	-26,2	6,4	32,5
	TRM2	-19,9	7,2	31,7
Szczecin	TRM1	-13,5	8,8	30,0
	TRM2	-13,9	9,1	32,4
Warszawa	TRM1	-12,3	8,3	33,2
	TRM2	-16,4	9,0	33,3
Wrocław	TRM1	-18,8	8,2	31,3
	TRM2	-15,9	9,6	33,4

w skali roku (wartości minimalne, średnie i maksymalne) uzyskane z dwóch źródeł (TRM1 i TRM2) dla wybranych lokalizacji na terenie kraju. We wszystkich rozpatrywanych lokalizacjach wartości średnich w całym roku temperatur zewnętrznym dla TRM2 są wyższe od wartości dla TRM1 (od 0,3 K w Szczecinie, aż do 1,4 K we

Warszawie). Minimalne wartości temperatury zewnętrznego wybrano dziesięć, różniących się miejscowym klimatem, lokalizacji na terenie Polski. Są to: Białystok, Koszalin, Kraków, Poznań, Lublin, Rzeszów, Suwałki, Szczecin, Warszawa i Wrocław.

W tabeli 2 podano wartości drugiego ważnego parametru fizycznego powietrza zewnętrznego, mającego wpływ na moce i zapotrzebowanie energii do oziębiania i nawilżania powietrza, tj. zawartości wilgoci. Średnie wartości tego parametru dla całego roku są dla TRM2 większe niż dla TRM1 od 0,03 g/kg w Suwałkach do 0,29 g/kg w Rzeszowie (oprócz Lublina, gdzie wartość tego parametru jest mniejsza dla TRM2 o 0,07 g/kg). Dla większości analizowanych lokalizacji minimalne zawartości wilgoci w powietrzu zewnętrznym wykazują mniejsze wartości dla TRM1 (poza Rzeszowem, Szczecinem i w niewielkim stopniu Warszawą). Natomiast maksymalne wartości tego parametru są dla prawie wszystkich miejscowości (poza Szczecinem i Warszawą) większe dla

Tab. 2. Zawartości wilgoci w powietrzu zewnętrznym w analizowanych miastach [19, 20]

Table 2. Humidity ratio of outside air in the analyzed cities [19, 20]

Miejscowość	Źródło danych	Zawartość wilgoci w powietrzu zewnętrznym, g/kg s.p.		
		min.	średnia	maks.
Białystok	TRM1	0,7	5,6	16,1
	TRM2	0,8	5,6	17,0
Koszalin	TRM1	0,9	5,8	13,8
	TRM2	1,3	6,0	16,6
Kraków	TRM1	0,6	6,1	15,4
	TRM2	0,9	6,2	16,8
Lublin	TRM1	0,8	6,0	16,1
	TRM2	0,9	6,0	17,7
Poznań	TRM1	0,9	5,8	16,1
	TRM2	1,2	5,9	16,2
Rzeszów	TRM1	0,8	5,9	15,5
	TRM2	0,7	6,2	17,8
Suwałki	TRM1	0,3	5,6	16,2
	TRM2	0,8	5,6	17,4
Szczecin	TRM1	1,2	6,1	16,4
	TRM2	1,1	6,1	16,2
Warszawa	TRM1	1,1	5,9	17,0
	TRM2	1,1	5,9	16,7
Wrocław	TRM1	0,7	5,8	14,4
	TRM2	1,0	6,0	17,5

TRM2 (np. w Krakowie o 2,8 g/kg, a we Wrocławiu aż o 3,1 g/kg). Należy jednak zaznaczyć, że zawartość wilgoci powietrza zewnętrznego nie była ujęta w statystykach TRM2 i została obliczona przez autora na podstawie pozostałych parametrów powietrza w oparciu o znane zależności matematyczne służące do wyznaczania parametrów termodynamicznych powietrza wilgotnego [5].

Istotną wielkością wpływającą na energochłonność systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych jest promieniowanie słoneczne, gdyż zazwyczaj w dużym stopniu przyczynia się do wzrostu zapotrzebowania energii do oziębiania powietrza (z uwagi na wpływ na bilans ciepła w pomieszczeniu). Parametrem charakterystycznym jest nasłonecznienie, będące sumą energii promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni poziomej w skali roku lub sezonu. W tabeli 3. poda-

Tab. 3. Nasłonecznienie w analizowanych miastach [19, 20]

Table 3. Insolation in the analyzed cities [19, 20]

Miejscowość	Źródło danych	Nasłonecznienie, kWh/m ²		
		rok	IV – IX	X – III
Białystok	TRM1	897	713	184
	TRM2	1009	817	192
Koszalin	TRM1	827	644	183
	TRM2	1015	829	187
Kraków	TRM1	1045	803	242
	TRM2	1051	816	235
Lublin	TRM1	974	765	210
	TRM2	1105	870	235
Poznań	TRM1	961	737	224
	TRM2	1057	840	217
Rzeszów	TRM1	1051	661	390
	TRM2	1061	827	235
Suwałki	TRM1	838	666	172
	TRM2	1004	815	189
Szczecin	TRM1	863	661	202
	TRM2	994	801	193
Warszawa	TRM1	978	762	216
	TRM2	1068	849	219
Wrocław	TRM1	993	760	233
	TRM2	1085	848	236

no te wartości odniesione do roku oraz półroczia ciepłego i zimnego. We wszystkich analizowanych lokalizacjach roczne nasłonecznienie dla TRM2 jest większe aniżeli dla TRM1. W niektórych miastach różnice są bardzo duże, bo przekraczające 20% wartości podanej dla TRM1 (Koszalin) lub do niej dochodzące (Suwałki). W okresie półroczia ciepłego (kwiecień – wrzesień) różnice te są jeszcze większe – w Rzeszowie, Suwałkach i Szczecinie wyraźnie przekraczają 20%, a w Koszalinie dochodzą prawie do 30%. W okresie zimnym różnice te są znacznie mniejsze, poza Rzeszowem, dla którego różnica względem TRM1 wyno-

si aż 40%, ale już w ciągu całego roku spada do wartości mniejszej poniżej 1%.

Dobór nagrzewnicy powietrza określa się w oparciu o jej moc, która jest uzależniona od maksymalnej (w warunkach obliczeniowych) różnicy temperatur między powietrzem nawiewanym a powietrzem za wymiennikiem do odzysku ciepła lub powietrzem po zmieszaniu w komorze mieszania, a co za tym idzie, pośrednio, od obliczeniowej temperatury powietrza zewnętrznego. Wartość tej temperatury jest przyjmowana dla danej strefy klimatycznej, zazwyczaj na podstawie starych

normy PN-82/B-02403 [26, 27]. A zatem chwilowe wartości temperatur zewnętrznych nie mają większego wpływu na moc obliczeniową nagrzewnicy, gdyż prawie we wszystkich lokalizacjach temperatury te są niższe od temperatury obliczeniowej (wyjątek stanowią dwa miasta: Suwałki z temperaturą obliczeniową okresu zimnego – 24°C i Kraków z temperaturą – 20°C). Natomiast na roczne zapotrzebowanie energii do ogrzewania powietrza klimatyzującego wpływ ma częstość występowania danej temperatury w ciągu roku. W tabeli 4 podano czasy występowania

Tab. 4. Czas występowania temperatury powietrza zewnętrznego poniżej wartości progowej [19, 20]
Table 4. The time the outside air temperature falls below the threshold value [19, 20]

Miejscowość	Źródło danych	Czas występowania temperatury powietrza zewnętrznego poniżej wartości progowej, h						
		-20°C	-16°C	-12°C	-8°C	-4°C	0°C	4°C
Białystok	TRM1	0	30	139	366	977	2025	3563
	TRM2	0	31	109	346	876	1847	3261
Koszalin	TRM1	0	2	26	109	287	1255	2871
	TRM2	0	0	14	135	423	1188	2494
Kraków	TRM1	1	13	52	234	730	1895	3025
	TRM2	0	4	61	225	609	1524	2914
Lublin	TRM1	0	9	61	274	835	2071	3272
	TRM2	0	18	164	324	786	1719	3102
Poznań	TRM1	0	0	33	143	681	1687	3055
	TRM2	0	0	51	183	459	1270	2612
Rzeszów	TRM1	0	10	129	350	835	1917	3326
	TRM2	0	13	103	321	707	1521	2835
Suwałki	TRM1	23	70	205	509	1218	2310	3851
	TRM2	0	51	142	418	909	1895	3409
Szczecin	TRM1	0	0	2	60	298	1176	2637
	TRM2	0	0	19	155	450	1186	2536
Warszawa	TRM1	0	0	2	81	449	1383	3239
	TRM2	0	2	88	231	653	1536	2747
Wrocław	TRM1	0	6	39	184	573	1463	3046
	TRM2	0	0	66	223	500	1307	2487

Tab. 5. Czas występowania zawartości wilgoci w powietrzu zewnętrznym poniżej wartości progowej [19, 20]

Table 5. The time the humidity ratio of outside air falls below the threshold value [19, 20]

Miejscowość	Źródło danych	Czas występowania zawartości wilgoci w powietrzu zewnętrznym poniżej wartości progowej, h					
		1g/kg	2g/kg	3g/kg	4g/kg	5g/kg	6g/kg
Białystok	TRM1	54	634	1711	3244	4226	5020
	TRM2	23	475	1630	3150	4510	5452
Koszalin	TRM1	3	220	1083	2604	3748	4927
	TRM2	0	242	1054	2337	3784	4973
Kraków	TRM1	20	409	1454	2936	3895	4694
	TRM2	7	343	1250	2641	3926	4877
Lublin	TRM1	18	475	1553	2941	3710	4375
	TRM2	18	400	1426	2848	4122	4929
Poznań	TRM1	5	413	1425	2985	4141	5224
	TRM2	0	255	1038	2570	3928	5055
Rzeszów	TRM1	41	649	1676	3160	4087	4722
	TRM2	18	423	1364	2556	3777	4774
Suwałki	TRM1	112	662	1803	3254	4351	5155
	TRM2	36	514	1578	3174	4482	5445
Szczecin	TRM1	0	193	776	2353	3718	4801
	TRM2	0	220	941	2270	3560	4776
Warszawa	TRM1	0	279	1183	2825	4031	5026
	TRM2	0	339	1367	2691	3898	4983
Wrocław	TRM1	11	317	1238	2762	4060	4994
	TRM2	0	286	1234	2468	3734	4941

niskich temperatur powietrza zewnętrznego poniżej pewnych wartości progowych (między -20°C a $+4^{\circ}\text{C}$). Różnice w wartościach dla TRM1 i TRM2 są wyraźnie, przy czym na ogół czas występowania niskich temperatur zewnętrznych w ciągu roku jest większy dla TRM1. Wyjątek stanowią tu Szczecin i Warszawa, w których temperatury poniżej $\pm 0^{\circ}\text{C}$ występują częściej dla TRM2.

Moc nawilżacza parowego (wytwornicy pary) określana jest na podstawie największego przyrostu zawartości wilgoci w powietrzu przepływającym przez nawilżacz, co najczęściej zachodzi przy najmniejszej zawartości wilgoci w powietrzu zewnętrznym. Catoroczne zapotrzebowanie energii do nawilżania jest uzależnione ponadto od częstości występowania parametrów powietrza zewnętrznego charakteryzujących się niewielkimi zawartościami wilgoci (mniejszymi od minimalnej zawartości wilgoci w powietrzu nawiewanym). W tabeli 5 podano czasy występowania tego parametru dla powietrza zewnętrznego poniżej założonych wartości progowych (z zakresu od 1 do 6 g/kg p.s.). W większości przypadków najniższe zawartości wilgoci (poniżej 4 g/kg s.p.) występują częściej w TRM1 aniżeli TRM2. Należy zwrócić także uwagę na czas występowania wartości poniżej 6 g/kg s.p., który praktycznie we wszystkich analizowanych miejscowościach wynosi przynajmniej 50%, a wg TRM2 dla wartości progowej 5 g/kg s.p. w Białymstoku przekracza 50% czasu w ciągu całego roku.

Moc oraz zapotrzebowanie energii dla chłodnicy są uzależnione nie tylko od parametrów temperaturowych, ale także od wilgotnościowych powietrza. Oznacza to, że decydująca jest w tym wypadku różnica entalpii między powietrzem za wymiennikiem do odzysku energii lub powietrzem po zmieszaniu w komorze mieszania a powietrzem nawiewanym do pomieszczenia. W konsekwencji, decydujący wpływ zarówno na moc, jak i na zapotrzebowanie energii dla chłodnicy, ma entalpia powietrza zewnętrznego. W tabeli 6 podano czas występowania temperatur powietrza zewnętrznego powyżej wartości progowych z przedziału od $+20^{\circ}\text{C}$ do $+32^{\circ}\text{C}$, a w tabeli 7 czas występowania entalpii powietrza zewnętrznego powyżej wartości progowych z przedziału od 40 do 70 kJ/kg.

Analizując tabelę 6 można stwierdzić, że częstość występowania temperatur powietrza zewnętrznego powyżej wartości $+20^{\circ}\text{C}$ jest wyższa dla TRM2. Wyjątek stanowią Suwałki, i to jedynie dla temperatur zewnętrznych powyżej $+28^{\circ}\text{C}$, dla których

Tab. 6. Czas występowania temperatury powietrza zewnętrznego powyżej wartości progowej [19, 20]
Table 6. The time the outside air temperature is above the threshold value [19, 20]

Miejscowość	Źródło danych	Czas występowania temperatury powietrza zewnętrznego powyżej wartości progowej, h						
		20°C	22°C	24°C	26°C	28°C	30°C	32°C
Białystok	TRM1	621	373	169	60	36	7	0
	TRM2	880	536	304	169	73	25	1
Koszalin	TRM1	371	187	87	31	0	0	0
	TRM2	807	499	268	131	45	7	0
Kraków	TRM1	791	493	250	129	62	25	4
	TRM2	1166	796	489	263	126	43	14
Lublin	TRM1	748	405	217	94	27	2	0
	TRM2	992	615	355	178	58	11	3
Poznań	TRM1	804	476	234	118	56	28	12
	TRM2	1160	737	409	198	93	42	17
Rzeszów	TRM1	746	456	260	109	35	9	0
	TRM2	1082	704	412	227	85	21	6
Suwałki	TRM1	536	294	144	75	38	15	3
	TRM2	834	487	229	81	23	10	0
Szczecin	TRM1	514	257	123	54	21	0	0
	TRM2	962	578	305	169	66	25	6
Warszawa	TRM1	768	462	239	114	50	21	5
	TRM2	1097	685	408	241	93	30	5
Wrocław	TRM1	699	434	247	119	39	11	0
	TRM2	1206	792	478	267	128	53	15

Tab. 7. Czas występowania entalpii właściwej powietrza zewnętrznego powyżej wartości progowej [19, 20]
Table 7. The time the enthalpy of outside air is above the threshold value [19, 20]

Miejscowość	Źródło danych	Czas występowania entalpii właściwej powietrza zewnętrznego powyżej wartości progowej, h						
		40kJ/kg	45kJ/kg	50kJ/kg	55kJ/kg	60kJ/kg	65kJ/kg	70kJ/kg
Białystok	TRM1	1009	506	246	74	28	12	0
	TRM2	1386	831	447	230	102	37	16
Koszalin	TRM1	1013	371	106	17	1	0	0
	TRM2	1408	868	466	206	90	40	9
Kraków	TRM1	1513	914	478	204	79	6	0
	TRM2	1686	1096	685	383	216	103	12
Lublin	TRM1	1376	719	381	159	51	16	0
	TRM2	1536	983	561	272	126	41	16
Poznań	TRM1	1408	788	345	110	36	5	0
	TRM2	1517	874	502	248	82	15	0
Rzeszów	TRM1	1473	884	414	141	34	8	0
	TRM2	1740	1125	642	359	178	102	37
Suwałki	TRM1	1097	521	200	87	44	16	9
	TRM2	1278	738	411	211	98	27	1
Szczecin	TRM1	1264	569	269	92	17	7	0
	TRM2	1492	899	505	233	114	40	6
Warszawa	TRM1	1371	846	430	189	44	6	1
	TRM2	1595	985	570	242	73	24	0
Wrocław	TRM1	1251	679	269	99	11	0	0
	TRM2	1615	1004	568	271	117	59	17

czas ich występowania jest o 15 godzin w skali roku dłuższy niż dla TRM1. Należy zwrócić także uwagę na bardzo dużą rozbieżność w czasie występowania najwyższych temperatur powietrza zewnętrznego dla analizowanych źródeł danych (TRM1 i TRM2). Największa rozbieżność występuje w Koszalinie, gdzie temperatury powyżej $+20^{\circ}\text{C}$ występują aż o 118%, w Szczecinie o ponad 87% i we Wrocławiu o ponad 75% częściej dla TRM2 aniżeli dla TRM1.

Istotne różnice w częstościach występowania można zaobserwować także

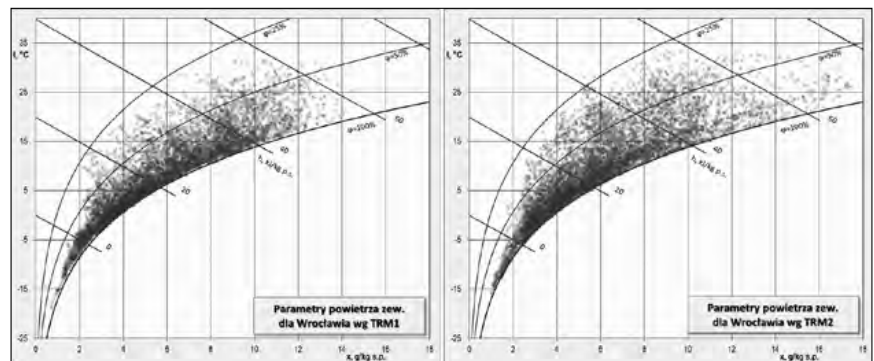
w odniesieniu do entalpii powietrza zewnętrznego (tabela 7). Praktycznie w każdym przypadku (poza Suwałkami dla wartości progowej 70kJ/kg) wartości entalpii powietrza zewnętrznego powyżej 40kJ/kg pojawiają się częściej dla TRM2 niż dla TRM1. Różnice względne pogłębiają się wraz ze wzrostem wartości progowej entalpii. Na przykład w Krakowie entalpia powietrza zewnętrznego o wartości przekraczającej 65 kJ/kg występuje ponad szesnastokrotnie, a w Rzeszowie prawie dwunastokrotnie częściej dla TRM2. W Koszalinie i we Wrocławiu

podobnie duże różnice pojawiają się już przy mniejszych wartościach progowych entalpii.

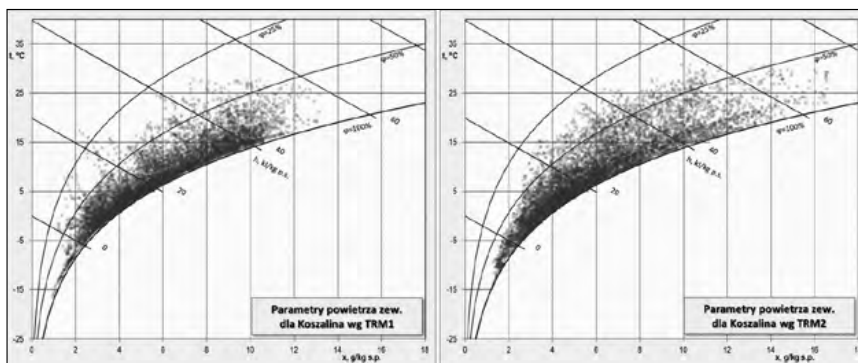
Częstość występowania parametrów powietrza zewnętrznego ma istotny wpływ na zapotrzebowanie energii do uzdatniania powietrza klimatyzującego. Na przykładowych rysunkach 2 – 5 pokazano dla kilku wybranych miast graficzne rozkłady tych parametrów na wykresach $h-x$ Moliera. Na rysunkach tych można zauważyć, że dane źródłowe dla TRM2 charakteryzują się wyraźnie większym zakresem występowania parametrów powietrza zewnętrznego. Szczególnie widoczne jest przesunięcie tych parametrów do obszaru większych zawartości wilgoci i entalpii, a także, chociaż w mniejszym stopniu, do obszaru

wyższych temperatur. W przypadku korzystania w obliczeniach z danych źródłowych dla TRM2 powinno to skutkować

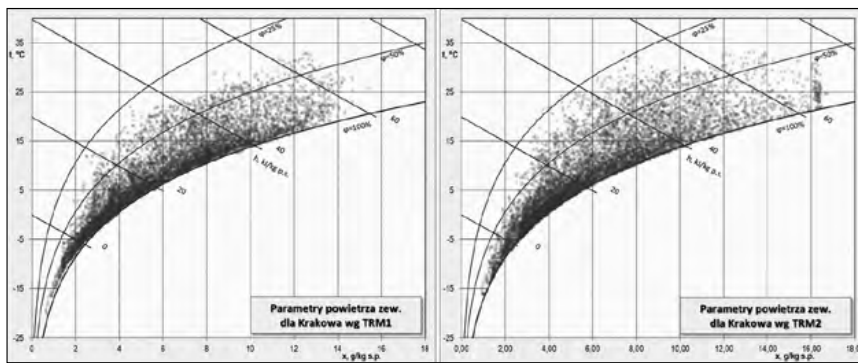
przede wszystkim zwiększonym zapotrzebowaniem energii do oziębiania powietrza, a także większymi chwilowymi moca-



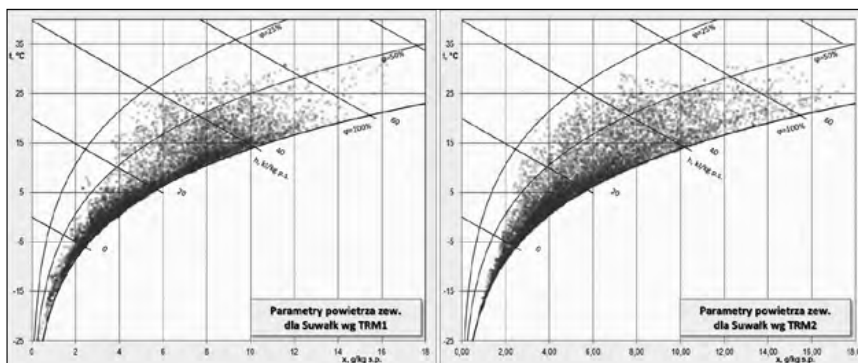
Rys. 5. Parametry powietrza zewnętrznego we Wrocławiu na wykresie $h-x$ Moliera, na podstawie [19, 20]
Fig. 5. Outside air parameters in Wrocław on the $h-x$ Molier chart, based on [19, 20]



Rys. 2. Parametry powietrza zewnętrznego w Koszalinie na wykresie $h-x$ Moliera, na podstawie [19, 20]
Fig. 2. Outside air parameters in Koszalin on the $h-x$ Molier chart, based on [19, 20]



Rys. 3. Parametry powietrza zewnętrznego w Krakowie na wykresie $h-x$ Moliera, na podstawie [19, 20]
Fig. 3. Outside air parameters in Kraków on the $h-x$ Molier chart, based on [19, 20]



Rys. 4. Parametry powietrza zewnętrznego w Suwałkach na wykresie $h-x$ Moliera, na podstawie [19, 20]
Fig. 4. Outside air parameters in Suwałki on the $h-x$ Molier chart, based on [19, 20]

mi chłdnic. W przypadku zapotrzebowania energii do ogrzewania, należy się spodziewać nieco mniejszych wartości uzyskanych z danych dla TRM2 z uwagi na krótszy czas występowania niskich temperatur zewnętrznych. Trudniej przewidzieć wartości zapotrzebowania energii do nawilżania powietrza, gdyż czas występowania najniższych wartości zawartości wilgoci nie różni się w tak dużym stopniu dla TRM1 i TRM2 jak w przypadku czasu występowania temperatur zewnętrznych.

W dalszej części artykułu postanowiono zweryfikować powyższe przypuszczenia wykonując obliczenia zapotrzebowania energii do uzdatniania powietrza w konwencjonalnym systemie klimatyzacyjnym.

Metodyka obliczeń

- Na potrzeby niniejszego artykułu wykonano obliczenia zapotrzebowania energii do ogrzewania, oziębiania i nawilżania parowego powietrza klimatyzującego w konwencjonalnym systemie klimatyzacyjnym, w którym po stronie powietrza nawiewanego zastosowano następujące elementy umożliwiające przemiany stanu powietrza: wymiennik do odzysku energii jawniej z powietrza wywiewanego, nagrzewnicę wodną, chłdnicę wodną i nawilżacz parowy. Obliczenia wykonano dla każdej godziny pracy urządzenia klimatyzacyjnego (por. [18]). Analizą objęto dwa przypadki: pracę całodobową oraz pracę dwunastogodzinną (od godz. 7.00 do godz. 18.00) przez siedem dni w tygodniu. W oparciu o parametry fizyczne powietrza zewnętrznego, uzyskane z dwóch źródeł (TRM1 i TRM2), wykorzystując znane zależności umożliwiające określenie parametrów powietrza

- wilgotnego [5] i uwzględniając założenia podane poniżej, obliczono parametry termodynamiczne powietrza za wymiennikiem do odzysku energii, za nagrzewnicą, za chłodnicą i za nawilżaczem parowym. Uwzględniono przy tym następujące tryby pracy urządzenia klimatyzacyjnego: praca w trybie ogrzewania powietrza z wykorzystaniem maksymalnej sprawności odzysku energii (gdy temperatura powietrza nawiewanego jest większa od temperatury powietrza zewnętrznego oraz temperatura powietrza nawiewanego jest nie mniejsza niż temperatura powietrza za wymiennikiem do odzysku energii),
- praca w trybie ogrzewania powietrza z wykorzystaniem zmiennej sprawności odzysku energii (gdy temperatura powietrza nawiewanego jest większa od temperatury powietrza zewnętrznego oraz temperatura powietrza nawiewanego jest mniejsza od temperatury powietrza za wymiennikiem do odzysku energii, obliczonej przy maksymalnej sprawności),
 - praca w trybie nawilżania powietrza (gdy zawartość wilgoci w powietrzu zewnętrznym jest mniejsza od minimalnej zawartości wilgoci w powietrzu wewnętrznym, pomniejszonej o założony przyrost zawartości wilgoci w pomieszczeniu),
 - praca w trybie ochładzania powietrza, umożliwiającą jedynie obniżanie temperatury powietrza (gdy temperatura powietrza nawiewanego jest mniejsza od temperatury zewnętrznej i temperatura punktu rosy powietrza zewnętrznego jest mniejsza lub równa założonej temperaturze ścianki chłodnicy),
 - praca w trybie ochładzania i osuszania powietrza, umożliwiającą obniżanie temperatury i zawartości wilgoci (gdy temperatura powietrza nawiewanego jest mniejsza od temperatury zewnętrznej i temperatura punktu rosy powietrza zewnętrznego jest większa od założonej temperatury ścianki chłodnicy).
- Obliczenia te wykonano ponadto przy następujących założeniach:
- strumień masy powietrza klimatyzującego jest stały przez cały czas pracy urządzenia; dla wszystkich rozwiązań przyjęto $= 1 \text{ kg/s}$,
 - temperatura powietrza w pomieszczeniu t_p jest stała ($t_p = 20^\circ\text{C}$), jeżeli temperatura zewnętrzna $t_z \leq 20^\circ\text{C}$ oraz jest zmienna ($t_p = (20 + t_z)/2$), jeżeli $t_z > 20^\circ\text{C}$,
 - temperatura powietrza wywiewanego jest równa temperaturze powietrza w pomieszczeniu,

- w pomieszczeniu, w wyniku zysków wilgoci, następuje stały przyrost zawartości wilgoci w powietrzu, wynoszący $0,5 \text{ g/kg s.p.}$,
 - minimalna wartość wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu wynosi 35% ,
 - nie jest ograniczana maksymalna wartość wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu, każdorazowo jest wypadkową parametrów powietrza zewnętrznego oraz procesu odzysku energii i oziębiania powietrza do wymaganej temperatury powietrza nawiewanego
 - średnia temperatura ścianki chłodnicy jest stała i wynosi $+10^\circ\text{C}$,
 - sprawność temperaturowa odzysku ciepła jest zmienna, w zależności od aktualnych potrzeb; maksymalna wartość sprawności wynosi $\eta = 73\%$ [24],
 - nie uwzględniono zmniejszenia sprawności temperaturowej odzysku ciepła w wyniku oszronienia wymiennika w okresie zimnym,
 - nie uwzględniono przyrostu temperatury powietrza przepływającego przez sekcję wentylatorów,
 - proces nawilżania parowego jest izotermiczny,
 - proces odzysku energii z powietrza wywiewanego po stronie powietrza nawiewanego zachodzi bez zmiany zawartości wilgoci ($\Delta x = 0$; odzysk energii jawnej).
- Ponadto obliczenia przeprowadzono przy założeniu, że wartość temperatury powietrza nawiewanego jest regulowana tylko w funkcji temperatury powietrza w pomieszczeniu. Uwzględniając dwa różne scenariusze zmian temperatury powietrza nawiewanego i różne czasy pracy urządzenia klimatyzacyjnego, przeanalizowano cztery przypadki:
- wariant 1A – czas pracy 24 h/dobę , $\Delta t_{oz} = -2 \text{ K}$, $\Delta t_{oc} = +6 \text{ K}$,
 - wariant 1B – czas pracy 12 h/dobę , $\Delta t_{oz} = -2 \text{ K}$, $\Delta t_{oc} = +6 \text{ K}$,
 - wariant 2A – czas pracy 24 h/dobę , $\Delta t_{oz} = 4 \text{ K}$, $\Delta t_{oc} = +8 \text{ K}$,
 - wariant 2B – czas pracy 12 h/dobę , $\Delta t_{oz} = 4 \text{ K}$, $\Delta t_{oc} = +8 \text{ K}$.
- Wartości Δt określono z zależności:
- $\Delta t_{oz} = t_{poz} - t_{zoz}$ (t_{poz} – temperatura powietrza w pomieszczeniu w warunkach obliczeniowych okresu zimnego ($= 20^\circ\text{C}$), t_{zoz} – temperatura obliczeniowa powietrza zewnętrznego w okresie zimnym; przyjęto wartości zgodnie z [26] w zależności od strefy klimatycznej),
 - $\Delta t_{oc} = t_{poc} - t_{zoc}$ (t_{poc} – temperatura powietrza w pomieszczeniu w warunkach obliczeniowych okresu ciepłego

($= (20 + t_{zoc})/2$), t_{zoc} – temperatura obliczeniowa powietrza zewnętrznego w okresie ciepłym; przyjęto wartości zgodnie z [25] w zależności od strefy klimatycznej).

Zapotrzebowanie na energię w nagrzewnicy powietrza E_N określono na podstawie wzoru:

$$E_N = \sum_{i=1}^n (Q_{Ni} \cdot \tau_i), \text{ kWh}$$

gdzie:

- i – kolejna godzina pracy nagrzewnicy,
- τ – czas pracy nagrzewnicy w kolejnej godzinie, h,
- $Q_{Ni} = \dot{m} \cdot (t_n - t_{zw})_i$ – moc nagrzewnicy w kolejnej godzinie pracy (jeżeli $t_n > t_{zw}$), kW
- t_n – temperatura powietrza nawiewanego, $^\circ\text{C}$,
- t_{zw} – temperatura powietrza za wymiennikiem do odzysku energii, $^\circ\text{C}$.

Zapotrzebowanie na energię w chłodnicy powietrza E_{CH} określono na podstawie wzoru:

$$E_{CH} = \sum_{i=1}^n (Q_{CHi} \cdot \tau_i), \text{ kWh}$$

gdzie:

- i – kolejna godzina pracy chłodnicy,
- τ – czas pracy chłodnicy w kolejnej godzinie, h,
- $Q_{CHi} = \dot{m} \cdot (h_{zw} - h_n)_i$ – moc chłodnicy w kolejnej godzinie pracy (jeżeli $t_n < t_{zw}$), kW
- h_{zw} – entalpia właściwa powietrza za wymiennikiem do odzysku energii, kJ/kg,
- h_n – entalpia właściwa powietrza nawiewanego, kJ/kg.

Zapotrzebowanie na energię w nawilżaczu parowym E_{NP} określono na podstawie wzoru:

$$E_{NP} = \sum_{i=1}^n (Q_{WPI} \cdot \tau_i), \text{ kWh}$$

gdzie:

- i – kolejna godzina pracy nawilżacza parowego,
- τ – czas pracy nawilżacza parowego w kolejnej godzinie, h,
- $Q_{WPI} = \dot{m}_{NPI} \cdot r$ – moc wytwornicy pary w kolejnej godzinie pracy, kW,
- $\dot{m}_{NPI} = \dot{m} \cdot (x_n - x_{nmin})_i$ – wydajność nawilżacza parowego w kolejnej godzinie pracy (jeżeli $x_{nmin} > x_{zw}$), kg/s,
- r – ciepło parowania wody, $r = 2500 \text{ kJ/kg}$,
- x_n – zawartość wilgoci w powietrzu nawiewanym, kg/kg s.p.,
- x_{nmin} – zawartość wilgoci w powietrzu nawiewanym przy minimalnej

zawartości wilgoci w powietrzu wewnętrznym, kg/kg s.p.,
 x_{zw} – zawartość wilgoci w powietrzu za wymienniki do odzysku ciepła, kg/kg s.p.

Zapotrzebowanie energii do uzdatniania powietrza – wyniki obliczeń

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabelach 8-11, w których podano wartości uzyskane z obliczeń opartych na dwóch źródłach danych (TRM1 i TRM2) dla każdego analizowanego przypadku oraz na wykresach (rys. 6-9), na których ujęto względne różnice w zapotrzebowaniu energii w odniesieniu do wartości uzyskanych na podstawie danych z TRM1.

Tab. 8. Całoroczne zapotrzebowanie energii dla rozwiązania 1A

Table 8. Year-round energy demand in case 1A

Miejscowość	Źródło danych	Całoroczne zapotrzebowanie energii, kWh		
		E_N	E_{ch}	E_{NP}
Białystok	TRM1	18896	7140	15311
	TRM2	17885	10842	14718
Koszalin	TRM1	16846	4767	10964
	TRM2	15909	10019	10207
Kraków	TRM1	16899	10465	13078
	TRM2	16091	13964	11727
Lublin	TRM1	18111	9275	13477
	TRM2	17573	12138	12976
Poznań	TRM1	17672	9502	13380
	TRM2	15204	12383	10696
Rzeszów	TRM1	18611	9452	14981
	TRM2	16221	13800	11967
Suwałki	TRM1	20044	7318	15940
	TRM2	17812	10427	14408
Szczecin	TRM1	14740	7489	9494
	TRM2	15084	11541	9574
Warszawa	TRM1	16088	9829	12020
	TRM2	15824	12643	12162
Wrocław	TRM1	17121	8167	12080
	TRM2	15044	13230	11041

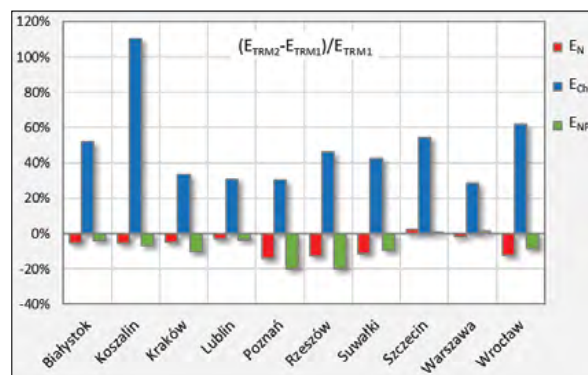
W wariantcie 1A największe zapotrzebowanie na energię do ogrzewania powietrza (por. tab. 8) można zaobserwować w północno-wschodniej (Suwałki, Białystok) oraz południowo-wschodniej (Rzeszów, Lublin) części Polski, najmniejsze zaś dla części północno-zachodniej (Szczecin, Koszalin). Stosunkowo niewielkim zapotrzebowaniem na energię do ogrzewania charakteryzuje się również Warszawa, w szczególności porównując wyniki uzyskane z TRM1, co jest spowodowane relatywnie krótkim czasem występowania niskich temperatur powietrza zewnętrznego (poniżej $\pm 0^\circ\text{C}$) – por. tab. 4. Różnice w wynikach uzyskane dla poszczególnych lokalizacji na podstawie TRM1 i TRM2 są dla całodobowej pracy urządzenia klima-

tyzacyjnego stosunkowo niewielkie (nie przekraczają 14% w stosunku do TRM1). Na ogół zapotrzebowanie energii do ogrzewania powietrza jest większe dla TRM1, poza Szczecinem, gdzie jest mniejsze o ok. 2% – por. rysunek 6.

Różnice w zapotrzebowaniu energii do oziębiania powietrza są dla poszczególnych lokalizacji znacznie większe,

Rys. 6. Względne różnice w zapotrzebowaniu energii (odniesione do wartości dla TRM1) dla rozwiązania 1A

Fig. 6. The relative differences in energy demand (relative to TRM1 value) in case 1A



przede wszystkim dla TRM1 (np. w Krakowie dla całodobowej pracy urządzenia zapotrzebowanie to jest ponad dwukrotnie większe niż w Koszalinie). W poszczególnych miejscowościach występują również bardzo duże różnice w zapotrzebowaniu na energię do oziębiania (porównując dane uzyskane z TRM1 i TRM2) – największe w Koszalinie (aż ok. 110%) i we Wrocławiu (ok. 62%). Najmniejsza różnica występuje w Warszawie – niespełna 30% (por. rysunek 6).

Sumaryczne zapotrzebowanie na energię do nawilżania powietrza jest największe tam, gdzie czas występowania niskich zawartości wilgoci w powietrzu zewnętrznym jest najdłuższy – w Suwałkach i Białymstoku (por. też tab. 5). Najmniejsze wartości uzyskano w Szczecinie i w Koszalinie. Różnice między wartościami uzyskanymi z TRM1 i TRM2 są znaczące, aczkolwiek wyraźnie mniejsze niż w zapotrzebowaniu na energię do oziębiania. W niektórych lokalizacjach różnice te są praktycznie niezauważalne (w Szczecinie i w Warszawie oscylują wokół 1%), dla dwóch innych lokalizacji mogą jednak dochodzić do 20% (Poznań i Rzeszów) – por. rysunek 6.

Wariant 1B jest przypadkiem szczególnym wariantu 1A, w którym urządzenie klimatyzacyjne działa przez 12 godzin w ciągu doby. Z tej przyczyny całoroczne zapotrzebowanie energii do uzdatniania powietrza jest dla tego wariantu, w porównaniu z wariantem 1A, mniejsze. Z uwagi na pracę urządzenia klimatyzacyjnego w wariantcie 1B przez połowę czasu w stosunku do wariantu 1A, ale w godzinach dziennych, występują ponad dwukrotnie

różnice w zapotrzebowaniu energii do ogrzewania i nawilżania oraz dochodzące do niespełna 40% różnice w zapotrzebowaniu energii do oziębiania (por. tab. 9 i rys. 7).

Rozkład względnych różnic w zapotrzebowaniu energii obliczanych na podstawie danych klimatycznych z TRM1 i TRM2 dla wariantu 1B jest podobny jak

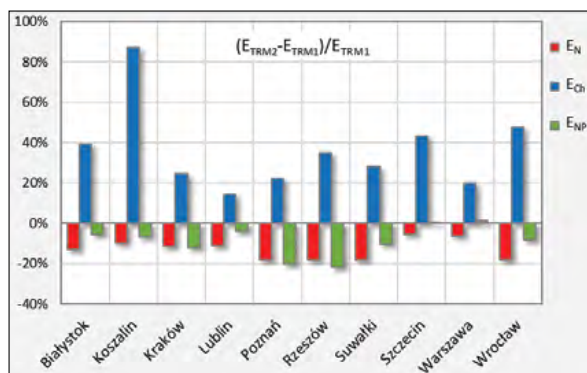
dla wariantu 1A, z tym że różnice te są nieznacznie większe w odniesieniu do zapotrzebowaniu energii do ogrzewania (maksymalnie wynoszą ok. 15% w Poznaniu, Rzeszowie i w Suwałkach) i w odniesieniu do nawilżania powietrza (maksymalnie do 21,5% w Rzeszowie). Jednocześnie mniejsze są względne różnice w zapotrzebowaniu energii do oziębiania, chociaż w dalszym ciągu dla większości lokalizacji są bardzo duże (w Koszalinie osiągają wartość 87%, a we Wrocławiu 48%) – por. rysunek 7.

Wariant 2 różni się od wariantu 1 inną funkcją opisującą zależność temperatury

Tab. 9. Całoroczne zapotrzebowanie energii dla rozwiązania 1B

Table 9. Year-round energy demand in case 1B

Miejscowość	Źródło danych	Całoroczne zapotrzebowanie energii, kWh		
		E_N	E_{ch}	E_{NP}
Białystok	TRM1	8366	6094	7465
	TRM2	7278	8498	7062
Koszalin	TRM1	7343	4004	5339
	TRM2	6628	7490	4986
Kraków	TRM1	7308	8257	6243
	TRM2	6470	10312	5495
Lublin	TRM1	8228	7814	6503
	TRM2	7317	8940	6249
Poznań	TRM1	7624	7214	6439
	TRM2	6241	8830	5142
Rzeszów	TRM1	8013	7730	7291
	TRM2	6582	10437	5727
Suwałki	TRM1	9073	6231	7609
	TRM2	7435	7988	6831
Szczecin	TRM1	6398	6056	4488
	TRM2	6055	8681	4509
Warszawa	TRM1	6928	7672	5761
	TRM2	6501	9208	5838
Wrocław	TRM1	7244	6623	5661
	TRM2	5930	9788	5188



Rys. 7. Względne różnice w zapotrzebowaniu energii (odniesione do wartości dla TRM1) dla rozwiązania 1B
Fig. 7. The relative differences in energy demand (relative to TRM1 value) in case 1B

powietrza nawiewanego od temperatury powietrza w pomieszczeniu. W wariancie 2 temperatura powietrza nawiewanego jest przez okres całego roku niższa od temperatury powietrza w pomieszczeniu i jednocześnie niższa od przyjętej w wariancie 1 temperatury powietrza nawiewanego. W związku z tym zapotrzebowanie energii do ogrzewania jest w tym wariancie mniejsze, a zapotrzebowanie energii do oziębiania większe niżeli w wariancie 1.

Stosunkowo niewielkie zapotrzebowanie energii do ogrzewania powietrza w wariancie 2 wynika w głównej mierze z relatywnie niskiej temperatury powietrza nawiewanego w okresie zimnym oraz z uwagi na wysoką efektywność odzysku ciepła (w obliczeniach nie uwzględniano obniżenia sprawności odzysku energii spowodowanego szronieniem wymiennika, dlatego w rzeczywistości należy się spodziewać większego zapotrzebowania energii do ogrzewania). Z tego też powodu względne różnice w zapotrzebowaniu energii na te cele, obliczane z danych dla TRM1 i TRM2, są znacznie większe (w Warszawie dla całodobowej pracy urządzenia różnice te dochodzą do 64%, a dla dwunastogodzinnej pracy w ciągu doby przekraczają 65% zarówno w Warszawie jak i w Szczecinie) – por. rysunek 8 i 9. W wartościach bezwzględnych różnice te są jednak mniejsze, poza przypadkiem Warszawy i Szczecina, w których zapotrzebowanie energii do ogrzewania jest wyraźnie większe dla TRM2 (por. tab. 10 i 11).

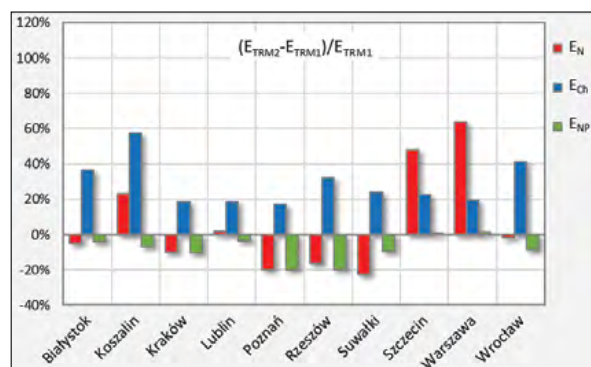
Podobnie jak w wariancie 1, również w wariancie 2, większe zapotrzebowanie energii do oziębiania uzyskano z danych dla TRM2. Względne różnice nie są już tak duże jak w wariancie 1, ale wciąż znaczące (np. w Koszalinie przy całodobowej pracy urządzenia wynoszą ok. 68%, zaś przy dwunastogodzinnej pracy w ciągu doby ok. 47%) – rys. 8 i 9. Największe wartości bezwzględne otrzymano, podobnie jak poprzednio, dla Rzeszowa, Krakowa i Wrocławia (por. tab. 10 i 11).

Tab. 10. Całoroczne zapotrzebowanie energii dla rozwiązania 2A

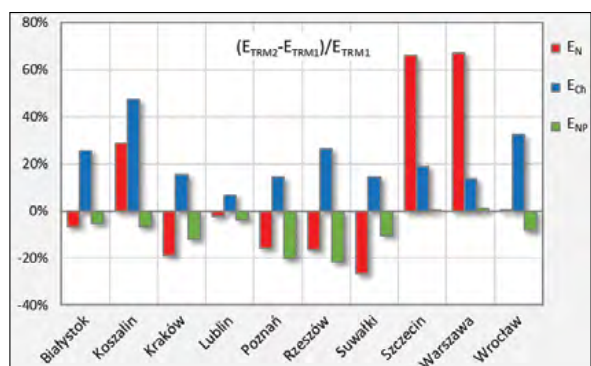
Table 10. Year-round energy demand in case 2A

Miejscowość	Źródło danych	Całoroczne zapotrzebowanie energii, kWh		
		E_N	E_{Ch}	E_{NP}
Białystok	TRM1	2690	15004	15311
	TRM2	2557	20496	14718
Koszalin	TRM1	1252	12751	10964
	TRM2	1543	20100	10207
Kraków	TRM1	2162	21233	13078
	TRM2	1942	25153	11727
Lublin	TRM1	2485	19192	13477
	TRM2	2532	22718	12976
Poznań	TRM1	2031	19609	13380
	TRM2	1629	23013	10696
Rzeszów	TRM1	2707	19334	14981
	TRM2	2270	25531	11967
Suwałki	TRM1	3378	15687	15940
	TRM2	2615	19421	14408
Szczecin	TRM1	1000	17750	9494
	TRM2	1481	21768	9574
Warszawa	TRM1	1269	19685	12020
	TRM2	2079	23494	12162
Wrocław	TRM1	1834	17133	12080
	TRM2	1798	24160	11041

Rys. 8. Względne różnice w zapotrzebowaniu energii (odniesione do wartości dla TRM1) dla rozwiązania 2A
Fig. 8. The relative differences in energy demand (relative to TRM1 value) in case 2A



Rys. 9. Względne różnice w zapotrzebowaniu energii (odniesione do wartości dla TRM1) dla rozwiązania 2B
Fig. 9. The relative differences in energy demand (relative to TRM1 value) in case 2B



Tab. 11. Całoroczne zapotrzebowanie energii dla rozwiązania 2B

Table 11. Year-round energy demand in case 2B

Miejscowość	Źródło danych	Całoroczne zapotrzebowanie energii, kWh		
		E_N	E_{Ch}	E_{NP}
Białystok	TRM1	1083	11599	7465
	TRM2	1013	14561	7062
Koszalin	TRM1	512	9243	5339
	TRM2	660	13629	4986
Kraków	TRM1	838	14827	6243
	TRM2	679	17114	5495
Lublin	TRM1	1036	14400	6503
	TRM2	1012	15344	6249
Poznań	TRM1	799	13261	6439
	TRM2	673	15162	5142
Rzeszów	TRM1	1068	13931	7291
	TRM2	893	17608	5727
Suwałki	TRM1	1468	11994	7609
	TRM2	1079	13726	6831
Szczecin	TRM1	347	12639	4488
	TRM2	576	15001	4509
Warszawa	TRM1	491	13697	5761
	TRM2	821	15604	5838
Wrocław	TRM1	680	12387	5661
	TRM2	685	16407	5188

Zapotrzebowanie energii do nawilżania powietrza jest uzależnione od przyrostu zawartości wilgoci powietrza przepływającego przez nawilżacz. Dla przyjętych danych klimatycznych na wartość tego zapotrzebowania wpływ ma jedynie założona minimalna wartość wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu, która została przyjęta na poziomie 35%. Ponieważ w obu wariantach (1 i 2) proces nawilżania parowego odbywa się do osiągnięcia tej samej minimalnej wartości wilgotności względnej w pomieszczeniu, zapotrzebowanie energii

do nawilżania (dla wariantów 1A i 2A oraz dla 1B i 2B) jest na tym samym poziomie.

Wnioski

W ramach niniejszego artykułu zwrócono uwagę na wpływ, jaki ma wybór źródłowych danych klimatycznych na wyniki obliczeń zapotrzebowania energii do uzdatniania powietrza w klimatyzacji. Wykorzystano dane klimatyczne z dwóch źródeł, które zostały statystycznie opracowane na podstawie pomiarów wieloletnich i wykorzystywane m. in. na potrzeby obliczeń energetycznych w budownictwie.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można sformułować szereg wniosków.

1. Analizowane w ramach artykułu dane klimatyczne różnią się między sobą w istotny sposób, co skutkuje znacznymi różnicami w wynikach obliczeń zapotrzebowania energii do uzdatniania powietrza klimatyzującego. Różnice te są ponadto w dużej mierze uzależnione od branej pod uwagę lokalizacji na terenie kraju (por. też [6,7]). Przyczyny tego stanu rzeczy można upatrywać w metodach wyznaczania i różnym czasookresie pomiarów, które były brane pod uwagę przy statystycznym opracowywaniu typowych lat meteorologicznych (okres trzydziestoletni dla TRM1 i dziesięcioletni dla TRM2). Poza tym opracowywano je także na podstawie pomiarów prowadzonych w różnym czasie (w przypadku parametrów powietrza zewnętrznego w latach 1971-2000 dla TRM1 i 2000-2009 dla TRM2). Nie bez znaczenia jest także obserwowane od dłuższego czasu ocieplenie klimatu, przejawiające się coraz częstszym występowaniem anomalii temperaturowych w skali poszczególnych miesięcy i lat [4], na co zwrócono uwagę na przykładzie Wrocławia w publikacji [13].
2. Wybór źródłowych danych meteorologicznych ma największy wpływ na obliczanie zapotrzebowania na energię do oziębiania powietrza, z uwagi na ścisłą zależność chwilowej mocy chłodnicy od dwóch parametrów powietrza zewnętrznego: temperatury i entalpii właściwej. Porównując uzyskane z dwóch niezależnych źródeł dane klimatyczne stwierdzono znaczące różnice w czasie występowania tych parametrów powietrza w każdej analizowanej lokalizacji na terenie kraju. Z uwagi na większe wartości tych parametrów oraz częstsze ich występowanie w okresie całego roku w danych źródłowych dla TRM2, zapotrzebowanie energii do oziębiania

powietrza obliczane na podstawie tego źródła jest również znacząco większe aniżeli dla TRM1.

3. Względne różnice w zapotrzebowaniu na energię do oziębiania powietrza obliczanego na podstawie danych dla TRM1 i TRM2 pogłębiają się wraz ze wzrostem założonej temperatury powietrza nawiewanego. Wzrost tej temperatury wpływa bowiem na zmniejszenie wartości bezwzględnych uzyskanych z dwóch analizowanych źródeł.
4. Należy przypomnieć, że określanie zapotrzebowania energii na cele chłodnicze w oparciu o tzw. krzywą klimatyczną jest mało wiarygodne i należy taki sposób określania zapotrzebowania energii uznać za błędny lub co najmniej nieprecyzyjny. Różnice w uzyskanych wynikach obliczeń, opartych na takiej metodzie w stosunku do wyników uzyskanych z danych szczegółowych, są znaczące, co zostało przedstawione w artykułach [8, 9, 10].
5. W rozpatrywanych w niniejszym artykule przykładach obliczeniowych wpływ wyboru meteorologicznych danych źródłowych na określenie zapotrzebowania energii do ogrzewania i nawilżania powietrza jest mniejszy niż energii do oziębiania powietrza, chociaż również zauważalny.

Na potrzebę opracowania nowej bazy danych w postaci typowych lat meteorologicznych zwrócono uwagę już wcześniej [15]. Należy w nich uwzględnić bardziej aktualne dane pomiarowe, biorąc pod uwagę również współczesne trendy zmian klimatycznych. Powinny być one, tak jak do tej pory, zamieszczone na powszechnie dostępnym portalu internetowym.

LITERATURA

- [1] The Global Climate in 2011–2015, WMO-No. 1179, World Meteorological Organization, 2016, s. 6.
- [2] WMO BULLETIN, The journal of the World Meteorological Organization, Volume 67 (2) – 2018.
- [3] Biuletyn Monitoringu Klimatu Polski Rok 2018, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy.
- [4] Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej, z lat 2009-2018, (https://dane.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obszerwacyjne/Biuletyn_PSHM/); (dostęp online 12.12.2019).
- [5] Pelech A., Wentylacja i klimatyzacja – Podstawy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2011.
- [6] Pelech A., Klimat w Polsce. Parametry powietrza zewnętrznego w projektowaniu urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. Instal 2013, nr 1, s. 21-27.
- [7] Pelech A., Oszczędność energii w wentylacji i klimatyzacji. Rozważania nad wyborem obliczeniowych parametrów powietrza

zewnętrznego. Instal 2013, nr 2, s. 30-38.

- [8] Kwiecień D., Moce nagrzewnicy i chłodnicy powietrza wyznaczone w oparciu o dane klimatyczne. Rynek Instalacyjny 2013, nr 5, s. 45-49.
- [9] Kwiecień D., Całoroczne zapotrzebowanie energii do uzdatniania powietrza wentylującego obliczane w oparciu o dane klimatyczne. Rynek Instalacyjny 2013, nr 6, s. 62-64, 6.
- [10] Kwiecień D., Moc chłodnicy a zapotrzebowanie energii do oziębiania powietrza w różnych rejonach Polski. Instal 2016, nr 10, s. 28-33.
- [11] Kowalski P., Kwiecień D., Symulacja pracy systemu klimatyzacyjnego SDEC w różnych rejonach Polski. Instal. 2017, nr 7/8, s. 37-43.
- [12] Kowalski P., Kwiecień D., Symulacje całorocznej pracy systemów wentylacyjnych z nawilżaniem adiabatywnym. Rynek Instalacyjny. 2018, R. 26, nr 3, s. 61-67
- [13] Kwiecień D., Zapotrzebowanie na energię do klimatyzacji na podstawie statystycznych danych klimatycznych – studium przypadku dla Wrocławia. Rynek Instalacyjny 2019, nr 12, (artykuł zgłoszony do druku).
- [14] Narowski P., Obliczenia energetyczne budynków. Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski. Rynek Instalacyjny 2008, nr 10.
- [15] Narowski P., Metody wyznaczania typowych lat meteorologicznych TMY2 WYEC2 oraz według normy EN ISO 159 (COW: 12/45/2014, str. 479)
- [16] Grudzińska M., Jakusik E., Typowy Rok Meteorologiczny i późniejsze dane klimatyczne jako czynniki kształtujące zapotrzebowanie na energię. Przegląd Budowlany 2016, nr 3, str. 44-50.
- [17] Czarnecki B., Miętus M. Porównanie stosowanych klasyfikacji termicznych na przykładzie wybranych regionów Polski. Przegląd Geograficzny, 56, 3-4, 201-233.
- [18] Mijakowski M., Sowa J., Narowski P., Godzinowa metoda obliczania zapotrzebowania na energię w systemach wentylacji i klimatyzacji. Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Tom IV 2009, s. 141-146.
- [19] <https://www.gov.pl/web/fundusze-regiony/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow>. Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków; (dostęp online 12.12.2019).
- [20] <https://meteoronorm.com/en/>; (dostęp online 12.12.2019).
- [21] <http://agrometeo.pogodynka.pl/danehistoryczne>; (dostęp online 12.12.2019).
- [22] <https://solargis.info>; (dostęp online 12.12.2019).
- [23] <https://www.wunderground.com/history/monthly/pl/wroc%5%82aw/EPWR/date/2019-4>; (dostęp online 15.10.2019).
- [24] Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1253/2014 z dnia 7 lipca 2014 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla systemów wentylacyjnych
- [25] PN-B-03420:1976, Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego.
- [26] PN-82/B-02403 „Ogrzewnictwo. Temperatura obliczeniowe wewnętrzne”
- [27] PN-EN 12831:2006. Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- [28] PN-76/B-03420 „Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego”