

Jerzy KOSMATKA*

WPLYW MIEJSKIEJ WYSPY CIEPŁA NA PARAMETRY TEMPERATURY W OPARCIU O BUDYNEK MIESZKALNY W POZNANIU

Zmieniające się w ostatnich latach warunki pogodowe odzwierciedlające ocieplenie klimatu powodują coraz większą liczbę problemów w użytkowaniu i projektowaniu budynków. Jednym z nich jest konieczność uwzględniania wpływu miejskiej wyspy ciepła. Artykuł opisuje jej oddziaływanie, wskazując na konieczność przyjmowania danych doborowych klimatu zewnętrznego uwzględniających wpływ miasta oraz sposób jego zabudowy.

Słowa kluczowe: miejska wyspa ciepła

1. WPROWADZENIE

W ostatnich latach w powszechnym odczuciu coraz częściej funkcjonuje pojęcie ocieplenia klimatu. Mieszkańcy i pracownicy spotykają się z całą gamą problemów powstających w trakcie użytkowania obiektów wyposażonych w systemy chłodzenia, a przegrzewanie budynków zdaje się występować na masową skalę, powracając przy każdej kolejnej fali upałów.

Czy zatem w efekcie ocieplenia klimatu ekstremalne do niedawna warunki pogodowe przestają być wyjątkami, a zaczynają stawać się normą? Czy problemy dotyczą jedynie budynków położonych w ścisłym centrum miasta, czy należy ich występowania spodziewać się także w innych lokalizacjach? Czy narażone są tylko duże obiekty, np. użyteczności publicznej, czy również niewielkie obiekty mieszkalne? I zasadnicze pytanie: czy zatem stosowane w obliczeniach systemów wentylacji i klimatyzacji parametry powietrza bazujące przecież na normach z lat 70. ubiegłego wieku są prawidłowe?

* Politechnika Poznańska, Wydział Architektury, Instytut Architektury i Planowania Przestrzennego. ORCID: 0000-0002-6707-486X.

Próbując na nie odpowiedzieć, zbadano temperatury powietrza w otoczeniu użytkowanego niewielkiego budynku mieszkalnego położonego na skraju miasta w obrębie Poznania. W oparciu o analizę danych meteorologicznych z najbliższej położonej stacji IMiGW wyodrębniono wpływ ocieplania klimatu od wpływu miejskiej wyspy ciepła dla tej lokalizacji.

2. PRZEGLĄD STANU BADAŃ

Kwestie ocieplania klimatu potwierdzono w wielu pracach naukowych, których wyniki zebrane zostały np. w raporcie ONZ uwzględniającym analizę ponad 14 tys. publikacji na ten temat [Praca zbiorowa 2022a]. Wynika z nich, że ocieplenie klimatu objęło już całość planety, a coraz wyższe średnie temperatury to cecha ostatnich kilkudziesięciu lat w połączeniu ze zwiększającą się ilością i długością zjawisk ekstremalnych, w tym upałów [Walijewski 2022]. Zmiany na terytorium Polski również potwierdzają trendy ogólnoświatowe, a dodatkowo wykazują znaczne zwiększenie tempa wzrostu temperatury w dużych miastach [Miętus 2022: 15].

W przypadku Poznania dostępne jest opracowanie zestawiające wyniki wcześniejszych prac wielu autorów dotyczących klimatu tego miasta [Półrolniczak, Kolendowicz, Majkowska-Juskowiak 2019]. Jak wynika z przywołanej publikacji, zauważalny jest duży wzrost średniej rocznej temperatury powietrza oraz zwiększenie częstotliwości występowania fal upałów. Autorzy w zebranych wynikach pokazali wartości miejskiej wyspy ciepła dla różnych lokalizacji w mieście. Wyniki te określały średnioroczną wartość na 1°C , przy czym według innych badań dla 70% czasu w centrum miasta wartość ta nie przekraczała 2°C . Największe anomalie termiczne osiągały $12,1^{\circ}\text{C}$. Jednocześnie największą intensywność występowania wyspy potwierdzono w centrum miasta oraz w zabudowie blokowej, a także na terenach przemysłowych i lotnisku. W pracy zawarte zostały wykresy i tabele pokazujące minimalne temperatury powietrza dla różnych lokalizacji w Poznaniu. Badania odnosiły się zarówno do wyników ze stacji IMGW Poznań-Ławica, jak i innych stacji pomiarowych w obszarze miasta.

Również w opracowaniu Instytutu Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego UAM [Nowak] zawarto porównanie temperatur w wybranych lokalizacjach w stosunku do danych ze stacji pomiarowej Poznań-Ławica. W publikacji tej wskazano, iż temperatury letnie w zwartej zabudowie centrum miasta, mierzone w obiekcie Collegium Minus, mogą przekraczać temperatury uzyskiwane ze wspomnianej stacji o maksymalnie $+6,13^{\circ}\text{C}$. Średnio dla okresu pomiarów wykonywanych od 1.05.2008 do 31.01.2009 przekraczały ją natomiast o $+0,75^{\circ}\text{C}$. Jednocześnie, jak zauważyli autorzy, temperatury mierzone w rejonie zieleni miejskiej były wyższe średnio jedynie o $+0,04^{\circ}\text{C}$.

Zmiany zachodzące w klimacie miasta Poznania zostały opisane w Planie Adaptacji do zmian klimatu [Praca zbiorowa 2022b]. W oparciu o dane IMiGW z lat 1981-2015 wychwycono tam wzrost temperatury średniej powietrza, temperatury maksymalnej i minimalnej, jak i czasu ze skrajnie wysoką temperaturą. Zauważono również częstsze występowanie fal upałów oraz wzrost liczby dni z temperaturą minimalną powyżej 20°C i zmniejszenie ilości i czasu trwania fal zimna. W zakresie miejskiej wyspy ciepła w planie potwierdzono największą intensywność występowania zjawiska dla zabudowy w centrum miasta o wartości średniej 1,0°C i maksymalnej 7,0°C oraz dla zabudowy wysokiej o wartości średniej 0,4°C i maksymalnej 5,6°C. Najniższe nasilenie zjawiska występowało na terenach zielonych z drzewami liściastymi. Analiza temperatur powierzchni wykazała największe wartości dla terenów produkcyjnych i magazynowych oraz mniejsze dla centrum miasta. Niższe temperatury wykazano kolejno dla intensywnej zabudowy jednorodzinnych osiedli mieszkaniowych, zabudowy jednorodzinnej ekstensywnej i rozproszonej. Jeszcze niższe temperatury dotyczyły terenów zielonych, a najniższe akwenów. W opracowaniu zauważono również wzrost liczby dni wymagających stosowania chłodzenia pomieszczeń. Część opracowania zawierająca prognozy na dalsze lata przewiduje dalszy wzrost zarówno temperatur maksymalnych, liczby dni, jak i długości okresów upałów.

W związku z ocieplaniem klimatu autorzy innych publikacji zauważyli już nieadekwatność typowych lat meteorologicznych stosowanych obecnie w obliczeniach m.in. systemów wentylacji, chłodzenia i klimatyzacji [Narowski 2020a]. Zauważona została także konieczność zmiany stosowanych w obliczeniach tych systemów przyjmowanych parametrów powietrza zewnętrznego [Narowski 2020b].

3. TEORETYCZNE WARUNKI ZEWNĘTRZNE

3.1. Parametry obliczeniowe dla lata w przepisach i w praktyce

Przy projektowaniu układów wentylacji i klimatyzacji jednymi z kluczowych danych wejściowych wpływających na wyniki obliczeń oraz doboru urządzeń są parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego. W tym przypadku ustawa Prawo budowlane poprzez Warunki Techniczne w dziale IV pt. „Wyposażenie techniczne budynków” w rozdziale szóstym pt. „Wentylacja i klimatyzacja” w §147 ust. 3 oraz w §149 ust. 4 odsyła do korzystania z Polskiej Normy, zdefiniowanej w załączniku numer 1 jako PN-B-03421:1978. W normie tej optymalny zakres obliczeniowej temperatury powietrza wewnętrznego w okresie letnim, przy małej aktywności fizycznej, określony został jako przedział od +23°C do +26°C. Wilgotność względna powietrza zdefiniowana została natomiast w przedziale od

40 do 55%¹. W przypadku parametrów powietrza zewnętrznego w Warunkach Technicznych nie ma bezpośrednich zaleceń, jednak wymieniona norma zawiera zapis o związaniu z kolejną o symbolu PN-B-03420:1976. Oznacza to konieczność projektowania systemów budynku w taki sposób, aby możliwe było uzyskanie podanego zakresu temperatury powietrza i wilgotności w pomieszczeniach przy odpowiednich wymienionych w normie parametrach obliczeniowych zewnętrznych. Dla obszaru strefy klimatycznej II (lokalizacja Poznania) wspomniane parametry uzyskują maksymalną wartość określoną jako +30°C i 45% wilgotności względnej w przypadku lipca i sierpnia². Dopiero łączne rozpatrywanie parametrów wewnętrznych i zewnętrznych, a więc danych z obu wspomnianych norm, definiuje jednoznacznie punkt wyjścia do obliczeń systemów wentylacji i klimatyzacji w okresie lata.

Dla wyczerpania kwestii formalnych należy zaznaczyć, że zgodnie z danymi Polskiego Komitetu Normalizacyjnego norma PN-B-03421:1978 została wycofana ze zbioru PKN w 2015-09-07, a norma PN-B-03420:1976 w 2011-09-16 [Wiedza PKN 2022b]. Zgodnie ze stanowiskiem PKN wycofanie oznacza wyłączenie ze zbioru norm aktualnych ze względu na dezaktualizację treści, co jednak nie jest równoznaczne z zakazem stosowania [PKN 2022], a jednocześnie przywołanie normy w akcie prawnym nie zmienia jej dobrowolnego statusu [Wiedza PKN 2022a].

Podsumowując, przywołane w podanych przepisach normy pozostają cały czas powszechnie stosowanym źródłem informacji. Stanowią one podstawę do określenia warunków brzegowych powietrza do projektowania urządzeń w systemach wentylacji i klimatyzacji. W rzeczywistości autorzy dokumentacji, ze względu na spodziewane anomalie pogodowe, bardzo często stosują ostrzejsze parametry, zawyżając temperatury zewnętrzne przynajmniej dla potrzeb doboru urządzeń. Z praktyki autora wynika, że często przyjmowaną wartością jest +32°C, a w obiektach o większym znaczeniu i większych obostrzeniach dotyczących niezawodności – o +35°C. Podejście takie, wynikające jednak wyłącznie z uwarunkowań praktycznych, nie ma odzwierciedlenia po stronie regulacji prawnych i jako takie jest bardzo często nieakceptowane przez inwestorów, żądających realizacji na minimalnych zgodnych z przepisami wymaganiach.

3.2. Typowy rok meteorologiczny a temperatury obliczeniowe

W projektowaniu, oprócz parametrów obliczeniowych służących do doboru elementów instalacji, kluczowe jest także uzyskanie informacji o prognozowanym

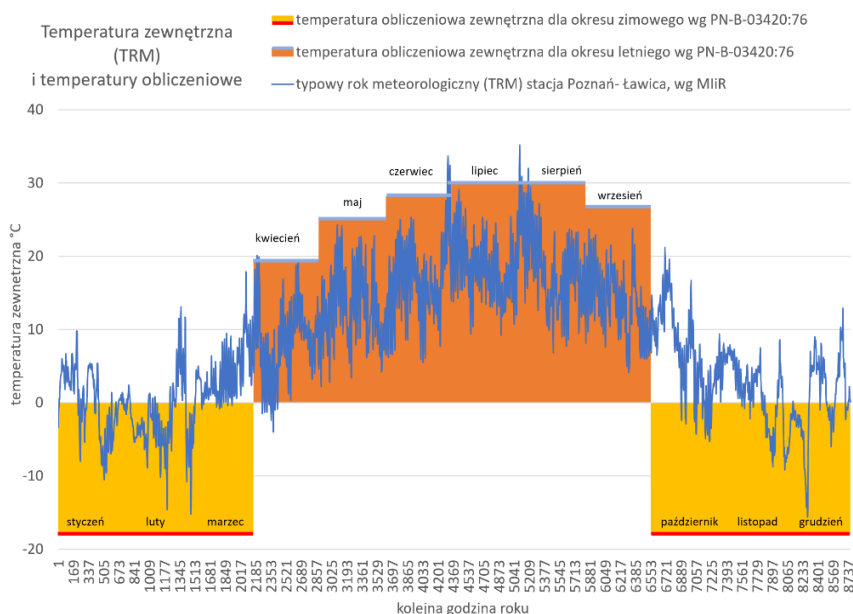
¹ PN-B-03421:78 Wentylacja i klimatyzacja – Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi – tablica 3, kolumny 6 i 7.

² PN-B-03420:76 Wentylacja i klimatyzacja – Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego – tablica 1 oraz rys. 1.

zużyciu energii przez poszczególne systemy budynku. Stopniowo wprowadzane są coraz bardziej rozbudowywane i zaostrzane wymogi dotyczące m.in. tzw. projektowanej charakterystyki energetycznej, niezbędnej w obecnie obowiązujących przepisach do uzyskania decyzji o pozwoleniu na budowę. Do wykonania stosownych obliczeń konieczne jest posiadanie informacji dotyczących statystycznych danych klimatycznych dla obszaru lokalizacji projektowanego budynku. Do takich potrzeb Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju opracowało tzw. typowy rok meteorologiczny (dalej: TRM).

W przypadku Poznania TRM jest wynikiem złożenia miesięcy najlepiej dopasowanych do średniej z danych pomiarowych zebranych z 29 lat obserwacji wykonywanych od 1971 do roku 2000, w stacji meteorologicznej Poznań-Ławica [GOV 2022]. Korzystając z TRM, można przeanalizować statystyczne dane klimatyczne i ich porównanie z wymaganiami zawartymi w przepisach.

W tym celu na rys. 1 przedstawiono przebieg temperatury otoczenia dla każdej godziny TRM, z jednoczesnym naniesieniem temperatur obliczeniowych powietrza zewnętrznego wg wspomnianych norm. Zaznaczone obszary wyznaczają umowne przedziały chłodzenia i grzania. Zgodnie z rozkładem zawartym na wykresie należy zauważyć, że rzeczywiste temperatury zewnętrzne TRM dla lata przekraczają maksymalne temperatury obliczeniowe jedynie sporadycznie i przedzielone są okresami wyraźnie chłodniejszymi. Sumarycznie przekroczenia temperatury $+30^{\circ}\text{C}$ występują przez 28 godzin w roku, co stanowi 1,3% czasu trzech najcieplejszych miesięcy: czerwca, lipca i sierpnia.



Rys. 1. Temperatura zewnętrzna (TRM) i temperatury obliczeniowe [opracowanie autora]

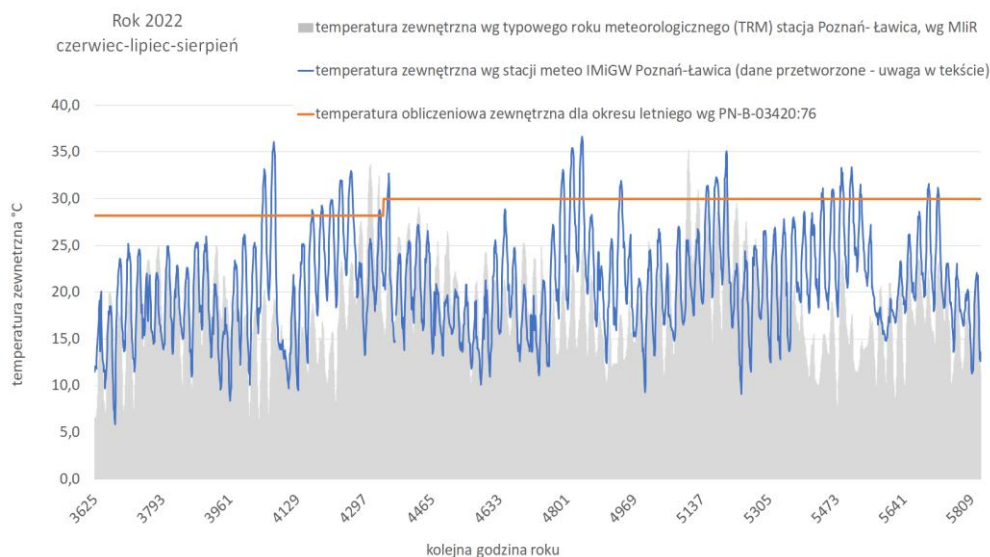
W dalszej części artykułu na kolejnych wykresach nanoszono temperatury zewnętrzne TRM dla pokazania różnic w stosunku do temperatur zmierzonych przez autora i uzyskanych z IMiGW w późniejszych latach.

4. RZECZYWISTE WARUNKI ZEWNĘTRZNE

4.1. Temperatury zewnętrzne według stacji meteo IMiGW Poznań-Ławica

Uwaga: źródłem pochodzenia danych temperatur zewnętrznych ze stacji meteo Poznań-Ławica wykorzystanych dla dalszych obliczeń oraz pokazanych na wykresach i w tabelach (opisanych jako IMiGW) jest Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy [IMGW 2022]. Dane IMiGW zostały przez autora przetworzone.

Dla potrzeb uzyskania wartości temperatur zewnętrznych z kolejnych lat ostatniego 15-lecia sięgnięto po historyczne dane pogodowe od 2008 do 2022 r. włącznie. Z oryginalnych danych temperaturowych wybrano wyłącznie pomiary dokonywane o pełnej godzinie zegarowej. Pozostałe odczyty nie były brane pod uwagę dla potrzeb analizy i jako takie zostały usunięte z rozpatrywanego przez autora zbioru danych.



Rys. 2. Przykładowe temperatury dla roku 2022 [opracowanie autora]

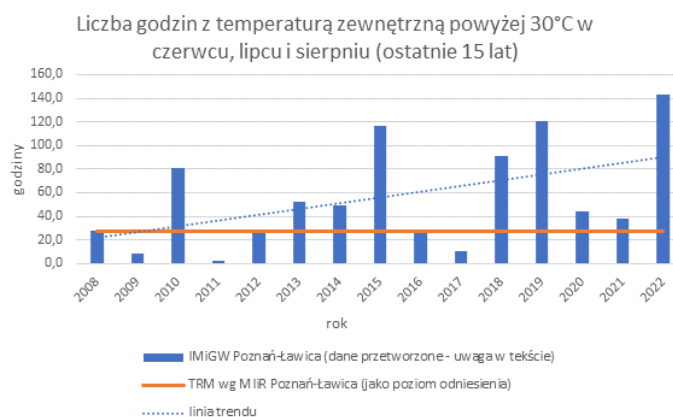
Analizę w każdym roku ograniczono do najgorętszych trzech miesięcy: czerwca, lipca i sierpnia. Nie analizowano lat 2000-2007 zawartych pomiędzy końcem roku, dla którego utworzono TRM, a początkiem roku 2008. Dane z tego okresu nie są bezpośrednio dostępne.

Przebieg temperatur zewnętrznych dla przykładowego roku bieżącego (2022) przedstawiony został na rys. 2. Już w tym wypadku widać wielokrotne przekroczenia temperatury obliczeniowej ze stacji meteo IMiGW w stosunku do starszych danych zawartych w TRM.

4.2. Analiza zmian temperatur zewnętrznych w ostatnich 15 latach

Dane dla całego analizowanego okresu, tj. czerwca, lipca i sierpnia, w latach 2008-2022 zebrano na rys. 3-6 oraz w tab. 1 i 2.

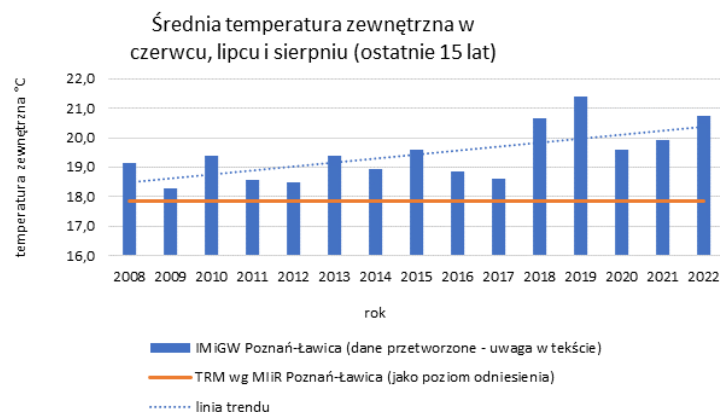
Jak już wspomniano, według TRM liczba godzin z temperaturą powietrza zewnętrznego przekraczającą 30°C dla stacji meteo Poznań-Ławica wynosiła 28. W ostatnich 15 latach trzy lata cechowały się mniejszą liczbą godzin, dwa lata miały dokładnie taką samą wartość, a w przypadku dziewięciu lat liczba ta była większa. Średnia wartość z okresu od roku 2008 do 2022 to 56 takich godzin. Największe liczby przekroczeń to 2010, 2015, 2018, 2019 i 2022 r. Jednostkowa największa wartość to 143 godziny w roku 2022. Omówione wyniki zebrano na rys. 3, gdzie pokazano również linię trendu potwierdzającą wzrost liczby godzin przekroczeń zakładanej temperatury w ostatnich 15 latach.



Rys. 3. Liczba godzin z temperaturą powyżej rozpatrywanego progu wraz z linią trendu [opracowanie autora]

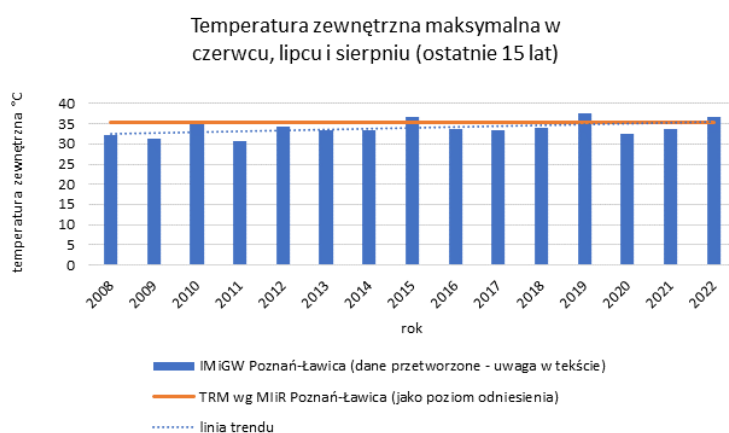
W przypadku średnich temperatur dla całego okresu czerwiec-sierpień dla ostatnich 15 lat wszystkie lata cechowały się większą wartością temperatury średniej. Największą wartość temperatura ta osiągała w latach 2018-2019. Średnia war-

tość temperatury zewnętrznej od roku 2008 do 2022 to $19,4^{\circ}\text{C}$ w stosunku do $17,8^{\circ}\text{C}$ dla TRM przyjętego jako poziom odniesienia. Linia trendu również potwierdza wzrost średnich temperatur w założonym okresie. Omówione wyniki pokazano na rys. 4.

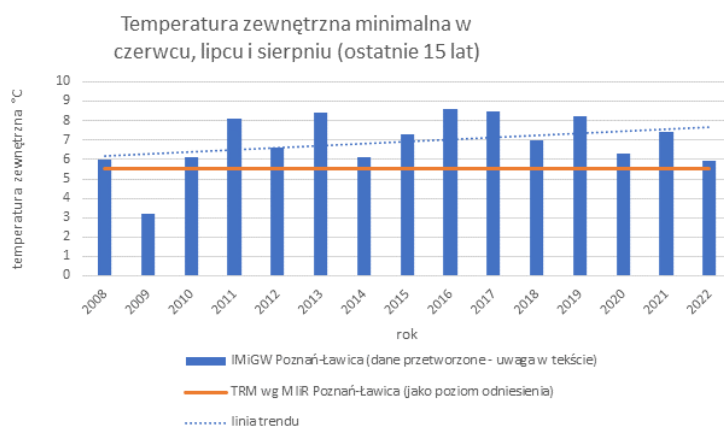


Rys. 4. Średnie temperatury zewnętrzne w rozpatrywanym okresie z linią trendu [opracowanie autora]

Temperatura maksymalna notowana w wybranych najcieplejszych miesiącach w przypadku TRM to $35,2^{\circ}\text{C}$. Przekroczenia tej temperatury występowały w 2010, 2015, 2019 i 2022 r. Najwyższa zanotowana temperatura zewnętrzna to $37,6^{\circ}\text{C}$ w roku 2019. Linia trendu wskazuje na wzrost temperatur maksymalnych, jednak jej nachylenie jest niewielkie w porównaniu do przykładów omawianych wcześniej dotyczących temperatury średniej i liczby godzin z przekrozoną temperaturą zakładaną. Jednocześnie średnia maksymalnych temperatur z badanych lat 2008-2022 to $34,0^{\circ}\text{C}$, a więc mniej niż wartość typowa uzyskana z TRM. Wyniki dla temperatur maksymalnych pokazano na rys. 5.



Rys. 5. Maksymalne temperatury zewnętrzne w rozpatrywanym okresie z linią trendu [opracowanie autora]



Rys. 6. Minimalne temperatury zewnętrzne w rozpatrywanym okresie z linią trendu

Temperatura minimalna natomiast, notowana w wybranych najcieplejszych miesiącach w przypadku TRM, to $5,5^{\circ}\text{C}$. Przekroczenia tej temperatury występowały we wszystkich latach okresu 2008-2022 z wyjątkiem 2009 r., w którym minimalna temperatura wyniosła $3,2^{\circ}\text{C}$. Średnia minimalnych temperatur z badanych lat to $6,9^{\circ}\text{C}$. Najwyższa zanotowana temperatura minimalna wystąpiła w roku 2016 i wynosiła $8,6^{\circ}\text{C}$. Linia trendu wskazuje na szybki wzrost temperatur minimalnych, choć nie tak szybki jak w przypadku temperatury średniej i liczby godzin z przekroczoną temperaturą zakładaną. Wyniki dla temperatur minimalnych pokazano na rys. 6.

Przedstawione na omówionych wykresach wartości odnosiły się do wyników średnich ze wspomnianych najcieplejszych miesięcy. Dane o liczbie godzin z temperaturą powyżej 30°C oraz średnich temperatur ujętych niezależnie dla każdego z badanych miesięcy pokazano w tab. 1 i 2.

Biorąc pod uwagę wartość średnią z ostatnich 15 lat, największa liczba cieplejszych godzin w stosunku do danych TRM występuje w lipcu. Analizując natomiast ostatnie pięć lat, widać, że największe wzrosty dotyczą czerwca i sierpnia. Linie trendu dla okresu 15-letniego wskazują na silny wzrost liczby godzin dla czerwca i sierpnia oraz niewielki spadek liczby godzin w lipcu. Dane wejściowe zestawiono w tab. 1.

W przypadku średnich temperatur rozbitych na poszczególne miesiące wyniki zawarto w tab. 2. Dla czerwca maksymalna wartość temperatury średniej z ostatnich 15 lat to $23,3^{\circ}\text{C}$ w roku 2019, dla lipca $22,1^{\circ}\text{C}$ w roku 2010, a dla sierpnia $22,7^{\circ}\text{C}$ w roku 2015. Najniższe wartości średnich temperatur to $15,7^{\circ}\text{C}$ dla czerwca w 2009 r., $17,8^{\circ}\text{C}$ dla lipca w roku 2011 i $17,9^{\circ}\text{C}$ dla sierpnia w roku 2021. Linie trendu dla analizowanych danych wskazują na wzrost temperatur średnich dla czerwca i sierpnia oraz praktycznie stały poziom dla lipca.

Tab. 1. Liczba godzin z temperaturą powyżej 30°C dla analizowanych okresów w rozbiciu na miesiące

Liczba godzin z temperaturą zewnętrzną powyżej 30°C w podziale na czerwiec, lipiec i sierpień ze stacji Poznań-Ławica (IMiGW, dane przetworzone)

	czerwiec	lipiec	sierpień	suma
TRM (1971-2000)	12	0	16	28
IMiGW 2008	1	18	9	28
IMiGW 2009	0	3	6	9
IMiGW 2010	4	77	0	81
IMiGW 2011	3	0	0	3
IMiGW 2012	0	10	18	28
IMiGW 2013	8	23	21	52
IMiGW 2014	5	33	11	49
IMiGW 2015	6	26	85	117
IMiGW 2016	17	7	4	28
IMiGW 2017	0	6	5	11
IMiGW 2018	5	17	69	91
IMiGW 2019	74	21	26	121
IMiGW 2020	7	3	34	44
IMiGW 2021	38	0	0	38
IMiGW 2022	35	42	66	143
średnia z IMiGW	14	19	24	56

Tab. 2. Średnie temperatury dla analizowanych okresów w rozbiciu na miesiące

Średnie temperatury w czerwcu, lipcu i sierpniu ze stacji Poznań-Ławica (IMiGW, dane przetworzone)

	czerwiec	lipiec	sierpień
TRM (1971-2000)	16,8	18,3	18,4
IMiGW 2008	18,7	20,1	18,7
IMiGW 2009	15,7	19,4	19,7
IMiGW 2010	17,5	22,1	18,6
IMiGW 2011	18,9	17,8	19,0
IMiGW 2012	16,6	19,7	19,1
IMiGW 2013	17,9	20,5	19,6
IMiGW 2014	16,7	22,0	18,0

IMiGW 2015	16,2	19,7	22,7
IMiGW 2016	18,9	19,4	18,1
IMiGW 2017	18,1	18,5	19,2
IMiGW 2018	19,4	20,8	21,7
IMiGW 2019	23,3	19,7	21,2
IMiGW 2020	18,5	19,2	21,0
IMiGW 2021	20,7	21,2	17,9
IMiGW 2022	19,9	20,2	22,1
średnia z IMiGW	18,5	20,0	19,8

5. TEMPERATURY ZEWNĘTRZNE – BUDYNEK NA GRANICY MIASTA

Stacja pomiarowa IMiGW Poznań-Ławica usytuowana jest w okolicy poznańskiego lotniska i oddalona o ok. 7-9 km od centrum miasta (lokalizacja stacji ulegała zmianom). Uzyskiwane z niej dane meteorologiczne stanowiły podstawę zarówno do stworzenia ministerialnego TRM, jak i przedstawionych i analizowanych przez autora danych temperatur zewnętrznych z lat 2008-2022. Są to więc odczyty dokonywane w znacznej odległości od gęstej zabudowy miejskiej w rejonie otwartym, sąsiadującym jedynie z ogrodami działkowymi i otwartym terenem lotniska. W związku z tym do rozpatrzenia pozostaje kwestia rzeczywistej temperatury powietrza w okolicy zabudowanej. Takie uwzględnienie lokalizacji obiektu w obszarze miasta wiąże się z pojęciem miejskiej wyspy ciepła (dalej nazywanej w artykule przez autora w skrócie jako MWC).

5.1. Lokalizacja badanego budynku i czujników

Dane pomiarowe dla oszacowania wpływu MWC w zabudowie stosunkowo luźnej, nieznajdującej się w bezpośrednim centrum miasta, zebrano poprzez opomiarowanie budynku mieszkalnego jednorodzinnego. Budynek położony jest w obszarze Poznania na terenie dzielnicy Jeżyce na typowym osiedlu domów jednorodzinnych. Odległość od stacji meteo IMiGW wynosi ok. 3 km. Zabudowa osiedla to budynki bliźniacze oraz szeregowe. Działki są niewielkie, o średnich rozmiarach nieznacznie przekraczających 300 m² dla połówki bliźniaka. Zabudowa szeregowa o szerokości 6 m. Drogi osiedlowe pokryte na całej powierzchni kostką betonową podobnie jak chodniki stanowiące razem z drogami strefę pieszo-jezdni. W obrębie osiedla zie-

leń jedynie na terenach niewielkich działek przydomowych. Osiedle odgrudzone od głównych ulic miejskich i innych osiedli terenami niezabudowanymi w postaci łąk, działek ogrodowych i parku.

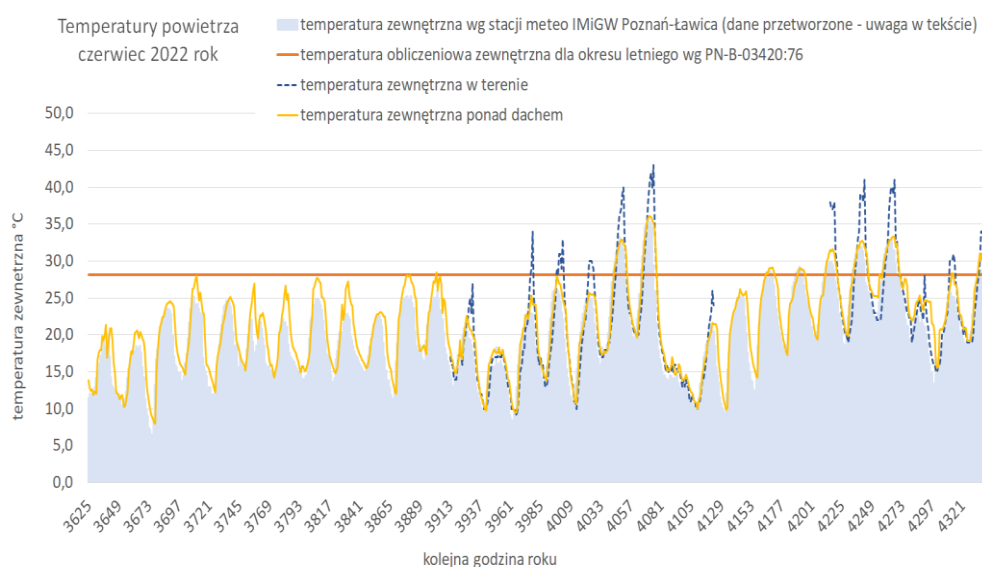
Czujniki pomiaru temperatury zamontowano na budynku jednorodzinym w zabudowie bliźniaczej. Pierwszy z czujników zlokalizowany został ponad dachem obiektu na wysokości ok. 8 m powyżej poziomu terenu, ok. 1 m powyżej niższej części dachu na ścianie pomiędzy stropodachem a poddaszem nieużytkowym. Miejsce montażu czujnika posiada wystawę na kierunek północny. Ściana w pobliżu czujnika to mur z pustaków typu MAX docieplony od zewnątrz styropianem i pokryty tynkiem cienkowarstwowym. Dach poniżej czujnika to blacha trapezowa przykrywająca izolację termiczną z wełny mineralnej. Drugi czujnik zlokalizowano na poziomie ok. 1,5 m powyżej terenu działki po stronie zachodniej budynku. Czujnik położony w sąsiedztwie niewielkiego nisko koszonego trawnika od strony wejścia i wjazdu do domu. Montaż samego czujnika do ścianki o wystawie północnej. W odległości ok. 3 m od czujnika znajduje się ulica. W bliskiej okolicy dodatkowo obecny jest odcinek betonowego płotu posesji, wybetonowany częściowo wjazd do garażu, betonowe schody wejściowe oraz wysypany kamieniami fragment ogrodu.

5.2. Dane pomiarowe

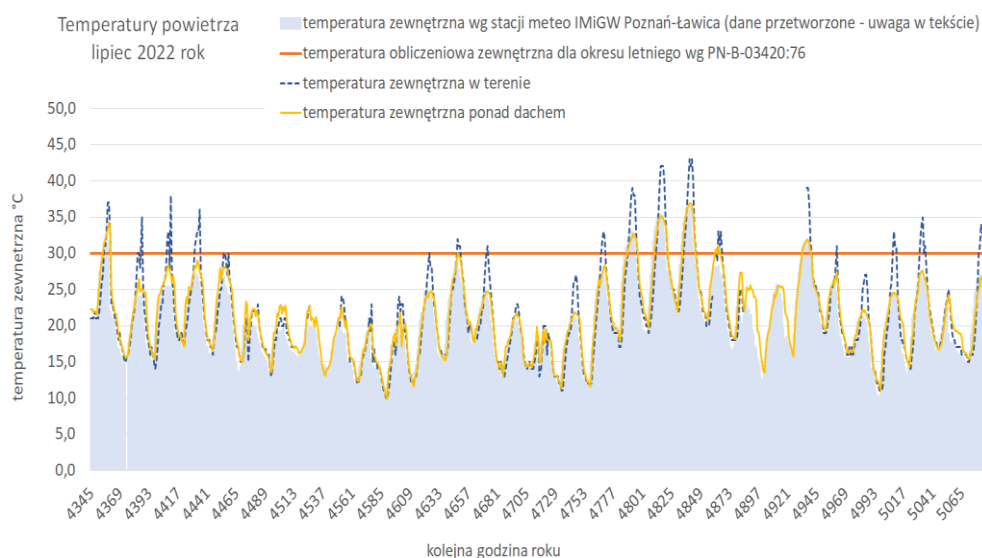
W zakresie temperatury uzyskano dane pomiarowe dla czerwca, lipca i sierpnia 2022 r. Odczyty wykonywane były i zapisywane automatycznie co pięć minut. Do dalszej analizy z każdego czujnika dla uzyskania zgodności z wcześniej analizowanymi danymi TRM i IMiGW wybrano pomiary dokonywane najbliższej pełnej godziny zegarowej, a pozostałe pomiary odrzucono. W przypadku pomiaru temperatury dachu uzyskano pełne 2208 odczytów. Dla czujnika zlokalizowanego w terenie ze względu na okresowe przerwy w łączności uzyskano pomiary dla 1622 godzin. Utrata danych dotyczy większej części czerwca oraz cztery dni w lipcu i sześć w sierpniu. Wyniki odczytów dla poszczególnych miesięcy pokazano na rys. 7-9. Dla porównania na wykresy naniesiono także temperatury obliczeniowe według PN-B-03420:76 oraz odczyty temperatur ze stacji IMiGW Poznań-Ławica właściwe dla danego miesiąca. Dla danych IMiGW dysponowano 2206 pomiarami (brakowało dwóch godzin).

Na rys. 10 pokazano jeden z przykładowych dni o wysokiej temperaturze. Dane wyglądały bardzo podobnie w pozostałych dniach słonecznych. Porównując uzyskane temperatury ze stacji IMiGW Poznań-Ławica z odczytami czujnika zlokalizowanego na dachu, można zauważyć generalnie niższe temperatury powietrza ponad budynkiem w okresach od ok. 6:00 do 14:00. W środku podanego zakresu różnica temperatury sięgała 4 stopni. Od 15:00 do 18:00 temperatury były bardzo zbliżone. Natomiast od 19:00 do północy następowało stopniowe obniżanie tempe-

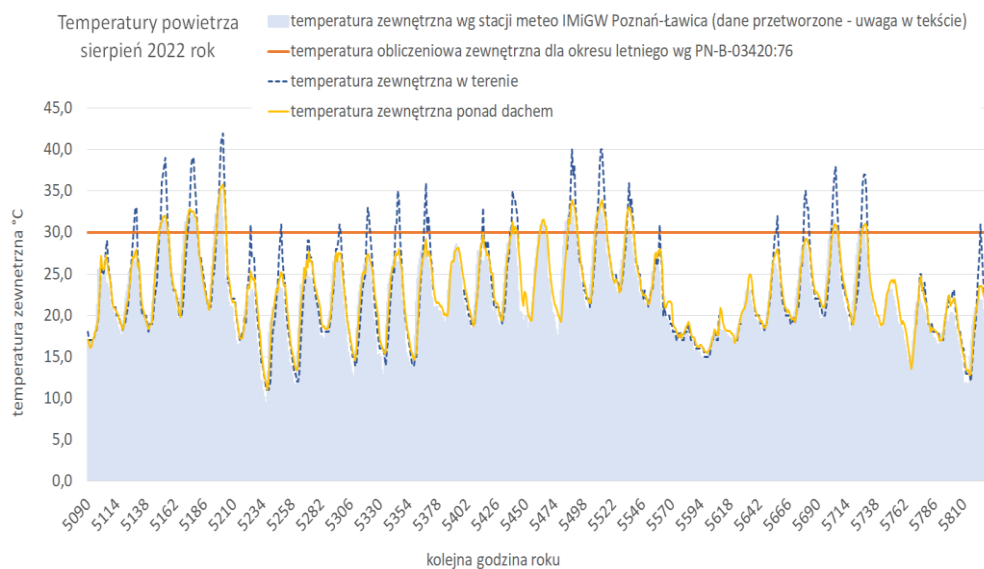
ratury nad budynkiem, która jednak przewyższała znacznie temperaturę z IMiGW, osiągając ok. 21:00 maksymalną różnicę ponad 6 stopni.



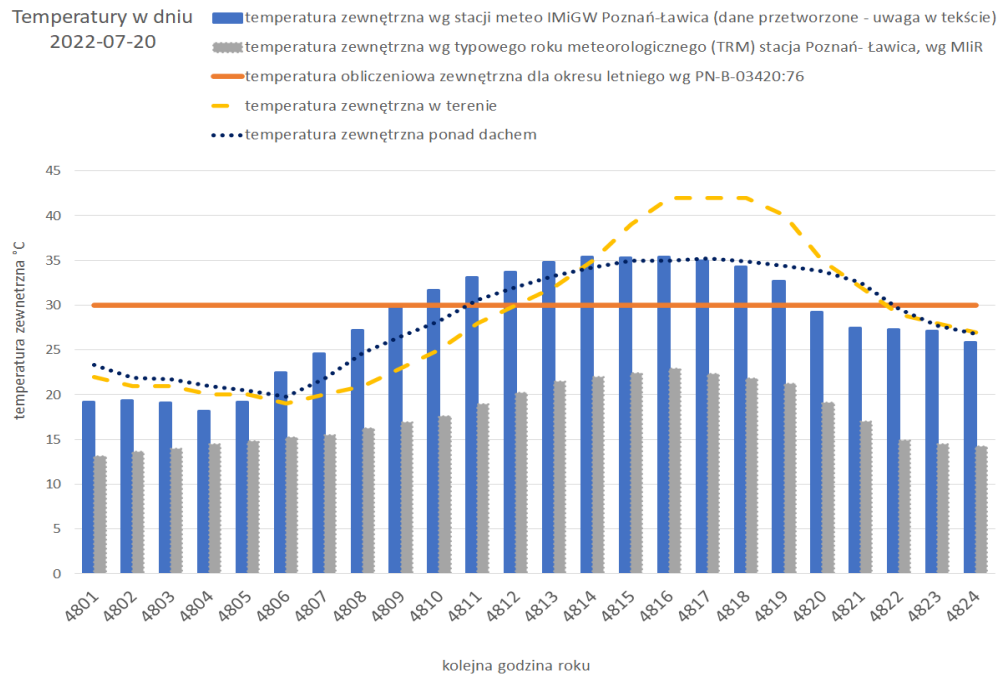
Rys. 7. Temperatury powietrza zewnętrznego w czerwcu 2022 r. [opracowanie autora]



Rys. 8. Temperatury powietrza zewnętrznego w lipcu 2022 r. [opracowanie autora]



Rys. 9. Temperatury powietrza zewnętrznego w sierpniu 2022 r. [opracowanie autora]



Rys. 10. Temperatury powietrza zewnętrznego 20 lipca 2022 r. [opracowanie autora]

W przypadku temperatury mierzonej w terenie od 6:00 do 14:00 były one niższe niż odczytane z IMiGW, osiągając maksymalną różnicę prawie 8 stopni ok. 9:00. Natomiast od 15:00 do 22:00 temperatury w terenie były wyższe od mierzonych w IMiGW, osiągając w godzinach 17:00-21:00 największe różnice z wartością maksymalną prawie 8 stopni ok. 18:00. Generalnie od 21:00 do 6:00 dnia następnego uzyskiwano największe zgodności w zakresie temperatur odczytywanych w obrębie budynku ponad dachem i w terenie.

5.3. Analiza wyników

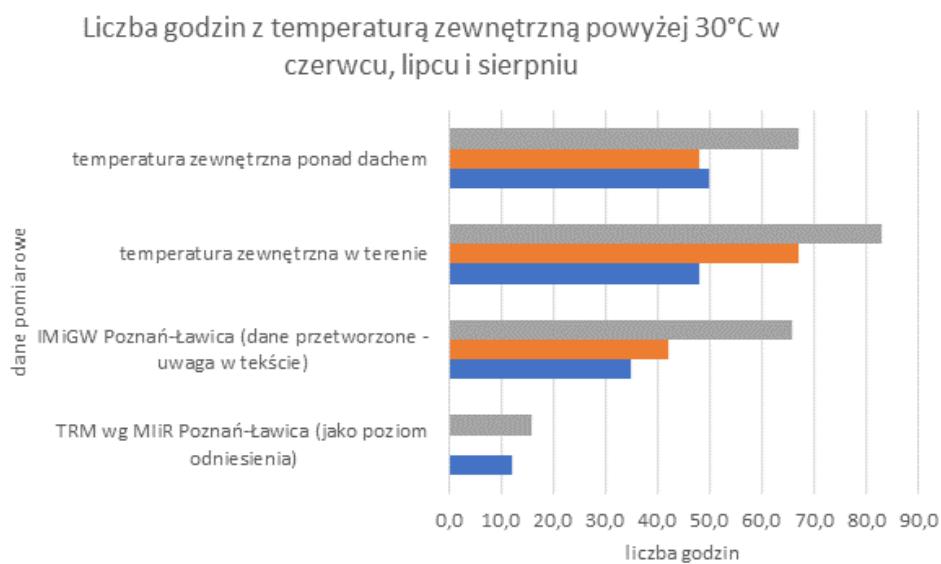
Na rys. 11-14 pokazano dane zbiorcze pomiarów temperatury ponad budynkiem oraz w terenie obok budynku z rozbiciem dla każdego z trzech analizowanych miesięcy, tj. czerwca, lipca i sierpnia 2022 r.

Łącznie w badanym okresie temperatury ponad dachem przewyższały temperatury z IMiGW przez 1565 godzin, z kolei 606 godzin były niższe niż dane ze stacji meteo, a w przypadku 35 godzin obie dane były identyczne. Łącznie daje to wspomniane wcześniej 2206 godzin z danymi pomiarowymi. Dla dwóch godzin nie ma danych ze stacji IMiGW. W przypadku temperatur w terenie obok budynku przewyższały one odczyty z IMiGW przez 1071 godzin, były niższe przez 533 godziny, a identyczne przez 16 godzin. Daje to łącznie 1620 punktów danych z 1622 dostępnych dla tego czujnika. Brakujące dwie godziny to podobnie jak wcześniej sytuacja, dla której nie ma pomiarów porównawczych z IMiGW.

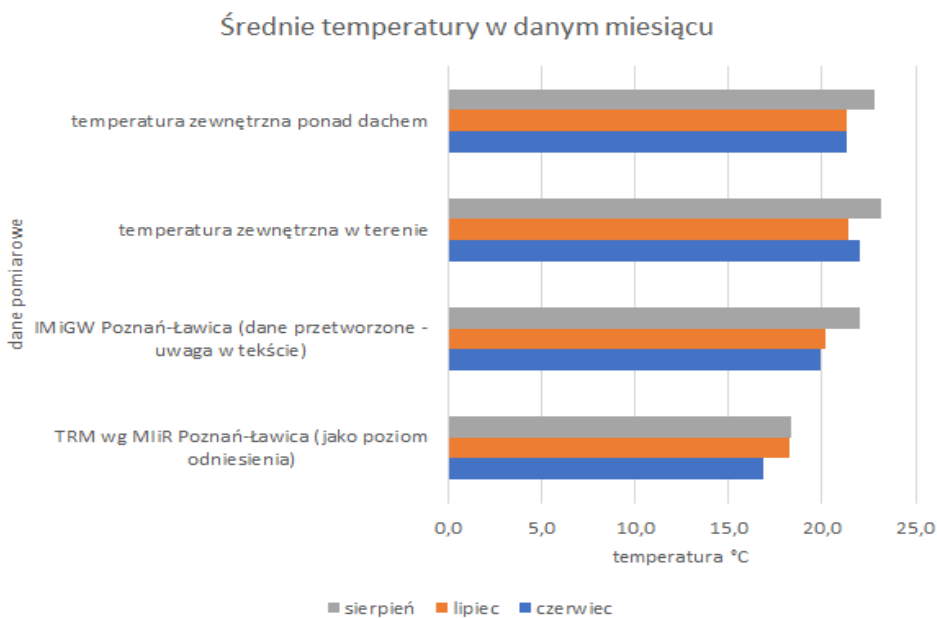
Oznacza to uzyskiwanie wyższych temperatur ponad dachem budynku w stosunku do odczytów ze stacji meteo IMiGW przez 71% badanego okresu oraz temperatur niższych przez 27% czasu. Analogicznie w przypadku temperatur w terenie obok budynku odczyty przewyższające dane IMiGW występują przez 66% czasu, a niższe przez 33% czasu.

Liczby godzin z temperaturą powyżej 30°C zarówno w przypadku czujnika ponad dachem budynku, jak i terenu obok budynku były wyższe niż dla odczytów z IMiGW Poznań-Ławica i dużo wyższe niż dla TRM. Dane pokazano na rys. 11. Sumarycznie liczba godzin przewyższająca 30°C dla temperatur mierzonych na dachu to 165 w porównaniu do 143 według IMiGW i 28 według TRM. W przypadku temperatur uzyskanych na terenie obok budynku ta liczba godzin to 198 mimo znaczącego okresu, w którym zapis danych z czujnika był niemożliwy.

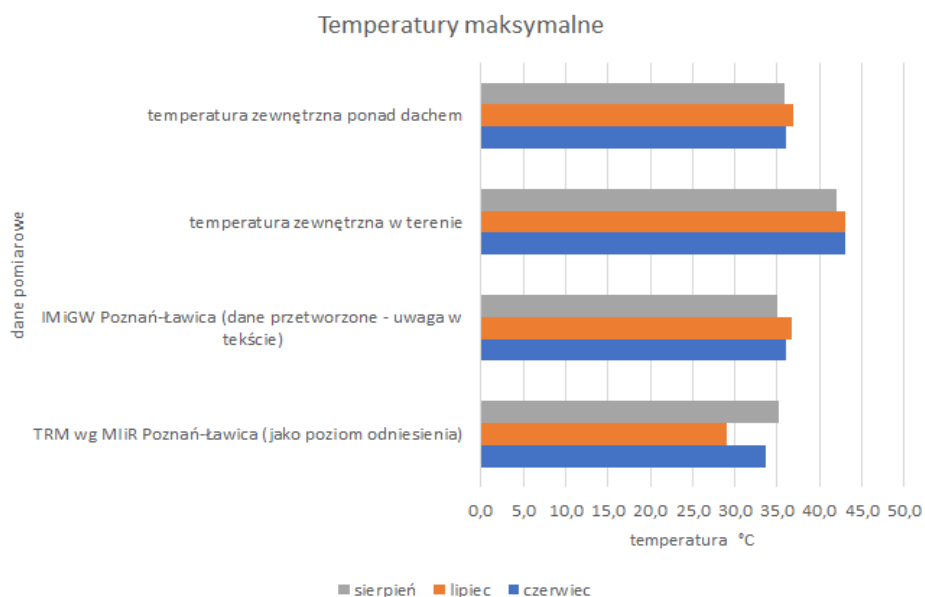
W zakresie temperatur średnich w danym miesiącu odczyty ponad dachem budynku oraz w terenie obok budynku były ze sobą zgodne, a jednocześnie wyższe od danych IMiGW oraz TRM. Średnio dla dachu uzyskano temperatury wyższe o 1,1°C, a dla terenu o 1,5°C od danych IMiGW. Jednocześnie dane IMiGW przekraczały dane TRM o średnio 2,9°C. Szczegółowe dane dla poszczególnych miesięcy pokazano na rys. 12.



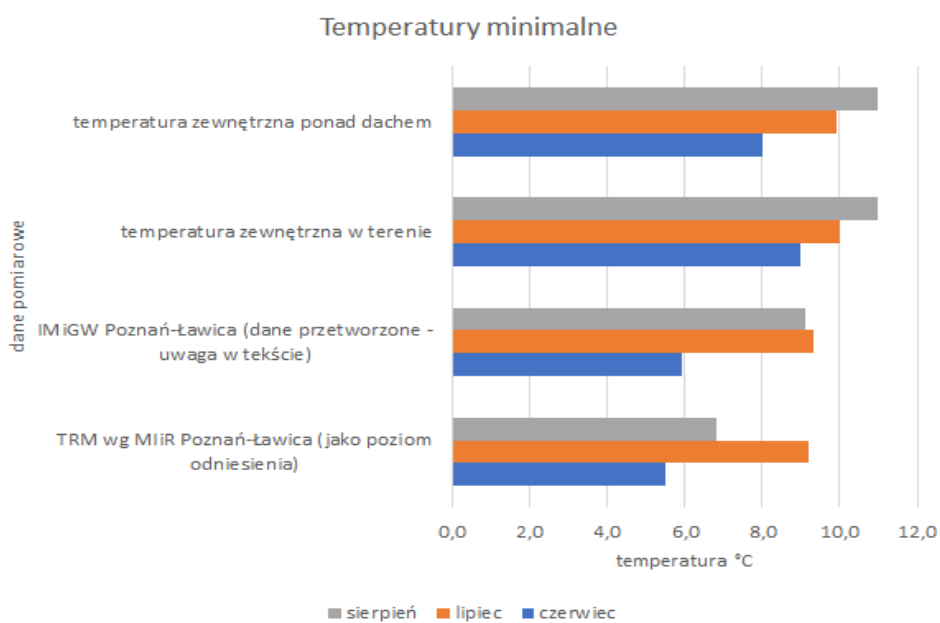
Rys. 11. Liczba godzin z temperaturą powietrza zewnętrznego powyżej 30°C w analizowanych miesiącach 2022 r. [opracowanie autora]



Rys. 12. Średnie temperatury zewnętrzne w analizowanych miesiącach 2022 r. [opracowanie autora]



Rys. 13. Maksymalne temperatury zewnętrzne w analizowanych miesiącach 2022 r. [opracowanie autora]



Rys. 14. Minimalne temperatury zewnętrzne w czerwcu, lipcu i sierpniu 2022 r. [opracowanie autora]

W zakresie osiągniętych temperatur maksymalnych uzyskano zgodność wskazań czujnika ponad dachem budynku w stosunku do danych IMiGW z jednoczesnym przekroczeniem danych z TRM. W przypadku terenu obok budynku uzyskane temperatury maksymalne były wyraźnie wyższe od danych IMiGW. Uzyskane dane przedstawiono na rys. 13.

W zakresie temperatur minimalnych uzyskano dla całego analizowanego okresu średnie przewyższenie temperatury ponad dachem w stosunku do danych IMiGW o $1,5^{\circ}\text{C}$, a w terenie o $1,9^{\circ}\text{C}$. Uzyskane dane przedstawiono na rys. 14.

6. POPRAWNOŚĆ PRZYJMOWANYCH DANYCH DOBOROWYCH W ZAKRESIE TEMPERATURY

6.1. Wpływ temperatury zewnętrznej na układy went.-klim.

Rzeczywiste temperatury powietrza znacząco przekraczające normowe parametry obliczeniowe zmieniają całkowicie warunki, dla jakich pierwotnie projektowane były systemy wentylacji i chłodzenia. Przy zachowaniu warunków komfortu wewnątrz pomieszczeń ze wzrostem temperatury powietrza zewnętrznego wzrasta wymagana moc chłodziw w centralach wentylacyjnych oraz spada moc agregatu chłodziwczego. Sumarycznie oznacza to poważny deficyt efektywnie dostępnej mocy w stosunku do jej aktualnego zapotrzebowania. Dodatkowo, z punktu widzenia systemów went.-klim. ważne są zarówno same wartości przekroczenia (temperatura maksymalna), jak i przede wszystkim ilość i rozkład tych przekroczeń w czasie. Ciągłe wielodniowe utrzymywanie się warunków pogodowych na poziomie wywołującym niedobór mocy chłodziwczej doprowadzi do nadmiernej akumulacji ciepła w budynku i w konsekwencji do sytuacji całkowitej niewydolności układów chłodziwczych. Niewielkie i krótkotrwałe spadki temperatury po okresie upałów nie wystarczą do wyprowadzenia ciepła nagromadzonego już w budynku. Dodatkowo utrzymywanie się wysokich temperatur w okresach nocnych poważnie ograniczy możliwość stosowania i skuteczność tzw. nocnego chłodzenia.

Najważniejszym problemem wydaje się natomiast fakt, że zwiększenie obciążenia cieplnego budynków może doprowadzić do sytuacji, w której konieczne będzie stosowanie układów chłodzenia nawet w typowych obiektach mieszkalnych.

6.2. Wielkość poprawki na ocieplenie klimatu

Z przedstawionych wcześniej danych wynika, że średnia temperatura czerwca, lipca i sierpnia w oparciu o dane IMiGW dla stacji Poznań-Ławica w ostatnich 15 latach osiągnęła wartość $19,4^{\circ}\text{C}$. Jest to o $1,6^{\circ}\text{C}$ więcej niż analogiczna tempe-

ratura TRM, wynosząca 17,8°C. W przypadku uwzględnienia średniej z ostatnich pięciu lat uzyskujemy wartość 20,5°C oznaczającą wzrost o 2,6°C w stosunku do TRM. Jednocześnie wzrasta liczba godzin z temperaturami przekraczającymi 30°C, a więc wspomnianą wcześniej wartością graniczną dla obliczeń systemów went-klim w przypadku chłodzenia.

W tab. 3 pokazano temperaturę powietrza zewnętrznego obliczoną przez autora, jaką należało by przyjmować w projektowaniu układów went.-klim., aby uzyskać w czerwcu, lipcu i sierpniu tę samą liczbę godzin pracy systemu z przekroczoną temperaturą obliczeniową, jaką dla TRM zapewniało przyjmowanie do obliczeń wartości 30°C. Podsumowując, jest to zdaniem autora temperatura umożliwiająca utrzymanie komfortu na poziomie zapewnianym we wcześniejszych chłodniejszych latach, pozwalająca zniwelować wzrost temperatury zewnętrznej spowodowanej ociepleniem klimatu. Wyniki zaokrąglono do pełnych stopni.

Tab. 3. Wymagana w danym roku temperatura obliczeniowa uwzględniająca ocieplenie klimatu

rok	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
wymagana temperatura obliczeniowa [°C]	30	29	33	29	30	32	31	33	30	28	32	34	31	31	33

Średnia wartość temperatury obliczeniowej w tabeli dla 12 lat to 31°C, a dla ostatnich pięciu lat to 32°C.

6.3. Wielkość poprawki na MWC

Zgodnie z przedstawionymi wcześniej informacjami średnia temperatura czerwca, lipca i sierpnia w oparciu o dane pomiarowe wykonane dla wspomnianego domu jednorodzinnego dla czujnika na dachu przekraczała dane IMiGW średnio o 1,1°C. Dla czujnika zlokalizowanego w terenie obok budynku była to wartość 1,5°C. Jednak w przypadku odnoszenia wyników do TRM uzyskano już przekroczenie średnio o 4,0°C dla pomiarów na dachu i 4,4°C dla pomiarów w terenie. Jednocześnie w przypadku słonecznych dni i godzin popołudniowych oraz późnopołudniowych uzyskiwano wielokrotnie temperatury ponad dachem na poziomie 35°C, a w terenie obok budynku ponad 40°C. Maksymalna wartość zmierzona na dachu to 36,9°C, a w terenie to 43,0°C.

Stosując tę samą metodę jak dla wyznaczenia temperatury obliczeniowej z uwzględnieniem ocieplenia klimatu, tj. obliczając temperaturę, dla której liczba godzin przekroczeń założonej wartości będzie na poziomie, jaki wcześniej wystę-

pował dla TRM, uzyskujemy dla roku 2022 konieczność zastosowania temperatury doborowej równej 37°C. Oznacza to dodatkowe 4°C powyżej temperatury przyjętej jako poprawna dla tego roku, a wynikającej z ocieplenia klimatu.

7. PODSUMOWANIE

Na pytania postawione na początku tekstu należy udzielić następujących odpowiedzi:

- Ekstremalne warunki pogodowe rzeczywiście stają się normą.
- Problemy z rosnącą temperaturą nie dotyczą tylko dużych budynków w centrach miast, są odczuwalne także na osiedlu domków jednorodzinnych położonych na granicy aglomeracji.
- Stosowane w obliczeniach dla systemów went.-klim. parametry powietrza należy zdaniem autora skorygować.
Bazując na opisanym przykładzie, można wywnioskować, że:
- Minimalna temperatura powietrza zewnętrznego uwzględniająca ocieplenie klimatu w przypadku obszaru aglomeracji Poznania to 31°C, a bardziej poprawna dla ostatnich lat to 32°C. Wynik dla roku 2022 to 33°C.
- Wartości takie można zastosować jako wartość obliczeniową dla obiektu położonego z dala od innej zabudowy.
- Upraszczając: ocieplenie klimatu odpowiada za konieczność podniesienia temperatury doborowej o co najmniej 1°C, a biorąc pod uwagę kilka ostatnich lat – o 2°C.
- Minimalny wzrost temperatury doborowej ze względu na MWC nawet dla domu jednorodzinnego położonego w obrębie typowego osiedla na granicy aglomeracji to dodatkowy 1°C dla urządzeń went.-klim. lokalizowanych na dachu.
- W przypadku urządzeń na terenie w obszarze elementów intensywnie gromadzących ciepło jak betonowe place, podjazdy, drogi, murki itp. to 2°C.
- W przypadku chęci zachowania pełnego komfortu, mimo niepołożonego w centrum miasta obiektu, należy zwiększyć temperaturę doborową już o 4°C.
- Stosując ponowne uproszczenie: MWC w badanej lokalizacji odpowiada za konieczność podniesienia temperatury doborowej od 1°C do 4°C w zależności od sytuacji.

Ostatecznie zamiast stosowanych kiedyś 30°C w omawianym przypadku należy podnieść temperaturę od 1°C do 2°C ze względu na ocieplenie klimatu i kolejne od 1°C do 4°C ze względu na MWC. Uzyskujemy więc ostatecznie zakres wartości w przedziale od 32°C do 36°C zamiast dotychczas stosowanych 30°C. W przypadku bardzo ciepłego roku 2022 jest to już 37°C.

Omówione wyniki oznaczają, że utrzymanie się dotychczasowego trendu w sposobie zabudowy miast spowoduje jedynie dalszy wzrost rzeczywistych temperatur, i doprowadzi do kolejnej eskalacji problemów zarówno po stronie projektowej, jak i późniejszego użytkowania. Jest to szczególnie istotne zwłaszcza ze względu na ilość stosowanego powszechnie betonu i asfaltu, tworzących do tego strefy praktycznie pozbawione roślinności.

LITERATURA

- GOV, 2022, <https://www.gov.pl/web/archiwum-inwestycje-rozwoj/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow> (dostęp: 1.09.2022).
- IMGW, 2022, <https://dane.imgw.pl/> (dostęp: 14.10.2022).
- Miętus M., *Klimat Polski 2021*, <https://www.imgw.pl/sites/default/files/2022-06/imgw-pib-klimat-polski-2021-pol-final.pdf> (dostęp: 5.11.2022).
- Narowski P., 2020a, *Analiza porównawcza typowych lat meteorologicznych Polski wyznaczonych na podstawie danych źródłowych z lat 2001-2020*, „INSTAL”, nr 10, s. 11-25.
- Narowski P., 2020b, *Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego i strefy klimatyczne Polski do obliczania mocy w systemach chłodzenia, wentylacji i klimatyzacji budynków*, „INSTAL”, nr 12, s. 21-30.
- Nowak A., 2009, *Analiza miejskiej wyspy ciepła na obszarze Poznania*, „Prace Geograficzne”, z. 122, s. 99-110.
- Obwieszczenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 15 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2022 r. poz. 1225, z późn. zm.).
- PKN, 2022, <https://www.pkn.pl/na-skroty/faq/czy-wycofanie-normy-jest-rownoznaczne-z-jej-uniewaznieniem> (dostęp: 17.10.2022).
- PN-B-03420:76 Wentylacja i klimatyzacja – Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego.
- PN-B-03421:78 Wentylacja i klimatyzacja – Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi.
- Pótroliczak M., Kolendowicz L., Majkowska-Juskowiak A., 2019, *Stan badań klimatu Poznania ze szczególnym uwzględnieniem pola temperatury i zjawiska miejskiej wyspy ciepła*, „ACTA GEOGRAPHICA LODZIENSIA”, nr 108, s. 79-92.
- Praca zbiorowa, 2022a, *Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change*, The Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations body, AR6 Synthesis Report, Working Group III, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> (dostęp: 5.11.2022).
- Praca zbiorowa, 2022b, *Plan Adaptacji do zmian klimatu Miasta Poznania do roku 2030, Załącznik 2, Opis głównych zagrożeń klimatycznych i ich pochodnych dla Miasta Poznania*, <https://bip.poznan.pl/public/bip/attachments.att?co=show&instance=1018&parent=78779&lang=pl&id=334539> (dostęp: 5.11.2022).
- Walijewski G., *Komunikat Biura Prasowego IMGW-PIB*, Biuro Prasowe IMGW-PIB, Warszawa 20.08.2021, <https://www.imgw.pl/wydarzenia/imgw-pib-nowy-raport-ipcc-o-klimacie-na-ziemi> (dostęp: 5.11.2022).

Wiedza PKN, 2022a, <https://wiedza.pkn.pl/web/wiedza-normalizacyjna/jak-powinny-byc-powolywane-normy-w-przepisach-> (dostęp: 17.10.2022).

Wiedza PKN, 2022b, <https://wiedza.pkn.pl/web/guest/wyszukiwarka-norm> (dostęp: 17.10.2022).

THE INFLUENCE OF THE URBAN HEAT ISLAND ON TEMPERATURE PARAMETERS BASED ON A RESIDENTIAL BUILDING IN POZNAŃ

Summary

The changing weather conditions in recent years as a result of global warming cause more and more problems in the use and design of buildings. One of them is the urban heat island effect. The article describes the influence of the urban heat island and indicates the need to take into account the city's influence in building calculations.

Keywords: urban heat island