

Wpływ materiałów do budowy ścian i dachów na właściwości termiczne budynku w okresie letnim w klimacie umiarkowanym

Tadeusz Kuczyński, Anna Staszczuk

FALE UPAŁÓW W CENTRALNEJ EUROPIE

- Konsekwencją zmian klimatycznych związanych z globalnym ociepleniem jest wzrost średnich globalnych temperatur. Wykazano, że 17 z 18 najcieplejszych lat, jakie minęły od rozpoczęcia nowoczesnego prowadzenia rejestrów, miało miejsce od 2001 roku. Lata 2014-2018 są najcieplejszymi latami we współczesnym prowadzeniu pomiarów.
- Europa Środkowa jest jednym z regionów o największym wzroście ekstremalnych fal upałów. Ponadto ludzie żyjący w klimacie umiarkowanym są bardziej narażeni na wysokie temperatury, a próg temperatury, który grozi śmiercią, jest niższy w regionach o chłodniejszym klimacie. W rezultacie w wielu częściach Europy, do tej pory nie dotkniętych negatywnymi skutkami wysokich temperatur w lecie, zaobserwowano częstsze i cięższe fale upałów, które mogą powodować problemy z komfortem cieplnym, zdrowiem, a nawet zwiększoną śmiertelność ludzi.

PRZEGRZEWANIE BUDYNKÓW W LECIE

KLIMAT UMIARKOWANY

- Przegrzanie budynków mieszkalnych zostało uznane za ważną przyczynę problemów, począwszy od dyskomfortu termicznego i zmniejszonej wydajności pracy, a skończywszy na chorobach i śmierci, nawet w Holandii, w obszarze morskiego klimatu umiarkowanego. W Wielkiej Brytanii zostało ono zidentyfikowane jako potencjalnie śmiertelne zagrożenie dla zdrowia, wymagające pilnych działań w ramach oceny ryzyka zmian klimatycznych w Wielkiej Brytanii w 2017 r.
- Wzrost liczby i intensywności ekstremalnych upałów może prowadzić do większego zainteresowania wykorzystaniem urządzeń aktywnego chłodzenia w krajach, w których do tej pory nie było ono potrzebne. Doprowadziłoby to nieuchronnie do wzrostu zużycia energii w budynkach. Jednocześnie zanieczyszczenie powietrza i zmiany klimatyczne, powodowane głównie przez produkcję energii, są uważane przez WHO za największe zagrożenie dla zdrowia ludzkiego w 2019 roku.

PRZEGRZEWANIE BUDYNKÓW W LECIE

KLIMAT UMIARKOWANY

- W latach 2005-2015 powierzchnia klimatyzowana w Niemczech wzrosła z 70 milionów metrów kwadratowych do 230 milionów metrów kwadratowych (Kalz i inni, 2010).
- Szacuje się, że w Austrii zużycie energii elektrycznej na potrzeby chłodzenia mieszkań wzrośnie z 0,057 TW h/r do 1,37 TW h/r w latach 2007-2030, co stanowi 24-krotny wzrost (EEG, 2011).
- "Aktywne systemy chłodzenia mogą stać się de facto wymogiem dla w pasywnych i niskoenergetycznych budynkach mieszkalnych w Wielkiej Brytanii w ciągu najbliższych 30-40 lat" (McLeod i inni, 2013).
- Po zainstalowaniu urządzeń klimatyzacyjnych w budynku, prawdopodobnie dojdzie do sytuacji, w której czas pracy urządzenia nie będzie zależał od rzeczywistych potrzeb wynikających np. z zalecanych temperatur zadanych lub górnej granicy komfortu cieplnego. Czas pracy urządzeń będzie zależał przede wszystkim od zachowań użytkowników. Istniejące dane wskazują, że będą one używane przez znacznie dłuższy okres czasu. Badania przeprowadzone w Wielkiej Brytanii wskazują, że w dniach, w których klimatyzacja w gospodarstwach domowych jest włączona, jej średni dzienny czas pracy wynosi 7 godzin. (He i inni, 2005).

Kalz D.E., Wienold J., Fischer M., Cali D.: Novel heating and cooling concept employing rainwater cisterns and thermo-active building systems for a residential building, *Applied Energy* 2010;87;2;650-660.

McLeod R.S., Hopfe Ch.J., Kwan A.: An investigation into future performance and overheating risks in Passivhaus dwellings, *Building and Environment* 2013;70; 189:209

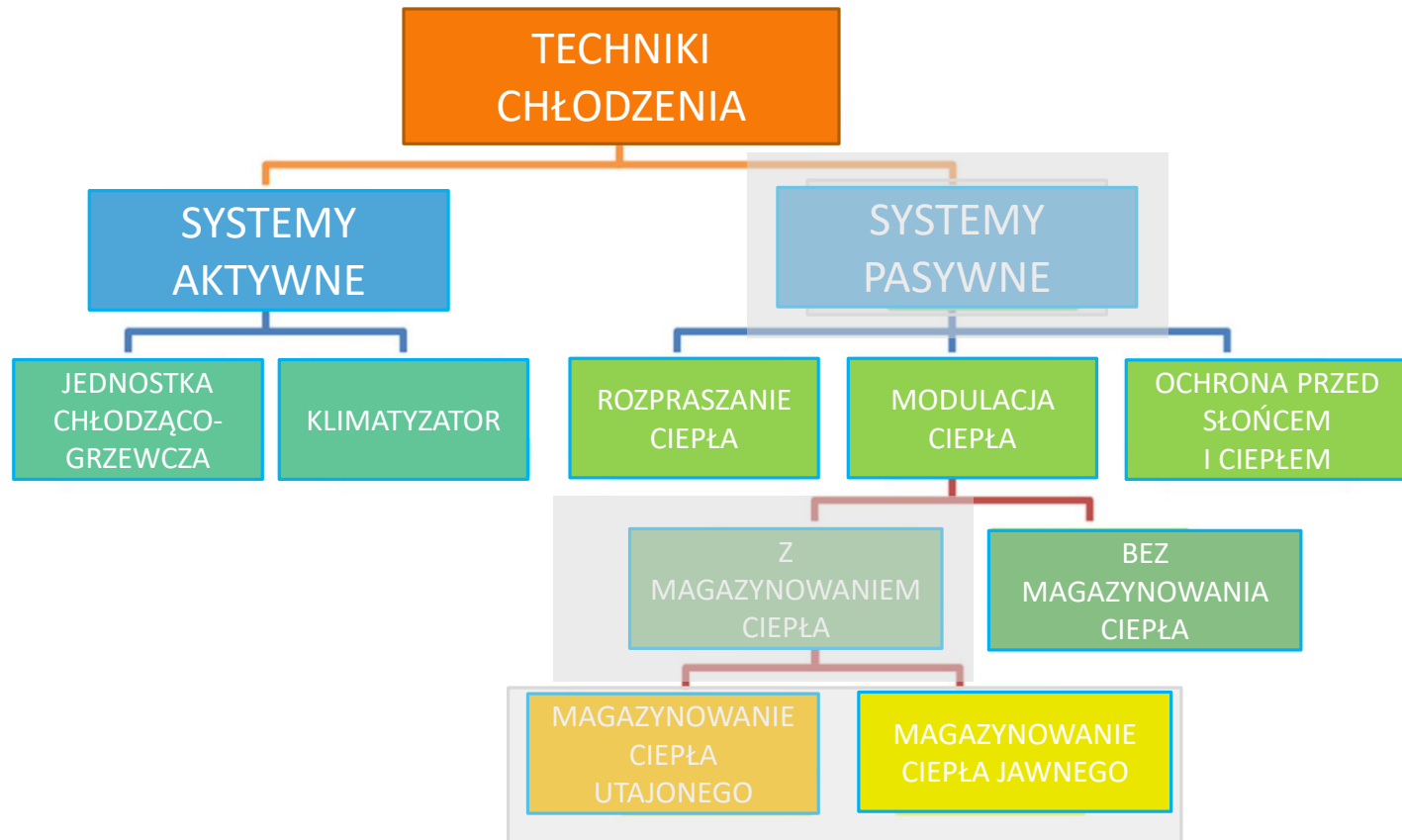
He J., Young A.N., Oreszczyn T.: Air conditioning energy use in houses in Southern England

PRZEGRZEWANIE BUDYNKU

- JAK MOŻNA ROZWIĄZAĆ TEN PROBLEM?

- Projektanci budynków od wielu lat koncentrują się głównie na optymalizacji w celu zmniejszenia całorocznego zużycia energii, które w warunkach klimatycznych w większości krajów europejskich zależy głównie od energii grzewczej.
- Oszczędność energii grzewczej pozostanie priorytetem, ale coraz ważniejsza stanie się ochrona mieszkańców przed negatywnymi skutkami wysokich temperatur w okresie letnim (Lomas i Porritt, 2016).
- W związku z tym konieczne będzie dostosowanie istniejących budynków do bezprecedensowo wysokich temperatur w okresie letnim; przede wszystkim poszukiwanie nowych, energooszczędnych metod ochrony budynków przed przegrzaniem oraz dostosowanie rozwiązań stosowanych w cieplejszym klimacie do umiarkowanych warunków klimatycznych.

TECHNIKI CHŁODZENIA ZAPOBIEGAJĄCE PRZEGRZEWANIU BUDYNKÓW



Schemat. Różne rodzaje systemów chłodniczych [Akeiber i inni., 2016]

 Rozważane w badaniach

WPŁYW MASY TERMICZNEJ NA TEMPERATURĘ WEWNĄTRZ BUDYNKU

Aby ocenić korzyści wynikające ze zwiększenia bezwładności cieplnej pomieszczeń poprzez zastosowanie materiałów o wysokiej masie termicznej i PCM, można porównać wpływ obu rozwiązań na temperaturę w pomieszczeniach.

W ciągu ostatnich dziesięcioleci opracowano kilka propozycji zastosowania tradycyjnych elementów konstrukcyjnych o wysokiej masie termicznej, w tym PCM w budynkach o podwyższonej temperaturze, aby zapobiec ich przegrzewaniu.

Badania wykazały, że zastosowanie PCM i tradycyjnych materiałów o wysokiej masie termicznej powoduje obniżenie temperatury w budynku z 0,5 do nawet 4 stopni [Voelker i inni, Schossig i inni, Givoni, Pajek i inni, Kuczyński i Staszczuk].

Voelker C., Kornadt O., Ostry M.: Temperature reduction due to the application of phase change materials, *Energy and Buildings*, 40(2008), 937-944.

Schossig P., Henning H.M., Gschwander S., Haussmann T.: Micro-encapsulated phase-change materials integrated into construction materials, *Sol Energy Mater Sol Cells*, 89(2005), 297-306.

Givoni B.: Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperature, *Energy and Building*, 28(1998), 25-32.

Pajek L., Hudobivnik B., Kunič R., Košir M.: Improving thermal response of lightweight timber building envelopes during cooling season in three European locations, *Journal of Cleaner Production*, 156(2017), 939-952.

Kuczyński T., Staszczuk A.: Experimental study of the influence of thermal mass on thermal efficiency and the demand for cooling energy in residential buildings, *Energy* 195(2020), 116984, 1-11.

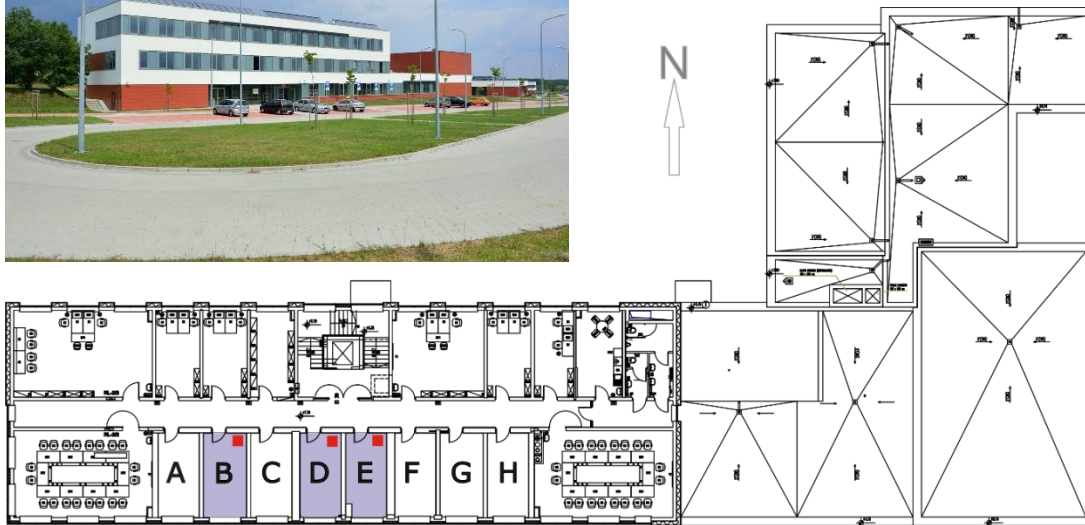
GŁÓWNY CEL BADAŃ

- ❑ **Głównym celem badań było porównanie wpływu materiałów PCM (materiał zmienno-fazowy) i żelbetu na wydajność cieplną pomieszczeń bez dodatkowej wentylacji nocnej w rejonach klimatu umiarkowanego.**
- ❑ Ponadto miały one na celu sprawdzenie, czy efekt ten zależy od czasu trwania i nasilenia fal cieplnych.

Badania te, według najlepszej wiedzy autorów, są pierwszym porównaniem efektywności wykorzystania materiałów PCM i tradycyjnych materiałów budowlanych o dużej masie termicznej do określenia ich wpływu na zachowanie cieplne rzeczywistych budynków.

METODOLOGIA BADAŃ

CHARAKTERYSTYKA POMIESZCZEŃ DOŚWIADCZALNYCH



Rysunek. Centrum Budownictwa Zrównoważonego i Energii w Nowymi Kiszelinie, Polska; widok elewacji frontowej i rzut II piętra budynku z lokalizacją pomieszczeń doświadczalnych: **B, D, E** wyposażonych w termo-higrometry (oznaczone na rysunku jako czerwone kwadraty).

- Każde pomieszczenie ma 6 m długości, 3 m szerokości i 3.2 m wysokości
- Powierzchnia podłogi pomieszczenia wynosi 18 m² i kubatura netto 57 m³
- Analiza uwzględnia trzy rodzaje konstrukcji ścian i dachów w pomieszczeniach doświadczalnych B, D i E:
 - Pomieszczenie B żelbetowe ściany i dach (Pomieszczenie z żelbetu - RC room),
 - Pomieszczenie E ściany i dach pokryte materiałem PCM (Pomieszczenie PCM – PCM room),
 - Pomieszczenie D ściany i dach o konstrukcji drewnianej szkieletowej (Pomieszczenie referencyjne- REF room).

METODOLOGIA BADAŃ

MATERIAŁY I KONSTRUKCJA

Wybrano żelbet i panele PCM - DuPont ENERGAIN® jako materiały do zwiększenia bezwładności cieplnej ścian i dachów

Właściwości paneli DuPont ENERGAIN®:

- Zawiera mikro-kapsułkowany PCM: związek polimerowo-parafinowy w płytach laminowanych aluminium
- Pojemność cieplna utajona 70 kJ/kg
- Gęstość komponentów PCM 855 kg/m³
- Waga panelu o grubości 5.2 mm wynosi około 4.5 kg/m²
- Przewodności cieplna od 0.18 W/m K w fazie stałej do 0.22 W/mK w fazie ciekłej
- Zakres temperatur przejścia fazowego 17.8-22.3°C

METODOLOGIA

MATERIAŁY I KONSTRUKCJA

Tabela. Współczynniki przenikania ciepła i powierzchnie przegród w pomieszczeniach doświadczalnych.

Przegroda	U [W/m ² K]	Powierzchnia [m ²]
Ściana zewnętrzna Pomieszczenie B	0.17	5
Ściana zewnętrzna Pomieszczenie D	0.12	5
Ściana zewnętrzna Pomieszczenie E	0.12	5
Ściana wewnętrzna Pomieszczenie A/B	0.50	19
Ściana wewnętrzna Pomieszczenie B/C	0.50	19
Ściana wewnętrzna Pomieszczenie C/D	0.19	19
Ściana wewnętrzna Pomieszczenie D/E	0.20	19
Ściana wewnętrzna Pomieszczenie E/F	0.16	19
Ściana wewnętrzna Hol/Pomieszczenie B	0.45	8
Ściana wewnętrzna Hol/Pomieszczenie D	0.27	8
Ściana wewnętrzna Hol/Pomieszczenie E	0.26	8
Podłoga Pomieszczenie B,D,E	0.49	18
Dach Pomieszczenie B	0.12	18
Dach Pomieszczenie D	0.08	18
Dach Pomieszczenie E	0.08	18
Okna potrójnie szklone, SHGC (av.) = 0.50 U _w = 0.79 W/m ² K; U _g =0.51 W/m ² K Szerokość 2,2m; Wysokość 2,10 m		4.6

METODOLOGIA

POMIARY

W sposób ciągły były rejestrowane następujące pomiary:

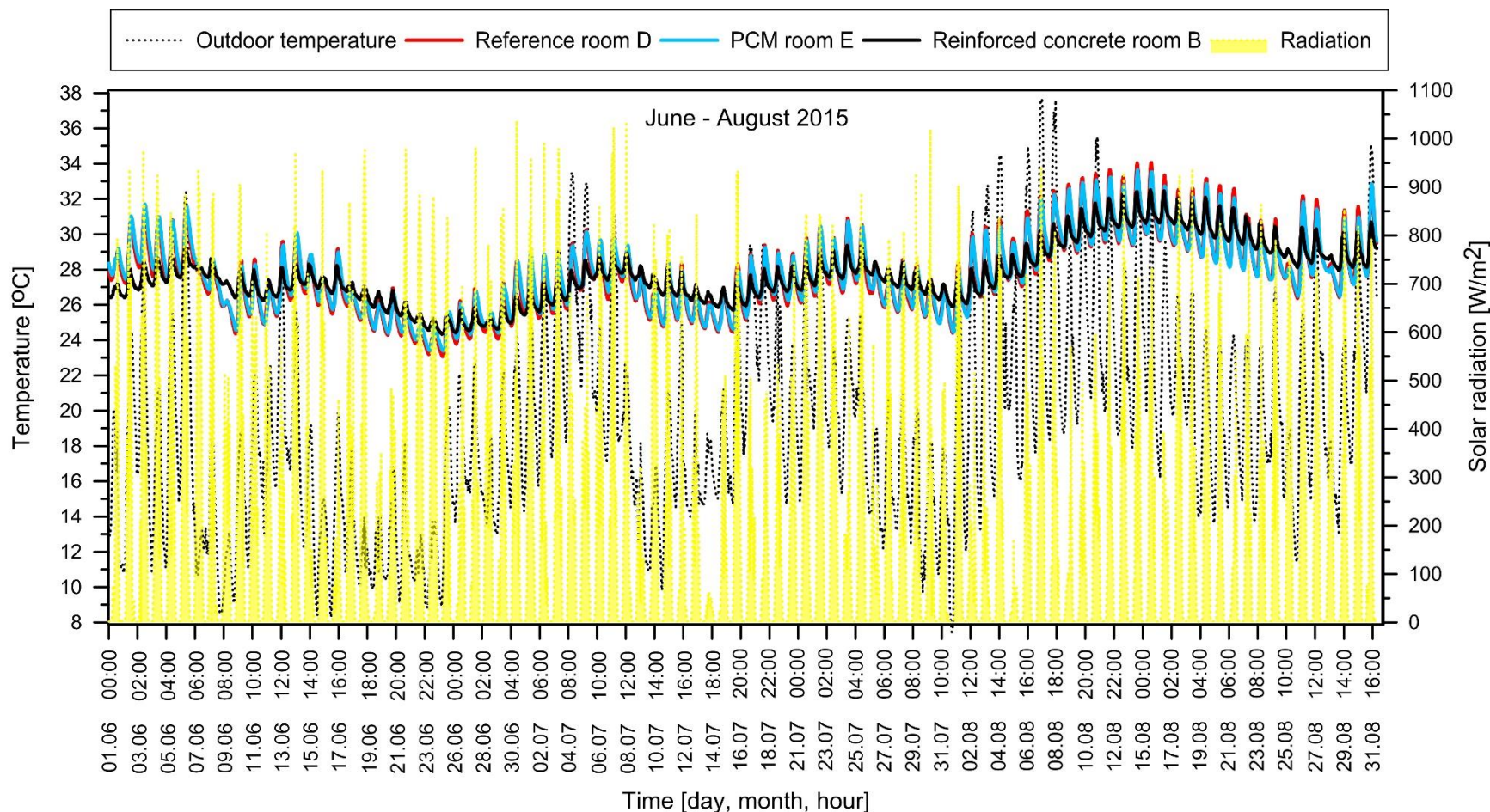
- ✓ wewnątrz pomieszczeń doświadczalnych (temperatura powietrza),
- ✓ na zewnątrz budynku (parametry zewnętrzne: temperatura powietrza i całkowite poziome promieniowanie słoneczne).

Regularne pomiary wszystkich wyżej wymienionych parametrów były rejestrowane w systemie BMS (system zarządzania budynkiem „Building Management System”) co 5 minut.

We wszystkich pomieszczeniach wymiana powietrza utrzymywana była na stałym poziomie 0,6 na godzinę, a rolety na oknach pozostawały otwarte przez cały okres badań. Każde pomieszczenie było centralnie ogrzewane i wentylowane.

Wyniki pomiarów pobrano do analizy w 1-godzinnych odstępach czasu od 1 czerwca 2015r. do 31 sierpnia 2015r. Analizę fal cieplnych przeprowadzono dla najcieplejszego 17-dniowego okresu (od 31 do 16 sierpnia 2015r.).

WYNIKI POMIARÓW



Rysunek. Zmierzone wartości godzinowe temperatury wewnętrznej i zewnętrznej (°C) oraz promieniowania słonecznego [W/m²]. Czerwiec - Sierpień, 2015.

WYNIKI POMIARÓW

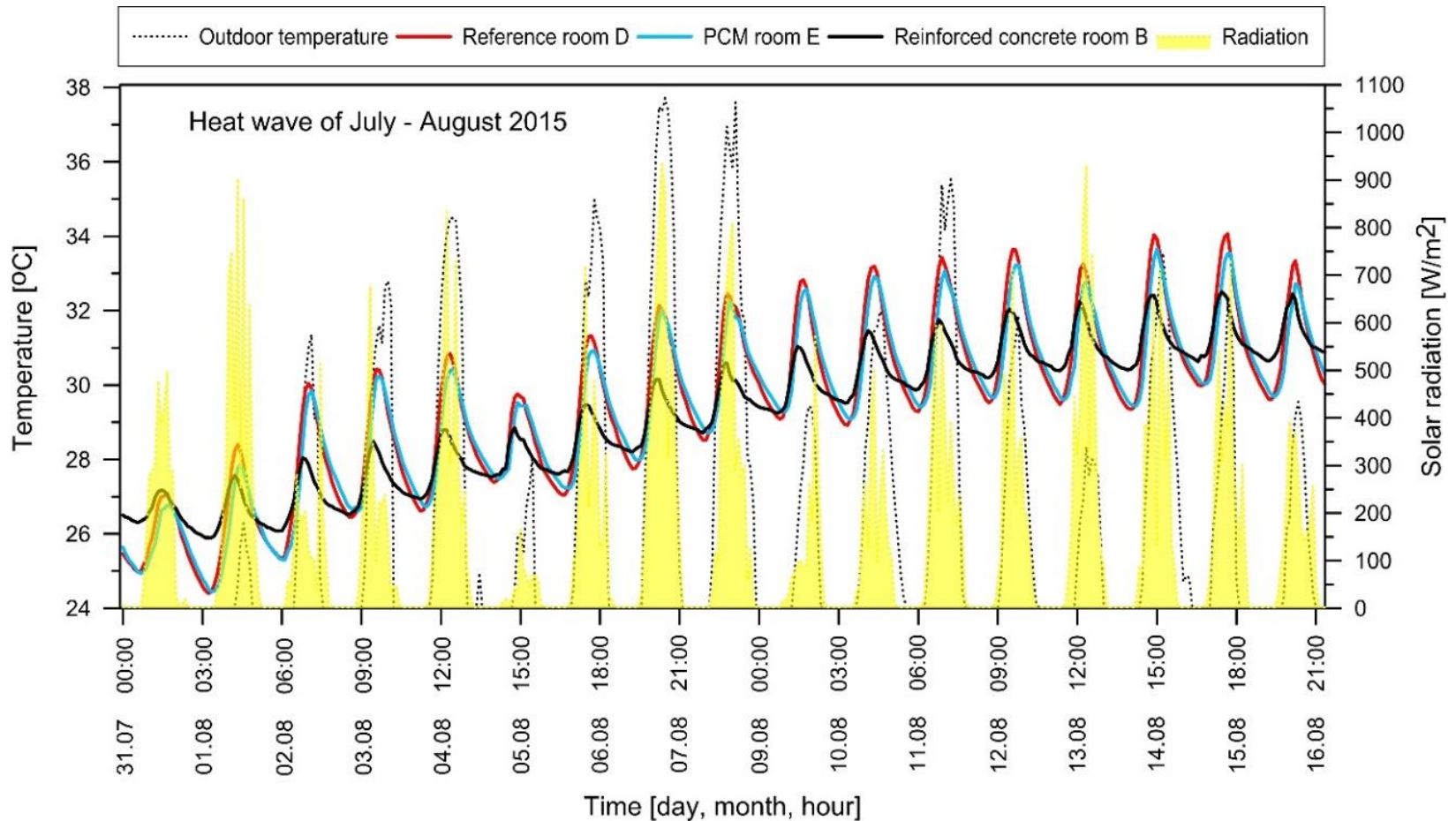


Figure. Zmierzone wartości godzinowe temperatury wewnętrznej i zewnętrznej (°C) oraz promieniowania słonecznego [W/m²]. Fala upałów 31 lipca – 16 sierpnia 2015r.

WYNIKI POMIARÓW

Table. Średnia temperatura zewnętrzna, promieniowanie słoneczne i temperatura we wszystkich pomieszczeniach podczas fali upałów w lecie 2015 roku.

Data	Promieniowanie słoneczne [W/m ²]	Temperatura zewnętrzna [°C]	Temperatura wewnętrzna [°C]		
			Pomieszczenie B (RC room)	Pomieszczenie D (REF room)	Pomieszczenie E (PCM room)
1.06-31.08.2015	200.1	19.4	27.77	27.72	27.75
1.06-30.06.2015	224.2	15.8	26.60	26.60	26.70
1.07-31.07.2015	195.1	19.8	27.77	27.72	27.75
1.08-31.08.2015	181.4	22.5	29.50	29.40	29.50
31.07-16.08.2015	158.2	23.5	27.20	27.00	27.10

WNIOSKI

- ❑ W wyniku zastosowania żelbetu zamiast szkieletu drewnianego w ścianach i dachu pomieszczenia doświadczalnego, jego szczytowa temperatura została obniżona o $2,5^{\circ}\text{C}$ w pierwszych dniach fali upałów.
- ❑ Skuteczność materiałów o wysokiej masie termicznej tylko nieznacznie spadła i wynosiła od $1,5^{\circ}\text{C}$ do $2,0^{\circ}\text{C}$ w ciągu kolejnych 17 dni fali upałów w okresie lipiec-sierpień 2015 roku.
- ❑ Wprowadzenie materiału PCM do powierzchni ścian i dachów nie miało znaczącego wpływu na przebieg temperatury w całym okresie letnim.
- ❑ Wyłożenie wewnętrznych powierzchni ścian i dachu w badanym pomieszczeniu z PCM o temperaturze topnienia $22,3^{\circ}\text{C}$ nie doprowadziła do znaczącego spadku temperatury wewnętrznej w żadnym z miesięcy letnich - czerwcu, lipcu i sierpniu 2015 r. Minimalna temperatura powietrza w badanym pomieszczeniu nigdy nie spadła poniżej 24°C i pozostała zbyt wysoka, aby umożliwić krzepnięcie PCM zawartego w płytach ENERGAIN.

WNIOSKI

- ❑ Niewielka różnica pomiędzy średnimi temperaturami w pomieszczeniach o różnej bezwładności cieplnej wynikała prawdopodobnie z faktu, że nie stosowano dodatkowej wentylacji nocnej (takie praktyki nie są obecnie stosowane w Polsce). W rezultacie tylko niewielka część nadmiaru ciepła mogła zostać usunięta.
- ❑ Decyzja o temperaturze topnienia PCM jest podejmowana na etapie projektowania budynku, podczas gdy nie jest jeszcze znana temperatura w poszczególnych pomieszczeniach, zależna głównie od temperatury zewnętrznej, promieniowania słonecznego lub zachowania się mieszkańców. W tych warunkach można założyć, że korzystne jest zastosowanie PCM o stosunkowo szerokiej temperaturze przejściowej.
- ❑ Wyniki wskazują jednak, że efektywne wykorzystanie PCM jest możliwe tylko wtedy, gdy jego zakres temperatur przejściowych jest precyzyjnie dostosowany do rzeczywistych warunków panujących w budynku. Szczególnie ważne jest zapewnienie, aby temperatura ta umożliwiała pełne krzepnięcie PCM. W przeciwnym razie PCM może być nieskuteczny w dłuższych okresach wysokiej temperatury. Może się zdarzyć, że w klimacie umiarkowanym PCM jest nieefektywny przez całe lato.

WNIOSKI

- ❑ W przypadku krajów o klimacie umiarkowanym nie przeprowadzono dotychczas badań eksperymentalnych w rzeczywistych budynkach, które monitorowałyby właściwości termiczne materiałów o wysokiej bezwładności cieplnej przy fali upałów trwającej ponad 2 tygodnie, przy czym szczytowa temperatura dzienna jedenastokrotnie przekraczała 31°C.
- ❑ Niniejsze opracowanie jest, zgodnie z najlepszą wiedzą autorów, pierwszym porównaniem efektywności wykorzystania PCM i tradycyjnych materiałów budowlanych o wysokiej masie termicznej do obniżania wysokich temperatur letnich w rzeczywistych budynkach. W poprzednich badaniach analizowano skuteczność tych dwóch metod zwiększania bezwładności cieplnej budynku poprzez modelowanie dynamiczne.

PRZYSZŁE BADANIA

- ❑ Testy należy powtórzyć z dodatkową wentylacją nocną, ponieważ pełną skuteczność zastosowanych rozwiązań można osiągnąć tylko wtedy, gdy połączy się obie strategie pasywne, tj. modulację cieplną i rozpraszanie ciepła.
- ❑ Istnieje potrzeba dalszych badań nad wpływem różnych uwarunkowań na efektywność wykorzystania materiałów budowlanych o wysokiej masie termicznej i materiałów PCM w klimacie umiarkowanym w krajach Europy Środkowej, gdzie dotychczas nie prowadzono zbyt wielu badań.
- ❑ Powinno to obejmować kwestię dopasowania zakresu temperatur topnienia do temperatur oczekiwanych w poszczególnych pomieszczeniach w budynkach, które jak wynika z przedstawionych wyników badań, zależą od historii temperatury zewnętrznej i promieniowania słonecznego oraz bezwładności cieplnej budynku.