

Przegroda budowlana zawierająca przewody do podłączenia do układu ogrzewania / chłodzenia płaszczyznowego i związek zmiennofazowy

Przedmiotem wynalazku jest przegroda budowlana, w której zintegrowane są przewody do podłączenia do układu ogrzewania / chłodzenia płaszczyznowego oraz związki zmiennofazowe w dwóch konfiguracjach.

W celu zapewnienia komfortu użytkownikom budynków stosuje się różnego rodzaju systemy ogrzewania i klimatyzacji wpływające na parametry środowiska cieplnego poszczególnych pomieszczeń. Najbardziej rozpowszechnione jest wprowadzanie wyłącznie systemu ogrzewania, jednakże w pomieszczeniach biurowych czy też o podwyższonych wymaganiach zmiana parametrów środowiska cieplnego realizowana jest przy połączeniu systemu ogrzewania z chłodzeniem (uzyskiwanym poprzez działanie systemu klimatyzacji), lub też system klimatyzacji odpowiada zarówno za ogrzewanie, jak i chłodzenie pomieszczeń.

Najczęściej projektowanym układem ogrzewania jest rozwiązanie bazujące na grzejnikach montowanych lokalnie w pomieszczeniu, najczęściej pod oknem. Główną zaletą takiego rozwiązania jest niska bezwładność cieplna układu, wadą natomiast jest rozkład temperatury w pomieszczeniu niezgodny z termofizjologią człowieka, a także występowanie konwekcyjnych ruchów powietrza, które mogą odpowiadać za transport zanieczyszczeń w pomieszczeniu. W celu eliminacji ww. problemów stosowane są m.in. rozwiązania ogrzewania płaszczyznowego, w których to układach przewody grzejne wprowadzone są w całą powierzchnię przegrody a następnie podłączone do układu ogrzewania budynku. W tego rodzaju rozwiązaniu tworzy się w pomieszczeniu płaszczyzny grzewcze, które zastępują (lub wspomagają) działanie standardowych układów ogrzewania. Zaletą takiego rozwiązania, w stosunku do w/w. tradycyjnego systemu, jest przede wszystkim bardziej komfortowy dla użytkownika rozkład temperatury powietrza w pomieszczeniu (rys 1), intensyfikacja wymiany ciepła między użytkownikiem a przegrodą przez promieniowanie, występowanie równomiernego rozkładu temperatury na powierzchni danej przegrody, jak również znaczne ograniczenie konwekcyjnych przepływów powietrza w pomieszczeniu.

Rozkład temperatury powietrza wraz z wysokością pomieszczenia przy różnych układach ogrzewania został przedstawiony na rysunku, na którym POS I obrazuje ogrzewanie płaszczyznowe podłogowe, POS II - ogrzewanie płaszczyznowe sufitowe, POS III ogrzewanie tradycyjne grzejnikiem podokiennym.

W odniesieniu do klimatyzacji pomieszczeń - tradycyjnym sposobem chłodzenia jest dostarczanie powietrza w ilości umożliwiającej zarówno odebranie zysków ciepła w pomieszczeniu (a więc ochłodzenie powietrza w pomieszczeniu), jak i ilości wynikającej z spełnienia wymagań higienicznych. Rozwiązanie to jednakże nie jest efektywne pod kątem zużycia energii, stąd w ostatnich latach nastąpił rozdział działania tych dwóch systemów, tj. osobnymi układami realizowane jest odbieranie zysków ciepła w pomieszczeniach i osobny system doprowadza niezbędne ilości powietrza wentylacyjnego. Jednym z systemów umożliwiającym wyłącznie odbieranie nadmiernych zysków ciepła są właśnie przegrody chłodzące płaszczyznowo. Główną ich przewagą w stosunku do innych urządzeń tego rodzaju (np. belki chłodzące, klimakonwektory itp.) jest wysoka efektywność odbierania ciepła, analogicznie jak w przypadku ogrzewania płaszczyznowego - możliwość kształtowania warunków cieplnych w pomieszczeniu zgodnych z termofizjologią człowieka, odbieranie ciepła przez promieniowanie, oraz ograniczenie ruchów konwekcyjnych powietrza w pomieszczeniu.

W obu przypadkach (ogrzewania i chłodzenia płaszczyznowego) rozwiązania te umożliwiają również ograniczenie zużycia energii na cele ogrzewania budynku w przypadku jeżeli rozwiązanie współpracuje z pompą ciepła czy instalacją solarną [1].

Rozwiązania ogrzewania / chłodzenia płaszczyznowego (określane jako Thermally Activated Building systems [2]) są realizowane komercyjnie m.in. przez firmy Uponor [3] i Rehau [4], a w przypadku prefabrykacji przegród m.in. przez firmę Dennert [5]. W rozwiązaniach tych zastosowano rurki dla medium grzewczego / chłodzącego umieszczone bezpośrednio w przegrodzie budowlanej, czyli podłodze, ścianie lub stropie.

W powyższych rozwiązaniach nie ma jednak wprowadzonych związków zmiennofazowych (PCM), których potencjał do redukcji zużycia energii na cele ogrzewania / chłodzenia budynku został wielokrotnie wykazany w publikacjach

naukowych [6-8], jednakże dotychczas nie został opracowany skuteczny sposób integracji ogrzewania / chłodzenia płaszczyznowego z PCM.

Najszerze badania w tym zakresie przeprowadził Pomianowski [9] testując różne rozwiązania wprowadzenia PCM w płyty betonowe prefabrykowane (stosowane jako stropy) wyposażone w przewody umożliwiające podłączenie do układu chłodzącego. Projekty wprowadzenia PCM w płytę realizowano za pomocą umieszczenia w przestrzeni między przewodami chłodzącymi a pomieszczeniem warstwy betonu wymieszanego z PCM o grubości 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, a także 2cm oddalonych od dolnej krawędzi stropu o 1 cm oraz 2cm.

PCM-em zastosowanym w tych analizach numerycznych był Micronal firmy BASF [10] charakteryzujący się temperaturą topnienia równą 26°C. Celem tych analiz było sprawdzenie działania połączenia PCM - chłodzenie płaszczyznowe na dwa sposoby: (1) sprawdzenie jak sam PCM odbiera ciepło z pomieszczenia, (2) sprawdzenie czy PCM wpływa (wspomaga) na działanie układu chłodzenia płaszczyznowego.

Na podstawie przeprowadzonych analiz Pomianowski wskazał następujące odpowiedzi na powyższe pytania:

ad.1. w celu efektywnego odbioru ciepła z pomieszczenia przez PCM grubość warstwy betonu wymieszanego z PCM powinna być jak największa, nie powinna występować również warstwa samego betonu między pomieszczeniem a warstwą mieszanki beton - PCM;

ad.2. zwiększanie zawartości PCM betonu warstwie między przewodami chłodzącymi a pomieszczeniem powoduje zmniejszenie przewodności cieplnej danej warstwy utrudniając działanie układu chłodzenia płaszczyznowego.

Przedstawione odpowiedzi wskazują zatem na przeciwne działanie rozwiązania badanego przez Pomianowskiego. Na podstawie powyższych wniosków można przypuszczać, iż analogiczne rezultaty byłyby uzyskane dla działania układu w trybie ogrzewania płaszczyznowego.

W dalszych rozważaniach Pomianowski badał wpływ zmiany geometrii dolnej powierzchni płyty – warstwy zaprawy murarskiej wypełnionej PCM a także różnych

metod umieszczenia PCM w panelach zawieszonych pod płytą, na efektywność działania układu.

Na podstawie badań prowadzonych w warunkach laboratoryjnych wskazał, że zastosowanie PCM zwiększa zdolność do akumulacji ciepła przez zaprawę murarską, jednocześnie drastycznie obniża przewodność cieplną warstwy, utrudniając działanie układu chłodzenia płaszczyznowego. Analogiczna sytuacja została zaobserwowana w przypadku powieszenia pod płytą paneli wypełnionych PCM.

Podsumowując powyższy przegląd rozwiązań można zauważyć następujące informacje:

1. Nie jest dostępnych wiele informacji nt. przegród ze zintegrowanym układem ogrzewania / chłodzenia płaszczyznowego ze związkami zmiennofazowymi.
2. Dostępne w literaturze metody integracji dotyczą wyłącznie zastosowania płyt i PCM w opcji chłodzenia pomieszczeń.
3. Przedstawiona w literaturze metoda umieszczenia PCM w płycie betonowej stosowanej jako strop, w postaci warstwy mieszanki betonu z PCM, która umieszczona jest w płycie od strony pomieszczenia powoduje, że spada efektywność działania układu chłodzenia płaszczyznowego w wyniku obniżenia współczynnika przewodzenia ciepła mieszanki betonu z PCM w stosunku do samego betonu.
4. Wprowadzenie odsunięcia warstwy mieszanki betonu z PCM od przestrzeni pomieszczenia powoduje spadek efektywności odbierania ciepła przez PCM.
5. Zastosowanie różnego rodzaju konstrukcji wypełnionych PCM od strony pomieszczenia efektywnie wpływa na odbieranie ciepła z pomieszczenia przez PCM, jednakże rozwiązanie to obniża efektywność działania układu chłodzenia płaszczyznowego. Można przyjąć, że analogiczna sytuacja zachodzi w przypadku działania układu ogrzewania płaszczyznowego.

W celu zwiększenia akumulacyjności cieplnej przegrody, w której zainstalowane są przewody do podłączenia systemu grzewczego lub/i chłodzącego wprowadzono

związki zmiennofazowe w postaci kapsułek / rurek. PCM (Phase Change Materials), czyli związki zmiennofazowe (inaczej materiały przemiany fazowej), które absorbują, akumulują oraz uwalniają duże ilości energii, w postaci ciepła utajonego, w zakresie temperatur przemiany fazowej (temperatura topnienia i krzepnięcia). Podczas przemiany w stan ciekły (temperatura topnienia) PCM pochłania i akumuluje duże ilości ciepła od otoczenia [11, 12]. Przez cały czas trwania przemiany fazowej temperatura PCM jest stała. W czasie procesu zmiany fazy za możliwości akumulowania, bądź oddawania ciepła odpowiada wartość entalpii całkowitej ΔH (ciepło utajone; entalpia topnienia i krzepnięcia). Przewodność cieplna odpowiedzialna jest za efektywne pochłanianie lub uwalnianie ciepła nawet przy niewielkich różnicach temperatury.

PCM-y podzielić można na organiczne i nieorganiczne. Do organicznych zaliczamy m.in: parafiny (alkany) (o czystości handlowej i analitycznej) oraz kwasy tłuszczowe, a do nieorganicznych - uwodnione sole.

Parafiny (alkany) cechują się wysokim ciepłem utajonym ($\Delta H \sim 250$ kJ/kg), są stabilne chemicznie, ich temperaturę topnienia można „kontrolować” poprzez ilość atomów węgla w łańcuchu cząsteczki, nie ulegają przechłodzeniu. Do wad parafin należy zaliczyć niską odporność na zapalenie oraz niską przewodność cieplną. Wady te częściowo niweluje się zamykając związek w kapsułkach lub metalowych macierzach tak, aby zwiększyć ich przewodność cieplną oraz zmniejszyć ilość materiału stosowanego jednocześnie w przestrzeni ze względu na ryzyko zapalenia.

Kwasy tłuszczowe charakteryzują się niższym ciepłem utajonym ($\Delta H \leq 200$ kJ/kg) i wysokimi wartościami temperatury topnienia. Do zalet organicznych PCM można zatem zaliczyć: brak korozyjności oraz niski bądź zerowy efekt przechłodzenia podczas przemiany fazowej. Natomiast do wad zaliczyć można niską przewodność cieplną, dużą rozszerzalność objętościową podczas przemian fazowych, łatwopalność oraz wysoką cenę.

Natomiast uwodnione sole czy woda, cechują się wysokim ciepłem utajonym ($\Delta H_{H_2O} \sim 330$ kJ/kg), mają dobrą przewodność cieplną, nie są zapalne, są tanie lecz nie są stabilne termicznie. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że ulegną rozseparowaniu faz. Charakteryzują się również wyższą, w stosunku do organicznych PCM, pojemnością cieplną. Nieorganiczne PCM często ulegają przechłodzeniu oraz są korozyjne.

Znalazły zastosowanie głównie w aplikacjach pozwalających na magazynowanie energii słonecznej. Zamykane są głównie w ceramicznych otoczkach, więc w określaniu ich pojemności cieplnej należy uwzględnić również ciepło jawne z pojemnika ceramicznego.

Problemem, który był postawiony do rozwiązania, było zaprojektowanie takiego umieszczenia PCM w przegrodzie, aby PCM nie tylko nie wpływał negatywnie na działanie układu grzewczego, ale jeszcze zwiększał jego efektywność. Szczegółowymi zadaniami, które należało rozpatrzyć były:

1. Ustalenie granicznych wartości temperatury topnienia / krystalizacji związku, który będzie stosowany w przegrodach betonowych prefabrykowanych i będzie wspomagał działanie zarówno układu ogrzewania jak i chłodzenia płaszczyznowego. Temperatury te powinny być dobrane tak, aby możliwe było całkowite roztopienie oraz całkowita krystalizacja związku PCM.
2. Opracowanie sposobów zamknięcia PCM w odpowiednich otoczkach, które z jednej strony nie będą utrudniać wymiany ciepła między PCM a otoczeniem, a z drugiej nie będą wchodzić w reakcje z PCM jako związkami chemicznymi.
3. Opracowanie sposobu lokalizacji PCM w przegrodach prefabrykowanych aby w maksymalny sposób wspomagać działanie ogrzewania płaszczyznowego współdziałaniem PCM a jednocześnie nie utrudniać oddawania / pobierania ciepła z układu ogrzewania / chłodzenia do pomieszczenia.
4. Komfort użytkowania – należało pamiętać, że przegrody będą w bezpośrednim kontakcie z użytkownikami, tak więc zastosowanie PCM nie powinno stwarzać użytkownikowi poczucia dyskomfortu spowodowanego ograniczonym użytkowaniem danej przegrody.

Na podstawie przeprowadzonych analiz opracowano przegrodę według wynalazku, wewnątrz której znajdują się przewody doprowadzające i odprowadzające czynnik grzewczy / chłodzący. Pomiędzy przewodami doprowadzającymi i odprowadzającymi czynnik grzewczy / chłodzący znajdują się rurki wykonane z materiału o wysokiej wartości współczynnika przewodzenia ciepła, korzystnie polietylenu, o średnicy większej niż przewody doprowadzające i odprowadzające czynnik grzewczy / chłodzący, wypełnione związkiem zmiennofazowym o temperaturze topnienia / krystalizacji dla wersji układu grzewczego odpowiadającej

projektowanej temperaturze powierzchni przegrody $\pm 5^{\circ}\text{C}$ a równocześnie o temperaturze topnienia/kryształizacji odpowiadającej temperaturze zasilania układu grzewczego pomniejszonej o $10^{\circ}\text{C} \div 20^{\circ}\text{C}$, korzystnie 31°C . Dla wersji układu chłodzącego rurki wypełnione są związkami zmiennofazowymi o temperaturze topnienia / kryształizacji odpowiadającej projektowanej temperaturze powierzchni przegrody $\pm 5^{\circ}\text{C}$, a równocześnie o temperaturze topnienia / kryształizacji odpowiadającej temperaturze zasilania układu chłodzącego powiększonej o $10^{\circ}\text{C} \div 20^{\circ}\text{C}$.

Ponadto odległość między rurkami wypełnionymi związkami zmiennofazowymi a przewodami grzewczymi / chłodzącymi wynosi co najmniej 20mm, a rurki wypełnione związkami zmiennofazowymi korzystnie posiadają oddzielone od siebie obiegi pomiędzy każdym segmentem przewodów grzewczo / chłodzących. Takie rozdzielenie rurek ze związkami zmiennofazowymi jest wskazane ze względu na możliwość wystąpienia uszkodzenia rurek, wówczas wyciek nastąpi wyłącznie miejscowo.

Odmianą przegrody według wynalazku jest przegroda, wewnątrz której znajdują się przewody doprowadzające i odprowadzające czynnik grzewczy / chłodzący. Pomędzy przewodami doprowadzającymi i odprowadzającymi czynnik grzewczy / chłodzący znajdują się kapsuły wykonane z materiału o wysokiej wartości współczynnika przewodzenia ciepła, korzystnie polietylenu, wypełnione związkami zmiennofazowymi o temperaturze topnienia / kryształizacji dla wersji układu grzewczego odpowiadającej projektowanej temperaturze powierzchni przegrody $\pm 5^{\circ}\text{C}$ a równocześnie o temperaturze topnienia / kryształizacji odpowiadającej temperaturze zasilania układu grzewczego pomniejszonej o $10^{\circ}\text{C} \div 20^{\circ}\text{C}$, korzystnie 31°C . Dla wersji układu chłodzącego rurki wypełnione są związkami zmiennofazowymi o temperaturze topnienia / kryształizacji odpowiadającej projektowanej temperaturze powierzchni przegrody $\pm 5^{\circ}\text{C}$, a równocześnie o temperaturze topnienia / kryształizacji odpowiadającej temperaturze zasilania układu chłodzącego powiększonej o $10^{\circ}\text{C} \div 20^{\circ}\text{C}$.

Ponadto odległość między kapsułami wypełnionymi związkami zmiennofazowymi wynosi co najmniej 16 mm, a kapsuły ułożone są pomiędzy przewodami grzewczo / chłodzącymi naprzemiennie tak, aby w kolejnym rzędzie w linii

prostopadłej do rurek kapsuły z sąsiedniego rzędu mogły być połączone tylko linią łamaną.

Zamknięcie PCM w kapsułach / rurkach zapewnia wysoką przewodność cieplną kapsułki / rurki a jednocześnie występuje brak reakcji ze związkiem. Objętość jednej kapsuły / rurki może być różna w zależności od rozstawu przewodów wprowadzonych w przegrodę. Decyzja czy w danej przegrodzie należy zastosować kapsuły czy też rurki zależy od warunków temperaturowych czynnika grzewczego / chłodzącego zaprojektowanego w ogrzewaniu / chłodzeniu płaszczyznowym dla danego budynku oraz jego przeznaczenia.

Przegroda według wynalazku może stanowić element prefabrykowany, korzystnie na bazie żelbetowej kanałowej płyty stropowej, jako podłoga, strop czy ściana. Przegroda według wynalazku może być wykonana na placu budowy jako podłoga, strop czy ściana.

Przedmiot wynalazku został przedstawiony na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia przekrój przykładowej przegrody (na rysunkach przedstawiona jest żelbetowa kanałowa płyta stropowa, ale przegrodą może być każda inna dowolna forma płyty stropowej lub ściany) w wersji z rurkami wzdłuż linii A-A, Fig. 2 przedstawia przekrój przegrody w wersji z rurkami wzdłuż linii B-B, Fig. 3 przedstawia przekrój przegrody w wersji z rurkami wzdłuż linii C-C, Fig. 4 przedstawia przekrój przegrody w wersji z kapsułkami wzdłuż linii A-A, Fig. 5 przedstawia przekrój przegrody w wersji z kapsułkami wzdłuż linii B-B, Fig. 6 przedstawia przekrój przegrody w wersji z kapsułkami wzdłuż linii C-C, Fig. 7 przedstawia widok przykładowej przegrody z góry, Fig. 8 przedstawia widok przykładowej przegrody od strony dłuższego boku a Fig. 9 przedstawia widok przykładowej przegrody od strony krótszego boku.

Obliczenia prowadzone były dla dwóch wariantów lokalizacji PCM w przegrodach: w kapsułkach lub w rurkach.

Obliczenia wykonano dla elementu budowlanego (stropu) na bazie żelbetowej kanałowej płyty stropowej o wymiarach wynoszących 1m x 1m (szerokość x długość), składającego się z następujących warstw (patrząc od góry):

- Parkiet / gres o grubości 0,02 m;

- Szlichta betonowa zbrojona - 0,065 m;
- Folia PE;
- Izolacja akustyczna (płyty styropianu EPS T) - 0,04 m;
- Nadbeton – 0,065 m;
- Prefabrykowana żelbetowa kanałowa płyta stropowa – 0,200 m;
- Tynk – 0,02 m.

Przewody ogrzewania płaszczyznowego **1** oraz rurki **2** lub kapsuły **3** wypełnione PCM i wykonane z polietylenu znajdowały się w dolnej części przegrody prefabrykowanej pod kanałami **4**, której grubość wynosiła 0,035 m. Do ogrzewania płaszczyznowego założono przewody **1** o średnicy DN14 mm, ułożone w odległości 13 mm od dolnej granicy płyty. Temperatura wody zasilającej układ przyjęta w obliczeniach wynosiła 45°C, powrotnej 35°C. Zastosowano PCM o temperaturze topnienia wynoszącej 31°C (SP31) firmy Rubitherm. Pozostałe wymiary wynikały z przyjętego rozwiązania PCM wprowadzonego w przegrodę:

W przypadku kapsuł **3**:

- Rozstaw przewodów grzewczych **1** był stały i wynosił 50 mm (licząc od powierzchni zewnętrznej przewodów **1**)
- Odległość między kapsułą **3** a zewnętrzną powierzchnią przewodu grzewczego **1** wynosiła 5 mm
- Kapsuły **3** w kształcie walca miały wymiar zewnętrzny: wysokość 25 mm, średnica podstawy 40 mm i wypełnione były w całości PCM (objętość PCM w fazie ciekłej wynosiła w przybliżeniu 15 ml)
- Kapsuły **3** ułożone były naprzemiennie w odległości równej 0,16 m od siebie

W przypadku rurek **2**:

- Rozstaw przewodów grzewczych **1** był zmienny i wynikał z ułożenia rurek **2** wypełnionych PCM, tj. wynosił 35 mm (jeżeli nie było między przewodami **1** rurki **2** wypełnionej PCM) lub 70 mm (jeżeli między przewodami **1** była rurka **2** wypełniona PCM)
- Odległość między rurkami **2** wypełnionymi PCM a przewodami grzewczymi **1** wynosiła 20 mm lub 25 mm

- Rurki 1 wypełnione PCM miały średnicę DN 20 mm, długość 1 m i wypełnione były w całości PCM o objętości w fazie ciekłej w przybliżeniu 200 ml

Na podstawie przeprowadzonych analiz porównawczych działania w/w. układów z innymi wariantami lokalizacji PCM w przegrodzie (PCM zmieszane z betonem w warstwie o grubości 1 lub 2cm, PCM umieszczone w panelu umieszczonym przy przegrodzie od strony pomieszczenia) określono, że rozwiązania kapsuł / rurek są jedyne możliwe ze względu na ich kompatybilność z działaniem układu ogrzewania płaszczyznowego. Jedynie w w/w. rozwiązaniach temperatura powierzchni wewnętrznej przegrody była jednakowa zarówno dla wariantów bez PCM, jak i z wprowadzonym PCM. Na tej podstawie można wnioskować, że wyłącznie w/w. lokalizacja i rozwiązanie implementacji PCM z jednej strony nie utrudnia działania ogrzewania płaszczyznowego, z drugiej strony w pełni wykorzystuje się potencjał, jaki stwarzają PCM, poprzez zwiększenie akumulacyjności cieplnej przegrody.

Analogiczne wnioski dotyczą zastosowania rozwiązania w układzie chłodzenia płaszczyznowego.

RZECZNIK PISY SPOWY
ul. **...**
00-653 Warszawa
Al. Niepodległości 222 lok 20
Regon 012465801 NIP 526-109-17-31

