

## ZESPOŁONA IZOLACJA TRANSPARENTNA

Tomasz KISILEWICZ\*

\* Politechnika Krakowska, Zakład Budownictwa Ogólnego i Przemysłowego  
ul Warszawska 24, 31-155 Kraków, e-mail: [tkisilew@pk.edu.pl](mailto:tkisilew@pk.edu.pl)

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki połowych badań doświadczalnych kapilarnej izolacji transparentnej Sto Therm Solar. Na podstawie uśrednionych wartości miesięcznych danych pomiarowych, oszacowano wielkość zysków energetycznych. Sformułowane zostały podstawowe wnioski dotyczące sensu stosowania izolacji tego typu w polskim budownictwie.

**Słowa kluczowe:** fizyka budowli, pozyskiwanie energii słonecznej, izolacja transparentna.

### 1. WPROWADZENIE

Nieprzeźroczysta, dobrze izolowana przegroda może pozyskać zaledwie 1.2% energii padającego na nią promieniowania słonecznego do celów ogrzewania wnętrza [1]. Natomiast izolacja transparentna, w dużym stopniu przepuszczalna dla promieniowania słonecznego, pozwala na jego penetrację w głąb ściany, aż do warstwy masywnej, jednocześnie dość skutecznie izolując nagrzaną powierzchnię absorbera od warunków środowiska. Mimo niezbyt wysokiej sprawności energetycznej, rzędu 30 % dla miesięcy zimowych, taka przegroda może stać się dla budynku źródłem ciepła, tzn. uzyskiwana jest wyraźna nadwyżka zysków cieplnych nad stratami. W Polsce brakuje informacji o rezultatach działania izolacji transparentnej w lokalnych warunkach klimatycznych.

### 2. PRZEDMIOT BADAŃ

Dzięki uprzejmości prof. J.A. Pogorzelskiego, autor ma okazję prowadzić badania doświadczalne izolacji transparentnej firmy STO o nazwie Sto Therm Solar, umieszczonej na południowej ścianie laboratorium ITB w Warszawie, rys.1.

#### 2.1 Struktura materiału

Specyficzna cecha badanej izolacji polega na tym, że jest ona produkowana w postaci zespolonej, gotowej do wbu-

dowania płyty. Warstwa izolacji o kapilarnej strukturze jest osłoniętą od zewnątrz tynkiem ze szklanych granulek, a od wnętrza siatką z włókna szklanego.

Transparentny element elewacyjny składa się ze światłoprzepuszczalnej płyty kapilarnej z poliwęglanu i tynku z kulek szklanych, klejonych klejem poliuretanowym. Kapilary mają średnicę około 2 mm i ułożone są prostopadle do powierzchni płyty. Dzięki temu, jak twierdzi producent, materiał uzyskuje właściwości kierunkowe jeśli chodzi o przepuszczalność promieniowania słonecznego.



Rys.1 Zespolona izolacja kapilarna  
Fig. 1 Compound capillary insulation

Między tynkiem szklanim a płytą kapilarną wklejona jest wkładka stabilizująca z włókniny szklanej. Do drugiej strony płyty przyklejona jest siatka z włókna szklanego, która spełnia funkcję łącznika z warstwą konstrukcyjną przegrody, a także funkcję stabilizującą wiotkie kapilary. Płyty izolacji transparentnej są klejone do nośnej warstwy przegrody przy użyciu specjalnej masy klejącej o nazwie Sto Solar Absorber i czarnej barwie. W masie tej, podczas przyklejania izolacji, zatapia się spodnia siatka stabili-

zująca izolację kapilarną. Czarna masa klejąca pełni funkcję absorbera promieniowania słonecznego.

Na obrzeżach transparentnych płyt elewacyjnych znajduje się, fabrycznie przygotowany, pas 5 cm szerokości pokryty zaprawą klejową, przeznaczony do wykonania połączenia z siatką zbrojącą systemu ociepleniowego. Dzięki temu materiał ten może być w łatwy sposób stosowany w fazie izolowania budynków nowych i, co szczególnie istotne, podczas termomodernizacji budynków istniejących. Taki sposób łączenia izolacji transparentnej z izolacją standardową pozwala też wyeliminować straty ciepłe jakie pojawiają się na obrzeżach systemów wymagających ram lub rusztu konstrukcyjnego.

W badanym obiekcie, izolacja transparentna o całkowitej grubości 104 mm jest przyklejona do konstrukcyjno-akumulacyjnej warstwy betonowej o grubości 23.5 cm. Przegrody wokół niej są skonstruowane z pustaków szczelinowych U-220 o grubości 25 cm i izolowane od zewnątrz styropianem o grubości 10 cm z warstwą zbrojącą i pocienionym tynkiem, rys.1.

## 2.2. Podstawowe właściwości fizyczne

Podstawowe właściwości fizyczne izolacji Sto Therm Solar są następujące:

- gęstość:  $40 \text{ kg/m}^3$
- przewodność cieplna wynosi wg instrukcji producenta [2]  $0.08 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ , natomiast inne źródła podają np. wartość zastępczego współczynnika wymiany ciepła, uwzględniającego wymianę ciepła przez przewodzenie, konwekcję i promieniowanie, która wynosi  $0.096 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  [4,5], lub wprost opór cieplny całej izolacji. o łącznej grubości 104 mm, równy  $0.97 \text{ m}^2\text{K/W}$  [3],
- współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego prostopadłego do powierzchni płyty wynosi wg producenta [2] 0.56, wg [5] dla płyty o grubości 104 mm wartość tego współczynnika, ale bez określenia kierunku promieniowania wynosi  $0.45\div 0.50$ , a z kolei według pracy [3] współczynnik całkowitej przepuszczalności promieniowania rozproszonego (diffuser g-Wert) dla takiej warstwy materiału jest równy 0.41,
- współczynnik oporu dyfuzyjnego płyty kapilarnej: 1
- współczynnik oporu dyfuzyjnego tynku szklanego: 930
- grubość równoważnej pod względem dyfuzyjnym warstwy powietrza dla całego produktu: 2.4 m.

## 2.3. Zakres prowadzonych pomiarów

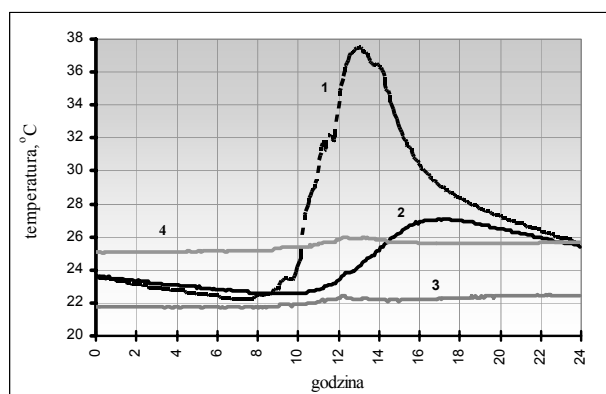
Na obydwu powierzchniach warstwy akumulacyjnej, pod izolacją transparentną i na powierzchni wewnętrznej, rozmieszczone zostały czujniki do pomiaru temperatur (oporowe Pt-100 i termopary typu T) i gęstości strumienia ciepłego. Mierzona jest także temperatura powietrza zewnętrznego oraz całkowite promieniowanie słoneczne padające na pionową płaszczyznę ściany, rys.1. Dla celów

porównawczych mierzone są również temperatury i strumienie na ścianie z izolacją styropianową o tej samej grubości.

Odczyt oraz okresowa archiwizacja danych odbywa się przy użyciu szesnastokanałowego skanera MPI-LAB firmy Metronic Systems, o rozdzielczości temperaturowej  $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$  i dokładności  $0.1 \%$  skali. Sygnały z czujników pomiarowych są zapisywane bez przetwarzania w pamięci wewnętrznej urządzenia, z uzupełnieniem dotyczącym czasu pomiaru oraz numeru kanału. Wyniki ze wszystkich punktów pomiarowych są odczytywane i zapisywane w odstępach 5-minutowych. Na ich podstawie można prowadzić analizy dotyczące dynamicznych właściwości przegrody, a także bilansu ciepłego przegrody w długich okresach czasu.

## 3. WYNIKI POMIARÓW

Długi okres badań pozwolił na zgromadzenie ogromnej ilości danych pomiarowych. Większość z nich służy do oceny skuteczności energetycznej izolacji transparentnej w długich okresach czasu. Poniżej przedstawiono natomiast, charakterystyczny dla przegród tego typu, przebieg zmian temperatury w ciągu jednej wybranej doby (6.XII.2005) z dużą ilością promieniowania słonecznego, rys. 2. W trakcie tej dość ciepłej doby, temperatura powietrza zewnętrznego wahała się w przedziale od  $+2$  do  $+12^\circ\text{C}$ .



Rys.2 Rozkład temperatury w trakcie dnia słonecznego, 1 - styk izolacji i warstwy akumulacyjnej, 2- wewnętrzna powierzchnia betonu, 3 - wewnętrzna powierzchnia zwykłej ściany, 4 - powietrze wewnętrzne

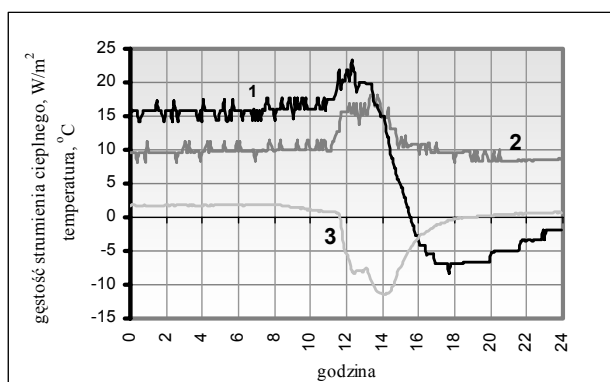
Fig. 2 Temperature distribution on a sunny day, 1 - between insulation and accumulator, 2 - concrete internal surface, 3 - standard wall internal surface, 4 - internal air

W opisach działania ściany z izolacją transparentną pokazywany jest zazwyczaj rozkład temperatury w jej wnętrzu, odpowiadający absorpcji promieniowania słonecznego w płaszczyźnie styku izolacji i warstwy

akumulującej. Przebieg tego zjawiska w czasie ilustrują wykresy na rys. 2. Silny impuls cieplny pojawiający się pod półprzezroczystą izolacją, wywołuje wzrost temperatury o 15.3 K, a następnie jest przy przejściu przez warstwę cegły silikatowej tłumiony i przesuwany w czasie. Maksymalna zmiana temperatury na powierzchni wewnętrznej ściany wynosi 4.5 K. Zmiany temperatury na powierzchni wewnętrznej są opóźnione w stosunku do zmian temperatury pod izolacją o około 4 godziny. Bardzo dokładne określenie wartości przesunięcia fazowego fali temperatury jest trudne ze względu na bardzo płaski szczyt wytłumionej fali na powierzchni wewnętrznej.

W tych samych warunkach, amplituda temperatury wewnętrznej powierzchni ściany izolowanej standardowo wyniosła zaledwie o 0.6 K i to głównie w wyniku obserwowanego wzrostu temperatury powietrza wewnętrznego. Wpływ promieniowania słonecznego można dostrzec oczywiście nie tylko po stronie zewnętrznej przegrody, ale dzięki dużym oknom ma ono bezpośredni wpływ na warunki panujące w pomieszczeniu i komplikuje przebieg zjawisk związanych z wymianą ciepła. W trakcie słonecznego dnia rośnie, dzięki bezpośredniemu pozyskiwaniu energii słonecznej przez południowe okna, zarówno temperatura powietrza jak i temperatura wewnętrznej powierzchni ścian oraz wyraźnie zmieniają się strumienie ciepłe rejestrowane przez przetworniki.

Na rys. 3 pokazano wartości strumieni ciepłych na powierzchni badanej ściany w trakcie innego dnia z silnym promieniowaniem słonecznym i niską, tym razem, temperaturą zewnętrzną. Średnia dobowa dla 7 stycznia 2006 była równa  $-5.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



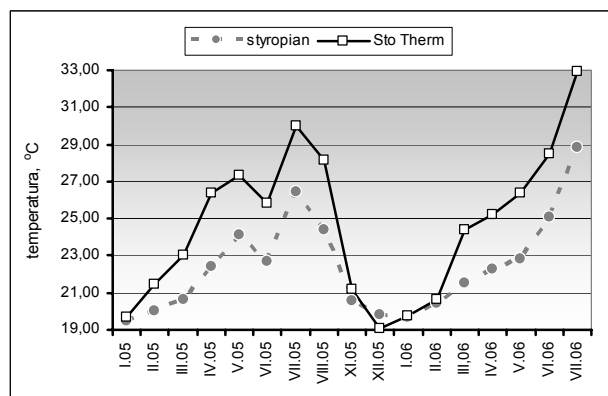
Rys.3 Chłodny dzień słoneczny, gęstości strumieni ciepłych na wewnętrznej powierzchni ściany: 1 - z izolacją transparentną, 2 - izolowanej styropianem, oraz 3 - gradient temperatury na grubości muru akumulującego

Fig. 3 Internal heat fluxes on a cool sunny day, 1 - wall with transparent insulation, 2 - standard insulation, 3 - temperature gradient of the concrete accumulator

Dodatknie wartości gęstości strumieni ciepłych na wewnętrznej powierzchni ściany odpowiadają stratom cieplnym, ujemnie to przyjmowaniu ciepła do wnętrza pomieszczenia. Podobnie, ujemna wartość różnicy temperatur jest rejestrowana wtedy, gdy w płaszczyźnie styku izolacji i warstwy akumulującej temperatura jest wyższa niż na powierzchni wewnętrznej betonu.

Mimo iż 7 stycznia był trzecim z kolei dniem słonecznym, to straty ciepła w obszarze pokrytym izolacją transparentną są w godzinach nocnych większe niż w miejscu izolowanym styropianem. Po absorpcji promieniowania w trakcie dnia, tak jak poprzednio obserwujemy po godzinie 15-ej odwrócenie strumienia ciepłego i jego napływ do wnętrza pomieszczenia. Skutki nasłonecznienia są długotrwałe, mimo dość niskiej temperatury zewnętrznej. Powolne rozładowywanie warstwy akumulacyjnej będzie zauważalne jeszcze w trakcie następnego dnia.

Warto podkreślić, że w trakcie tego chłodnego dnia promieniowanie słoneczne pozyskane przez zewnętrzną powierzchnię ściany z izolacją nieprzezroczystą, nie wywołało istotnego zmniejszenia strumienia ciepłego tracącego przez tę przegrodę w skali całej doby.



Rys. 4 Średnie miesięczne temperatury na wewnętrznej powierzchni ściany izolowanej styropianem i kapilarną izolacją transparentną Sto Therm

Fig. 4 Monthly mean temperatures of internal wall surface covered with styrofoam and capillary transparent insulation Sto Therm

Do oceny oszczędności energetycznych uzyskiwanych dzięki izolacji transparentnej, użyto uśrednionych wartości miesięcznych i tygodniowych.

Porównując ze sobą wartości średnich miesięcznych temperatur wewnętrznej powierzchni obydwu ścian, zestawione na rys. 4, łatwo zauważyć, że tylko w grudniu 2005 ściana izolowana standardowo ma średnią temperaturę nieco wyższą niż ściana z izolacją transparentną, w styczniu 2006 obydwie temperatury są praktycznie równe. To znaczy, że tylko w krótkim okresie czasu należy spodziewać się przewagi uzyskiwanej dzięki lepszej izolacyjności standardowego materiału. W pozostałych miesiącach,

decydujący wpływ na wartości strumieni ciepłych ma, pozyskane przez izolację przezroczystą, promieniowanie słoneczne.

#### 4. BILANS CIEPLNY PRZEGRODY

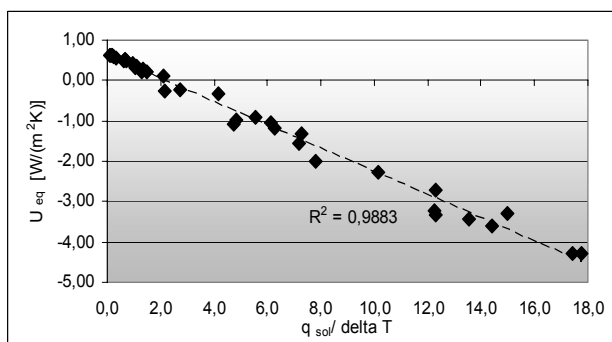
Na podstawie uśrednionych danych pomiarowych, dla każdego tygodnia okresu pomiarowego, wyliczono wartość współczynnika  $U_{eq}$ , tj. równoważnego (ekwiwalentnego) współczynnika przenikania ciepła przez przegrodę. Współczynnik ten, wprowadzony wiele lat temu w literaturze niemieckiej w odniesieniu do okien, jest w tym przypadku empiryczną informacją o bilansie cieplnym przegrody, uwzględniającą zarówno straty ciepłe w wyniku przenikania jak i zyski ciepłe od zaabsorbowanego promieniowania słonecznego. Wartości współczynnika  $U_{eq}$ , wyliczono wg zależności (1):

$$U_{eq} = \frac{q_{transp}}{T_i - T_e} \quad (1)$$

w której:

$q_{transp}$  - pomierzone wartości gęstości strumienia ciepłego na wewnętrznej powierzchni ściany z izolacją transparentną

$T_i - T_e$  - pomierzona różnica temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego



Rys. 5 Równoważny współczynnik przenikania ciepła  
Fig. 5 Equivalent heat transfer coefficient

Na rys. 5 naniesiono punkty, których współrzędna na osi poziomej to iloraz średniej gęstości pomierzonego promieniowania słonecznego i średniej różnicy temperatur powietrza obydwu środowisk, a współrzędna pionowa to wyliczona wg (1) wartość równoważnego współczynnika przenikania ciepła przegrody z izolacją transparentną. Dodatnia wartość  $U_{eq}$  odpowiada nadwyżce strat nad zyskami. Uzyskano znakomitą korelację liniową tak zestawionych wielkości pomiarowych, świadczącą o ich silnym związku.

W trakcie czterech miesięcy zimowych straty były większe niż zyski, ale tylko w grudniu i styczniu były one większe niż w przypadku ściany izolowanej styropianem

o takiej samej grubości, której współczynnik przenikania ciepła  $U$  jest równy  $0,353 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

W skali całego sezonu, tj. od 15.IX.05 do 15.V.06, straty ciepłe przez  $1 \text{ m}^2$  przegrody z izolacją transparentną były o  $59,4 \text{ kWh}$  mniejsze niż przez ścianę izolowaną styropianem. Podobne wartości zysków podaje też Kerschberger [3]. Uzyskana z pomiarów wartość zysków jest o ponad połowę niższa niż podawana w materiałach reklamowych producenta.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów należy też stwierdzić, że kapilarna struktura izolacji transparentnej Sto Therm Solar, skierowanej na południe, nie zabezpiecza wystarczająco wewnątrz przed przegrzewaniem. Jej sprawność cieplna w miesiącach letnich maleje tylko w niewielkim stopniu. Nie są więc prawdziwe stwierdzenia, podawane w materiałach reklamowych, że ten rodzaj izolacji nie wymaga stosowania zewnętrznych osłon zaciemniających.

Mimo pozytywnej oceny energetycznej, barierą w upowszechnianiu przegród z izolacją transparentną jest ich niska opłacalność ekonomiczna.

#### COMPOUND TRANSPARENT INSULATION

**Summary:** Results of field measurement of the transparent capillary insulation Sto Therm Solar were presented. On the basis of the weekly averaged data, achieved energy gain has been evaluated. Main conclusions regarding use of the compound transparent insulation in Polish buildings have been reported.

#### Literatura

- [1] *Budownictwo Ogólne, tom 2, Fizyka Budowli*, praca zbiorowa pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Piotra Klemma, Arkady, Warszawa 2005
- [2] Instrukcja techniczna nr 2662 STO: *Sto Solar Element elewacyjny. Gotowy element ze światłoprzepuszczalnego, kapilarnego tworzywa izolacyjnego i przezroczystego tynku szklanego do wbudowania w wielowarstwowy system ociepleń Sto Therm*
- [3] Kerschberger A., Binder M.: *Transparente Wärmedämmung im Vergleich - Kurzfassung*, RK-Stuttgart Architekten und Ingenieure, Stuttgart 2006
- [4] Laskowski L.: *Przezroczysta izolacja cieplna ścian kolektorowo-akumulacyjnych*, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja nr 20(1988), 241-245
- [5] Laskowski L.: *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [6] Voss K., Goetzberger A., Bopp G., Häberle A., Heinzl A., Lehberg H.: *The Self-Sufficient Solar House Freiburg - Results of Three Years of Operation*, ISES Solar World Congress 1995, Selected Proceedings Part I, Harare Zimbabwe 1995