

Dorota Wójcicka-Migasiuk¹⁾

WYKORZYSTANIE ENERGII SŁONECZNEJ WYZWANIEM DLA BADANIA MATERIAŁÓW

Streszczenie. W artykule przedstawiono przegląd materiałów wykorzystywanych w energetyce słonecznej z punktu widzenia badań i analiz materiałów nad ich własnościami, które sprzyjają pozyskiwaniu tej formy energii. Omówione zostały materiały z takich grup jak szkła, polimery, metale i gazy. Zakres zastosowań, który został objęty niniejszym opisem zawiera zarówno termiczne kolektory słoneczne, elementy systemów biernych oraz ogniwa fotowoltaiczne. Szczególną uwagę poświęcono результатам badań nad materiałami w postaci warstw cienkich oraz struktur wielowarstwowych z nich złożonych, takich jak inteligentne okna, elewacje fotowoltaiczne czy ściany słoneczne. Ponadto przedstawiono zagadnienia badawcze dla struktur wielowarstwowych stosowanych w budownictwie wykorzystujących izolacje przezroczyste i półprzezroczyste w oparciu o badania autorskie prowadzone na Politechnice Lubelskiej.

WSTĘP

Wszystkie materiały aktywne słonecznie spełniają warunek, w którym zdolność do przepuszczania (T), odbicia (R) i pochłaniania (A) każdej długości fal jest równa jedności:

$$T(\lambda) + R(\lambda) + A(\lambda) = 1$$

Ponadto, należy pamiętać, że zdolność do emisyjności ciała możliwa jest wyłącznie w granicach jego absorpcyjności ($E(l) \leq A(l)$). W przypadku materiałów będących przedmiotem rozważań, zajmujemy się emisyjnością przy długość fali $\lambda > 3 \mu\text{m}$. W opisie zagadnień z nimi związanych dogodnie jest też posługiwać się spektrum uśrednionym względem czułości oka (*opt*), spektrum docierającego promieniowania słonecznego (*slo*) oraz spektrum emisyjności ciała czarnego dla danej temperatury (*temp*) [1]. W dalszej części artykułu zostanie przedstawiony przegląd materiałów wykorzystywanych w różnych technologiach konwersji promieniowania słonecznego oraz omówione efekty możliwe do uzyskania w takich materiałach, ze szczególnym podkreśleniem tych, które mogłyby znaleźć najefektywniejsze zastosowanie w szerokości geograficznej oraz klimacie naszego kraju.

¹⁾ Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

Podział materiałów omawianych w literaturze jest różnorodny, związany z ich systematyką lub też przydatnością w określonych zastosowaniach. W artykule skupiono się na aspektach praktycznych.

MATERIAŁY AKTYWNE SŁONECZNIE

Materiały znajdujące zastosowanie w konwersji promieniowania słonecznego można rozpatrywać w następujących grupach głównych: szkła, polimery, metale, półprzewodniki, gazy i jako odrębną grupę materiały nakładane w warstwach cienkich. Jest to podział szczególnie dogodny przy odniesieniach do lokalnych warunków i możliwości wykorzystania.

Szklą stosowane są zarówno w celach ochrony przed wpływami atmosferycznymi bez ograniczania dostępu promieniowania słonecznego (szkło okienne, flotacyjne), jak i w postaci cienkich warstw. Jednym z istotnych składników szkła flotacyjnego są tlenki żelaza, które decydują o ograniczeniu T_{slo} w zakresie określonych długości fali. Szklą o niskiej zawartości tlenków żelaza przy długości fali powyżej $0,4 \mu m$ mają równomierny poziom przepuszczalności ok. 80%, natomiast przy wyższych zawartościach przy $\lambda \cong 1 \mu m$ wykazują spadek przepuszczalności T_{slo} do 60% a nawet 30%, natomiast T_{opt} pozostaje na poziomie niezmiennym. Szklą te mają jedynie nieznaczne zielone zabarwienie. Refleksyjność powierzchni granicznej powietrze-szkło wynosi ok. 4% w przedziale $0,4 \mu m < \lambda < 2 \mu m$, zakładając jednocześnie, że maksymalna przepuszczalność szkła w tym zakresie wynosi 92%. Pamiętajmy także, że dla promieniowania cieplnego $\lambda > 3 \mu m$ przepuszczalność spada znacznie, umożliwiając tym sposobem wykorzystanie efektu szklarniowego, kiedy $E_{temp} \cong 85\%$ [5]. Stosowane jest także szkło z warstwą laminatu z poliwinylobutyralu, który niemal całkowicie zatrzymuje promieniowanie ultrafioletowe (tj. $\lambda < 0,3 \mu m$) dla warstw o grubości ok. 1 mm. Szklą fotochromowe zaciemniają się pod wpływem promieniowania ultrafioletowego a własność ta nie ulega procesom zużycia, odmiennie jednak niż sama warstwa, którą uzyskuje się poprzez dodanie halogenku srebra w procesie formowania szkła. Nie ma to wpływu na jego refleksyjność ani na emisyjność, E_{temp} .

Polimery o podobnych własnościach przepuszczalności jak szkło, ale szybciej ulegające degradacji, znajdują zastosowanie raczej jako elementy izolacji zwanych transparentnymi (TIM) oraz jako folie zastępujące warstwy cienkie zarówno przepuszczalne jak i refleksyjne. Wykazują większą dynamikę procesu zaciemniania fotochromowego niż szkło, jednakże zanikającą w wyższych temperaturach. Polimery w postaci materiału o strukturze kapilarnej, plastra miodu czy pęcherzykowej posiadają dobre własności izolacyjne rzędu $u = 1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ dla warstwy o grubości 10 cm. Wyróżniamy cztery główne struktury materiałów przezroczystych (lub raczej półprzezroczystych) stosowanych jako izolacje: folie polimerowe giętkie, materiały sztywne o strukturze kapilarnej lub piankowej, włókna oraz aerozele czyli nieorganiczne materiały mikroporowate. Wśród nich tylko folie i aerozele mogą być tak przezroczyste aby pozostawać

niewidocznymi dla zwykłego obserwatora, natomiast pozostałe powodują odbicia i rozproszenia zmniejszając tym samym przepuszczalność promieniowania świetlnego. Aerożele krzemionkowe powstają w wyniku suszenia żelu koloidalnego w wysokiej temperaturze i pod ciśnieniem, w wyniku czego powstaje materiał składający się z cząstek o średnicy ok. 1 nm wzajemnie połączonych, tworzących luźno upakowaną strukturę o porach do ok. 100 nm, której gęstość stanowi zaledwie kilka procent gęstości materiału. Produkuje się go w postaci półprzezroczystego granulatu lub przezroczystych płytek o niewielkim stopniu zamglenia. Spektralna przepuszczalność tego materiału grubości 4 mm w przedziale od 0,5 do 2 μm wynosi ponad 90%. Wartość współczynnika przenikalności cieplnej $u = 1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ można już osiągnąć przy warstwie o grubości 1 cm umieszczając ją pomiędzy taflami o niskiej emisyjności cieplnej [5, 8].

Metale stosowane głównie dla wzbogacenia zdolności refleksyjnych powierzchni zarówno jako R_{slo} jak i R_{opt} na powierzchniach zwierciadeł (szczególnie srebro oraz aluminium, które charakteryzuje refleksyjność 90% dla $\lambda > 0,5 \mu\text{m}$). Metale, jako materiały stanowiące dobre przewodniki ciepła (o współczynniku przewodzenia ciepła powyżej 50 W/mK) znajdują zastosowanie w elementach urządzeń transportu ciepła oraz konstrukcji, zarówno kolektorów służących do termicznej konwersji promieniowania słonecznego jak i fotoelektrycznej, będąc również elementami samych ogniw zwanych fotowoltaicznymi. Należy wspomnieć, że metale o małej korozyjności takie jak platyna czy rod mają niższą refleksyjność. Wszystkie metale mają niską emisyjność termiczną E_{temp} .

Półprzewodniki [3, 4, 6] w ogólności powinny umożliwiać generację przepływu nośników prądu na skutek wzbudzenia warstwy podłoża energią fotonów pochodzących z promieniowania słonecznego. Najpowszechniej stosowanym materiałem jest tutaj krzem, materiał nietoksyczny, łatwo dostępny, o długoletniej tradycji zastosowań w mikroelektronice. Wytwarzane są trzy rodzaje krzemu: krystaliczny, polikrystaliczny i amorficzny lub hydrogenizowany, które uformowane w płytki lub powłoki umieszczone są pomiędzy dwoma elektrodami, przednią przezroczystą i tylną metaliczną nieprzezroczystą. Sam krzem jest w tym układzie domieszkowany zarówno typu n jak i p w celu utrzymania połączenia dla przepływu prądu od p do n. Krzem krystaliczny jest wycinany z pojedynczych kryształów, polikrystaliczny – przygotowany z bloków krystalicznych, a amorficzny stanowi powłoki o grubości ok. 0,3 μm osadzające się na skutek wyładowania jarzeniowego w silanie.

Osiągnięcie możliwie najwyższej sprawności konwersji fotoelektrycznej wymaga zapewnienia jak najmniejszych strat odbicia. Własność tę uzyskujemy poprzez nakładanie warstw antyrefleksyjnych lub w przypadku materiału krystalicznego z pojedynczych kryształów poprzez trawienie anizotropowe dla uzyskania piramidalnej teksturyzacji powierzchni. Półprzewodniki o składzie złożonym na bazie arsenku galu, indu czy aluminium wykazują zadowalającą sprawność konwersji jak również odporność na promieniowanie jonizujące jednakże ze względu na wysokie koszty wytwarzania zarezerwowane są do specjalnych zastosowań a przez to nie są powszechne. Inne półprze-

wodniki, powstałe jako związki kadmu i telluru przy dobrze opanowanej technologii produkcji są wykorzystywane jako ogniwa na podłożach twardych jednakże z pewnymi ograniczeniami wynikającymi z samego zastosowania kadmu. Inne bardziej złożone materiały ze związków o wieloatomowych cząsteczkach miedzi, indu, selenu, galu wykazują wysoką efektywność konwersji fototermicznej przy potencjalnie niskich kosztach otrzymywania cienkich warstw. Ponadto umożliwiają wykorzystanie zjawiska fotoelektrotermicznego tj. generacji prądu elektrycznego na skutek promieniowania cieplnego, a także w słonecznych zintegrowanych kolektorach fotowoltaiczno-termicznych (PV-thermal), dla których nie powstała nawet jeszcze polska nazwa ze względu na to, że znajdują się jeszcze w stadium badań ośrodków europejskich, w większości poza naszym krajem.

Podobnie aktywne badania prowadzone są nad nanokrystalicznymi półprzewodnikami barwnymi znajdującymi zastosowanie jako okładziny elewacji prądowców. Stanowią one ogniwa absorbujące światło słoneczne w barwnych molekułach zawierających związki rutenu pokrywających podłoża z dwutlenku tytanu. Ogólny problem dla ogniw półprzewodnikowych stanowi obniżenie sprawności konwersji wraz ze wzrostem temperatury ogniwa, co jest nie do uniknięcia przy pożądanej długotrwałej ekspozycji na promieniowanie słoneczne. Rozwiązania projektowe przeciwdziałające temu zjawisku koncentrują się na odprowadzeniu ciepła bezpośrednio do zintegrowanych urządzeń konwersji fototermicznej.

Transport ciepła można natomiast ograniczyć poprzez wprowadzenie warstwy gazu, zarówno powietrza jak innego (np. argon, dwutlenek węgla). Nowoczesne technologie produkcji okien i kolektorów termicznych wykorzystują hermetycznie uszczelnione moduły szklane umożliwiające 10% ograniczenie strat ciepła, a w końcowym rezultacie nawet do 20% jeśli rozwiązania są wzbogacone przez zastosowanie powłoki o niskiej emisyjności. Rozwiązanie będące przeciwieństwem fizycznym proponowanych przestrzeni wypełnionych gazem stanowi wykorzystanie próżni eliminującej całkowicie starty ciepła na drodze konwekcji jednakże stawiając zwiększone wymagania odnośnie konstrukcji urządzenia [1].

Nakładanie cienkich warstw w obszarze wykorzystania energii słonecznej ma na celu zmodyfikowanie optycznych lub innych fizycznych właściwości materiału podkładowego. Technologie powlekania są zróżnicowane w zależności od efektu jaki chcemy uzyskać oraz od materiału, który tę powłokę ma stanowić. Techniki stosowane najpowszechniej są tym samym największym wyzwaniem do badań nad materiałami w celu uzyskania jeszcze większej efektywności lub lepszego dostosowania ich właściwości do konkretnych zastosowań. Na początek dwie uzupełniające się technologie: rozpylanie i odparowanie. Przy odparowaniu surowiec, z którego wykonana jest warstwa zostaje podgrzany w warunkach próżni, gdzie powstająca skondensowana para przenosi materiał na podłoże. Materiał rozpylany tworzy powłoki na szkło, metalu, poliestrze i in. o grubości zazwyczaj od 0,1 do 1 μm . Uogólniając, w metodzie tej plazma obojętnej lub aktywnej chemicznie gazu wprowadzana jest pod niskim ciśnieniem,

a jony tej plazmy wypierają atomy surowca powłoki w stanie stałym zazwyczaj w postaci płyty (tarcza). Atomy te osadzają się na przylegającej powierzchni (podłoże). Inne technologie, nie wykorzystujące technologii próżniowych, obejmują nakładanie poprzez zanurzenie w roztworach, rozpylanie, wiązanie chemiczne na powierzchniach po rozkładzie pod wpływem ciepła pary związków pierwotnych, oraz technologie elektrochemicznego osadzania na katodzie na skutek rozkładu roztworu lub konwersję metalicznej anody w porowatą powierzchnię tlenku.

MATERIAŁY CIENKOWARSTWOWE W ENERGETYCE SŁONECZNEJ

Cienkie warstwy selektywne [2, 3, 4] pokrywające absorbery kolektorów termicznych mają za zadanie zebrać maksymalnie możliwą ilość promieniowania, zatrzymać ją a następnie przekazać do materiału podłoża. Do niedawna najpopularniejsze powłoki z tzw. czarnego chromu lub niklu stosowano w kolektorach płaskich a nakładano je metodami elektrochemicznego osadzania się. Warstwy te w temperaturze ok. 100 °C mają bardzo pożądane zakresy absorpcyjności $A_{slo} \cong 96\%$ oraz niską emisyjność $E_{temp} \cong 15\%$. Jednakże, ze względu na to, że wymagają użycia znacznych ilości substancji szkodliwych dla środowiska coraz częściej zastępowane są technologiami wykorzystującymi próżnię. Nakładane techniką napyłania warstwy niklu lub materiałów zwanych cermetami będącymi spiekami metalu i substancji ceramicznej (stali nierdzewnej i azotku metalu, tlenku i azotku chromu) mają nawet niższą emisyjność $E_{temp} \cong 10\%$. Najbardziej zaawansowanym rozwiązaniem stosowanym w ciepłowniach słonecznych z parabolicznymi odbłyśnikami i kolektorami rurowymi, są wielowarstwowe układy warstw cienkich molibdenowo-tlenkowe, z warstwą antyrefleksyjną (tzw. antyrefleks) oraz obniżające emisyjność powłoki molibdenowe na podłożach z rur stalowych. Układy te charakteryzują się absorpcyjnością $A_{slo} \cong 97\%$, a emisyjnością $E_{temp} \cong 17\%$ przy temperaturze 350 °C.

Selektywne farby nakładane technikami popularnymi warstwami o grubości 2–3 μm , zawierają intensywnie absorbujący pigment (tlenek FeMnCu) w polimerowym spoiwie jak silikon lub siloksan. Chociaż zarówno absorpcyjność jak i emisyjność tych materiałów jest mniej zadowalająca niż dla warstw cienkich, względy estetyczne wynikające z możliwości ich barwienia a także wiązania płatków metalicznych w spoiwie zwiększają ich wizualną atrakcyjność, znajdują one zatem zastosowanie w elementach elewacji, szczególnie w obiektach reprezentacyjnych.

Nowoczesne techniki produkcji okien [2], w odpowiedzi na wymagania stawiane przez budownictwo energooszczędne, wykorzystują cienkie warstwy dla złożonych celów. Przynajmniej kierując się możliwym ograniczeniem współczynnika przenikania ciepła przez okna do 1 $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ przy potrójnym oszkleniu. Warstwy te dążą zatem do osiągnięcia maksymalnej przepuszczalności światła (T_{opt}) przy jednoczesnym niskim poziomie emisyjności. Kolejnym wyzwaniem jest ograniczenie nagrzewania się pomieszczeń przez oszklenia o coraz większej powierzchni w nowoczesnym budow-

nictwie. Sposobem rozwiązania tego problemu jest powłoka kątowno selektywna tj. przepuszczająca promieniowanie widzialne w linii poziomej – prostopadłej do powierzchni okna, umożliwiając tym samym kontakt wzrokowy pomiędzy wnętrzem i zewnątrz budynku, a ograniczająca przepuszczalność promieniowania słonecznego padającego skośnie na powierzchnię szyby. Inne wyzwanie dla badań materiałowych stanowi selektywność spektralna, którą uzyskujemy w warstwach o grubościach rzędu 10 nm, a która możliwa jest do uzyskania w powłokach srebra, złota (zastępowanego przez azotek tytanu), miedzi w układach wielowarstwowych przekładanych dielektrykiem (tlenek lub siarczek cynku, dwutlenek tytanu lub cyny) o własnościach antyrefleksyjnych i o równie cienkiej powłoce, nakładanych na szkło. Mogą one zawierać także warstwy zmniejszające podatność na korozję np. Al_2O_3 . Alternatywą tych materiałów są powłoki półprzewodnikowe domieszkowane – tlenek cynku domieszkowany aluminium, trójtlenek indu domieszkowany cyną, dwutlenek cyny domieszkowany antymonem oraz inne trójtlenki i czterotlenki lub ich mieszaniny.

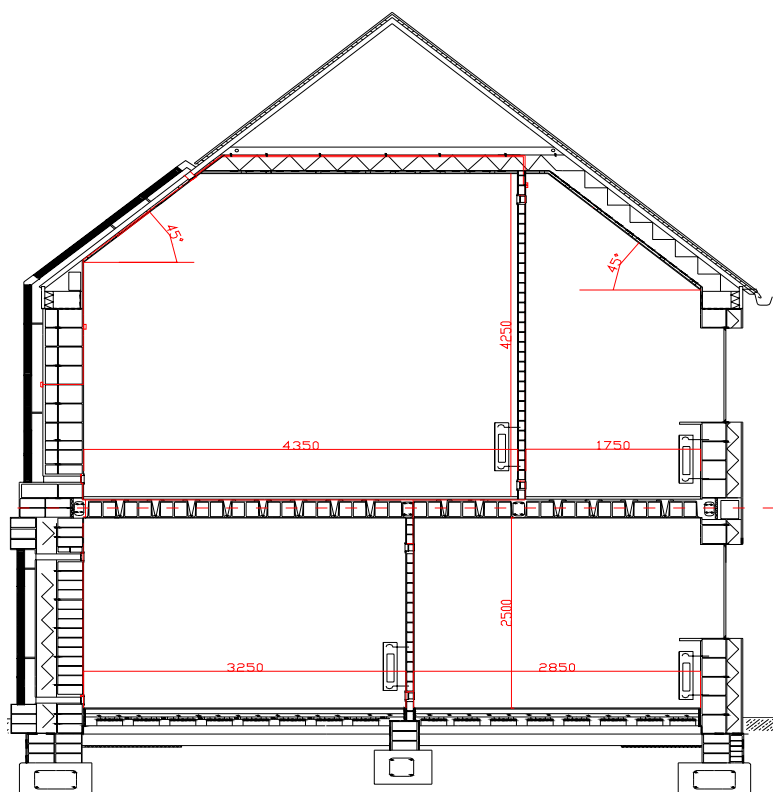
Nowe wyzwania do badań materiałów dla złożonych struktur wielowarstwowych stanowią inteligentne okna (smart windows) [2]. Układy te płynnie regulują dopływ energii zmniejszając tym samym zapotrzebowanie na chłodzenie/ogrzewanie w odpowiednich okresach, co jest ważne gdy mamy do czynienia z elewacjami przeszklonymi. Ich odmianą mogą być także szklane powierzchnie pokryte półprzepuszczalnymi ogniwami fotowoltaicznymi. Wykorzystują one zjawiska elektrochromatyczne modulując składową absorpcji ale nie refleksyjność. Dlatego też strategia regulacji powinna być właściwie dobrana, nie dopuszczając do przeważania tendencji przegrzania szyby w dolnym zakresie przepuszczalności. Układ elektrochromatyczny wykazuje pewną analogię do ogniwa elektrolitycznego. Jego centralną część w układzie wielowarstwowym płaskim stanowi przewodnik jonowy, który może być cienkowarstwową powłoką lub laminatem polimerowym, dobrze przewodzącym dla jonów jednowartościowych wodoru lub litu (H^+ lub Li^+). Elektrolit ten z jednej strony przylega do warstwy elektrochromatycznej a z drugiej do przeciwnej elektrody, która w przypadku układów przezroczystych musi również pozostać przezroczysta i wykazywać brak absorpcyjności bez względu na zawartość jonów. Ewentualnie, może ona stanowić warstwę o przeciwnych własnościach elektrochromatycznych w stosunku do warstwy głównej. Taki trójwarstwowy układ powinien znajdować się pomiędzy dwoma przezroczystymi przewodnikami elektrycznymi zazwyczaj w postaci domieszkowanych półprzewodników. Najczęściej, całość układu usztywniona jest obustronnie szkłem lub osłonięta folią poliesterową. Działanie takiego elementu rozpoczyna się po przyłożeniu niewielkiego napięcia (pochodzącego np. z ogniw fotowoltaicznych) pomiędzy zewnętrzne warstwy, powodującego obustronny przepływ jonów do i z warstwy (lub warstw) elektrochromatycznej, co powoduje zmianę jej właściwości optycznych. Wizualnie przejawia się barwieniem tafli, a czas takiego przejścia zależy od oporu elektrycznego przezroczystej powłoki przewodzącej przy czym, zwykle wystarczające 30% zaciemnienie $1 m^2$ okna inteligentnego, trwa ok. 10 min. Obecnie najszersze zastosowanie mają powłoki trój-

tlenku wolframu jako warstwa podstawowa z elektrodą przeciwną z tlenkami ceru, kobaltu, irydu, niklu, wanadu – dla elewacji budynków szczególne znaczenie mają materiały o wyrazistych barwach. Ponadto, dodatek aluminium lub magnezu zwiększa przepuszczalność powłoki w stanie bezbarwnym.

STOSOWALNOŚĆ IZOLACJI TRANSPARENTNYCH

Ograniczenia zastosowania zostaną omówione dla warunków klimatycznych wschodniego regionu naszego kraju. Oznacza to, że istnieje konieczność elastycznego podejmowania zagadnień związanych z wdrażaniem materiałów wspomagających konwersję energii promieniowania słonecznego na użyteczną jej formę zależnie od warunków regionalnych – szczególnie w budownictwie.

Przeprowadzono analizę stanów przejściowych wymiany ciepła przez ściany słoneczne wyposażając je w element izolacji transparentnej uzyskując tym samym układ zaprezentowany na rys. 1.



Rys. 1. Geometryczny układ elementów ścian słonecznych w przekroju poprzecznym przykładowego budynku [7, 8]

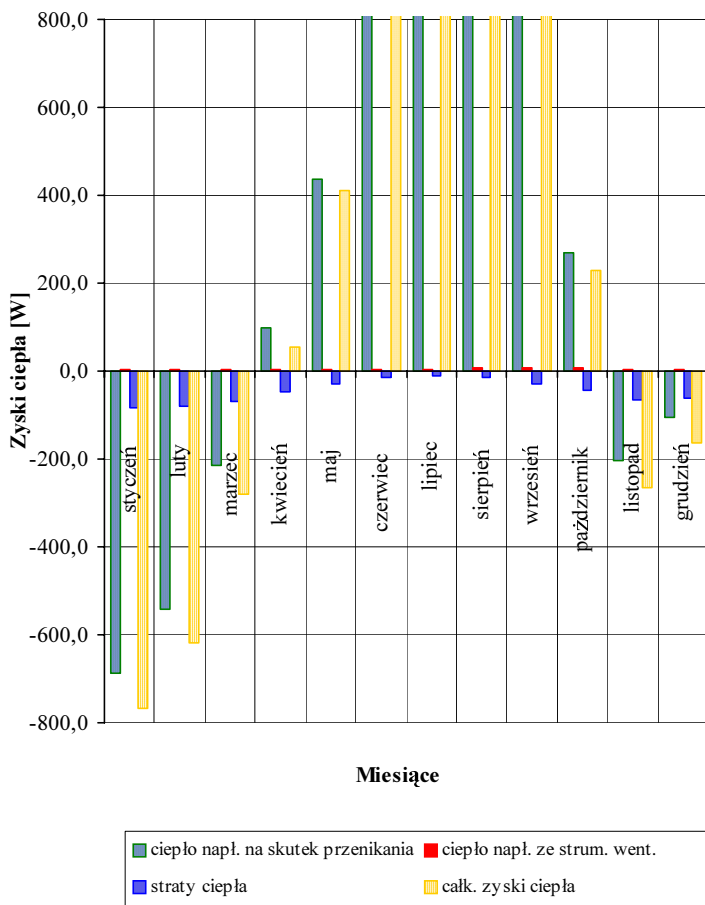
Rysunek przedstawia przykład umieszczenia modułu ściany słonecznej w jednej ze ścian budynku. Od strony południowej jest pomieszczenie ze ścianą typu Trombe'a akumulującą promieniowanie słoneczne, odpowiednio: na parterze – ściana Trombe'a izolowana wentylowana z cegły, na piętrze – ściana Trombe'a nieizolowana wentylowana z betonu. Zarówno na parterze, jak i na piętrze od środowiska zewnętrznego budynek oddzielają 2 szyby wypełnione izolacją typu plaster miodu. Pomieszczenie ze ścianą Trombe'a z cegły ma wymiary $3,25 \times 4,00 \times 2,50$ metra, natomiast pomieszczenie ze ścianą Trombe'a z betonu – $4,35 \times 4,00 \times 4,25$ metra. Parter od piętra oddzielony jest stropem Akermana. Dach nachylony jest do poziomu pod kątem 45° . Dodatkowo na piętrze od strony południowej stosuje się pętlę konwekcyjną. Analizowany moduł składa się z następujących elementów w układzie warstwowym: szyba, izolacja transparentna, szyba, kanał powietrzny z konwekcją swobodną, warstwa farby czarnej matowej, element masywny (cegła, cement), tynk wewnętrzny, farba ścienna jasna. Przeprowadzono badania symulacyjne (MES) oraz pomiary na modelu w pomniejszonej skali dostosowując warunki wg założonych zakresów uznanych za typowe dla klimatu oraz interesujące ze względu na sezon grzewczy szczególnie w okresie przejściowym. Warunki te w postaci wartości natężenia promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię (W/m^2) oraz temperatury powietrza atmosferycznego ($^\circ C$) zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Ustalone warunki pogodowe

Okres	Zima noc	Zima dzień	Wiosna noc	Wiosna dzień	Dzień chłodny	Lato dzień	Jesień dzień	Dzień pochmurny
$I_{sol} W/m^2$	0	250	0	350	600	850	450	300
T_a $^\circ C$	-10	-5	0	10	15	25	15	10

Ponieważ nie wszystkie wartości temperatury możliwe były do uzyskania w trakcie pomiarów na modelu, zastosowano interpolację. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki przykładowych obliczeń zysków ciepła na podstawie pomiarów (i interpolacji) przeprowadzonych na modelu w pomniejszonej skali (bez wspomaganie ogrzewaniem).

Uogólniając, przedstawione wyniki sugerują nikłe zyski ciepła na skutek konwekcji naturalnej w kanale modułu ściany słonecznej, znaczące zyski w okresach przejściowych prowadzące nawet do rezygnacji z ogrzewania w miesiącach: kwiecień, maj, październik, konieczność współpracy z ogrzewaniem konwencjonalnym w okresie listopad-marzec oraz osłon przeciwsłonecznych w okresie czerwiec-wrzesień. Dlatego też największe znaczenie dla obniżenia energochłonności obiektu mają okresy przejściowe oraz okres zimowy jako najbardziej niekorzystny. Tabela 2 przedstawia wyniki symulacji (MES) zmian temperatury przeprowadzonej dla części parterowej budynku (ogrzewanej) jak na rysunku 1, z podziałem na kolejne powierzchnie graniczne w obszarze analizowanej domeny, na trzech wysokościach uznanych za charakterystyczne



Rys. 2. Wyniki przykładowych obliczeń zysków ciepła na podstawie pomiarów (i interpolacji) przeprowadzonych na modelu w pomniejszonej skali

dla osób przebywających w obiekcie tj.: 0,2 m nad podłogą; 0,8 m – pozycja siedząca; 1,6 m – poziom głowy.

Przedstawione przykładowe wyniki wskazują na konieczność zastosowania w modułach ścian słonecznych elementów izolacji transparentnych, gdyż tylko one zapewniają zachowanie odpowiedniej izolacyjności przegrody przy jednoczesnym utrzymaniu jej zdolności do biernej konwersji promieniowania. Natomiast, moduł może być pozbawiony kanału wentylacyjnego, poza koniecznym zapewnieniem zabezpieczenia przeciwko jego zawilgoceniu. Są to konkretne wskazania dla opracowania projektowego modułów o szerokiej skali możliwości stosowania na terenie naszego kraju. Moduły o podobnych cechach są produkowane ale ich dostępność na rynku jest znikoma, podobnie jak i zainteresowanie potencjalnych inwestorów. Zmiana istniejącego stanu wymaga zintegrowanej współpracy wielu środowisk.

Tabela 2. Średnie wartości temperatury na kolejnych powierzchniach granicznych domeny

Powierzchnia graniczna/wys.	Szyba zewnętrzna	Szyba wewnętrzna	Powłoka czarna	Pow. ściany masywnej	Ściana wew. pow. pld.	Ściana wew. pow. pln.	Ściana zewn. pow.pld.	Ściana zewn. pow.pln.
0,2 m	-4	-3.6	-3	-1	24	20	26	-10
0,8 m	-4	-2	3	10	36	34	14	-10
1,6 m	-3.9	0	10	10	34	22	0	-10

BIBLIOGRAFIA

1. Beckman J.A., Klein J., Duffie J.A.: *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wiley & Sons, New York 1996.
2. Chwieduk D., Domański R. (red.): *Renewable Energy. Innovative Technology and New Ideas*. Warsaw 2008.
3. Corkish R.: Solar cells. *Encyclopedia of Energy Vol. 5*. Elsevier 2004: 545–557.
4. Yin Y. i in.: Thermal oxidation properties of titanium nitride and titanium–aluminum nitride materials – A perspective for high temperature air-stable solar selective absorber applications, *Thin Solid Films* 515, 2007: 2829–2832.
5. Kaushika N.D., Sumathy K. Solar transparent insulation materials: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 7, 2003: 317–351.
6. Wójcicka-Migasiuk D., Janowski T. *Silicon Cells in Progress*. 2nd International Conference Electromagnetic Devices and Processes in Environment Protection ELMECO'97, Nałęczów 1997: 183–190.
7. Wójcicka-Migasiuk D., Zając A.: Thermal analysis of rooms with solar walls. *Archives of Civil Engineering PAN LIII*, 1, 2007: 161–173.
8. Wójcicka-Migasiuk D.: *Wymiana ciepła w ścianach słonecznych*. Monografia. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 2008.

SOLAR ENERGY AS A CHALLENGE FOR MATERIAL RESEARCH

Summary

The paper defines and describes factors and properties of so called solar materials divided into the following groups: glasses, polymers, metals and gases. The applications aspects have been discussed in most of solar energy conversion forms and devices, i.e.: thermal collectors, photovoltaic cells, thermal passive elements, however, excluding conversion in biological materials because this field deserves separate scientific paper. Some special attention has been paid to thin film materials and laminar systems composed of them. This paragraph describes numerous aspects of applications including the ones emerging in smart windows and photovoltaic elevations. Moreover, the problems of solar walls incorporating TIM elements have been described with the help of the author's research.