

Leszek Laskowski

3. BIERNE WYKORZYSTANIE ENERGII SŁONECZNEJ DO OGRZEWANIA

3.1. Wstęp

Rosnące koszty pozyskiwania i transportu paliw, poważne problemy ochrony środowiska, a równocześnie konieczność przyspieszenia rozwoju budownictwa mieszkaniowego stwarzają nader trudną sytuację w energetyce. Analiza zagranicznych doświadczeń i dotychczasowe wyniki prac prowadzonych w kraju skłaniają do stwierdzenia, że trudności te mogą być opanowane i w znacznym stopniu złagodzone przez racjonalizację użytkowania ciepła oraz wdrażanie niekonwencjonalnych sposobów ogrzewania. Wśród tych ostatnich kluczową rolę powinny odegrać urządzenia i systemy wykorzystania energii słonecznej. Ich opłacalność wykazano już w wielu krajach. Nawet w tych, w których warunki insolacyjne są gorsze niż w Polsce. Patrząc realnie trzeba jednak pamiętać, iż nie wyeliminują one tradycyjnych urządzeń. W poważnym stopniu mogą jednak uzupełnić lokalny bilans energetyczny przyczyniając się do znacznych oszczędności paliw.

Liczne przesłanki potwierdzają tezę, że w przypadku wykorzystywania energii słonecznej do ogrzewania budynków największe nadzieje można wiązać z tzw. sposobami biernymi. Są one atrakcyjne w dużej mierze ze względu na brak dodatkowych kosztów i kłopotów eksploatacyjnych oraz zbieżność wymagań z zasadami energooszczędnego budownictwa. Nie wymagają specjalnych instalacji, gdyż rolę kolektora, zasobnika ciepła i w pewnym sensie grzejnika spełniają w nich określone elementy konstrukcyjne samego budynku.

Obserwowanemu ostatnio dużemu zainteresowaniu tą problematyką towarzyszy ścieranie się ekstremalnych poglądów na sens wdrażania helioaktywnych rozwiązań w krajowym budownictwie mieszkaniowym. Niepokoi zarówno pojawianie się stwierdzeń o możliwości wznoszenia budynków "zeroenergetycznych", "autonomicznych", domów bez ogrzewania itp., jak i zbyt ni sceptycyzm negujący całkowicie celowość podejmowania prac w tym zakresie. Odrzucając skrajne postawy nie powinno się lekceważyć rzeczywistych możliwości wykorzystywania łatwo dostępnego, naturalnego źródła ciepła szczególnie w obliczu stale rosnących potrzeb i zarysowującego się deficytu paliw. W przekonaniu o tym podejmowane są odpowiednie prace badawcze i studialno-projektowe. Dąży się też do realizacji eksperymentalnych obiektów.

W tej sytuacji uwidacznia się potrzeba dokonania przeglądu praktycznych sposobów utylizacji zysków ciepła od nasłonecznienia, wyjaśnienia przebiegu i.

współzależności procesów heliologicznych w budynkach oraz przedstawienia zasad projektowania zarówno całych systemów, jak i głównych elementów składowych. Próbę takiego ujęcia zagadnienia podjęto w niniejszym opracowaniu.

3.2. Sposoby biernego wykorzystywania energii słonecznej do ogrzewania

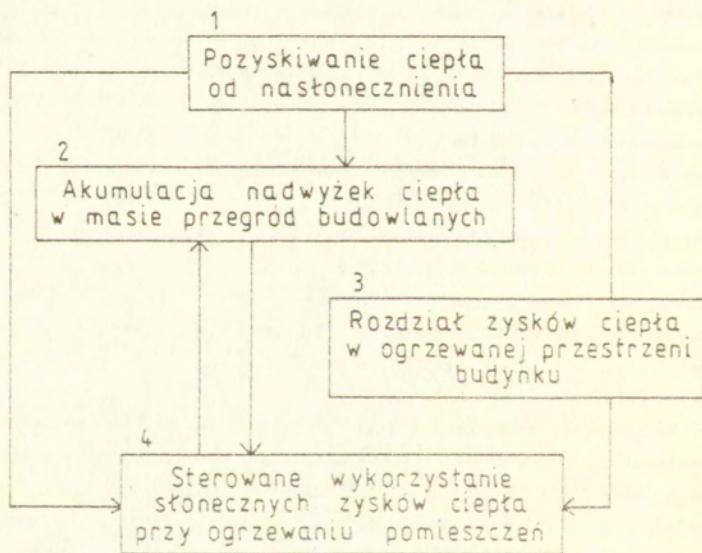
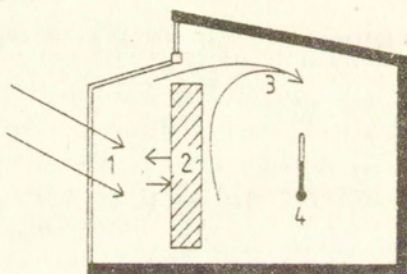
3.2.1 Podstawowe pojęcia i wymagania ogólne

Zgodnie z definicją przyjętą przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Energii Słonecznej (ISES), mianem systemów biernych (pasywnych) określa się takie sposoby wychwytywania, akumulacji i rozdzielenia zysków ciepła, w których procesy heliologiczne przebiegają bez stosowania mechanicznych urządzeń napędowych (pomp lub wentylatorów). Nie wymagają odrębnych instalacji, dodatkowych wymienników oraz pośredniego czynnika grzejącego. Transport ciepła odbywa się jedynie na drodze naturalnej konwekcji, przewodzenia i promieniowania [20].

Zasada działania każdego systemu biernego wykorzystywania energii słonecznej do ogrzewania polega na świadomym stwarzaniu w budynku warunków istnienia "efektu szklarniowego" polegającego na przepuszczaniu krótkofalowego promieniowania przez odpowiednio rozmieszczone elementy przezroczyste, pochłanianiu go przez powierzchnie wewnętrznych przegród budowlanych i konwersji w ciepło emitowane w postaci promieniowania długofalowego, nie przepuszczanego z powrotem na zewnątrz. Tak pozyskane ciepło jest rozpraszane w obrębie budynku, częściowo akumulowane w obudowie, a częściowo przejmowane przez powietrze wewnętrzne, które w ten sposób jest ogrzewane. Dzięki wspomnianej akumulacji ciepła proces ogrzewania powietrza zachodzi jeszcze przez pewien czas po ustaniu operacji słonecznej, a więc w porze nocnej. To opóźnienie jest, między innymi, miarą efektywności i sprawdzianem prawidłowego zaprojektowania systemu.

Ze schematu przedstawionego na rys. 3.1 widać, że funkcjonowanie omawianych systemów sprowadza się do współdziałania zasadniczych procesów heliologicznych. Harmonijne sprzężenie tych procesów decyduje o sprawności energetycznej układu i wynikających stąd oszczędnościach paliwa. W myśl powyższego, sam fakt termicznego oddziaływania nasłonecznienia na bilans cieplny budynku nie przesądza jeszcze o istnieniu systemu. Można o nim mówić dopiero po świadomym spełnieniu podstawowych warunków, do których należą:

- 1) najkorzystniejsze pod względem czasu trwania i intensywności promieniowania słonecznego: kształt budynku, rozplanowanie pomieszczeń oraz orientacja względem stron świata;



Rys. 3.1 Funkcjonowanie systemu biernego wykorzystania energii słonecznej do ogrzewania budynków

- 2) jak największa, w granicach opłacalności, izolacyjność termiczna i szczelność całej zewnętrznej obudowy;
- 3) usytuowanie i wielkość przeszklonych powierzchni kolektorowych zapewniające maksymalne zyski ciepła od nasłonecznienia w sezonie ogrzewczym, a jednocześnie możliwie małą uciążliwość w okresie letnim;
- 4) zastosowanie elementów budowlanych o właściwościach termicznych korzystnych z punktu widzenia efektywności systemu, a mianowicie:
 - materiałów o właściwie dobranej pojemności cieplnej,
 - powierzchni o dobrych właściwościach pochłaniania promieniowania słonecznego i emisji promieniowania ciepłego,
 - przegród o wymaganej stateczności cieplnej;
- 5) taki układ i wzajemne połączenie pomieszczeń, aby ciepło pozyskane w strefie bezpośredniego oddziaływania nasłonecznienia docierało także w głąb budynku, to jest aby nie zachodziła konieczność usuwania chwilowych nadwyżek na zewnątrz;
- 6) sprawna, najlepiej automatyczna, regulacja wydajności współpracującego z systemem konwencjonalnego urządzenia ogrzewczego.

Spełnienie powyższych warunków wiąże się z koniecznością odmiennego spojrzenia na wymagania stawiane budynkom, w których trzeba zapewnić harmonię między funkcją estetyczną, użytkową i energetyczną. Istotnego znaczenia nabiera współpraca specjalistów różnych branż w całym procesie projektowania, podbudowana rzetelną wiedzą i świadomością potrzeby odchodzenia od utartych schematów oraz przewycięzania pewnych lokalnych tradycji. Koncepcja "słonecznej architektury" wymaga rozwiązania szeregu problemów materiałowych i technologicznych. Zmusza też do starannego wykonawstwa.

Porównanie charakterystycznych cech słonecznych systemów grzewczych przedstawiono w tablicy 3.1. Omawiane sposoby bierne wykazują szereg zalet, do których należą:

- 1) porównawczo minimalne nakłady inwestycyjne ze względu na brak osobnej instalacji;
- 2) brak potrzeby stosowania pośredniego czynnika grzejjego i mechanicznych elementów napędowych, co eliminuje wiele kłopotów eksploatacyjnych oraz zwiększa niezawodność działania;
- 3) prostota rozwiązania technicznego polegająca na połączeniu funkcji kolektora i zasobnika przez samą konstrukcję budynku.

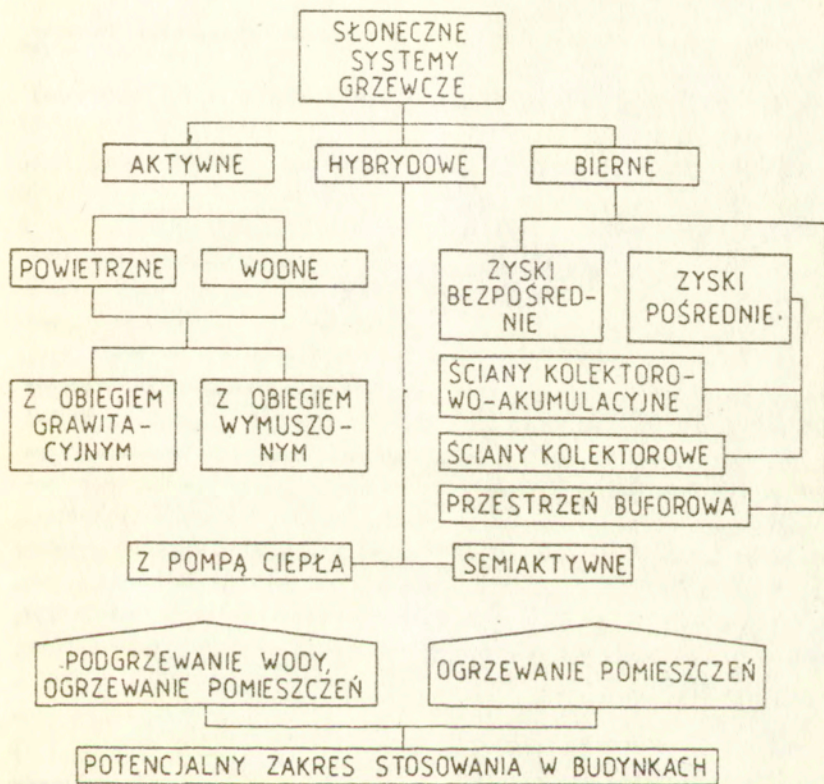
Głównymi wadami takiego sposobu ogrzewania są natomiast:

- 1) brak ciągłości dostawy ciepła;

Tablica 3.1

Porównawcze zestawienie charakterystycznych cech słonecznych systemów grzewczych

Systemy biernego wykorzystania energii słonecznej do ogrzewania	Instalacje z kolektorami słonecznymi (systemy aktywne)
Elementy wyposażenia są wielofunkcyjne. Kolektory i zasobniki ciepła stanowią integralną część struktury budynku i obudowy pomieszczeń	Poszczególne elementy wyposażenia są z zasady jednofunkcyjne. Połączone przewodami stanowią odrębną instalację.
Systemy są proste, nie wymagają nadzoru eksploatacyjnego i okresowych remontów. Nie wymagają dodatkowego zabezpieczenia przed korozją.	Systemy stwarzają wiele problemów w czasie użytkowania. Kolektory są narażone na destrukcyjne oddziaływanie czynników atmosferycznych, a cała instalacja wymaga częstych przeglądów i napraw.
Brak mechanicznych elementów napędowych wyklucza nieprzewidziane awarie.	Większe systemy muszą posiadać pompę lub wentylator napędzane energią elektryczną i uzależnione od jej dostawy.
W zasadzie nie ma problemów z niepożądanym zacienianiem kolektorów. Na pionowych płaszczyznach elewacyjnych nie tworzy się pokrywa ze śniegu.	Na kolektorach montowanych przeważnie na dachu często zalega śnieg. W przypadku większej liczby kolektory mogą zacieniać się wzajemnie.
Pionowa elewacja południowa, wychytująca promieniowanie słoneczne w sezonie grzewczym, nie jest w okresie letnim intensywnie nagrzewana. Brak pośredniego czynnika grzejnego zwiększa trwałość kolektorów.	Przerwy w pracy mogą prowadzić do zniszczenia kolektorów wskutek zamarzania czynnika grzejnego lub dużych naprężeń termicznych.

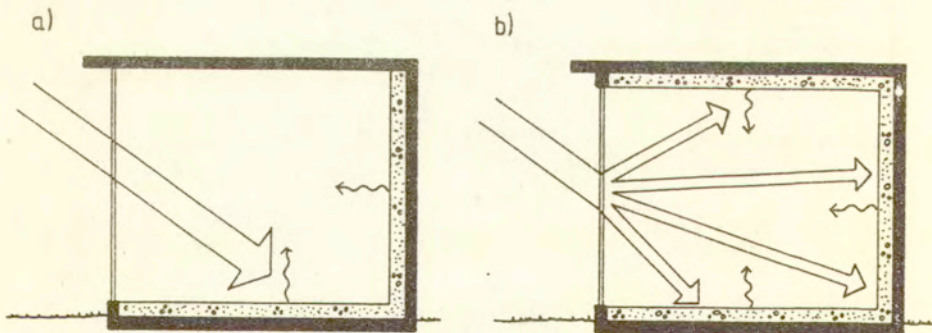


Rys. 3.2 Klasyfikacja i zakres stosowania słonecznych systemów grzewczych w budynkach

- 2) przypadkowe zmiany strumienia energii promieniowania słonecznego docierającego do kolektorów;
- 3) trudności w utrzymaniu stałej temperatury wewnętrznej w całej ogrzewanej przestrzeni budynku;
- 4) najmniejsza wydajność cieplna w okresie największego zapotrzebowania.

3.2.2 Klasyfikacja i charakterystyka systemów

Wobec znacznej już różnorodności proponowanych rozwiązań, słoneczne systemy grzewcze próbuje się klasyfikować ze względu na sposób funkcjonowania według schematu pokazanego na rys. 3.2. W naszych warunkach klimatycznych podział ten pokrywa się z potencjalnym zakresem ich stosowania w budynkach. Warto zwrócić uwagę, iż wymienione w klasyfikacji systemy hybrydowe są pomostem między aktywnymi i biernymi sposobami utylizacji energii słonecznej. W tej grupie na uwagę zasługują tzw. systemy semiaktywne, polegające na mechanicznym wymuszaniu przepływu powietrza między strefami budynku przy jednoczesnym pozyskiwaniu ciepła od nasłonecznienia w sposób bierny. Wyodrębnienie osobnej grupy wynika z jednej strony z potrzeby zwrócenia uwagi na trudności napotykane przy jednoznacznej kwalifikacji niektórych procesów heliotermicznych i nader płynnej granicy podziału. Z drugiej strony świadczy o ciągłym rozwoju oraz doskonaleniu sukcesywnie poznawanych metod ogrzewania z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii.



Rys.3.3. System zysków bezpośrednich

- a) promieniowanie skupione na części masy akumulacyjnej,
- b) promieniowanie rozpraszane na całej powierzchni masy akumulacyjnej

Godna odnotowania wydaje się propozycja systematyki opartej o ilościowe kryterium, za jakie uznano współczynnik wydajności energetycznej φ :

$$(3.1) \quad \varphi_e = \frac{E_s}{E_c} ,$$

przy czym:

E_s - ilość energii słonecznej pozyskanej do ogrzewania;

E_c - ilość energii (np. elektrycznej) potrzebnej do napędu urządzeń wchodzących w skład danego systemu (pompa, wentylator, sterowniki regulatorów itp.).

W pracy [49] umownie przyjęto następujące zakresy wartości tego współczynnika:

- $\varphi_e > 50$ dla systemów biernych,
- $\varphi_e = 20 - 50$ dla systemów semiaktywnych,
- $\varphi_e < 20$ dla systemów aktywnych.

Klasyfikację wraz z krótką charakterystyką systemów biernego i semiaktywnego wykorzystania energii słonecznej do ogrzewania zamieszczono w tablicy 3.2. Ideowe schematy wyjaśniające rolę elementów budynku przy wychwytywaniu, akumulacji i rozdzieleniu ciepła przedstawiono na rys. 3.3, 3.4, 3.5, i 3.6. W praktyce, szczególnie w regionach o korzystnej insolacji, opłaca się tak projektować budynek i rozplanowywać pomieszczenia, aby łączyć poszczególne systemy (rys. 3.7). W ten sposób umożliwia się ich elastyczną współpracę przy zmiennej strukturze podaży i zapotrzebowania ciepła, niewątpliwie z korzyścią dla sprawności energetycznej.

3.2.3. Zakres stosowania i potencjał korzyści

W miarę coraz większej popularności tematyki niektórzy bez głębszego uzasadnienia zaczynają przypisywać zyskom ciepła od nasłonecznienia nawet takie możliwości poprawy bilansu energetycznego, jakich w polskich warunkach klimatycznych na pewno nie da się uzyskać prostymi sposobami. Najprawdopodobniej przyczyną tej euforii są brak własnych doświadczeń oraz niezbyt krytyczna interpretacja zagranicznych danych, najczęściej dotyczących o wiele korzystniejszego położenia geograficznego, przemilczających lub kamuflujących eksperymentalny i jednostkowy charakter prezentowanego obiektu. Niekiedy nie wyklucza się komercyjnego aspektu przekazywanej informacji, reklamującej za wszelką cenę rozwiązanie lansowane przez daną firmę. W specjalistycznych opracowaniach, mniej licznych i trudniej dostępnych ogółowi zainteresowanych, autorzy starają się natomiast obiektywnie przedstawiać potencjał realnych korzyści,

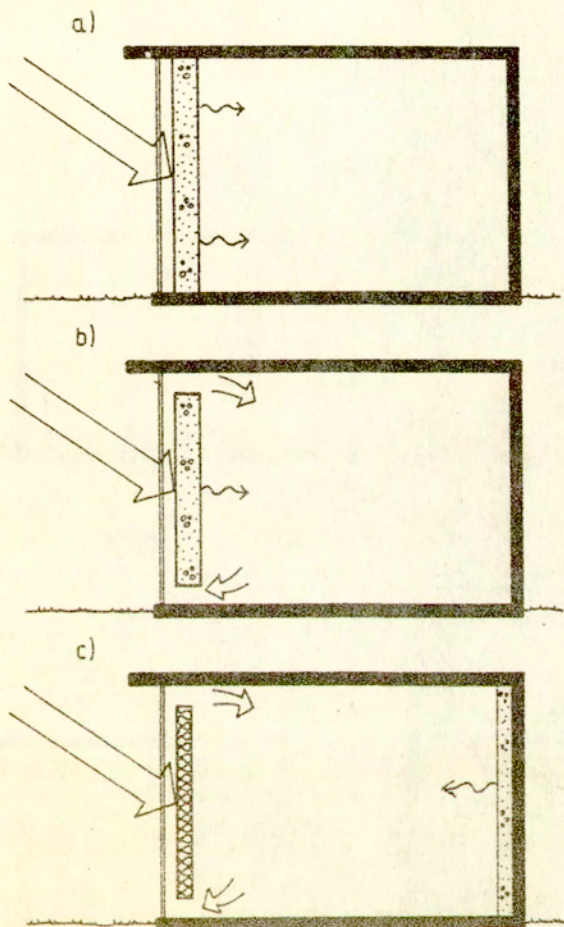
Klasyfikacja i charakterystyka systemów wykorzystania energii słonecznej do ogrzewania pomieszczeń

Rodzaj systemu	Charakterystyka	Zalety	Wady
<p>1. System zysków pośrednich (rys. 2.5)</p>	<p>Najprostsz i najtanszy sposób polegajcy na wykorzystaniu okien jako kolektorów promieniowania słonecznego, a masywnych przegród wewnętrznych jako zasobnika ciepła. Poczynanie, akumulacja i wykorzystanie energii słonecznej odbywa się w obrębie ogrzewanego pomieszczenia. Regulacja ilości przepuszczanego promieniowania jest możliwa po wyposażeniu okien w ruchome osłony (żaluzje, rolety, okiennice itp.).</p>	<p>Najłatwiejszy do zaprojektowania i wykonania. Wychwytywanie promieniowania słonecznego jest uzupelniającą funkcją okien będących niezbędnym wyposażeniem pomieszczeń mieszkalnych.</p>	<p>Zwiększanie powierzchni okien obniża izolacyjność cieplną budynku. Promieniowanie ultrafioletowe przyspiesza starzenie się niektórych materiałów wykorzystywanych i mebli. Cykliczne zmiany strumienia ciepła powodują znaczne wahanía temperatury w pomieszczeniu.</p>
<p>2. System pośredni z masywną ścianą kolektorowo-akumulacyjną (rys. 2.4 a,b)</p>	<p>Role kolektora i zasobnika ciepła spełnia masywna (pełna lub wentylowana) przegroda zewnętrzna umieszczona za przeszkleniem ochronnym. Pochłanianie przez nią promieniowanie słoneczne jest zamieniane na ciepło i stopniowo przewodzone do pomieszczenia. Dodatkowa cyrkulacja powietrza przyspiesza przewodzenie ciepła od absorbera. Regulacja ilości ciepła odbywa się przez otwieranie i zamykanie otworów cyrkulacyjnych oraz przez zasłanianie elewacji.</p>	<p>Wahanía temperatury w pomieszczeniu są niewielkie. Przewodzenie ciepła przez ścianę jest powolne, więc zyski od nasłonecznienia docierają do ogrzewanej przestrzeni w porze nocnej. Do pomieszczenia nie napływa zbyt duzo promieniowania krótkofalowego.</p>	<p>Zewnętrzna powierzchnia ściany jest nagrzewana do stosunkowo wysokiej temperatury, co intensyfikuje straty ciepła głównie przez promieniowanie. Masywna ściana nie może mieć izolacji termicznej, toteż w dni pochmurne jest miejscem duzych strat ciepła przez przenikanie (stanowi mostek termiczny).</p>

<p>3. System pośredni ze ścianą kolektorową (rys. 2.4 c)</p>	<p>Część zewnętrznej elewacji stanowią wbudowane płaskie kolektory z grzewczym obiegowym powietrzem. Ewentualna akumulacja nadwyżek ciepła zachodzi w wewnętrznych przegrodach. Regulacja ilości ciepła odbywa się przez otwieranie i zamykanie otworów cyrkulacyjnych. Ponieważ ściany kolektorowe mają dobrą izolację termiczną, nie jest potrzebne ich zacielenie na noc.</p>	<p>Umożliwia stosowanie takiego ogrzewania powietrznego z wykorzystaniem słonecznych zysków ciepła. Kolektory nie muszą być integralną częścią budynku i mogą być zamontowane na ścianach obok istniejących w ramach ich termorenowacji. Powierzchnia zajmująca przez kolektory nie osłabia izolacyjności cieplnej całego budynku.</p>	<p>Ogrzewanie powietrzne jest popularne w budynkach mieszkalnych ze względu na higieniczność. Utrudniona i mało efektywna jest akumulacja nadwyżek ciepła. Gravitacyjny obieg powietrza wymaga stosowania wysokich kolektorów. Proste kolektory płytowe charakteryzują się małą sprawnością, zaś jej zwiększenie jest z reguły kosztowne.</p>
<p>4. System z przesterżoną buforową (rys. 2.5)</p>	<p>Przesterżoną buforową stanowi przylegająca do budynku szklarnia, weranda lub oszklona loggia. Zaletą jest od przyjętej koncepcji spełnia ona wyłączenie funkcję kolektora i jednocześnie kolektora i zasobnika ciepła. Dodatkowo stanowi element ochrony termicznej budynku zmniejszając straty ciepła również w dni pochmurne. Regulacja ilości ciepła odbywa się przez wzmoczoną wentylację przesterżonej buforowej lub nakładanie dodatkowych elementów termoz izolacyjnych na przesterżenie.</p>	<p>Łączy funkcję biernego wykorzystania energii słonecznej z ochroną cieplną budynku. Przesterżoną buforową może być traktowana jako dodatkowa powierzchnia wahań temperatury wewnętrznej są mniejsze niż w systemie zysków bezpośrednich. Przesłonięte przesterżenie buforowe można dobrać do obiektów istniejących w ramach ich termorenowacji. W połączeniu z innymi systemami biernymi korzystnie wpływa na łączną efektywność energetyczną.</p>	<p>Okresowo może nastąpić przegrzewanie pomieszczeń. W przesterżonej buforowej występują duże wahania temperatury w ciągu doby, konieczne jest izolowanie ogrzewanego pomieszczenia na noc. Opory przepływu powietrza między przesterżoną buforową a ogrzewanym pomieszczeniem często są zbyt duże, aby ruch mógł odbywać się w sposób naturalny. Koszty inwestycyjne są stosunkowo wysokie. Użytkowanie dodatkowej przesterżonej jest możliwe w zasadzie tylko w ciepłym okresie roku.</p>

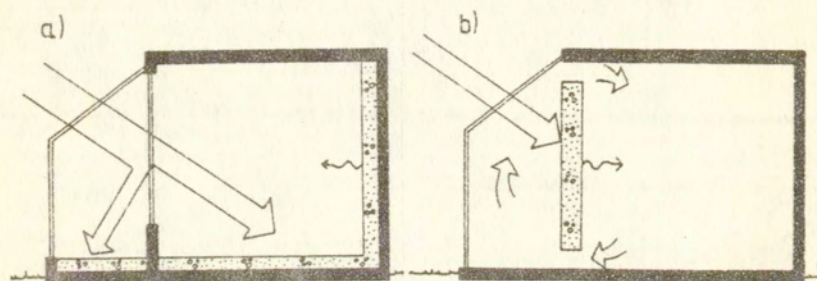
Tablica 3.2 - c.d.

<p>5. System semiaktywny (rys. 2.6)</p>	<p>Poszukiwanie promienlowania slonecznego przebiega w sposob bierny, natomiast transport ciepła do zasobnika i ogrzewanie go pomieszczenia jest wymuszany mechanicznie. W praktyce z reguły czynnikiem pośredniczącym w wymianie ciepła jest powietrze. Niezbędne są już pewne elementy instalacyjne (wentylator, sieć przewodów, czasem - wyodrębniony zasobnik ciepła). Systemy tego rodzaju mogą współpracować z innymi niekonwencjonalnymi urządzeniami, np. z pompą ciepła.</p>	<p>Bardziej równomierny rozdział ciepła do poszczególnych pomieszczeń, także do usytuowanych w głębi budynku z dala od kolektorów. Umożliwia pokonywanie oporów przepływu czynnika przewijających grawitacyjne ciśnienie czynne. Większe możliwości akumulacji ciepła w barkach (np. w złożach kamiennych). Ułatwiona regulacja ilości ciepła dostarczonego do pomieszczeń. Możliwość wykorzystywania slonecznych zysków ciepła we współpracy z innymi niekonwencjonalnymi sposobami ogrzewania.</p>	<p>Często ma miejsce zawilgocenie ściany oddzielającej ogrzewane pomieszczenie od przybudowanej szklarni.</p>
			<p>Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne są stosunkowo najwyższe. Obecność mechanicznych urządzeń zmniejsza niezawodność systemu i wymaga dostarczenia dodatkowej energii do napędu (najczęściej - elektrycznej). Nieuniknione są awarie i nieprzewidziane przestoje. Konieczne jest wygospodarowanie miejsca na przewody transportujące ciepło. Pracy wentylatora tworzący hałas uciążliwy dla mieszkańców.</p>



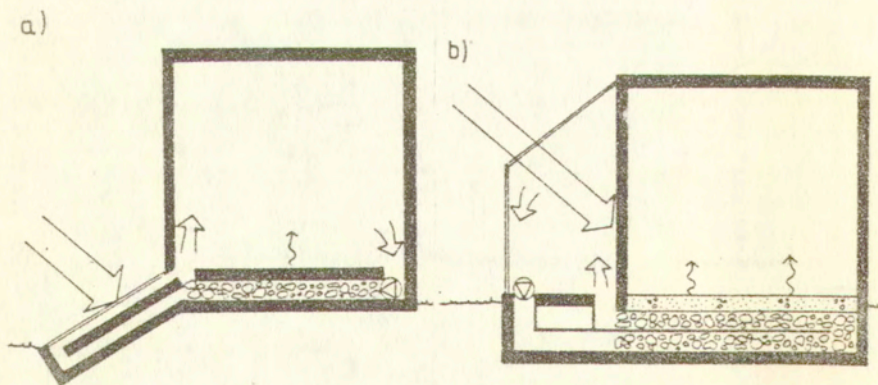
Rys. 3.4 System zysków pośrednich:

- a) z pełną ścianą kolektorowo-akumulacyjną;
- b) z wentylowaną ścianą kolektorowo-akumulacyjną;
- c) ze ścianą kolektorową



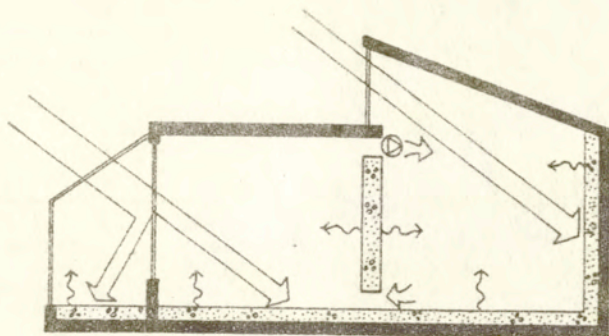
Rys. 3.5 System z przestrzenią buforową:

- a) sprzężenie z ogrzewanym pomieszczeniem przez przegrodę przezroczystą;
- b) sprzężenie z ogrzewanym pomieszczeniem przez ścianę akumulacyjną.



Rys. 3.6 System semiaktywny:

- a) z kolektorem powietrznym (ogrzewanie konwekcyjne);
- b) z przestrzenią buforową (ogrzewanie płaszczyznowe).



Rys.3.7. Współpraca różnych systemów biernego wykorzystania energii słonecznej w budynku

szczególnie będących do uzyskania na obszarach niezbyt nasłonecznionych w sezonie ogrzewczym.

W tabelicy 3.3 podano charakterystyczne wskaźniki wykorzystania energii słonecznej w eksperymentalnych budynkach mieszkalnych wzniesionych w różnych miejscowościach Europy i Ameryki, ale w szerokościach geograficznych zbliżonych do warunków polskich. Natomiast w tabelicy 3.4 zestawiono przeciętne wartości udziału zysków od nasłonecznienia w łącznym zużyciu ciepła do ogrzewania. Dane te zaczerpnięto z raportu Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA) omawiającego wyniki badań przeprowadzonych w 181 budynkach specjalnie w tym celu zaprojektowanych, a wybudowanych w ośmiu państwach [39]. Dla porównania, w tej samej tabelicy przytoczono wyniki własnych badań wykonanych w doświadczalnym budynku jednorodzinym [32].

Posiadane rozeznanie upoważnia do sformułowania następujących tez dotyczących korzyści, na które można liczyć wdrażając systemy biernego ogrzewania słonecznego w krajowym budownictwie:

1. Największy potencjał tkwi w małych (np. jednorodzinnych) budynkach mieszkalnych na ogół rozproszonych i pozbawionych scentralizowanej dostawy ciepła, ogrzewanych na koszt użytkowników. Dotyczy to przede wszystkim obiektów wznoszonych na obrzeżach miast i na wsi, w pierwszym rzędzie w regionach czystych, o stosunkowo dużym nasłonecznieniu.
2. Proste i tanie systemy nie wyeliminują z budynków konwencjonalnych urządzeń ogrzewczych. Mogą jednak przyczynić się do widocznych oszczędności paliwa, skracając pozornie sezon ogrzewczy. W okresach przejściowych, późną jesienią i wczesną wiosną, w nasłonecznionych budynkach utrzymuje się korzystny

Tablica 3.3

Charakterystyka wykorzystania energii słonecznej do ogrzewania budynków mieszkalnych zlokalizowanych w szerokościach geograficznych zbliżonych do warunków polskich [31]

Miejscowość	Szerokość geograficzna północna	Ilość energii słonecznej przypadająca na 1 m kw. powierzchni użytkowej budynku kWh/(m ² a)	Udział energii słonecznej w pokryciu zapotrzebowania ciepła %
Chauvency le Chateau	49,1°	94,3	58,8
Edmonton	53,5°	118,6	24,7
Hamburg	53,2°	79,1	27,5
Kopenhaga	55,7°	75,1	52,9
Lyngby	55,8°	136,1	43,8
Odeillo	42,5°	400,0	65,0
Vancouver	49,1°	145,4	52,7
Winnipeg	49,8°	105,8	22,6

Tablica 3.4

Przeciętne wartości udziału zysków od nasłonecznienia w zużyciu ciepła do ogrzewania, w zależności od warunków klimatycznych i sposobu wykorzystania energii słonecznej w budynkach [32,39]

Państwo	Rodzaj systemu biernego wykorzystania energii słonecznej		
	system zysków bezpośrednich	system z maszyną ścianą kolektorowo-akumulacyjną	system z przybudowaną przestrzenią buforową
Belgia	-	-	0,35 - 0,39
Dania	0,25	-	-
Francja	-	-	0,35
Norwegia	-	-	0,42
RFN	0,38	0,20	-
Szwajcaria	0,40	-	0,54
Szwecja	0,22	-	-
USA	0,30	0,41	0,43
Polska (w porównawczym sezonie ogrzewczym)	0,32	0,20	0,23

mikroklimat bez potrzeby uruchamiania ogrzewania. Wspomniane oszczędności paliwa wiążą się ze zmniejszeniem ilości zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery szczególnie z mało sprawnych palenisk indywidualnych.

3. Efektywne wykorzystywanie słonecznych zysków ciepła do ogrzewania wielorodzinnych budynków w miastach jest obecnie ograniczone. Wynika to zarówno z gorszych warunków insulacyjnych, jak i dominującego sposobu centralnego ogrzewania praktycznie bez możliwości indywidualnej regulacji temperatury w pomieszczeniach. Niektóre elementy omawianych systemów mogą jednak i tu być przydatne (np. oszkłone loggie). Dążąc do ich upowszechnienia trzeba jednocześnie modernizować instalacje centralnego ogrzewania i wprowadzać racjonalny system rozliczeń ze zużyte ciepło.
4. Wydaje się zupełnie realne uzyskiwanie takimi sposobami oszczędności ciepła rzędu 20-30% w skali sezonu ogrzewczego. W miarę polepszania charakterystyki termoizolacyjnej nowo wznoszonych budynków udział zysków od nasłonecznienia w łącznym zużyciu ciepła do ogrzewania może być jeszcze większy.
5. Dotychczasowe badania własne wykazały, iż największe oszczędności przynosi system zysków bezpośrednich. Nie wyklucza to jednak stosowania pozostałych sposobów, a szczególnie stwarzania warunków do ich współpracy. We wspomnianym budynku doświadczalnym, wyposażonym w trzy podstawowe rodzaje systemów biernych, uzyskano łączne zmniejszenie zużycia ciepła do ogrzewania o 17% rocznie.

3.3. Helioaktywne elementy strukturalne budynku

3.3.1 Przystosowanie budynku do pozyskiwania i akumulacji ciepła od nasłonecznienia

Ze względu na szczególną rolę samego budynku w kształtowaniu procesów pozyskiwania i akumulacji ciepła, systemy biernego wykorzystania energii słonecznej do ogrzewania czasem określa się mianem sposobów budowlanych [12,40]. Czyni się tak głównie dla odróżnienia od autonomicznych, względem obsługiwanego obiektu, instalacji kolektorowych (systemów aktywnych). Jakkolwiek taki podział nie wydaje się najważniejszy, to jednak istotnie odzwierciedla priorytetowe akcenty wymagań adresowanych do projektantów reprezentujących poszczególne branże. Obowiązek szeroko rozumianego przystosowania budynku do właściwego przebiegu procesów heliotermicznych spoczywa w pierwszym rzędzie na architektach, konstruktorach i specjalistach z zakresu fizyki budowli. Zadanie

projektantów konwencjonalnych urządzeń grzewczych sprowadza się w zasadzie do wyboru takiego rozwiązania, które - spełniając obowiązujące kryteria techniczno-ekonomiczne - będzie ponadto w elastyczny sposób reagowało na okresowe zmiany zapotrzebowania ciepła, wynikające ze struktury dopływu promieniowania słonecznego do ogrzewanych pomieszczeń. Natomiast w naszych warunkach klimatycznych samo wymiarowanie obliczeniowej mocy cieplnej tych urządzeń (a zatem i ich wielkości) nie może być a priori podporządkowywane założeniu o określonym udziale energii słonecznej.

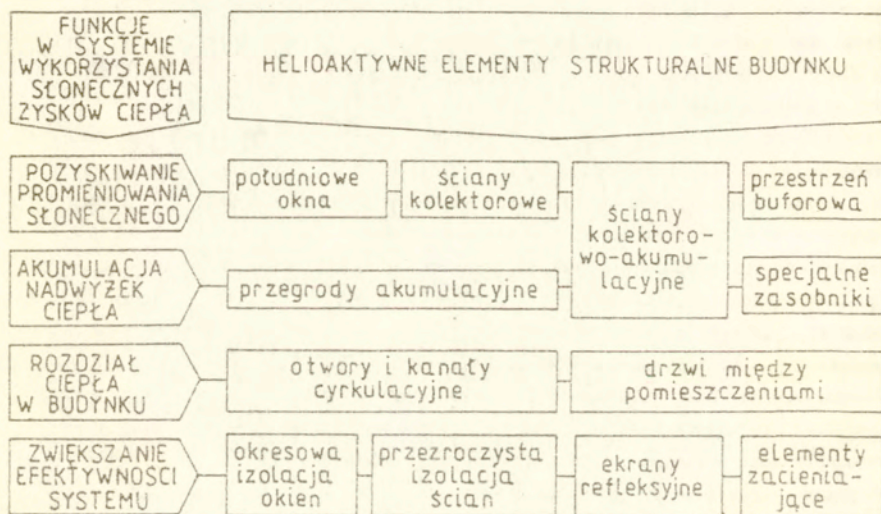
Problemu dopasowania rozwiązań strukturalnych i materiałowych do potrzeb "słonecznej architektury" nie można utożsamiać z prostymi zabiegami dotyczącymi wyłącznie ochrony cieplnej, które w każdym przypadku przynoszą pewne oszczędności ciepła. Przyjęta koncepcja powinna być racjonalną syntezą wymagań techniki słonecznej, funkcji użytkowej oraz kryteriów opłacalności. Ze względu na zakres niniejszego opracowania, zawarte tu charakterystyki, wskazówki i zalecenia, a także materiały pomocnicze do projektowania dotyczą w zasadzie tylko pierwszego z wymienionych czynników.

Szczegółowy opis elementów wchodzących w skład omawianych systemów można poprzedzić sformułowaniem następujących zasad odniesionych do całego budynku:

1. Budynek musi być zaprojektowany, wykonany i użytkowany tak, aby w pożądanym sposobie reagował na cykliczne zmiany zewnętrznych warunków termicznych. W słoneczne dni zimowe powinien ułatwiać napływ promieniowania, natomiast w dni pochmurne uniemożliwiać ucieczkę pozyskanego ciepła z powrotem do otoczenia.
2. Część zewnętrznej obudowy pomieszczeń trzeba przystosować do funkcji kolektora promieniowania słonecznego, umożliwiając jak najkorzystniejsze warunki insolacji w sezonie grzewczym. W północnej szerokości geograficznej szczególna rola przypada tu południowej elewacji.
3. Budynek powinien być zasobnikiem pozyskanego ciepła. Struktury wewnętrznych przegród trzeba dobrać tak, aby w materiałach o wystarczająco dużej pojemności cieplnej ewentualne nadwyżki mogły być magazynowane w dzień, a następnie bez nieuzasadnionych strat wykorzystywane do ogrzewania pomieszczeń w nocy.
4. Zewnętrzne przegrody muszą stanowić pułapkę dla zysków ciepła od nasłonecznienia. Sprzyja temu "efekt szklarniowy", stosowanie dobrych materiałów termoizolacyjnych, w tym - dodatkowych elementów ciepłochronnych okresowo zasłaniających kolektory, oraz ograniczenie infiltracji powietrza zewnętrznego.
5. Wzajemne usytuowanie pomieszczeń powinno umożliwiać swobodny przepływ

ciepła z południowej do północnej strefy budynku.

Spełnienie powyższych zasad osiąga się w fazie projektowania budynku przez wyposażenie go w elementy, które będą spełniać poszczególne funkcje w systemie ogrzewania. Klasyfikację oraz przeznaczenie tak rozumianych helioaktywnych elementów strukturalnych przedstawiono na rys. 3.8.



Rys.3.8. Klasyfikacja i funkcja helioaktywnych elementów strukturalnych budynku

3.3.2 Okna jako kolektory słoneczne

Okna odgrywają istotną rolę przy bezpośrednim pozyskiwaniu promieniowania słonecznego. Potocznie określa się je mianem kolektorów, jednak w rzeczywistości stanowią tylko przezroczyste pokrycie ochronne. W wymienionym systemie kolektorem jest bowiem całe pomieszczenie wraz z otaczającymi elementami obudowy. Ze względu na uprzywilejowane znaczenie południowej elewacji budynku w sezonie ogrzewczym, tylko okna skierowane w tę stronę uważa się za nasłonecznione w sensie dostarczania użytecznych zysków ciepła i tylko one są rozpatrywane jako kolektory. Jest to oczywiście umowne uproszczenie wynikające z ogólnie przyjętej konwencji.

Przegląd rodzajów okien stosowanych w krajowym budownictwie można znaleźć

w opracowaniach [26,43]. W zdecydowanej większości (około 80% w całym budownictwie powszechnym oraz około 95% w budownictwie mieszkaniowym) są to okna drewniane, najczęściej zespolone, oszklone podwójnie szybami ze zwykłego szkła okiennego grubości 3-4 mm. Ostatnio, zgodnie z obowiązującą normą o ochronie cieplnej budynków, coraz częściej zachodzi konieczność stosowania okien oszklonych potrójnie. W indywidualnym budownictwie jednorodzinym, szczególnie wiejskim, spotyka się jeszcze drewniane okna skrzynkowe lub krosnowe. Pojawiają się również informacje o nowych konstrukcjach uwzględniających zaostrzone wymagania termoizolacyjne.

Wszystkie wymienione rodzaje okien mogą być traktowane jako elementy systemu bezpośredniego pozyskiwania energii słonecznej do ogrzewania. Należy tylko pamiętać, iż sprawność energetyczna okien-kolektorów zależy w określonym stopniu od ich izolacyjności cieplnej, a ta z kolei - od rozwiązania konstrukcyjnego. Przy wyborze decydują tu więc te same kryteria, które obowiązują przy projektowaniu każdego energooszczędnego budynku. W tabelicy 3.5 zestawiono wskaźniki charakteryzujące okna krajowej produkcji przeznaczone do stosowania w budownictwie ogólnym i mieszkaniowym.

3.3.3 Przegrody pochłaniające i akumulujące zyski ciepła od nasłonecznienia

Wymagania i klasyfikacja

W każdym systemie zysków pośrednich wychwytywanie, akumulowanie i przekazywanie ciepła przebiega za pośrednictwem odpowiednio dostosowanych przegród nieprzezroczystych, najczęściej ścian. Rola okien schodzi w tym przypadku na dalszy plan. Oprócz spełnienia ogólnych zasad dotyczących helioaktywnych elementów strukturalnych, przystosowanie przegród do wymienionych funkcji oznacza:

- 1) zapewnienie korzystnych warunków przemiany krótkofalowego promieniowania słonecznego w energię cieplną i zabezpieczenie przed jej rozpraszaniem na zewnątrz;
- 2) racjonalny dobór koloru, materiału i struktury warstwy absorpcyjnej oraz wykorzystanie "efektu szklarniowego" przez umieszczenie dodatkowej, przezroczystej osłony zewnętrznej;
- 3) właściwe rozwiązanie materiałowo-konstrukcyjne, sprzyjające sprawnemu akumulowaniu ciepła i przekazywaniu go następnie w określonej porze doby do pomieszczeń, a więc - wystarczająco dużą pojemność i przewodność cieplną oraz dobre warunki przejmowania ciepła od ściany do powietrza wewnętrznego;

Tablica 3.5

Charakterystyka termiczna okien krajowej produkcji przeznaczonych do stosowania w budownictwie ogólnym i mieszkaniowym

Rodzaj ram i oszklenia okien drewnianych	Normatywy współczynnik przenikania ciepła, według PN-88/B-02020/03 $W/(m^2 \cdot K)$	Współczynnik całkowitych zysków energii słonecznej [41]
Pojedyncze (np. krosnowe) oszklone pojedynczo	5,1	0,9
Pojedyncze jednoramowe, oszklone jednokomorową szybą zespoloną	3,0	0,8
Pojedyncze jednoramowe, oszklone dwukomorową szybą zespoloną	2,3	0,7
Podwójne skrzynkowe: - oszklone podwójnie - oszklone potrójnie	2,6 2,0	0,8 0,7
Podwójne zespolone, oszklone podwójnie	2,6	0,8
Podwójne zespolone, oszklone potrójnie jednokomorową szybą zespoloną i pojedynczą	2,0	0,7
Podwójne zespolone, oszklone potrójnie pojedynczymi szybami	2,0	0,7

4) w odniesieniu do ścian zewnętrznych - utrzymanie izolacyjności termicznej na poziomie odpowiadającym wymaganiom obowiązującej normy o ochronie cieplnej budynków.

Obecność tych elementów nie może ujemnie wpływać na mikroklimat pomieszczeń lub zagrażać bezpieczeństwu użytkowników. Przegrody helioaktywne nie powinny powodować przegrzewania pomieszczeń w okresie poza sezonem ogrzewczym, gdy zyski ciepła od nasłonecznienia stają się zbędnym balastem. Materiały zastosowane do absorpcji promieniowania i akumulacji ciepła nie mogą być źródłem toksycznych, szkodliwych dla zdrowia lub uciążliwych zanieczyszczeń powietrza. Nie powinny też być łatwopalne. Szczególnie dotyczy to niektórych substancji chemicznych o skądinąd doskonałych właściwościach termofizycznych i z tego powodu branych pod uwagę w energetyce słonecznej.

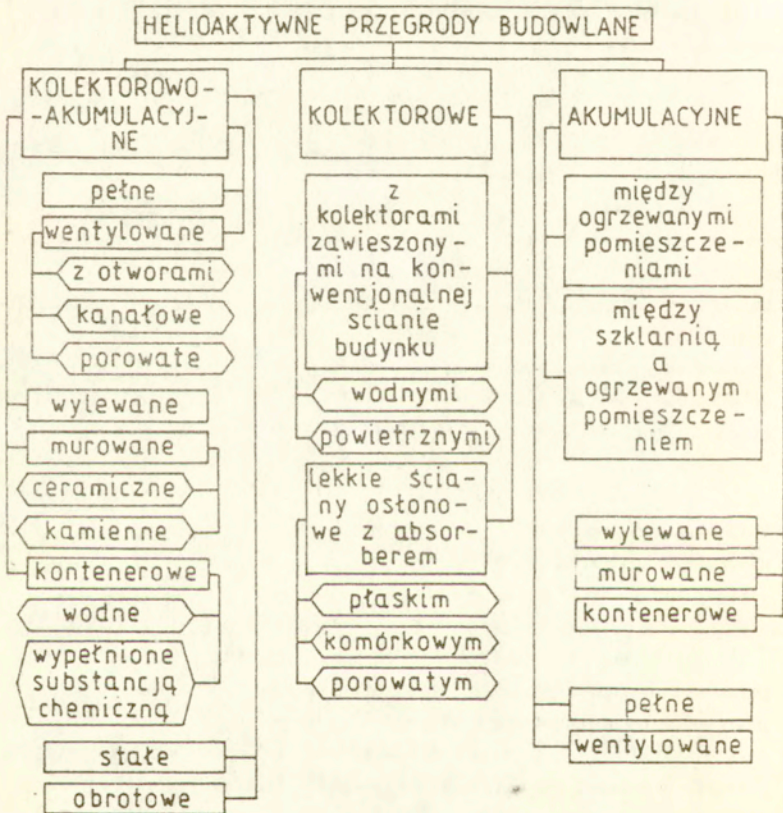
Podstawowy podział ułatwiający systematyczną charakterystykę oparto o kryterium spełnianych funkcji. W takim ujęciu omawiane ściany dzielą się na (rys. 3.9):

- 1) kolektorowo-akumulacyjne, czyli masywne ściany zewnętrzne z absorberem promieniowania słonecznego, przekazujące ciepło do pomieszczenia przez przewodzenie, konwekcję i promieniowanie;
- 2) kolektorowe, to jest lekkie ściany zewnętrzne z absorberem, przekazujące ciepło do pomieszczenia tylko na drodze konwekcji;
- 3) akumulacyjne, stanowiące część wewnętrznych przegród lub oddzielające ogrzewane pomieszczenia od przestrzeni buforowej; akumulują nadmiar bezpośrednich zysków ciepła słonecznego, oddawanego następnie przez promieniowanie i konwekcję.

Jako elementy strukturalne o specjalnie dobranych właściwościach termicznych, ściany te można ponadto klasyfikować w zależności od rozwiązania konstrukcyjnego lub zastosowanych materiałów. W pierwszym przypadku mogą to być:

- a) pełne ściany monolityczne lub warstwowe z wyglądu odpowiadające tradycyjnym przegrodom budowlanym;
- b) ściany wentylowane z otworami cyrkulacyjnymi nad podłogą i pod stropem, a niekiedy z układem wewnętrznych kanałów powietrznych;
- c) stałe przegrody nie zmieniające położenia swych powierzchni względem kierunku napływu promieniowania słonecznego i ogrzewanych pomieszczeń;
- d) ściany obrotowe, złożone z szeregu sprzężonych ze sobą elementów mających możliwość zmiany wspomnianego położenia w zależności od pory doby i warunków nasłonecznienia.

Ze względu na zastosowane materiały tworzące masę akumulującą ciepło lub stanowiące absorber promieniowania słonecznego, wyróżnia się przegrody



Rys. 3.9. Klasyfikacja przegród pochłaniających i akumulujących słoneczną zyski ciepła

wykonane:

- a) całkowicie z tradycyjnych materiałów budowlanych, takich jak beton, cegła, glina lub kamień;
- b) częściowo ze specjalnych materiałów tworzących warstwy zwiększające sprawność wymiany ciepła.

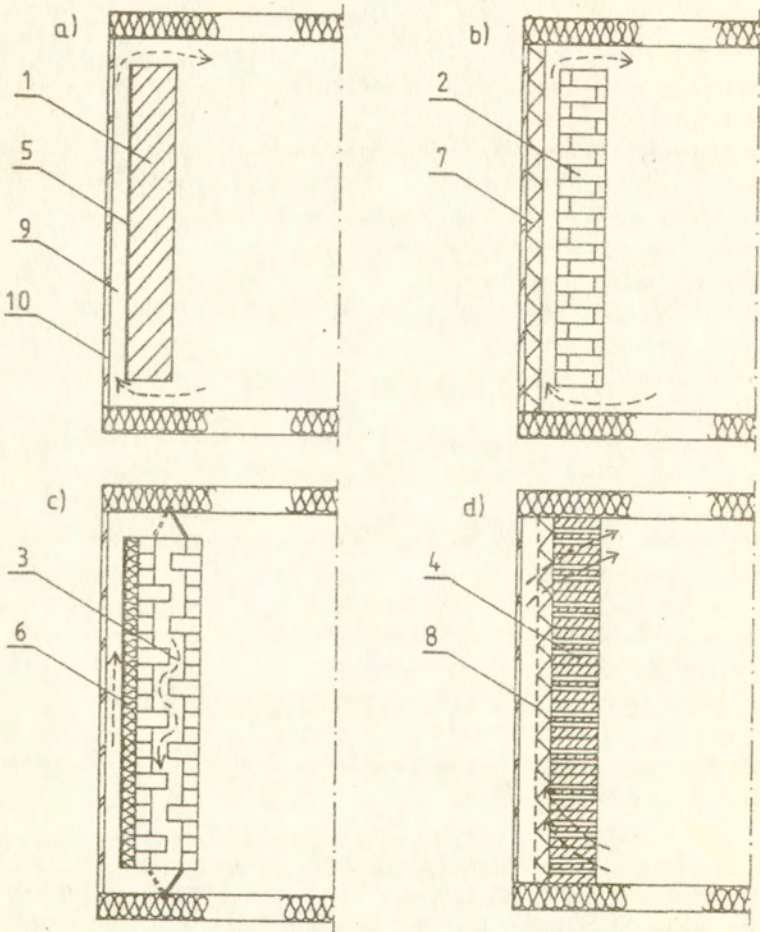
Do niekonwencjonalnych rozwiązań materiałowych zalicza się:

- elementy wypełnione substancjami o specjalnie dużej pojemności cieplnej lub umożliwiającymi wykorzystanie ciepła odwracalnych reakcji chemicznych i przemian fazowych w procesie utylizacji energii słonecznej;
- ściany "częściowo przezroczyste", ułatwiające penetrację promieni słonecznych do pewnej głębokości lub na wskroś przy jednoczesnym ich rozpraszaniu i pochłanianiu w masie akumulacyjnej;
- ściany z warstwą porowatą tworzącą absorber i równocześnie spełniającą rolę dynamicznej termoizolacji;
- ściany o specjalnie ukształtowanej strukturze powierzchni zewnętrznej zwiększającej absorpcję promieniowania słonecznego oraz minimalizującej straty ciepła do otoczenia.

Różnorodność zasygnalizowanych rodzajów wynika przede wszystkim z ciągłego poszukiwania coraz sprawniejszych rozwiązań. Niektóre propozycje dotyczą specyficznych warunków klimatycznych. Inne są kompromisem między wymaganiami termicznymi, użytkowymi, dostępnością i ceną określonych materiałów oraz możliwościami wykonania. Pewne rodzaje znajdują się dopiero w fazie wstępnych badań, więc perspektywy ich praktycznego zastosowania w budownictwie są jeszcze odległe. Mimo to pełne rozpoznanie możliwości wykorzystywania ścian w biernych systemach słonecznych wymaga znajomości poszczególnych rozwiązań i sposobu ich funkcjonowania.

Ściany kolektorowo-akumulacyjne

Pierworzorem większości rodzajów masywnych ścian kolektorowo-akumulacyjnych jest betonowa przegroda o czarnej powierzchni zewnętrznej, umieszczona za szybą oraz posiadająca u góry i u dołu otwory umożliwiające cyrkulację powietrza. Rozwiązanie to, schematycznie pokazane na rys. 3.10a, określane jest w literaturze mianem "ściany Trombe'a" od nazwiska pomysłodawcy [55]. Szczególną popularnością cieszy się ono w USA, Francji i Izraelu, gdyż funkcjonuje efektywnie tylko w regionach o dużym usłonecznieniu i łagodnej zimie. Głównymi wadami ściany Trombe'a są: długi czas nagrzewania, duże przesunięcie fazowe fali cieplnej, konieczność stosowania nocnej izolacji termicznej, bardzo słaba cyrkulacja powietrza oraz duża materiałochłonność



Rys.3.10. Masywne ściany kolektorowo-akumulacyjne:

- a) ściana Trombe'a;
- b) murowana ściana z przezroczystą termoizolacją;
- c) murowana ściana kanałowa;
- d) ściana z dynamiczną termoizolacją

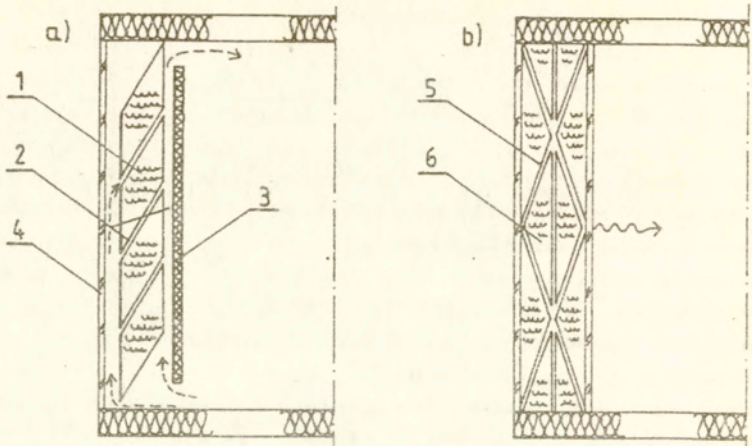
- 1 - ściana betonowa;
- 2 - murowana ściana pełna;
- 3 - ściana kanałowa;
- 4 - ściana z pustaków ceramicznych;
- 5 - absorber promieniowania słonecznego;
- 6 - zwykła izolacja cieplna;
- 7 - przezroczysta termoizolacja;
- 8 - dynamiczna termoizolacja;
- 9 - szczelina powietrzna;
- 10 - szyba ochronna

zwiększająca masę i koszty budynku.

Kolejne przykłady ścian kolektorowo-akumulacyjnych, pokazane na rys. 3.10b,c,d, odzwierciedlają próby zmierzające do wyeliminowania powyższych mankamentów. Przede wszystkim chodzi o zwiększenie ilości użytecznej energii słonecznej przy jednoczesnej poprawie własności termoizolacyjnych i usprawnieniu wymiany ciepła. Próbuje się więc stosować dodatkową warstwę izolacyjną z materiału o możliwie dużym współczynniku przepuszczania promieniowania słonecznego lub z materiału porowatego, pozwalającego na przepływ powietrza przejmującego zyski ciepła od nasłonecznienia, a także część ciepła przenikającego przez ścianę z pomieszczenia. W celu zintensyfikowania procesu akumulacji i oddawania ciepła stosuje się przegrody szczelinowe, kanałowe lub porowate. W ten sposób wielokrotnie zwiększa się powierzchnię wymiany ciepła oraz wydłuża drogę strumienia cyrkulującego powietrza. Z reguły wiąże się to z koniecznością zastosowania wentylatora wymuszającego przepływ [1,3,27].

Zwiększenie pojemności cieplnej zasobnika bez konieczności projektowania nadmiernie grubych i ciężkich ścian próbuje się osiągać zastępując tradycyjne materiały budowlane substancjami o dużym cieple właściwym. Przykładem są ściany kontenerowe, złożone z blaszanych lub szklanych pojemników z wodą (rys. 3.11). Wysokość pojemników dobiera się tak, aby wyeliminować stratyfikację i uzyskać możliwie równomierny rozkład temperatury cieczy. Niekiedy proponuje się ściany wodne w kształcie wysokich, spłaszczonych zbiorników z wewnętrzną przegrodą, tworzących tzw. diodę termiczną [3,27,50,56]. Zrozumiałe jest, że ze względu na niebezpieczeństwo zamarzania wody zakres praktycznego zastosowania takich ścian jest ograniczony. Wobec tego podejmuje się próby wykorzystywania niektórych związków chemicznych, np. roztworów soli, żelu krzemionkowego, parafin itp. [11,18,25]. Próby te należy jednak traktować jako propozycje przyszłościowe. To samo dotyczy stosowania w ścianach tzw. rurek cieplnych [29].

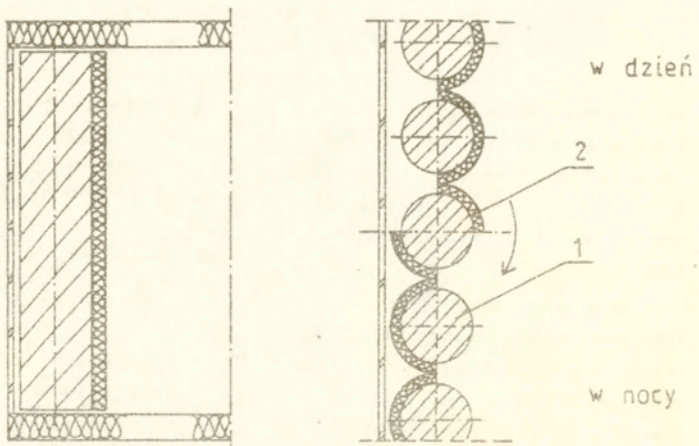
Na większą natomiast uwagę zasługuje koncepcja obrotowej ściany kolektorowo-akumulacyjnej z ruchomą powłoką termoizolacyjną (rys. 3.12) [14]. Zmiany położenia powłoki ułatwiają sterowanie ilością i kierunkiem przepływu ciepła zależnie od pory doby i bieżącego zapotrzebowania. Wałcowy kształt segmentów stwarza ponadto lepsze warunki nasłonecznienia ściany. Oprócz pokazanego wariantu proponuje się także segmenty w kształcie graniastosłupów o podstawie trójkąta [15]. Jedna z płaszczyzn bocznych spełnia rolę zasobnika ciepła, druga stanowi izolację, zaś trzecia, również izolacyjna, jest pokryta warstwą refleksyjną i zabezpiecza pomieszczenie przed przegrzewaniem (w lecie), albo przed wypromienianiem pozyskanego ciepła (w zimie). Dodatkowo ściana segmen-



Rys. 3.11. Kontenerowe ściany kolektorowo-akumulacyjne:

a) z blaszanych pojemników; b) z płyt szklanych

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1 - pojemniki wypełnione wodą; | 2 - szczelina; |
| 3 - lekka ściana osłonowa; | 4 - szyba ochronna; |
| 5 - szkielet ze szkła zbrojonego; | 6 - przestrzeń wypełniona wodą |



Rys. 3.12. Obrotowa ściana kolektorowo-akumulacyjna

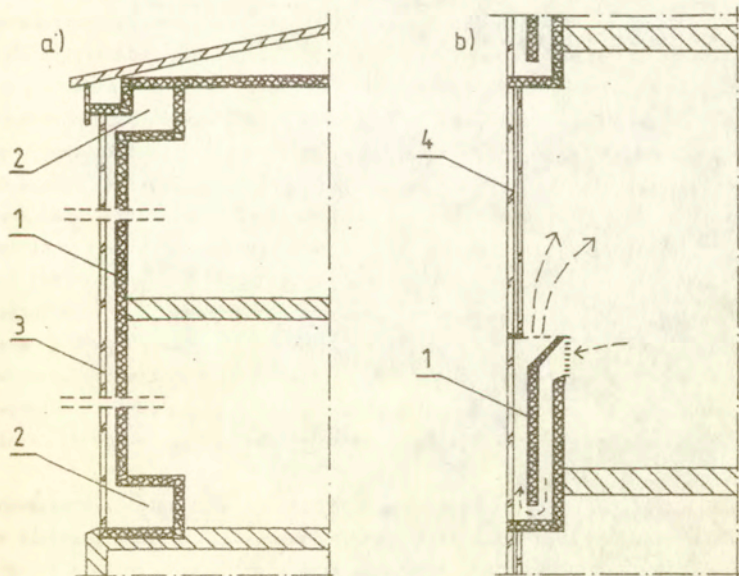
- 1 - masa akumulacyjna; 2 - ruchoma powłoka termoizolacyjna

towa może być tak skonstruowana, aby umożliwiała także konwekcyjną wymianę ciepła za pośrednictwem cyrkulującego powietrza [22].

Ściany kolektorowe

Jeśli w sezonie ogrzewczym przeważa pogoda pochmurna, praktycznie nie można liczyć na akumulację słonecznych zysków ciepła w przegrodach budowlanych. W takich warunkach lepsze efekty daje stosowanie ścian kolektorowych, w których okresowo następuje wyłącznie podgrzewanie czynnika (najczęściej powietrza, czasami wody) transportowanego następnie do pomieszczeń.

Najprostszym przykładem są ściany, na których zawieszają się pionowe, kompletne kolektory. Elementy te, będące częścią osobnej instalacji ogrzewczej lub wentylacyjnej, stanowią dodatkową warstwę termoizolacyjną ściany [3,46,54]. Z powodów wskazanych poprzednio, stosowanie kolektorów wodnych w naszych warunkach klimatycznych nie wydają się godne zalecania. Niska sprawność, kłopoty eksploatacyjne oraz koszty niewspółmierne do efektów sta-



Rys. 3.13. Ściany kolektorowe:

a) ściana osłonowa z absorberem promieniowania słonecznego;

b) płaski kolektor słoneczny pod oknem

1 - płyta absorbera; 2 - kanał powietrzny; 3 - szyba ochronna; 4 - okno

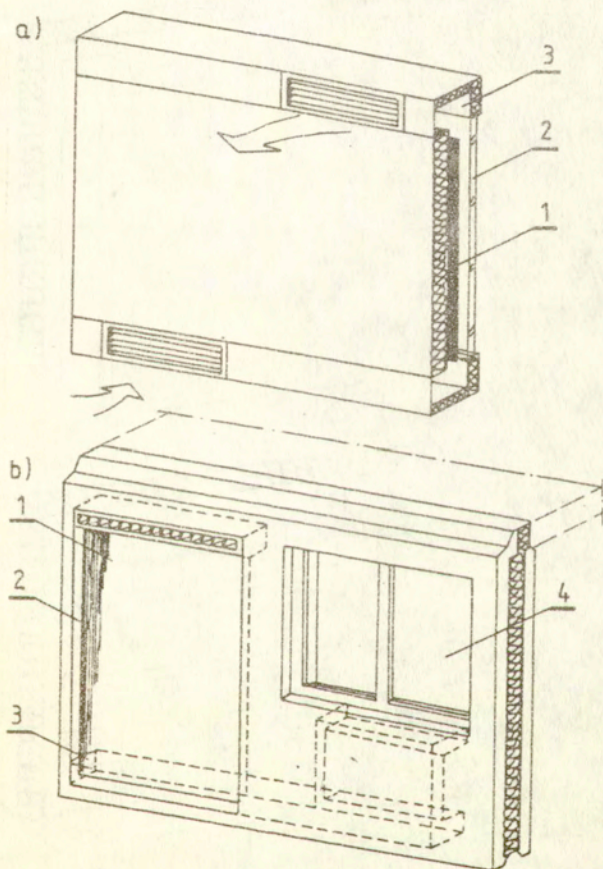
wiają obecnie pod znakiem zapytania ich przydatność w omawianym zakresie. W grę wchodzi więc tylko kolektory powietrzne, zintegrowane z zewnętrzną ścianą budynku często we wspólnej konstrukcji.

Na rys. 3.13 pokazano dwa dość często podawane przykłady ścian kolektorowych: ścianę osłonową usytuowaną w pewnej odległości za szybą i pokrytą na całej wysokości budynku warstwą absorbującą promieniowanie słoneczne oraz ścianę z oknami, między którymi umieszczono kolektory stanowiące rodzaj grzejnika konwekcyjnego [1,5,8,38].

Na wzór "wielkiej płyty" proponuje się modułowe elementy mogące z powodzeniem zastępować tradycyjne ściany osłonowe. Spotyka się zarówno moduły w całości stanowiące kolektor powietrzny, jak również dodatkowo wyposażone w okno, przez które promieniowanie słoneczne napływa bezpośrednio do pomieszczenia (rys. 3.14) [16,42,48,54].

W przypadku ścian kolektorowych główne działania optymalizacyjne koncentrują się na usprawnianiu wymiany ciepła w obrębie samej przegrody. Dąży się przede wszystkim do stworzenia najkorzystniejszych warunków wychwytywania energii słonecznej na płycie absorbera, a także przejmowania pozyskanego ciepła przez strumień powietrza. Chodzi też o to, aby w nocy i dłuższych okresach zachmurzenia ściana kolektorowa nie stawała się miejscem strat ciepła zwiększonych w stosunku do pozostałych przegród zewnętrznych. Z powyższych względów projektuje się absorbery o rozbudowanej i różnie ukształtowanej powierzchni. Zamiast płaskich płyt wykorzystuje się blachę fałdowaną, czasem dodatkowo perforowaną, płyty żebrowane lub absorbery o strukturze komórkowej (rys. 3.15). Spotyka się również absorbery z porowatych materiałów włóknistych lub granulowanych, spełniające dodatkowo rolę wspomnianej już dynamicznej izolacji cieplnej [3,16,21]. Rozbudowa powierzchni absorpcji promieniowania słonecznego i przejmowania ciepła, a także wydłużanie i komplikowanie drogi strumienia powietrza w kolektorze wymagają niekiedy stosowania wentylatora wymuszającego przepływ, podobnie jak w przypadku niektórych ścian kolektorowo-akumulacyjnych. Zgodnie z wprowadzoną klasyfikacją ma się już wtedy do czynienia z systemem semiaktywnym.

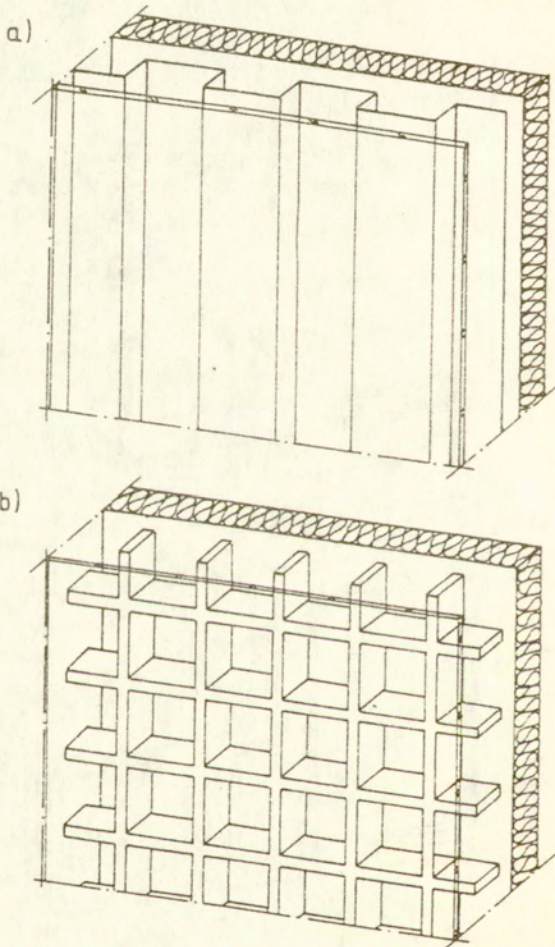
Ściany kolektorowe dają architektom dość znaczne możliwości kształtowania elewacji budynku. Bardziej niż kolektorowo-akumulacyjne pozwalają pogodzić wymagania warunkujące efektywne wykorzystanie zysków od nasłonecznienia z ograniczeniami stawianymi przez kryteria ochrony cieplnej. Tego rodzaju rozwiązania wydają się nader korzystne wtedy, gdy w projektowanym obiekcie przewiduje się ogrzewanie powietrzne lub mechaniczną wentylację pomieszczeń. Przystosowanie większości ścian do funkcji kolektora słonecznego jest stosun-



Rys. 3.14. Modułowe ściany kolektorowe:

- a) z absorberem promieniowania słonecznego na całej powierzchni;
b) z oknem

1 - absorber promieniowania słonecznego; 2 - szyba ochronna;
3 - kanał powietrzny; 4 - okno



Rys. 3.15. Ściany kolektorowe o rozbudowanej powierzchni pochłaniania promieniowania słonecznego:

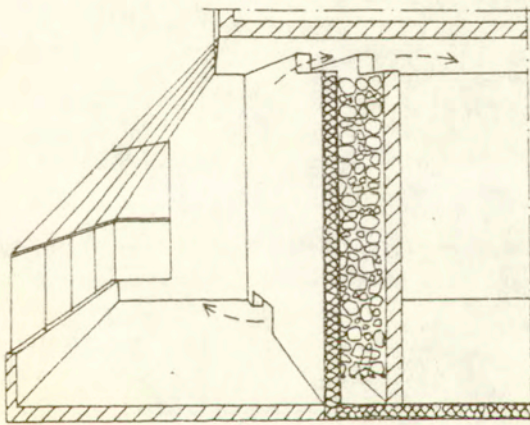
a) z absorberem z blachy profilowanej;

b) z absorberem o strukturze komorowej.

kowo łatwe i możliwe również w budynkach istniejących. Z tego względu traktuje się je jako jeden ze sposobów termorenowacji.

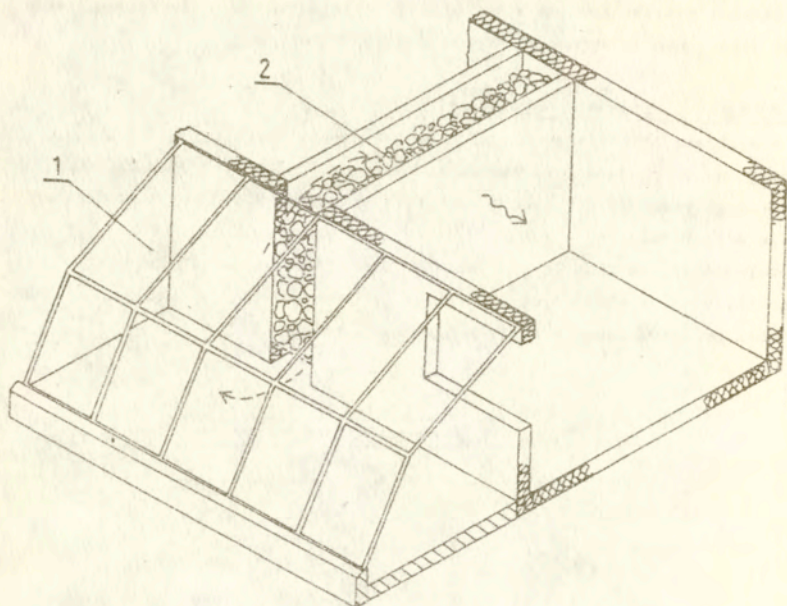
Przegrody i inne elementy akumulacyjne

W systemie zysków bezpośrednich jako elementy akumulacyjne traktuje się te przegrody otaczające pomieszczenie, których pojemność cieplna umożliwia czasowe magazynowanie pozyskanej energii słonecznej. W pierwszym rzędzie są to masywne ściany działowe i strop. Niekiedy w grę wchodzi także posadzka. Należy mieć świadomość, że akumulacja ciepła ma miejsce nie tylko w przegrodach budowlanych, ale i w niektórych elementach wyposażenia (np. w meblach). Trudno je jednak brać pod uwagę w fazie projektowania budynku.



Rys. 3.16. Ściana akumulacyjna między szklarnią a ogrzewanym pomieszczeniem

W wielu rozwiązaniach ściana akumulacyjna oddziela ogrzewane pomieszczenie od przeszklonej przestrzeni buforowej (rys. 3.16) lub stanowi zasobnik ciepła usytuowany między pomieszczeniami (rys. 3.17). System ze ścianą kolektorową, szczególnie semiaktywny, bywa wyposażany w zasobnik w postaci żołą kamieni, gruzu betonowego lub ceglanego, żwiru itp. W budynku trzeba wydzielić dodatkowe miejsce o określonej kubaturze. Często wykorzystuje się w tym celu przestrzeń pod podłogą lub specjalne pomieszczenia usytuowane centralnie. W



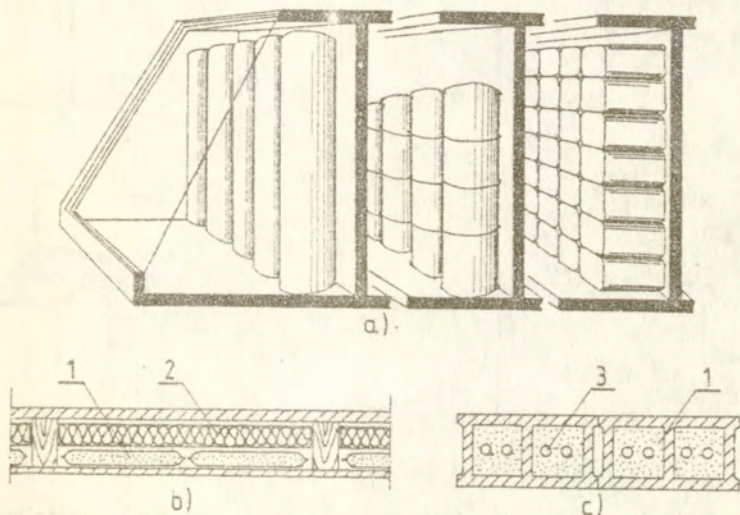
Rys. 3.17. Ściana akumulacyjna między dwoma ogrzewanymi pomieszczeniami
1 - szklarnia; 2 - przestrzeń wypełniona masą akumulacyjną

literaturze są opisane i udokumentowane liczne przykłady rozwiązań zarówno ścian akumulacyjnych, jak i wspomnianych zasobników. Większość z nich dotyczy małych budynków mieszkalnych [1,13,24,25,27, 41,51,57].

Istnieje analogia między ścianami akumulacyjnymi a kolektorowo-akumulacyjnymi. W pierwszym przypadku na dalszy plan schodzą tylko zagadnienia związane z wychwytywaniem promieniowania słonecznego, gdyż tę funkcję spełniają okna lub inne przekrycia przezroczyste. Natomiast problemy wymiany ciepła w obrębie zasobnika oraz sposoby przekazywania zakumulowanej energii do ogrzewanych pomieszczeń wykazują duże podobierstwo. W związku z tym większość rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych omówionych poprzednio dotyczy również ścian akumulacyjnych.

Tempo akumulacji i przewodzenia ciepła w przegrodach wykonanych z tradycyjnych materiałów budowlanych czasami nie nadąża za szybkością napływu promieniowania słonecznego. Podejmuje się więc próby zwiększania aktywnej masy akumulacyjnej, stosowania substancji o dużej pojemności cieplnej oraz wykorzy-

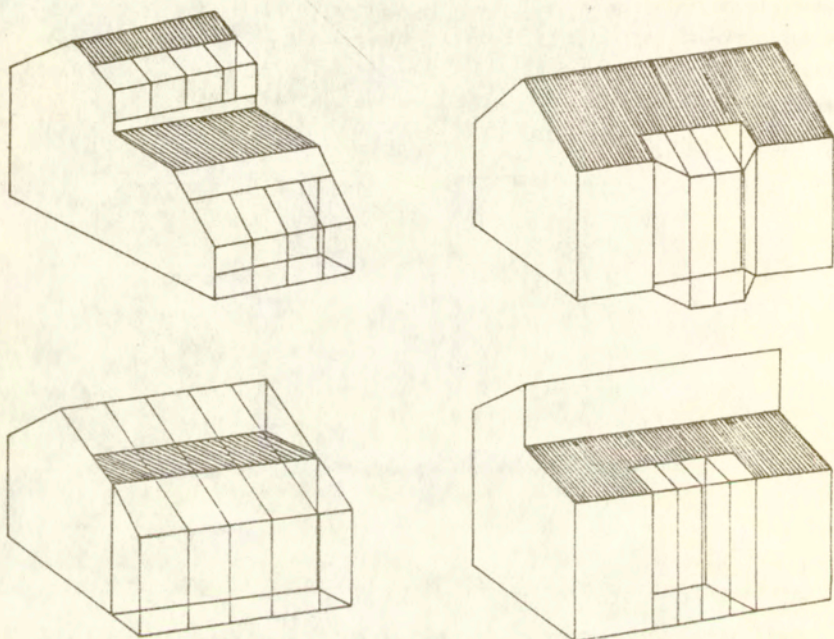
stywania innych procesów magazynowania energii. W przestrzeni buforowej, stanowiącej rozbudowany kolektor, można umieszczać pojemniki wypełnione wodą, nie zamarzającym roztworem, zelem lub olejem mineralnym (rys. 3.18a). Czynniki te, po dość szybkim nagrzaniu w okresie intensywnego nasłonecznienia, oddają ciepło z powrotem do powietrza. W ten sposób wpływają na złagodzenie amplitudy dobowych wahań temperatury i spowalniają przenikanie ciepła z budynku do otoczenia.



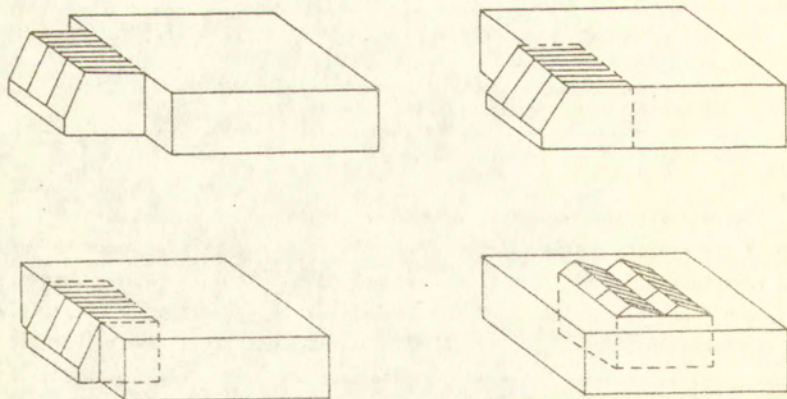
Rys. 3.18. Sposoby usprawnienia akumulacji ciepła w budynkach:

- a) dodatkowe zasobniki w przestrzeni buforowej;
 - b) strop z pakietami zawierającymi materiał akumulacyjny;
 - c) pustaki wypełnione materiałem akumulacyjnym
- 1 - materiał akumulacyjny; 2 - izolacja cieplna;
3 - kanał powietrzny

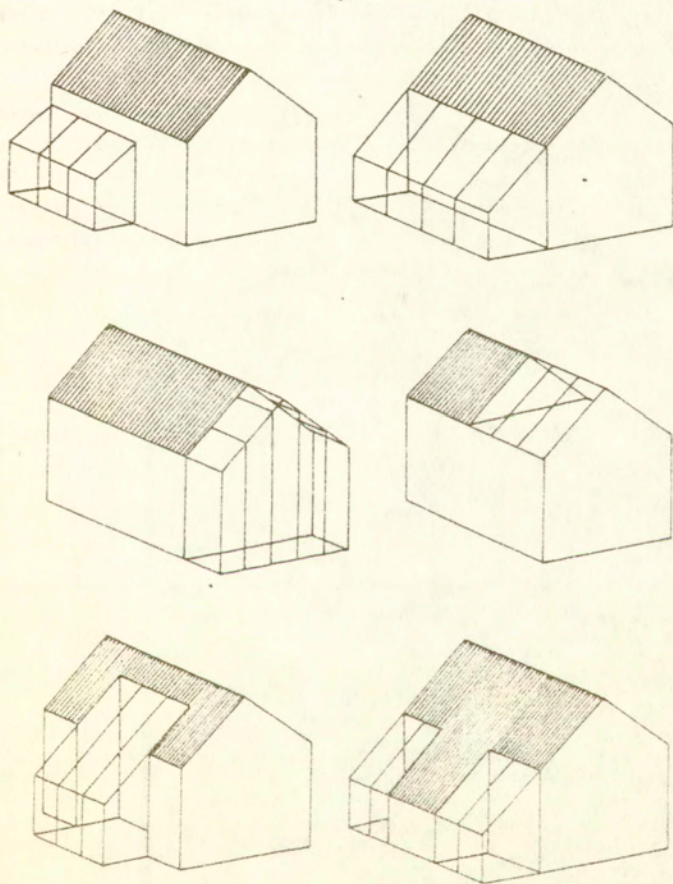
Sugeruje się niekiedy stosowanie w pewnym zakresie zasobników chemicznych. W grę wchodzi przede wszystkim pakiety lub kontenery wypełnione uwodnionymi kryształami niektórych soli mineralnych, zdolnych do odwracalnej przemiany fazowej, której - zależnie od kierunku przemiany - towarzyszy reakcja endo- lub egzotermiczna (rys. 3.18b.c) [2,18]. Substancje te można również mieszać z tradycyjnymi materiałami budowlanymi, albo pokrywać przegrody dodatkową warstwą akumulacyjną. Należy podkreślić, że chemiczne zasobniki ciepła stanowią



Rys. 3.19. Przeszkłone przestrzenie buforowe w małych budynkach mieszkalnych



Rys. 3.20. Usytuowanie przestrzeni buforowej względem ogrzewanych pomieszczeń

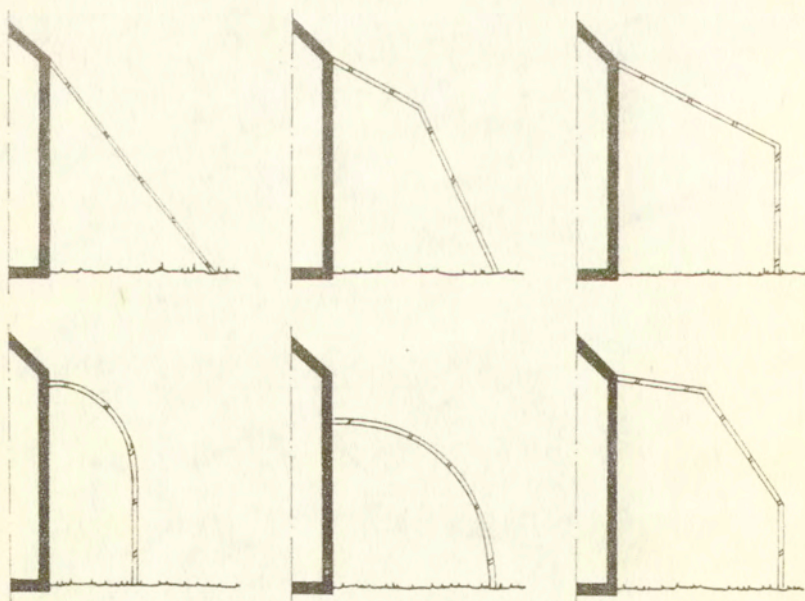


Rys. 3.21. Różne warianty integracji przestrzeni buforowej z budynkiem

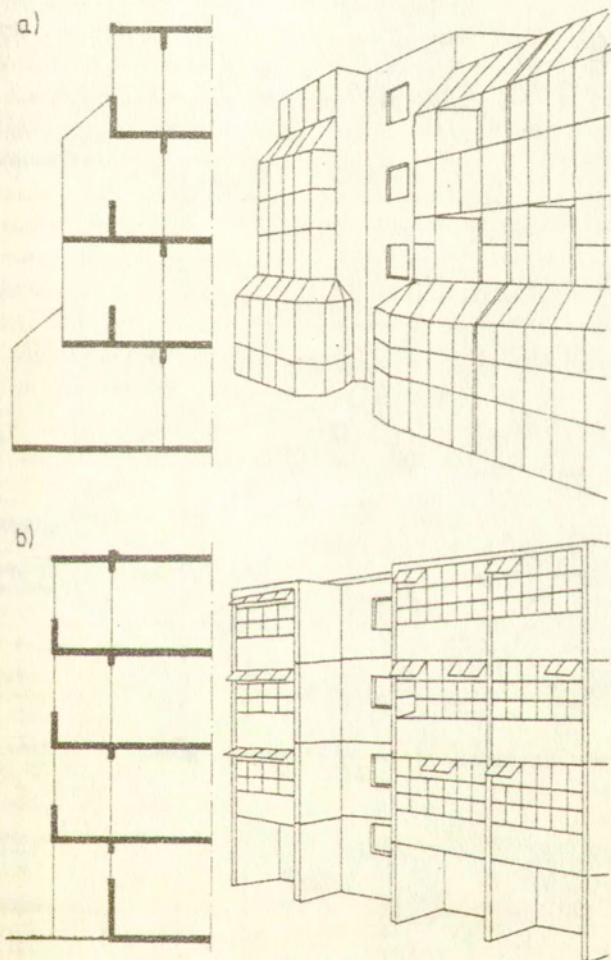
obecnie zaledwie jedną z przyszłościowych propozycji. Nie wydaje się, aby w najbliższych latach znalazły zastosowanie w budownictwie, w stopniu wykraczającym poza jednostkowe eksperymenty.

3.3.4 Przestrzeń buforowa

Przestrzeń buforowa jest łącznikiem między ogrzewanymi pomieszczeniami a otoczeniem budynku. Z punktu widzenia ochrony cieplnej jej rola polega na wydłużaniu drogi strumienia ciepła przenikającego na zewnątrz. Usytuowana od południa i posiadająca przezroczystą obudowę, stanowi wydajny kolektor a przy odpowiednim wyposażeniu - także zasobnik ciepła. System biernego ogrzewania energią słoneczną z wykorzystaniem oszklonej przestrzeni buforowej jest szczególnie atrakcyjny dla architektów i wyraźnie przez nich preferowany. Pozwala bowiem na harmonijną syntezę funkcji estetycznej, użytkowej i energetycznej w tych samych fragmentach budynku. Jego duża efektywność uwidacznia się szczególnie w chłodnym klimacie [1,13,24, 51,57].



Rys. 3.22. Kształty małych szklarni ustawianych przy ścianach budynków

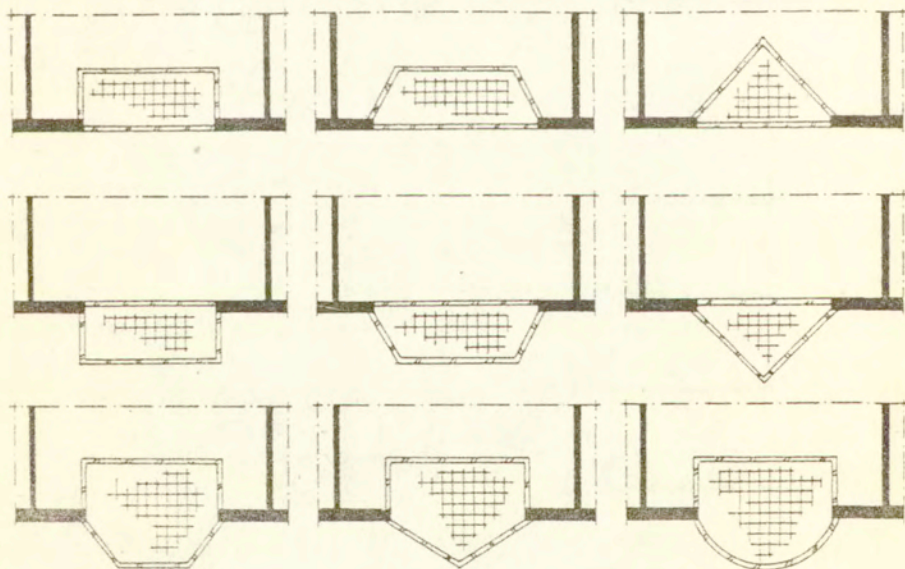


Rys. 3.23. Przykłady przestrzeni buforowej w wielokondygnacyjnych

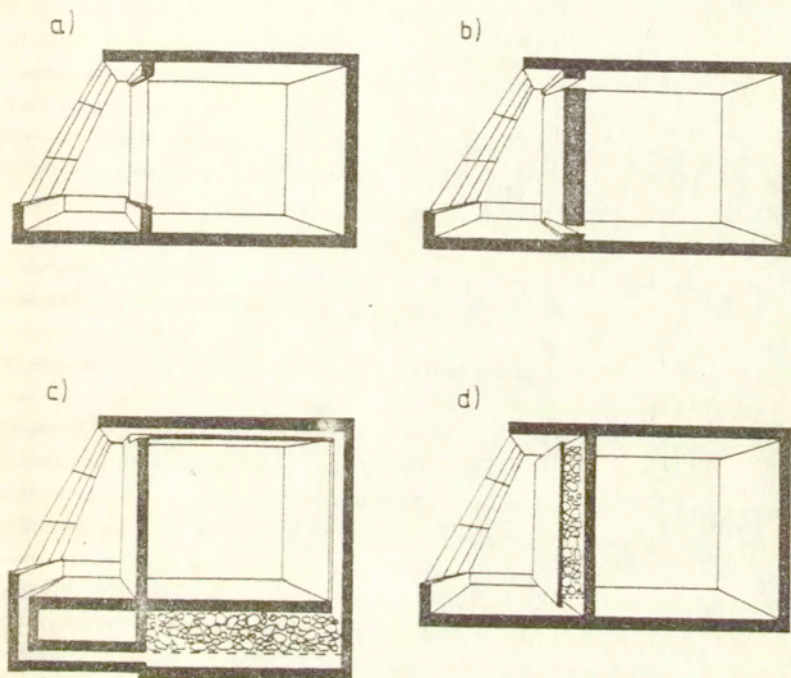
a) przezroczysta obudowa całej elewacji z balkonami;

b) oszklone loggie

W małych budynkach mieszkalnych, jedno- lub dwukondygnacyjnych, rolę przestrzeni buforowej z powodzeniem spełniają przybudowane szklarnie i werandy o dużych oknach. Mogą obejmować całą południową ścianę zewnętrzną, bądź tworzyć część struktury elewacji sięgającą również poddasza (rys. 3.19). Projektanci mają z reguły duże możliwości takiego ukształtowania przestrzeni buforowej, aby funkcja kolektora nie kolidowała z wymaganiami użytkowymi oraz ewentualnymi ograniczeniami konstrukcyjnymi, czy technologicznymi. Architekci są w stanie wkomponować przeszklone fragmenty obudowy w bryłę budynku tak, aby ich orientacja była najkorzystniejsza w sezonie ogrzewczym, umożliwiała jak najdłuższą insolację oraz gwarantowała dobre warunki akumulacji i transportu ciepła (rys. 3.20). Podobnie jak w przypadku ścian kolektorowych, stosunkowo łatwo jest dobudować werandę lub szklarnię do istniejącego obiektu. Często zaleca się to czynić w ramach termorenowacji i docieplania ścian zewnętrznych. Przykład wachlarza zasygnalizowanych możliwości pokazano na rys. 3.21 ilustrującym sześć wariantów integracji szklarni z tym samym budynkiem. Na rys. 3.22 natomiast przedstawiono spotykane w praktyce kształty małych szklarni montowanych najczęściej przez samych użytkowników.



Rys.3.24. Przystosowanie oszklonych balkonów i loggi do pozyskiwania promieniowania słonecznego



Rys. 3.25. Sprzężenie przestrzeni buforowej z ogrzewanym помещением:

- a) przez okno, w systemie zysków bezpośrednich;
- b) przez masywną ścianę kolektorowo-akumulacyjną;
- c) przez zasobnik podpodłogowy;
- d) przez ścianę akumulacyjną z zasobnikiem kontenerowym.

Wyposażenie budynków wielokondygnacyjnych w przestrzeń buforową sprowadza się na ogół do oszklenia balkonów i loggi, a nawet pokrywania przezroczystą osłoną całej południowej elewacji (rys. 3.23). Sporadycznie pojawiają się koncepcje projektowania zadaszonych szybami wewnętrznych dziedzińców, jednak ze względów akustycznych nie wydaje się, aby takie rozwiązanie stało się popularne w budownictwie mieszkaniowym. Natomiast wspomniane wykorzystywanie balkonów i loggi do pozyskiwania energii słonecznej zdobywa coraz więcej zwolenników. Również i w tym przypadku dotyczy ono zarówno budynków nowych, jak i modernizowanych. Różne konfiguracje przestrzenne proponowanych rozwiązań przedstawiono na rys. 3.24.

Istotną cechą systemu z przestrzenią buforową jest duża uniwersalność, wyrażająca się w możliwości wykorzystywania różnych sposobów pozyskiwania i transportu ciepła do ogrzewanych pomieszczeń. Rysunek 3.25 pokazuje, że sprzężenie takiego kolektora z budynkiem może następować zarówno przez okna, masywną ścianę kolektorowo-akumulacyjną, jak i ścianę kolektorową. Różnie też lokalizuje się zasobnik. Wysoka przestrzeń buforowa, obejmująca jedną lub nawet kilka kondygnacji, ułatwia zorganizowanie naturalnego przepływu powietrza pośredniczącego w wymianie ciepła.

Ocenia się, że pod względem ochrony cieplnej dobudowanie oszklonej przestrzeni buforowej do istniejącej elewacji jest równoważne podwojeniu grubości warstwy izolacji termicznej w ścianie zewnętrznej [19]. Wskazana uniwersalność, w połączeniu z poprawą charakterystyki cieplnej budynku i walorami użytkowymi dodatkowej powierzchni, tłumaczą dużą popularność omówionych rozwiązań, obserwowaną obecnie w budownictwie wielu krajów. Należy z tego wyciągnąć odpowiednie wnioski. Jednocześnie trzeba mieć świadomość, iż nie są to rozwiązania pozbawione wad, czy nie sprawiające kłopotów użytkownikom. Zwraca się uwagę na niebezpieczeństwo zawilgocenia ściany sąsiadującej ze szklarnią z roślinami, konieczność częstego mycia dużych powierzchni przeszkłonych, niepożądane z różnych względów refleksy odbłaskowe w szybach oraz trudne czasami przeciwdziałanie przegrzewaniu pomieszczeń w lecie. Konstrukcja obudowy stanowi dodatkowe obciążenie budynku, a materiał jest delikatny i podatny na zniszczenie. Nakłady finansowe konieczne do wyeliminowania zasygnalizowanych mankamentów nie zawsze są rekompensowane oszczędnością energii i korzyściami eksploatacyjnymi. Przyjęta koncepcja może być wręcz nieopłacalna w porównaniu z innymi sposobami utylizacji zysków ciepła od nasłonecznienia, o czym projektanci energooszczędnych budynków powinni pamiętać.

3.3.5 Elementy zwiększające efektywność pozyskiwania ciepła od nasłonecznienia

Urządzenia do okresowej izolacji cieplnej

Okresowa izolacja cieplna dotyczy tych elementów zewnętrznej obudowy, które pełnią funkcję kolektora promieniowania słonecznego. Jej zadaniem jest zwiększenie oporu termicznego przezroczystych przegród w czasie, w którym nie można liczyć na zyski ciepła od nasłonecznienia, a więc w porze nocnej i w dni pochmurne. Równocześnie zapobiega rozpraszaniu pozyskanego ciepła z powrotem do otoczenia budynku. Pozytywne efekty stosowania okresowej termoizolacji są najbardziej widoczne w systemie zysków bezpośrednich. Na podstawie opinii wie-

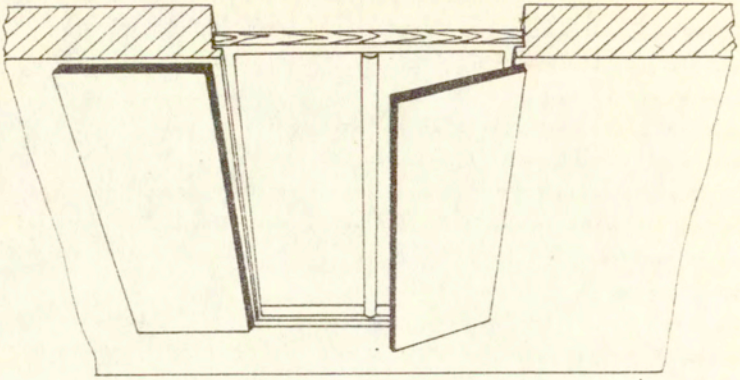
lu autorów, a także wyników własnych badań, można wyrazić pogląd, iż urządzenia dodatkowej ochrony cieplnej okien-kolektorów powinny być niemal ich typowym wyposażeniem.

Osłony termooizolacyjne okien w żadnym przypadku nie mogą być tylko dodatkiem pozornie świadczącym o wyższym standardzie wykończenia budynku. Aby spełniły swoje zadanie muszą odpowiadać następującym wymaganiom:

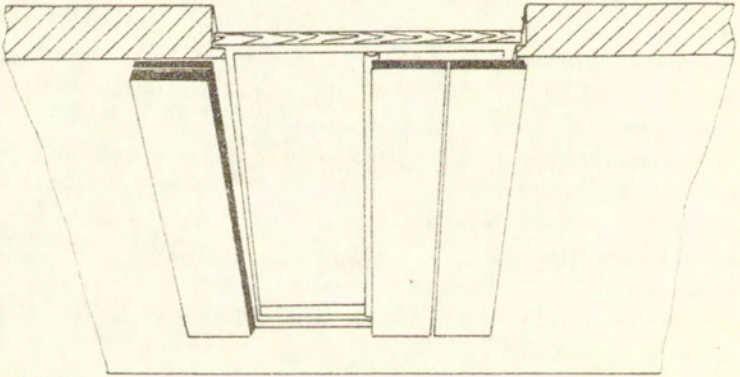
1. Sposób ochrony okien powinien być tak dobrany, aby w sezonie ogrzewczym zmniejszył zużycie ciepła, zaś w okresie letnim, w miarę potrzeby, łagodził uciążliwy wpływ nasłonecznienia.
2. Obecność osłony termooizolacyjnej nie może ograniczać podstawowych funkcji okien. W szczególności, otwarta osłona nie powinna: pogarszać warunków dopływu promieniowania słonecznego i naturalnego oświetlenia pomieszczeń, sprzyjać powstawaniu dużych kontrastów świetlnych, utrudniać wietrzenia oraz trwale ograniczać kontaktu ze środowiskiem zewnętrznym.
3. Konstrukcja osłony musi być prosta, lekka, trwała i tania. Zastosowane materiały powinny być odporne na cykliczne wahania temperatury, zaś w przypadku osłon zewnętrznych - także na wpływ wiatru i opadów atmosferycznych.
4. Po zamknięciu osłony obecność dodatkowej warstwy termooizolacyjnej nie może być przyczyną kondensacji pary wodnej na szybach, ani powstawania zmiennych naprężeń termicznych, pogarszających szczelność lub doprowadzających do pęknięcia szyb.
5. Wskazane jest, aby właściwy efekt energetyczny był uzyskiwany przy minimalnej ingerencji użytkowników. Sposób zamykania i otwierania osłony musi być jak najmniej kłopotliwy.
6. Elementy dodatkowej ochrony cieplnej okien powinny harmonizować z całą elewacją budynku i wystrojem architektonicznym wewnątrz.

Za rozwiązanie najbardziej efektywne pod względem ochrony cieplnej są uznawane osłony usytuowane po zewnętrznej stronie okien. Ich zaletą jest utrzymywanie temperatury szyb zbliżonej do temperatury powierzchni ścian. Zmniejsza to lub eliminuje kondensację pary wodnej. Nie bez znaczenia jest również fakt, iż osłony tego rodzaju nie zajmują miejsca w pomieszczeniu. Nieco kłopotliwe bywa natomiast ich zamykanie i otwieranie. Podobne zalety wykazują osłony umieszczane między szybami. W tym przypadku powierzchnia warstwy termooizolacyjnej jest jednak ograniczona wymiarami szyb, a jej grubość - odległością między szybami. Przy stosowaniu osłony po wewnętrznej stronie okna kondensacja pary wodnej na szybach staje się z reguły nieunikniona. Po otwarciu osłony wewnętrznej okno jest poddawane gwałtownej zmianie temperatury, czemu towarzyszą znaczne naprężenia termiczne w szybach i ramach.

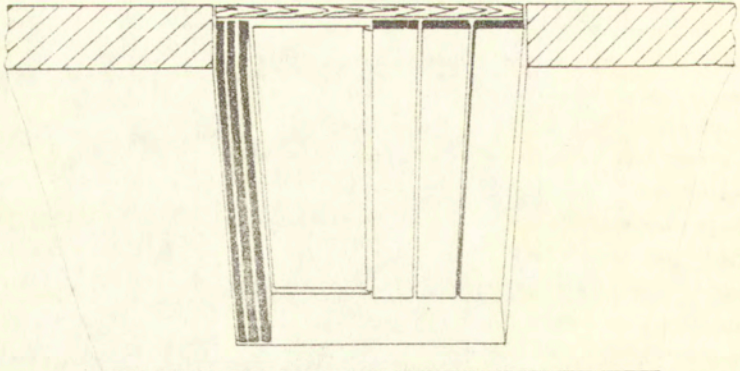
a)



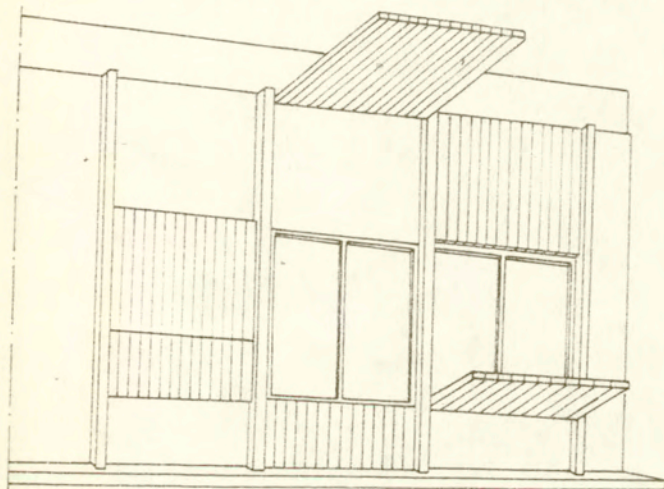
b)



c)



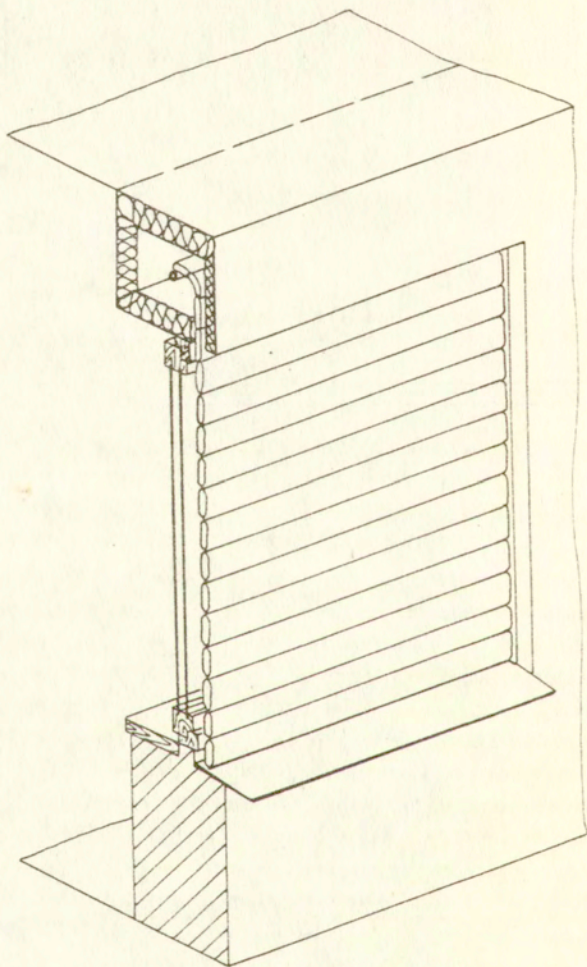
Rys. 3.26. Okiennice: a) rozwieralne; b) rozwieralno-składane; c) składane
<http://rcin.org.pl>



Rys.3.27. Zewnętrzne okiennice przesuwno-uchyłne

Klasycznym urządzeniem do okresowej izolacji cieplnej są okiennice. Trzy warianty, różniące się sposobem zamykania, pokazano na rys. 3.26. Natomiast z punktu widzenia strategii wykorzystania okien w systemie zysków bezpośrednich interesujący przykład przedstawia rys. 3.27. Dzięki pionowemu kierunkowi przesuwu płyt jest to rozwiązanie korzystne dla okien szerokich lub położonych blisko siebie. Regulowany stopień otwarcia pozwala sterować dopływem energii słonecznej. Dodatkowa możliwość odchylenia skrzydeł sprawia, że górne może stanowić okap zacieniający, a dolne - reflektor promieniowania. Coraz większą popularność zdobywają rolety i żaluzje (rys. 3.28, 3.29). Za granicą oferowane są konstrukcje okien fabrycznie już wyposażone w elementy okresowej ochrony cieplnej. Proponuje się też stosowanie specjalnych zasłon z folii refleksyjnej, zatrzymującej w pomieszczeniu promieniowanie ciepłe [25,27,29,41]. Dla orientacji, w tablicy 3.6 scharakteryzowano potencjał zmniejszenia strat ciepła przez okna wyposażone w dodatkowe osłony termoizolacyjne. Wzmocnienie pożądanego efektu można uzyskać przez równoczesne wykorzystywanie kilku rodzajów osłon.

Opisane urządzenia mogą być z równie pozytywnym skutkiem używane także do ochrony innych elementów spełniających funkcję kolektora, a więc ścian kolek-



Rys. 3.28. Zewnętrzna roleta termoizolacyjna z profili tłoczonych z tworzywa sztucznego

Tablica 3.6

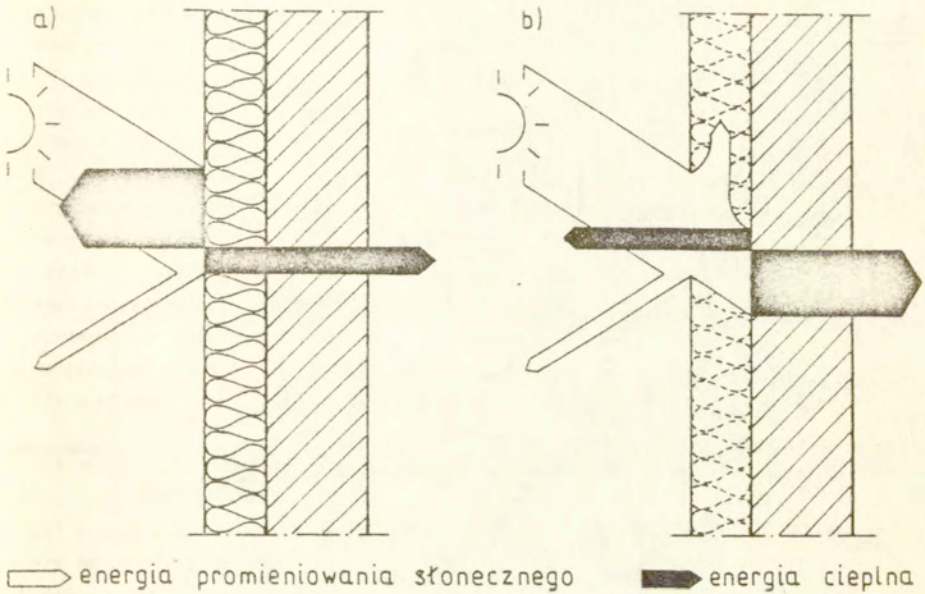
Zmniejszenie strat ciepła przez okna podwójnie oszklone ($k_o = 2,6 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) w zależności od rodzaju dodatkowej osłony termoizolacyjnej [33]

Rodzaj osłony termoizolacyjnej	Zmniejszenie strat ciepła przez okno
Okiennice zewnętrzne, w zależności od grubości warstwy izolacyjnej i rodzaju materiału	66 - 87 %
Rolety z grubej tkaniny lub elastycznego tworzywa sztucznego:	
- zewnętrzne	35 %
- między szymbami	20 %
- wewnętrzne	10 - 30 %
Rolety żaluzjowe zewnętrzne:	
- z blachy aluminiowej	15 %
- drewniane o grubości 30 mm	57 %
- z tłoczonych profili z tworzywa sztucznego	do 70 %
Zasłony wewnętrzne:	
- tkaninowe	18 - 25 %
- z folii polietylenowej	28 - 36 %
- z folii aluminiowej	16 %

torowo-akumulacyjnych i przestrzeni buforowej. Z uwagi na większe wymiary chronionej powierzchni problem staje się jednak trudniejszy do rozwiązania.

Dla masywnych ścian kolektorowo-akumulacyjnych interesująca wydaje się koncepcja tzw. izolacji przezroczystej. Na powierzchni absorbera od zewnątrz nakłada się na stałe warstwę materiału przepuszczającego znaczną część krótkofalowego promieniowania słonecznego, a jednocześnie - dzięki małej wartości współczynnika przewodzenia ciepła - stanowiącego barierę dla strumienia wymianianego przez przenikanie (rys. 3.30). Po przemianie następującej na absorberze większość słonecznych zysków ciepła dociera do pomieszczenia. W nocy i podczas dni pochmurnych przezroczysty materiał spełnia rolę tradycyjnej izolacji termicznej. W porównaniu z izolacją okresową wykazuje ona następujące zalety:

- 1) ochrona ściany przed stratami ciepła przez przenikanie i wypromieniowanie na zewnątrz bez przerywania dopływu energii słonecznej do absorbera;



Rys. 3.30. Zasada działania zwykłej (a) i przezroczystej (b) izolacji cieplnej ścian zewnętrznych

- 2) brak potrzeby odsłaniania i zasłaniania ściany w zależności od pory doby i warunków pogodowych;
- 3) możliwość stosowania na całej wysokości elewacji budynków wielokondygnacyjnych;
- 4) przydatność materiałów optycznie czynnych przy docieplaniu istniejących budynków poddawanych zabiegom termorenowacyjnym.

Na przeszkodzie do szerszego stosowania przezroczystej izolacji cieplnej stoją natomiast problemy natury estetycznej związane z kształtowaniem elewacji, wątpliwości co do wpływu takiej ochrony cieplnej ścian na warunki termiczne pomieszczeń w lecie oraz otwarta kwestia dostępności właściwych materiałów o wymaganej strukturze [36].

Reflektory promieniowania słonecznego

Wzmocnienie strumienia energii słonecznej oraz skierowanie go w pożądanym kierunku można uzyskać przy pomocy reflektorów. W pierwszym przypadku umiesz-

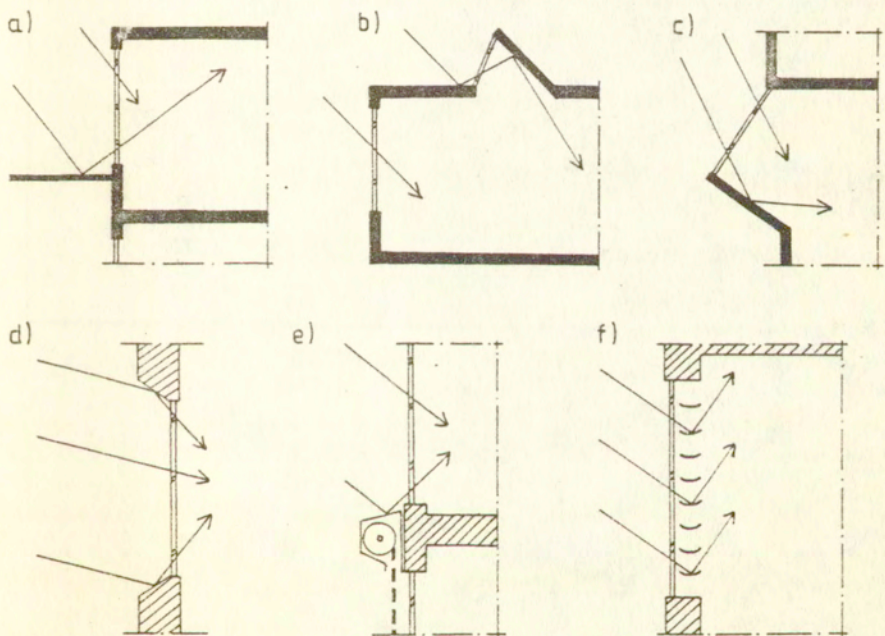
cza się je przed, a w drugim za przezroczystą osłoną kolektora, przy dolnej albo górnej krawędzi. Ocenia się, że w zależności od współczynnika odbicia promieniowania, orientacji i usytuowania reflektora można tym sposobem zwiększyć nasłonecznienie pomieszczenia o 30-40%. Przede wszystkim dotyczy to promieniowania bezpośredniego, zaś w pewnym stopniu także rozproszonego. Istotną zaletą jest możliwość kierowania promieni na ściany usytuowane w głębi budynku oraz bezpośrednio na strop. Polepszają się więc warunki insulacji i naturalnego oświetlenia rozległych pomieszczeń. Następuje bardziej równomierne pochłanianie i akumulacja ciepła. Nie występują tak znaczące różnice temperatury powierzchni przegród. Mankamentem związanym z obecnością jasnych, błyszczących płaszczyzn mogą być wyraźne kontrasty świetlne i odbłaski męczące wzrok. Dotyczy to szczególnie reflektorów usytuowanych pod oknami, kierujących promienie ku górze. Reflektory umieszczone po zewnętrznej stronie kolektorów ulegają szybkiemu zabrudzeniu i z czasem tracą swoje właściwości. Wymagają więc okresowego czyszczenia i renowacji powierzchni.

Panuje pogląd, że powierzchnia reflektora powinna być co najmniej tak wysoka, jak kolektor i nieco od niego szersza, aby kierować możliwie jak najwięcej promieni na absorber. Umieszczanie przy ścianach zewnętrznych, a tym bardziej w pomieszczeniach, specjalnych ekranów o rozbudowanej powierzchni nie jest jednak wygodne, więc raczej niechętnie widziane przez architektów. Bardziej praktyczne, aczkolwiek nieco mniej efektywne, wydaje się zatem wykorzystywanie pewnych elementów obudowy: okapów, dachów szedowych lub wnęk okiennych. Funkcję reflektora z powodzeniem mogą spełniać niektóre z poprzednio opisanych urządzeń do okresowej termoizolacji (rys. 3.31) [24,27,29,52,57].

W tablicy 3.7 podano współczynniki odbicia promieniowania słonecznego dla wybranych sposobów wykonczenia powierzchni. Natomiast na rys. 3.32 przedstawiono wykresy uzależniające efekt wzmocnienia od kąta ustawienia reflektora względem płaszczyzny przeszklonych elementów zewnętrznej obudowy. Wykresy dotyczą sezonu ogrzewczego w szerokości geograficznej około 50°N.

Elementy zacięniające

Stosowanie specjalnych elementów zacięniających tylko z pozoru może wydawać się sprzeczne z zasadą racjonalnego kształtowania elewacji budynku przystosowanego do pozyskiwania energii słonecznej. Charakter zmian intensywności nasłonecznienia często nie jest zgodny z przebiegiem zapotrzebowania ciepła do ogrzewania. W pewnych okresach zmusza to użytkowników budynku do ingerencji. Taka sytuacja ma miejsce na początku oraz pod koniec sezonu ogrzewczego. Za-



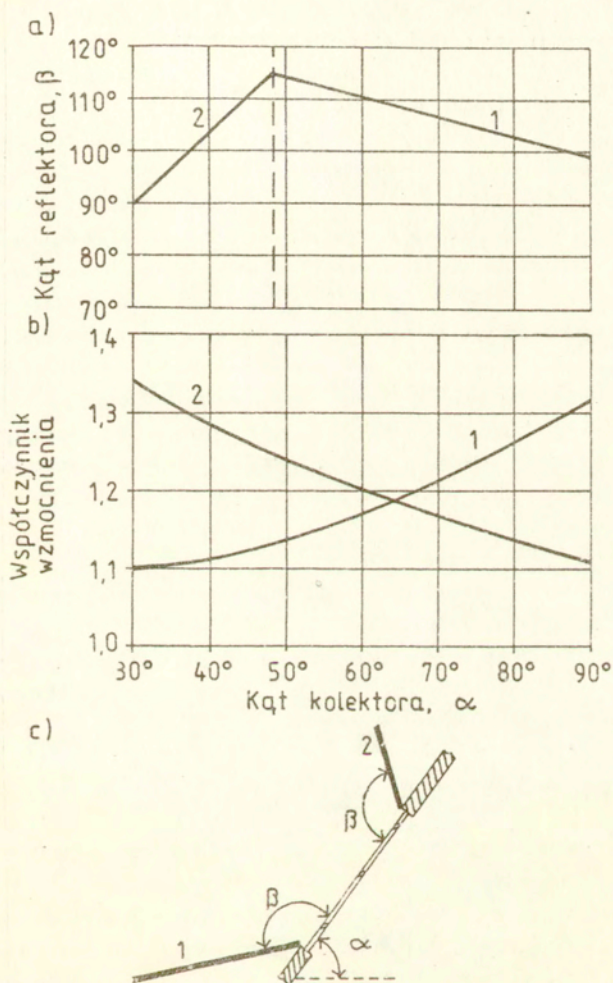
Rys. 3.31. Reflektory promieniowania słonecznego:

- a) zewnętrzny podokienny; b) szedowy; c) wewnętrzny podokienny;
- d) wykorzystanie wnęki okiennej; e) wykorzystanie obudowy rolety termoizolacyjnej; f) żaluzje o regulowanym kącie ustawienia listew

Tablica 3.7

Współczynnik odbicia promieniowania słonecznego dla różnych powierzchni reflektorów [1,52,57]

Pokrycie i stan powierzchni	Współczynnik odbicia promieniowania słonecznego
Biały lakier błyszczący	0,75 - 0,87
Biały papier	0,70
Emalia porcelanowa	0,60 - 0,90
Folia aluminiowa	0,70 - 0,95
Lustro szklane	0,80 - 0,90
Nierdzewna blacha stalowa	0,55 - 0,65
Polerowana blacha miedziana	0,70
Srebrny lakier metalizowany	0,70
Żółty lakier błyszczący	0,70



Rys. 3.32. Kąty nachylenia reflektorów względem płaszczyzny kolektora oraz odpowiadające im współczynniki wzmocnienia strumienia bezpośredniego promieniowania słonecznego w sezonie ogrzewczym dla szerokości geograficznej około 50°N

cienienie okien, ścian kolektorowych, czy przeszklonej obudowy przestrzeni buforowej bywa z reguły konieczne w porze letniej. Nie ulega wątpliwości, że im większa jest powierzchnia wymienionych kolektorów, tym bardziej prawdopodobne staje się okresowe przegrzewanie pomieszczeń w dni bezchmurne. Tym ważniejszą rolę odgrywają wtedy urządzenia zacieniające.

Podobnie, jak w przypadku reflektorów, można tu wykorzystywać większość z poznanych elementów okresowej termoizolacji, które - jak widać - nabierają wielostronnego zastosowania. Południową elewację korzystnie jest tak ukształtować, aby w określonym czasie jej powierzchnia znajdowała się w cieniu. Uzyskuje się to przez odpowiedni dobór proporcji wymiarów balkonów, okapów i bocznych filarów (rys. 3.33). Zacienienie w lecie osiąga się natomiast przez rozlokowanie drzew liściastych, krzewów i pnączy w pobliżu budynku: na loggiach, pergolach, balkonach oraz przy oknach. W tym kontekście obowiązek właściwego planowania najbliższego otoczenia, związany z rozmieszczeniem elementów tzw. "małej architektury", staje się jedną z zasad projektowania energooszczędnych budynków, a szczególnie - obiektów przystosowanych do biernego ogrzewania energią słoneczną. [1,2,7,29].

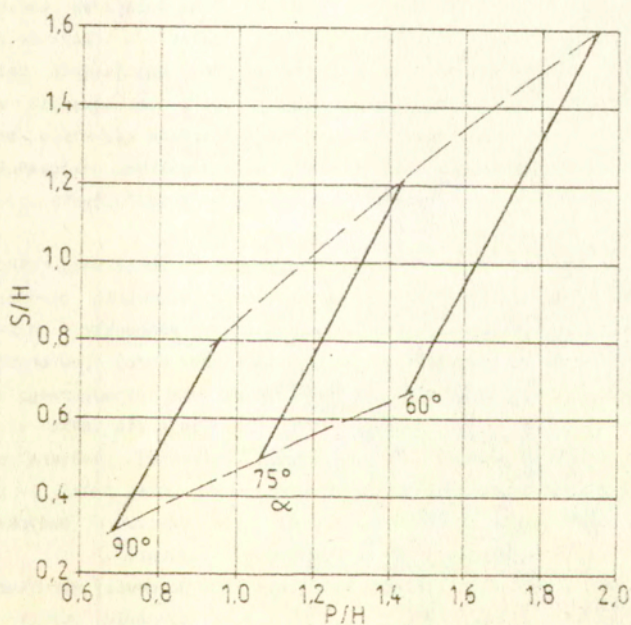
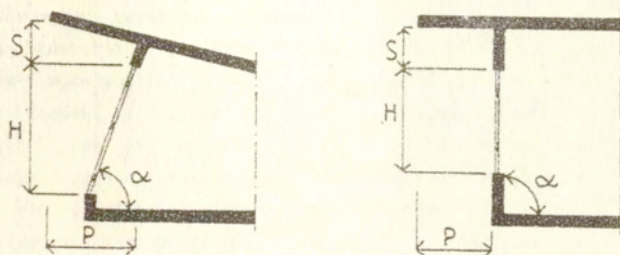
3.4. Materiały stosowane do pozyskiwania ciepła od nasłonecznienia

3.4.1 Przezroczyste osłony kolektorów

Z punktu widzenia technologii budowy urządzeń energetyki słonecznej rola przezroczystej osłony kolektora polega na:

- wytworzeniu "efektu szklarniowego";
- ograniczeniu konwekcyjnych strat ciepła z absorbera do otoczenia zewnętrznego;
- ochronie powierzchni absorbera przed niszczącym wpływem czynników atmosferycznych.

W związku z powyższym, materiały stosowane na osłony powinny charakteryzować się jak najlepszą przepuszczalnością promieniowania słonecznego, możliwie dużym oporem przewodzenia ciepła oraz stanowić wystarczającą barierę dla długofalowego promieniowania cieplnego. Muszą być trwałe, a więc odporne na działanie promieniowania ultrafioletowego, uszkodzenia mechaniczne i cykliczne zmiany temperatury. Jako dodatkowe elementy strukturalne budynku, powinny odpowiadać wymaganiom ogólnobudowlanym. Nie mogą zbyt obciążać konstrukcji i stwarzać niebezpieczeństwa dla użytkowników. Ze zrozumiałych względów powinny być dostępne na rynku i stosunkowo tanie.



Rys. 3.33. Proporcje wymiarów elementów zacięniających zapewniające zacięnienie południowych okien w porze letniej, w szerokości geograficznej około $50^\circ N$

Większość z przytoczonych wyżej wymagań spełnia zwykle szkło. Ono więc jest stosowane najczęściej, a w przypadku okien pełniących funkcję kolektora w systemie zysków bezpośrednich - niemal z reguły. Przy dużych powierzchniach ścian kolektorowych, kolektorowo-akumulacyjnych oraz do obudowy przestrzeni buforowej, ze względów bezpieczeństwa zaleca się szkło dodatkowo uodpornione na pęknięcie: zbrojone drutem lub hartowane. W miarę możliwości proponuje się montowanie płyt z tworzyw sztucznych na bazie poliestrów i poliwęglanów. Niektórzy sugerują stosowanie cienkich, elastycznych i lekkich folii, jednak poważnymi mankamentami tych materiałów są: szybkie starzenie się pod wpływem promieniowania ultrafioletowego, stopniowa utrata przezroczystości, częste pęknięcie na wietrze i w wielu przypadkach - palność. Pokrycia foliowe nie są zbyt estetyczne, zatem w budynku sprawiają wrażenie rozwiązań prowizorycznych. Na razie nie wydają się więc konkurencyjne w omawianym zastosowaniu dla szkła. W pewnych rozwiązaniach zaleca się przezroczyste folie jako dodatkowe warstwy umieszczane pod szybą zewnętrzną. Wspomina się także o korzyściach wynikających z naklejania na wewnętrznej powierzchni szyby specjalnych folii refleksyjnych, hamujących odpływ promieniowania cieplnego z pomieszczenia, ale na przeszkodzie stoją tu: wysoka cena, mała trwałość, a przede wszystkim brak krajowej produkcji na wystarczająco dużą skalę. Charakterystykę najczęściej wymienianych przezroczystych materiałów stosowanych na na przezroczyste osłony kolektorów słonecznych podano w tabelicy 3.8.

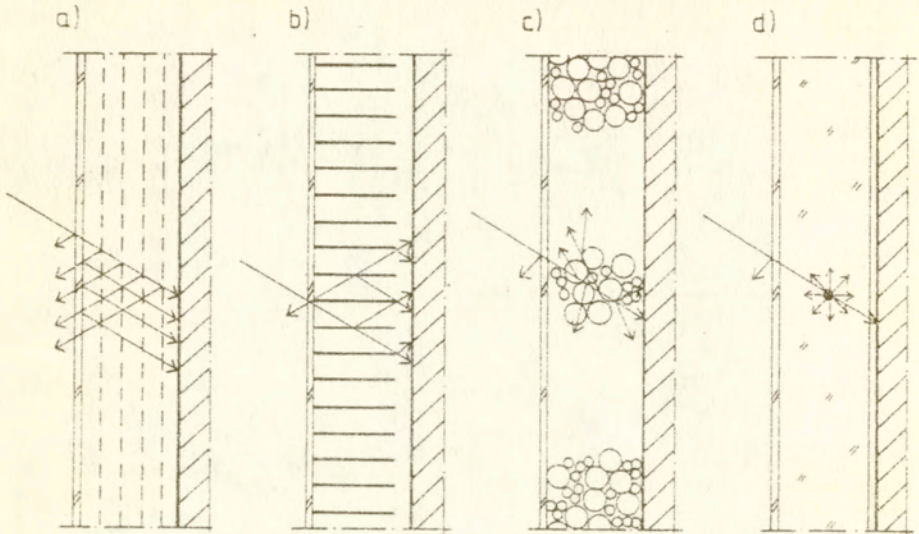
Obudowę przestrzeni buforowej, projektowanej z myślą o dodatkowej funkcji pomieszczenia użytkowego, niekiedy opłaca się wykonać z materiału przepuszczającego i równocześnie rozpraszającego promieniowanie słoneczne. Kosztem stosunkowo niewielkiej straty przepuszczalności, która przy dużej powierzchni kolektora praktycznie nie ma znaczenia, uzyskuje się warunki równomiernego napromieniowania przegród i elementów akumulacyjnych. Eliminuje się także efekt olśnienia oraz duże kontrasty świetlne w przestrzeni buforowej. Nabiera ona cech większej izolacji od otoczenia, korzystnie odczuwanej przez ludzi. Z powyższych względów matowe szyby rozpraszające są zalecane często w budynkach mieszkalnych jako oszklwienie werandy, czy przybudowanej szklarni.

Przezroczyste materiały o warstwowej, komórkowej lub porowatej strukturze mają stosunkowo dobre właściwości termoizolacyjne. Mogą stanowić zewnętrzną warstwę ścian kolektorowo-akumulacyjnych, umieszczaną między szybą ochronną a absorberem. Ich obecność radykalnie zmniejsza konwekcyjne straty ciepła oraz utrudnia odpływ promieniowania długofalowego na zewnątrz. Tworzą niejako pułapkę pozyskanej energii słonecznej i zwiększają sprawność kolektora. Na rys. 3.34 pokazano kilka przykładów struktur przezroczystych, przy czym:

Tablica 3.8

Charakterystyka przezroczystych materiałów stosowanych na osłony kolektorów słonecznych (okien, ścian kolektorowych lub kolektorowo-akumulacyjnych oraz przestrzeni buforowych [17,24,25,27,37, 41,47,57])

Materiał	Grubość mm	Masa kg/m ²	Współczyn- nik prze- puszczania promienio- wania sło- necznego	Współczyn- nik prze- puszczania promienio- wania cieplnego	Odporność na czynni- ki atmos- feryczne	Trwałość w latach
Szyby lub sztywne pły- ty:						
- ze szkła okiennego	3 - 4	7,5 - 10,0	0,85 - 0,88	0,02	doskonała	50
- ze szkła zbrojonego drułem	6	15,0	0,72 - 0,76	0,03	doskonała	50
- ze szkła metakrylo- wego	3 - 4	5,0	0,87 - 0,89	0,04	duża	10 - 15
- poliestrowe	16	4,0	0,83 - 0,87	0,06	duża	10
- poliwęglanowe	4 - 10	1,2	0,78 - 0,81	0,05	duża	7 - 15
Folie:						
- poliestrowa, wzmoc- niona włóknem	1 - 3	1,5 - 4,5	0,85 - 0,87	0,18	duża	4 - 8
- szklana	0,1 - 0,3	0,2	0,75 - 0,85	0,30	mała	1
- polietylenowa	0,3 - 0,4	0,7	0,65 - 0,70	0,21	mała	1
- poliipropylenowa	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,70 - 0,80	0,15	mała	1
- z polichloru winylu						



Rys. 3.34. Rodzaje struktury przezroczystej izolacji cieplnej ścian zewnętrznych:

- a) struktura warstwowa; b) struktura komórkowa;
c) struktura pęcherzykowa; d) struktura quasi-jednorodna

- a) struktury warstwowe (szyby, folie) charakteryzują się stosunkowo dużymi stratami na skutek odbicia promieni padających nie zawsze pod najkorzystniejszym kątem;
- b) struktury komórkowe typu "plaster miodu" ukierunkowują odbite promienie do absorbera i utrudniają cyrkulację powietrza w obrębie szczeliny;
- c) struktury ziarniste lub pęcherzykowe (szklane kulki, odpowiednio spreparowana folia), a także struktury quasi-jednorodne (włókna szklane lub poliestrowe, aerozeli) rozpraszają promieniowanie słoneczne w swojej objętości, ograniczają przewodzenie ciepła dzięki porowatości, a niekiedy również skutecznie akumulują ciepło.

Charakterystykę radiacyjno-optyczną oraz cieplną niektórych struktur przezroczystych o właściwościach termoizolacyjnych przedstawiono w tabelicy 3.9.

Tablica 3.9

Charakterystyka radiacyjno-optyczna i cieplna niektórych struktur przezroczystych o właściwościach termoizolacyjnych [21,44]

Rodzaj przezroczystej struktury i materiału	Grubość warstwy cm	Współczynnik przepuszczania promieniowania rozproszonego	Głębokość wnikania promieniowania cieplnego cm	Równoważny współczynnik przewodzenia ciepła W/(mK)
Struktury porowate				
Pianka poliakrylowa	1,6	0,55	1,06	0,055
Pianka poliwęglanowa	6,0 10,0	0,63 0,60	1,16 1,16	0,073 0,077
Kulki aerożelu luźno nasypane	1,2 1,6 2,0	0,53 0,52 0,44	0,16 0,16 0,16	0,032 0,032 0,033
Struktury komórkowe				
Komórki owalne:				
- ścianki ze styropianu	10,8	0,66	3,00	0,140
- ścianki z PCW	10,8	0,45	2,40	0,122
Komórki sześciokątne:				
- ścianki ze styropianu	4,3	0,75	2,20	0,095
- ścianki z PCW	10,8	0,48	1,70	0,098
- ścianki z poliamidu	9,8	0,61	1,60	0,094
Komórki kwadratowe, ścianki z poliwęglanu	10,0	0,71	2,00	0,108

3.4.2 Materiały pochłaniające promieniowanie słoneczne

Absorbery powinny być aktywne w stosunku do całego widma promieniowania słonecznego i charakteryzować się możliwie dużym współczynnikiem pochłaniania. Wiadomo, że warunek ten spełniają wystarczająco ciemne, matowe powierzchnie. Zastosowane tworzywa muszą być trwałe, odporne na zmiany temperatury i nie tracące z czasem swych początkowych własności.

W budynkach przystosowanych do biernego pozyskiwania energii słonecznej pochłanianie promieniowania z równoczesną zamianą w ciepło następuje przede wszystkim na powierzchni przegród budowlanych. Jednoczesne spełnienie wszystkich podanych wyżej wymagań może więc być czasem trudne, co bynajmniej nie podważa ich słuszności. Z tablicy 3.10 wynika, że właściwości radiacyjno-optyczne większości popularnych materiałów, z których wykonuje się przegrody, nie różnią się zbytnio od siebie. Większą uwagę trzeba zwrócić na dobór absorbera dla ścian kolektorowo-akumulacyjnych i kolektorowych. Ze względu na ograniczone wymiary tych elementów elewacyjnych niejednokrotnie opłaca się rozbudowywać powierzchnię pochłaniającą promieniowanie przez stosowanie żeber, fałd lub przestrzennej struktury komórkowej. W systemach semiaktywnych, w których przepływ powietrza przez kolektor ścienny jest wymuszony, zaleca się intensyfikować burzliwość strumienia omywającego płytę absorbera, dzięki czemu wzrasta przejmowanie ciepła. Rolę turbulizatorów mogą spełniać wspomniane żebra i fałdy, a także siatki lub płyty perforowane. Absorbery w ścianach kolektorowych wykonuje się często z blachy mocowanej pod przezroczystą osłoną tak, aby powietrze przepływało również pod absorberem.

Pochłanianie promieniowania słonecznego w systemie zysków bezpośrednich zachodzi praktycznie na powierzchni wszystkich przegród otaczających pomieszczenie, niekiedy o zróżnicowanych właściwościach radiacyjno-optycznych. Operuje się wtedy równoważnym współczynnikiem pochłaniania, charakteryzującym całe pomieszczenie. Jak wynika z tablicy 3.11, wartość tego parametru zależy nie tylko od zdolności absorpcyjnej obudowy, ale także od stosunku powierzchni okien do powierzchni przegród nieprzezroczystych, uwzględniającego straty promieniowania rozproszonego. Współczynnik pochłaniania promieniowania słonecznego przez przegrody otaczające pomieszczenie określa się natomiast jako średnią ważoną względem ich powierzchni. Przy ustalaniu wartości charakteryzujących poszczególne kolory można korzystać z danych przytoczonych w tablicy 3.12.

Tablica 3.40

Współczynniki pochłaniania promieniowania słonecznego i emisji promieniowania ciepłego dla powierzchni różnych materiałów [3,6,17,18,25,41,45,47,52]

Rodzaj materiału	Współczynnik pochłaniania promieniowania słonecznego	Współczynnik emisji promieniowania ciepłego
Asfalt	0,82 - 0,89	0,91
Beton	0,60 - 0,75	0,94
Cegła ceramiczna:		
- jasna	0,56 - 0,60	0,86
- ciemna	0,63 - 0,70	0,90
Cegła silikatowa	0,30 - 0,44	0,91
Drewno:		
- jasne	0,36	0,82
- ciemne	0,60 - 0,65	0,86
Gazobeton (beton komórkowy)	0,40 - 0,60	0,90
Gips	0,50	0,90
Gleba:		
- czarna	0,86 - 0,92	0,96
- szara	0,70 - 0,75	0,94
Kamień:		
- granit	0,55	0,90
- marmur	0,40 - 0,46	0,90
- piaskowiec	0,60	0,83
- polny	0,60 - 0,80	0,90
- żwir rzeczny	0,85	0,90
Klinkier	0,56	0,75
Papa:		
- bitumiczna	0,86	0,91
- smołowa	0,93	0,91
Piasek	0,60 - 0,66	0,86
Szkło:		
- szyby	0,04 - 0,05	0,94
- bloki	0,05	0,94
Śnieg	0,07 - 0,30	0,82
Tynk zewnętrzny:		
- biały	0,18 - 0,25	0,91
- cementowo-wapienny	0,60 - 0,73	0,94
- czarny	0,91 - 0,94	0,96
Woda	0,88 - 0,94	0,95
Wykładzina dywanowa	0,60 - 0,65	0,90

Tablica 3.11

Równoważny współczynnik pochłaniania promieniowania słonecznego w pomieszczeniach [25,52]

Stosunek powierzchni okien do powierzchni przegród nieprzezroczystych	Współczynnik pochłaniania promieniowania słonecznego przez przegrody otaczające pomieszczenie				
	0,20	0,30	0,50	0,70	0,90
	Równoważny współczynnik pochłaniania promieniowania słonecznego w całym pomieszczeniu				
0,03	0,89	0,92	0,97	0,99	0,99
0,05	0,82	0,87	0,95	0,98	0,99
0,10	0,69	0,76	0,89	0,95	0,98
0,20	0,50	0,58	0,79	0,89	0,96

3.4.3 Materiały akumulujące ciepło

Materiały tworzące warstwy lub całe elementy akumulujące część ciepła pozyskanego od nasłonecznienia powinny charakteryzować się dużą pojemnością cieplną oraz zdolnością do szybkiego przewodzenia ciepła w obrębie swej struktury. Ponieważ szereg tradycyjnych materiałów budowlanych spełnia te wymagania, to wybór na ogół nie następuje z trudnością. Natomiast istotne jest prawidłowe rozmieszczenie masy akumulacyjnej w budynku oraz przyjęcie właściwej grubości warstwy aktywnej.

W literaturze poświęconej budynkom ogrzewanym energią słoneczną podkreśla się szczególną przydatność betonu, cegły ceramicznej, kamienia oraz surowej gliny. Zaleca się również stosowanie wody, ale w naszym klimacie wiąże się to z dodatkowymi kłopotami, o czym trzeba pamiętać. W popularnych opracowaniach

Tablica 3.12

Współczynniki pochłaniania promieniowania słonecznego dla powierzchni przegród pomalowanych na różne kolory [4,6,17,47,52]

Kolor przegrody	Stan lub odcień powierzchni	Współczynnik pochłaniania promieniowania słonecznego
Biały	błyszcząca matowa	0,20 - 0,25 0,30
Brązowy	ciemna jasna	0,80 - 0,85 0,50 - 0,79
Czarny	błyszcząca matowa	0,90 - 0,92 0,91 - 0,97
Czerwony	ciemna jasna	0,75 0,65 - 0,74
Niebieski	ciemna jasna	0,90 - 0,91 0,51 - 0,84
Szary	ciemna jasna	0,90 - 0,91 0,70 - 0,88
Srebrny	gładka	0,20 - 0,30
Zielony	ciemna jasna	0,85 - 0,95 0,47 - 0,84
Żółty	ciemna jasna	0,60 - 0,78 0,48 - 0,57

utarło się klasyfikowanie przydatności omawianych materiałów wyłącznie w oparciu o ich pojemność cieplną, a więc tylko o pierwsze z wymienionych na wstępie kryteriów. Bardziej miarodajna jest ocena uwzględniająca zarówno wspomnianą pojemność, jak i szybkość przewodzenia w głąb materiału. Odpowiednim parametrem oceny staje się zatem, znany z fizyki budowli, współczynnik wnikania:

$$(3.2) \quad b = \sqrt{c\rho\lambda}, \quad [J/(m^2 s^{0,5} K)]$$

lub jego modyfikacja, odzwierciedlająca cykliczny charakter przebiegu procesu w ciągu doby, zaproponowana w pracy [6] i określona mianem wskaźnika dobowej zdolności akumulacyjnej:

$$(3.3) \quad S_{24} = b \left(t_o / (2\pi) \right)^{0,5}, \quad [J/(m^2 K)]$$

przy czym:

c - ciepło właściwe materiału, $J/(kgK)$,

t_o - okres dobowego cyklu ładowania i rozładowania zasobnika, s ,

λ - współczynnik przewodzenia ciepła, $W/(mK)$,

ρ - gęstość materiału, kg/m^3 .

Właściwości fizyczne materiałów wykorzystywanych do akumulacji ciepła w budynkach ogrzewanych energią słoneczną oraz odpowiadające im wartości proponowanego wskaźnika zestawiono w tabelicy 3.13. Natomiast w tabelicy 3.14 przytoczono najczęściej spotykane w literaturze przykłady substancji używanych jako wypełnienie zasobników chemicznych. Ograniczono się do prezentacji tylko tych, dla których temperatura przemiany fazowej odpowiada wymaganiom stawianym urządzeniom ogrzewczym. Rozważając ich praktyczną przydatność w omawianych systemach małej energetyki słonecznej trzeba zwrócić uwagę na szereg mankamentów, do których należą: mała stabilność chemiczna, agresywność w stosunku do innych materiałów powodująca ich przyspieszoną korozję, czasami toksyczność oraz z reguły wysoka cena.

3.4.4 Materiały termoizolacyjne

Obowiązuje ogólna zasada, aby budynki, w których przewiduje się bierne wykorzystywanie energii słonecznej do ogrzewania, charakteryzowały się możliwie małymi stratami ciepła. Z założenia muszą to być budynki energooszczędne. W określonych warunkach klimatycznych straty przez przenikanie zależą w decydującym stopniu od ciepłochronnych właściwości przegród zewnętrznych, a ściślej - od jakości zastosowanych materiałów izolacyjnych. Wybór materiału jest w pierwszym rzędzie podyktowany jego ceną i dostępnością

Tablica 3.43

Właściwości fizyczne materiałów wykorzystywanych do akumulacji zysków ciepła od nasłonecznienia [9,18,29,45]

Material	Gęstość kg/m ³	Ciepło właściwe J/(kgK)	Współczynnik przewodzenia ciepła W/(mK)	Wskaźnik dobowej zdolności akumulacyjnej kJ/(m ² K)
Beton:				
- z kruszywem kamiennym	2400	840	1,45	200,5
- komórkowy (gazobeton)	700	840	0,35	53,2
	500	840	0,25	38,0
Cegła:				
- ceramiczna	1800	840	0,79	128,2
- klinkierowa	1900	920	1,05	158,9
- silikatowa	1900	840	1,05	151,8
Cement:				
- gładź cementowa	2000	840	1,20	166,5
- tynk cem.-wap.	1850	840	1,00	146,2
Gлина surowa	2000	880	0,93	150,0
Grunt roślinny	1800	1260	0,90	167,5
Gruz ceglany	1500	650	0,44	76,8
Kamień:				
- granit	2650	900	2,90	308,4
- marmur	2500	880	3,50	325,4
- piaskowiec	2200	712	1,83	198,5
- polny	2400	840	2,36	255,8
- wapień	2000	840	1,15	163,0
- żwir	2050	840	1,20	168,6
Szkło:				
- płyty	2710	837	0,81	153,9
- bloki	3500	837	0,81	180,6
Terakota	2000	920	1,05	163,0
Woda	995	4178	0,63	189,8

Tablica 3.14

Charakterystyka niektórych substancji chemicznych stosowanych do akumulacji ciepła [10,18,49]

Substancja chemiczna	Punkt przemiany fazowej °C	Ciepło przemiany fazowej kJ/kg
Azotan cynku $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	36	147
Azotan litu $LiNO_3 \cdot 3H_2O$	30	296
Azotan wapnia $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	47	153
Chlorek wapnia $CaCl_2 \cdot 6H_2O$	30	170
Kwaśny fosforan sodu $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$	36	265
Parafiny i substancje woskowe	40 - 60	180 - 209
Siarczan sodu (sól glauberska) $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	32	251
Tiosiarczan sodu $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	49	210

Tablica 3.15

Właściwości fizyczne materiałów termoizolacyjnych stosowanych
w budynkach [28,30]

Materiał	Gęstość kg/m ³	Ciepło właściwe J/(kgK)	Współczynnik przewodzenia ciepła W/(mK)
Filec izolacyjny *	300	1670	0,060
Keramzyt	700 - 900	750	0,186 - 0,260
Maty:			
- z włókien szklanych	60 - 90	840	0,046
- z trzciny	300 - 350	1460	0,070 - 0,100
Mech	135 - 150	1460	0,046
Odpady skórzane:			
- luźne	300	1460	0,033
- sprasowane	650	1460	0,120
Pianka poliuretanowa	30 - 50	1460	0,035
Płyty:			
- paździerzowe	300 - 700	1460	0,080 - 0,130
- pilśniowe	350	1460	0,058
- słomiane	300	1460	0,080
- styropianowe	16 - 40	1460	0,035
- włórowe	700	2090	0,116
- włórowo-cementowe	340 - 460	2090	0,093 - 0,105
- z wełny mineralnej	60 - 200	750	0,046 - 0,064
Torf	150 - 300	1260	0,058 - 0,081
Trociny	150 - 250	2510	0,090
Wata szklana	70 - 90	840	0,040 - 0,046
Wióry drzewne:			
- luzem	150	2500	0,058 - 0,090
- ubite	300	2510	0,093
Włóknina syntetyczna:			
- luźna	50 - 150	1460	0,045
- sprasowana	300	1460	0,075
Żużel wielkopiecowy	400 - 700	750	0,140 - 0,209

na rynku, a także kryteriami ogólnobudowlanymi.

Do nowoczesnych materiałów stosowanych w budownictwie zalicza się przede wszystkim wełnę mineralną, wełnę szklaną, szkło piankowe, styropian i piankę poliuretanową. Niestety, ich podaż na krajowym rynku nie odpowiada obecnie rzeczywistym potrzebom. Sytuację próbuje się ratować przez wykorzystanie pewnych odpadów przemysłowych, takich jak włóknina, mikroguma, skrawki skóry itp. Materiały pochodzenia roślinnego, szeroko stosowane w ubiegłych latach, na ogół nie wytrzymują konkurencji z wymienionymi wyżej wyrobami opartymi na surowcach mineralnych i tworzywach sztucznych. Są mniej trwałe, palne, nieodporne na gnicie, czy zagrzybieniu. Nadal jednak mają pewne znaczenie w budownictwie indywidualnym.

Właściwości fizyczne najpopularniejszych lub szczególnie zalecanych materiałów termoizolacyjnych przedstawiono w tablicy 3.15.

3.5. Projektowanie systemów i wymiarowanie elementów wyposażenia

3.5.1. Właściwy sposób postępowania

Ze względu na specyfikę naturalnego źródła ciepła, jakim jest promieniowanie słoneczne, projektowanie omawianych systemów w nowych budynkach nie powinno sprowadzać się jedynie do uzupełniania konstrukcji zewnętrznej obudowy o określone elementy helioaktywne. Tak ograniczony zakres działań można, z konieczności, uznać za uzasadniony jedynie w przypadku termorenowacji obiektów istniejących, kiedy wiele czynników jest z góry bezpowrotnie zdeterminowanych. Racjonalne decyzje dotyczące systemu biernego wykorzystania zysków ciepła od nasłonecznienia trzeba podejmować we wszystkich stadiach projektowania. Począwszy od planu urbanistycznego osiedla, poprzez projekty: otoczenia budynku, jego architektury i konstrukcji, aż do określenia sposobu konwencjonalnego ogrzewania. Tym samym jest zrozumiałe, iż w proces projektowania muszą być zaangażowani specjaliści różnych branż działający w porozumieniu. Jednak niektóre rozwiązania mogą forsować wpływ czynników energetycznych kosztem ograniczenia pozostałych funkcji budynku i przez to budzić sprzeciw części projektantów.

Z powyższych względów uzasadnione wydaje się zalecenie wariantowego projektowania budynku z możliwością bieżącego porównywania proponowanych koncepcji w celu wyboru najkorzystniejszych rozwiązań. Oczywiście, wybór ten musi być oparty o obiektywne kryteria optymalizacji, których sformułowanie wykracza poza zakres niniejszej pracy. Ograniczono się więc do wskazania kryterium do-

tyczącego prognozowanej efektywności systemów biernego wykorzystania energii słonecznej jako miarodajnego wskaźnika oceny poszczególnych wariantów. Trzeba jednak wyraźnie zaznaczyć, że ani nie jest to kryterium jedyne, ani - tym bardziej - wystarczające.

W niniejszym rozdziale zebrano zalecenia i wskazówki ułatwiające projektowanie budynków przystosowanych do biernego wykorzystania słonecznych zysków ciepła przy ogrzewaniu pomieszczeń. Dotyczą one niektórych zasad planowania urbanistycznego, projektowania architektoniczno-budowlanego, projektowania systemów pozyskiwania, akumulacji i rozdziału ciepła, wymiarowania helioaktywnych elementów strukturalnych oraz właściwego doboru konwencjonalnego urządzenia ogrzewczego. Usystematyzowane zalecenia oparto o zagraniczne publikacje [3,4,5,6,16,17, 24,27,37,41,47,49,52,53,57] oraz o dotychczasowe własne prace [32,34,35,36]. Można przypuszczać, iż w miarę nabywania nowych doświadczeń niniejsze zasady projektowania będą uściślone bądź uzupełnione.

3.5.2 Ogólne zasady projektowania budynków

Lokalizacja na działce i usytuowanie w grupowej zabudowie

Budynek należy zlokalizować tak, aby w sezonie ogrzewczym zapewnić nasłonecznienie przede wszystkim południowej elewacji co najmniej w godzinach od 9⁰⁰ do 15⁰⁰. W miarę możliwości trzeba więc dążyć do usytuowania budynku w północnej części działki, zwracając uwagę, aby jedna z jego elewacji (przy zróżnicowanych powierzchniach - największa) była zwrócona na południe, ku przestrzeni wolnej, w podanym uprzednio czasie, od zacielenia. Pewne trudności mogą wystąpić przy lokalizacji budynków bliźniaczych i szeregowych. Jeżeli istnieje dowolność orientacji ciągu takich budynków, to pierwszeństwo powinna mieć oś wschód-zachód lub kierunek bardzo do niej zbliżony. Panuje zgodny pogląd, iż odchylenie kolektora od południowej ekspozycji o $\pm 15^{\circ}$ nie wpływa zauważalnie na sumę pozyskiwanego ciepła. Natomiast przy odchyleniu o $\pm 30^{\circ}$ globalna efektywność systemu maleje o około 10%.

Ważne jest prawidłowe rozmieszczenie roślinności wokół budynku:

- a) od strony południowej tylko rośliny tracące liście na zimę (kwiaty, warzywa, niskie szpalery krzewów);
- b) przy pozostałych elewacjach, szczególnie od zachodu i północy, rośliny tworzące ekrany chroniące przed wiatrem oraz opadami atmosferycznymi, a ponadto - spełniające rolę dodatkowej warstwy termoizolacyjnej (drzewa iglaste, wysokie szpalery krzewów, gęste rośliny pnące).

Projektowane, albo już istniejące obiekty nie powinny pogarszać warunków insolacyjnych. Jednocześnie zaś zwarta zabudowa osiedla sprzyja zmniejszeniu strat ciepła, dzięki czemu relatywnie wzrasta udział zysków od nasłonecznienia w ich pokrywaniu. W przypadku planowania osiedla mieszkaniowego zaleca się, aby gęstość zabudowy jednego hektara terenu nie przekraczała 30-40 budynków, najlepiej dwu- i trzykondygnacyjnych, zajmujących do 40% powierzchni każdej działki. W podanym zakresie większa gęstość zabudowy dotyczy terenu pofałdowanego, jeśli budynki posadawia się na południowych stokach.

Sąsiednie budynki lub inne obiekty nie powinny zacieniać powierzchni spełniających funkcję kolektora promieniowania słonecznego. Minimalną odległość południowej elewacji rozpatrywanego budynku od ewentualnej przeszkody wyznacza się z zależności:

$$(3.4) \quad L_{\min} = H_p \operatorname{ctg}(h_s), \quad [m]$$

w której:

H_p - wysokość przeszkody mogącej zacieniać rozpatrywaną elewację, m
 h_s - kąt wysokości Słońca nad horyzontem, deg.

Dokładniejszą analizę warunków insolacyjnych na obszarach zabudowanych można przeprowadzić graficznie, za pomocą znanych architektom wykresów pozornego ruchu Słońca. Trzeba też pamiętać o wykorzystaniu naturalnej rzeźby terenu, a szczególnie łagodnych południowych stoków wzgórz.

Oprócz powyższych zaleceń, w fazie planowania urbanistycznego niezbędne jest kierowanie się zasadami "projektowania zgodnego z klimatem regionu" oraz wprowadzanie elementów budownictwa proekologicznego [34].

Kształt i wielkość budynku

Już z założenia obiekt przystosowany do biernego wykorzystania promieniowania słonecznego musi odpowiadać kryteriom energooszczędnego budownictwa. Bryła budynku, a zwłaszcza jej część ogrzewana, powinna więc być zwarta, pozbawiona nieuzasadnionej liczby załamań, występów i narożników stanowiących potencjalne mostki cieplne. Jednym z kryteriów zwartości bryły budynku jest tzw. współczynnik kształtu, wyrażający stosunek sumarycznej powierzchni przegród zewnętrznych do ogrzewanej kubatury:

$$(3.5) \quad C = \sum A_e / V_B, \quad [m^2/m^3]$$

gdzie:

$\sum A_e$ - powierzchnia wymiany ciepła równa sumie wszystkich powierzchni przegród zewnętrznych, m^2

V_B - kubatura ogrzewanej części budynku, m^3 .

Powyższy wskaźnik jest często stosowany do pośredniej oceny jakości energetycznej projektowanych budynków. Ponieważ strumień strat ciepła przez przenikanie jest wprost proporcjonalny do powierzchni przegrody, dąży się do jak najmniejszej wartości wymienionego wskaźnika.

Zasady "słonecznej architektury" narzucają warunek, aby budynek miał kształt wydłużony w osi wschód-zachód. Wtedy bowiem pochłaniająca promieniowanie słoneczne południowa elewacja dominuje nad pozostałymi. Jednocześnie można zredukować powierzchnię ściany północnej: albo przez jej częściowe zagłębienie w gruncie (dotyczy budynków usytuowanych na stokach wzgórz), albo przez zaprojektowanie trapezowego kształtu poziomego rzutu budynku. Należy pamiętać, iż zbytne wydłużanie jednej z osi budynku nie jest korzystne ze względów funkcjonalnych. W literaturze spotyka się zalecenie, aby proporcja boków nie przekraczała stosunku 1:2.

Dotychczasowa praktyka wykazuje, że systemy biernego pozyskiwania energii słonecznej do ogrzewania są najczęściej stosowane i dają najlepsze efekty w małych budynkach mieszkalnych. Powinny to być budynki minimum dwukondygnacyjne, gdyż parterowe charakteryzują się największymi jednostkowymi stratami ciepła. Racjonalnym rozwiązaniem są wysokie dachy tworzące poddasza częściowo lub całkowicie wykorzystywane jako pomieszczenia mieszkalne. Wysokość budynków wielorodzinnych zaleca się ograniczać do trzech, czterech kondygnacji. Ze wzrostem liczby kondygnacji coraz trudniej jest wyposażać obiekt w helioaktywne elementy strukturalne. Powyższe uwagi dotyczą zarówno budynków wolnostojących, jak i zabudowy szeregowej.

Rozplanowanie i wielkość pomieszczeń

Korzystne jest rozplanowanie przestronnych, "otwartych" wewnątrz bez tradycyjnego podziału na pojedyncze pomieszczenia. Sprzyja to bowiem równomiernemu rozprowadzaniu ciepła po całym budynku i zapobiega powstawaniu wyraźnych różnic temperatury. W przypadku małych, odizolowanych od siebie pomieszczeń naturalny przepływ ciepłego powietrza z południowej do północnej strefy budynku jest prawie niemożliwy bez stosowania wentylatora. Zróznicowanie temperatury staje się wyraźne. Ponadto występuje duże prawdopodobieństwo przegrzewania pomieszczeń nasłonecznionych w czasie, gdy północna strefa wymaga dogrzewania.

Przy ustalaniu wymiarów pomieszczeń zaleca się przestrzeganie następujących zasad:

1. Głębokość pomieszczenia, do którego promieniowanie słoneczne napływa bezpośrednio, nie powinna być większa od 2,5-krotnej wysokości okien spełniających funkcję kolektora. Gwarantuje to warunki równomiernego rozpraszania i pochłaniania promieniowania przez powierzchnię całej obudowy.
2. W pomieszczeniach o większej głębokości nie można powiększać wysokości okien celem utrzymania podanej proporcji wymiarów, gdyż na ogół prowadzi to do zbyt dużego stopnia przeszklenia elewacji. Ewentualnie trzeba rozważyć możliwość zastosowania świetlików.
3. Głębokość pomieszczenia ze ścianą kolektorowo-akumulacyjną o standardowej wysokości 2,5-2,8 m nie powinna przekraczać 6,0 m. Korzystniej jest jednak ograniczyć ją do około 4,5 m. W tych warunkach zapewnia się efektywne oddziaływanie promieniowania cieplnego, emitowanego z nagrzanej ściany, w całej strefie przebywania ludzi.

Pomieszczenia powinny być grupowane według wymaganego poziomu temperatury związanego z ich przeznaczeniem:

- a) pokoje wykorzystywane w ciągu dnia i wieczorem - w południowej i południowo-zachodniej części budynku;
- b) sypialnie i kuchnie - od wschodu;
- c) hall, klatka schodowa oraz pomieszczenia o drugorzędnym znaczeniu - w części północnej.

Wskazany strefowy układ pomieszczeń jest zgodny z naturalnym rytmem zmian temperatury w dni słoneczne. Ułatwia też regulację wydajności konwencjonalnych grzejników.

Ochrona ciepła

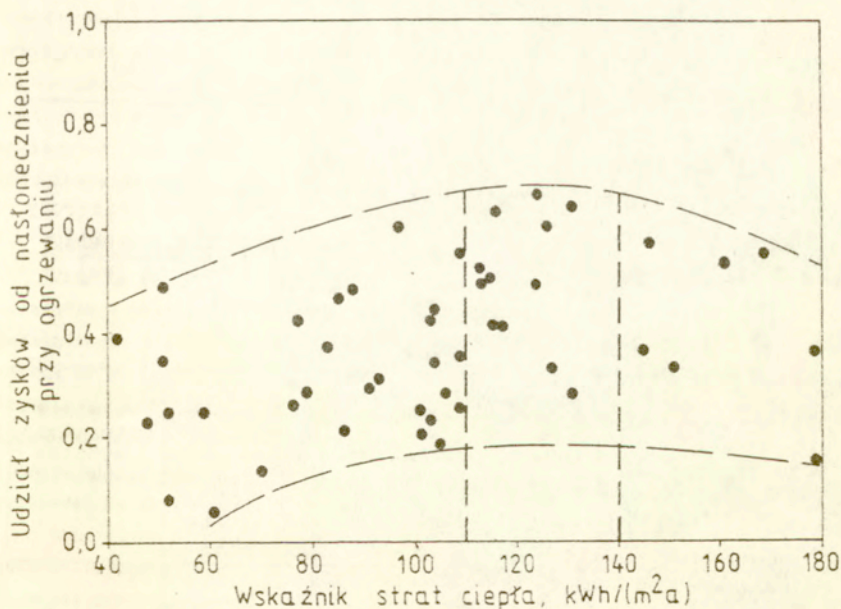
W określonych warunkach straty ciepła budynku zależą w decydującym stopniu od termoizolacyjnych właściwości przegród zewnętrznych oraz szczelności stolarki. Minimalny poziom ochrony cieplnej wyznacza aktualnie obowiązująca norma. Trzeba jednak pamiętać, iż dotychczas nie uwzględnia ona specyfiki wymagań stawianych w tym zakresie budynkom wykorzystującym zyski od nasłonecznienia przy ogrzewaniu pomieszczeń. Wspomina tylko ogólnikowo o korzyściach wynikających ze zwiększenia stopnia przeszklenia południowej elewacji.

Udział zysków od nasłonecznienia w pokrywaniu zapotrzebowania ciepła jest tym większy, im mniejsze są straty, a więc im lepsza jest izolacyjność termiczna i szczelność zewnętrznej obudowy. Ale wraz ze zwiększaniem grubości

warstw termoizolacyjnych w przegrodach rosną koszty materiałowe. W krajowej literaturze nie natrafiono na zalecenia poparte wynikami rzetelnej analizy optymalizacyjnej przeprowadzonej dla omawianych tu budynków. Zmusza to do sugestii wykorzystania dostępnych danych zagranicznych. Trzeba jednak odnosić się do nich ostrożnie i krytycznie, gdyż mogą dotyczyć nieco innych warunków ekonomicznych.

Zalecane wskaźniki izolacyjności cieplnej różnych budynków mieszkalnych przedstawiono w tabelicy 3.16. Natomiast w tabelicy 3.17 zawarto zalecane wartości współczynnika przenikania ciepła przez przegrody zewnętrzne, a także wskaźniki naturalnej wymiany powietrza określające pośrednio szczelność obudowy. Poszczególne poziomy ochrony cieplnej, na które powołano się w tabelicy, należy rozumieć następująco:

- poziom I - budynki o tradycyjnej konstrukcji i stolarce o przeciętnej szczelności;



Rys. 3.35. Zależność udziału słonecznych zysków ciepła przy ogrzewaniu od wskaźnika strat ciepła z budynku

Tablica 3.16

Zalecany poziom izolacyjności cieplnej budynków mieszkalnych przystosowanych do biernego wykorzystywania energii słonecznej przy ogrzewaniu pomieszczeń [25]

Rodzaj budynku	Liczba stopniodni ogrzewania, Kd		
	do 2500	2500 - 4400	pow. 4400
	Wskaźnik izolacyjności cieplnej, kWh/(m ² a)		
Wolnostojący budynek jednorodzinny	100	135	140
Budynek jednorodzinny w zabudowie zwartej, np. szeregowej	90	115	125
Budynki wielorodzinne	120	125	130

Tablica 3.17

Zalecane wartości współczynnika przenikania ciepła przez przegrody oraz wskaźnika naturalnej wymiany powietrza w budynkach wykorzystujących energię promieniowania słonecznego do ogrzewania [52]

Poziom ochronny cieplnej	Współczynnik przenikania ciepła, W/(m ² K)				Wskaźnik naturalnej wymiany powietrza h ⁻¹
	Ściany zewnętrzne	Stropodach	Podłoga		
			w pomieszczeniach mieszkalnych	w pozostałych pomieszczeniach	
I	0,5	0,3	0,5	1,1	0,8 - 1,0
II	0,3	0,2	0,5	0,6	0,6 - 0,7
III	0,2	0,15	0,3	0,6	0,5

- poziom II - budynki energooszczędne, w których zastosowano nowoczesne, efektywne materiały termoizolacyjne oraz stolarkę o zwiększonej szczelności;
- poziom III - budynki "superizolowane".

Zaczerpnięte z pracy [39] i pokazane na rys. 3.35 wyniki badań wykonanych w kilkudziesięciu małych budynkach mieszkalnych o różnej charakterystyce cieplnej wykazują istnienie pewnej zależności między udziałem zysków od nasłonecznienia a wskaźnikiem strat ciepła. Funkcja ta osiąga maksimum dla wartości wskaźnika strat zawartych w przedziale 110-140 kWh/(m²a), a więc zbliżonych do podanych w tablicy 3.16. Jest to wskazówką do ustalania optymalnej izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych tym bardziej wiarygodną, iż badano budynki wyposażone w różne systemy pozyskiwania ciepła od nasłonecznienia, zlokalizowane w różnych warunkach klimatycznych.

Gęste rośliny pnące zwiększają opór przejmowania ciepła od zewnętrznej powierzchni ściany. Ocenia się, że w ten sposób współczynnik strat przez przenikanie maleje o 10-16%. W lecie te same rośliny chronią ścianę przed niepotrzebnym nagrzewaniem. Równie pozytywną rolę spełniają przedsionki oraz przybudówki chroniące przed wiatrem i napływem zimnego powietrza bezpośrednio do ogrzewanych pomieszczeń. Wymienione pomocnicze czynniki ochrony cieplnej powinny być w miarę możliwości uwzględniane przy projektowaniu budynków. Bezdiskusyjne wydaje się natomiast zalecenie o wyposażaniu kolektorów w urządzenia do okresowej izolacji cieplnej.

Wybór systemu pozyskiwania energii słonecznej

Jest to ważny moment w procesie projektowania, gdyż w dużej mierze przesądza o późniejszej efektywności eksploatacyjnej. Wybór dotyczy trzech podstawowych rodzajów: systemu zysków bezpośrednich, systemu pośredniego ze ścianą kolektorowo-akumulacyjną lub kolektorową oraz systemu z oszkloną przestrzenią buforową jako kolektorem promieniowania słonecznego. Racjonalnym kryterium powinna więc być wspomniana już efektywność, ale trzeba brać pod uwagę również miejscowy klimat, przeznaczenie budynku, a także dostępność i cenę dodatkowych materiałów.

Generalnym zaleceniem jest łączenie w jednym budynku kilku systemów pozyskiwania energii słonecznej ze względu na ich specyficzne zalety uwidaczniające się przy różnych warunkach nasłonecznienia. Powstaje wtedy komplementarny układ o dużej elastyczności. Wypadkowa efektywność energetyczna przy prawidłowej eksploatacji jest na ogół wysoka. Przy projektowaniu południowej elewacji sugeruje się przyjmowanie proporcji powierzchni okien, ściany kolektorowo-akumulacyjnej oraz pionowego rzutu powierzchni oszklonej przestrzeni

buforowej w stosunku jak 1:2:3. Dotyczy to głównie małych budynków mieszkalnych. W większych, szczególnie wielokondygnacyjnych, mogą wystąpić trudności zmuszające do odstępstw.

Jeśli projektant zakłada preferowanie jednego z wymienionych systemów, to powinien brać pod uwagę następujące przesłanki:

1. System zysków bezpośrednich jest najtańszy i nie wymaga specjalnych elementów wyposażenia. Daje dobre wyniki przy małej częstotliwości występowania dni słonecznych w sezonie ogrzewczym. Jego efektywność, mierzona wskaźnikiem użytecznych zysków ciepła, wynosi 30-75% zależnie od dziennej sumy promieniowania słonecznego oraz pojemności cieplnej przegród budowlanych. Przy dużym nasłonecznieniu nieuniknione są wyraźne wahania temperatury wewnętrznej i trzeba liczyć się z trudnościami w przekazywaniu nadwyżek ciepła do dalszych pomieszczeń.
2. W systemie z masyną ścianą kolektorowo-akumulacyjną część zewnętrznej obudowy pozostaje bez warstwy termoizolacyjnej. W długich okresach pochmurnej pogody dodatkowe straty ciepła mogą znacznie przewyższać sporadyczne zyski i globalny bilans wypada niekorzystnie. Przy silnym nasłonecznieniu nie występuje nadmierne przegrzewanie pomieszczeń, ale zapewnienie wystarczającej powierzchni kolektorowej ogranicza wielkość okien i tym samym pogarsza warunki naturalnego oświetlenia wewnątrz. Efektywność systemu nie przekracza przeważnie 30-35%. Nie jest on zalecany w klimacie typowym dla Polski.
3. Podobne uwagi dotyczą systemu ze ścianą kolektorową. Jego zastosowanie w budynkach mieszkalnych wydaje się ograniczone. Celowe może być natomiast w innych rodzajach budynków (przemysłowych, inwentarskich itp.), w tym również w obiektach tradycyjnie nie ogrzewanych.
4. Przeszklona przestrzeń buforowa zajmuje dodatkowe miejsce, ale przeważnie nie jest to powierzchnia bezużyteczna. Sprawność pozyskiwania ciepła sięga tu 60-75% i w chłodnym, pochmurnym klimacie bywa większa o 5-9% od sprawności systemu zysków bezpośrednich. Przy silnej insolacji do pomieszczeń nie napływa tak dużo promieniowania słonecznego. Łatwiejsze są regulacja i rozdział ciepła w obrębie budynku.

W myśl powyższego postuluje się uwzględnianie następujących priorytetów:

- a) gdy sezonowa suma zysków od nasłonecznienia jest dużo mniejsza od całkowitego zapotrzebowania ciepła do ogrzewania, preferowany jest system zysków bezpośrednich;
- b) w przeciwnym przypadku korzystny staje się system z masyną ścianą kolektorowo-akumulacyjną.

Analogiczne kryteria obowiązują przy wyborze rodzaju przegrody między ogrzewanymi pomieszczeniami a przeszkloną przestrzenią buforową.

3.5.3 Projektowanie helioaktywnych elementów strukturalnych

Południowe okna

Im większa jest powierzchnia okien, tym większe zyski promieniowania docierają bezpośrednio do pomieszczeń i tym lepsze są warunki naturalnego oświetlenia wewnątrz. Z drugiej strony, nadmierny stopień przeszkleń elewacji bywa przyczyną niekorzystnego ukształtowania temperatury odczuwalnej oraz obniża izolacyjność cieplną zewnętrznej obudowy. Zalecane wskaźniki, wyszczególnione w tablicach 3.18 i 3.19, należy rozumieć jako kompromis między powyższymi kryteriami. Podane wartości, w odniesieniu do omawianych budynków, uzupełniają obowiązujące wymagania normowe.

Jeśli udział okien w łącznej powierzchni południowej ściany nie przekracza 20%, to w sezonie ogrzewczym nie ujawnia się niebezpieczeństwo okresowego przegrzewania pomieszczeń obniżające efektywność systemu pozyskiwania energii słonecznej. Bez względu na pojemność cieplną pozostałych przegród przegrzewanie jest nieuniknione, gdy udział ten jest większy niż 75%. Jako optymalne dla większości energooszczędnych budynków mieszkalnych, autorzy niemieccy podają wartości zawarte w przedziale 25-40% [27].

Przy wyborze kształtu i liczby okien należy pamiętać, iż - z uwagi na szczelność - korzystne są rozwiązania charakteryzujące się największą powierzchnią w stosunku do sumarycznego obwodu otwieralnych krawędzi. W skali całej elewacji warto więc projektować duże okna rzadko rozstawione, o kształcie zbliżonym do kwadratu.

Liczba szyb przesądza bardziej o izolacyjności cieplnej okien niż o przepuszczalności promieniowania słonecznego. Z tablicy 3.5 wynika, że dodanie trzeciej szyby zmniejsza współczynnik przenikania ciepła o około 23% w stosunku do okna oszklonego podwójnie, podczas gdy współczynnik całkowitych zysków energii słonecznej maleje o 12,5%. Z punktu widzenia efektywności systemu pozyskiwania ciepła od nasłonecznienia w naszych warunkach klimatycznych lepsze są okna o większej izolacyjności termicznej. Należy więc kierować się zaleceniami zawartymi w odpowiedniej normie.

Obudowa przestrzeni buforowej

Zalecane wskaźniki wielkości oszklonej przestrzeni buforowej, w zależności od miejscowych warunków klimatycznych, zestawiono w tablicy 3.20.

Tablica 3.18

Zalecane wskaźniki powierzchni południowych okien spełniających funkcję kolektora promieniowania słonecznego w systemie zysków bezpośrednich w energooszczędnych budynkach mieszkalnych, w zależności od miejscowych warunków klimatycznych [19,52]

Typ klimatu	Średnia temperatura zewnętrzna w sezonie ogrzewczym, °C	Stosunek powierzchni południowych okien do powierzchni podłogi
Klimat chłodny z przewagą dni słonecznych	- 6,7	0,24 - 0,38
	- 3,9	0,21 - 0,33
	- 1,1	0,19 - 0,29
Klimat umiarkowany z przewagą dni pochmurnych	+ 1,7	0,16 - 0,25
	+ 4,4	0,13 - 0,21
	+ 7,2	0,11 - 0,17

Tablica 3.19

Zalecane wskaźniki powierzchni południowych okien spełniających funkcję kolektora promieniowania słonecznego w systemie zysków bezpośrednich, w zależności od rodzaju budynku i liczby stopniodni ogrzewania [25]

Rodzaj budynku	Liczba stopniodni ogrzewania, Kd	
	do 2500	2500 - 4400
	Stosunek powierzchni południowych okien do powierzchni podłogi	
Wolnostojący budynek jednorodzinny	0,15 - 0,17	0,22 - 0,25
Budynek jednorodzinny w zabudowie zwartej, np. szeregowej	0,11 - 0,13	0,17 - 0,19
Budynki wielorodzinne	0,09 - 0,11	0,14 - 0,16

Odnoszą się one raczej do małych budynków wolnostojących, gdyż w przypadku większych, pozostających w zwartej zabudowie, nie zawsze dysponuje się dostateczną powierzchnią. Podane wartości trzeba więc traktować jako orientacyjne.

Tablica 3.20

Zalecane wskaźniki wielkości oszklonej przestrzeni buforowej w zależności od miejscowych warunków klimatycznych [52]

Typ klimatu	Średnia temperatura zewnętrzna w sezonie ogrzewczym, °C	Stosunek powierzchni oszklonej przestrzeni buforowej do powierzchni podłogi w ogrzewanych pomieszczeniach
Klimat chłodny	- 6,7	0,90 - 1,50
	- 3,9	0,78 - 1,30
	- 1,1	0,65 - 1,17
Klimat umiarkowany	+ 1,7	0,53 - 0,90
	+ 4,4	0,42 - 0,69
	+ 7,2	0,33 - 0,53

Autorzy niemieccy stwierdzają, że wpływ wielkości dobudowanej szklarni na efektywność pozyskiwania ciepła od nasłonecznienia jest niewielki, o ile stosunek jej powierzchni do powierzchni ogrzewanych pomieszczeń mieści się w przedziale 0,7-1,4. Stwierdzają, iż w każdym takim przypadku, przy spełnieniu innych warunków, suma zysków w dni słoneczne jest bliska dobowemu zapotrzebowaniu ciepła do ogrzewania przylegających pomieszczeń [12,40].

Czołowa powierzchnia obudowy nie powinna być mniejsza od powierzchni posadzki w przestrzeni buforowej. Część nieprzezroczystą należy ograniczać do minimum niezbędnego ze względów konstrukcyjnych. Dolna krawędź oszklenia powinna znajdować się na wysokości około 15 cm od poziomu posadzki. Zwiększanie tego wymiaru ogranicza ekspozycję i powoduje zbędne zacienienie.

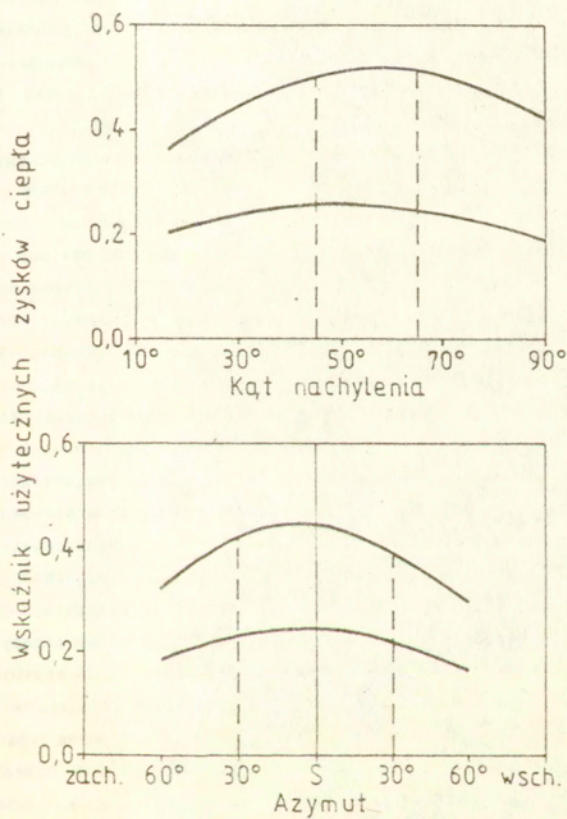
W najprostszym przypadku przestrzeń buforowa ma jedną ścianę wspólną z budynkiem. Jeśli w ścianie tej są okna, to stosunek ich powierzchni do po-

wierzchni zewnętrznego oszklenia należy utrzymać w przedziale 0,35-1,0. Stosunek powierzchni czołowej do powierzchni wspomnianej ściany może wynosić od 1,0 do 1,5. Zaleca się projektowanie szklarni bardziej zintegrowanej z budynkiem, według schematów pokazanych na rys. 3.19, 3.20, 3.21 i 3.24. Zagłębienie w bryle budynku zwiększa możliwości akumulacji ciepła i ogranicza amplitudę wahań temperatury. W przypadku obudowy balkonu lub loggi przeszklona powierzchnia boczna, wystająca poza obrys budynku, nie powinna być większa niż 10% powierzchni posadzki.

Kąt nachylenia płaszczyzny szyb do poziomu zaleca się przyjmować z przedziału 45° - 65° . Z praktycznych względów dopuszcza się również oszklenie pionowe (90°), a także kształt obudowy o skokowo zmiennym kącie nachylenia. W niskich budynkach górna płaszczyzna czołowa może stanowić przedłużenie połączenia dachowej. Niektórzy wyrażają pogląd, iż większy kąt nachylenia zabezpiecza przed zaleganiem śniegu oraz ułatwia spływ wody deszczowej, nie zmniejszając praktycznie sprawności pozyskiwania ciepła o więcej niż kilka procent. Z rys. 3.36 wynika, że pogląd ten jest słuszny. Również odchylenie ekspozycji od kierunku południowego o $\pm 30^{\circ}$ w minimalnym stopniu pogarsza wspomnianą sprawność, więc jest dopuszczalne.

W większości opracowań sugeruje się podwójne oszklenie obudowy przestrzeni buforowej z zachowaniem odstępu 10-12 mm między szybami. Szczególnie dotyczy to przypadku, gdy w grę wchodzi funkcja użytkowa dodatkowego pomieszczenia (weranda, tzw. ogród zimowy itp.). Spotyka się też stwierdzenie, że alternatywą dla drugiej szyby może być okresowa (nocna) izolacja cieplna. Niezmiernie natomiast jest ważna szczelność obudowy na obwodzie tafli szklanych, obrzeżach drzwi zewnętrznych, innych otworów zamykanych, a także w miejscu połączenia przestrzeni ze ścianą budynku. W przeciętnych warunkach wietrzności wskaźnik infiltracji powietrza zewnętrznego nie powinien przekraczać 0,5 wymiany w ciągu godziny. Cokolwiek fundamentowy i posadzkę dobrze jest uzupełnić warstwą ciągłej termoizolacji, np. z płyt styropianowych.

O ile w przestrzeni buforowej planuje się uprawę roślin, to przyległą do niej ścianę budynku trzeba zabezpieczyć przed zawilgoceniem. W zasadzie obecność roślin nie jest korzystna z punktu widzenia efektywności pozyskiwania energii słonecznej do ogrzewania. Zacieniają one elementy pochłaniające promieniowanie oraz przechwytyują część ciepła jawnego, które oddają następnie w postaci utajonej w parze wodnej. Ta zaś skrapla się, a czasem zamarza na szybach pogarszając ich przezroczystość. Ewentualne walory uprawy roślin uwiadcniają się natomiast w aspekcie użytkowym, estetycznym i higienicznym. Powierzchnia zajęta przez rośliny nie powinna przekraczać 15% łącznej powierzchni po-



Rys. 3.36. Zależność wskaźnika użytecznych zysków ciepła z promieniowania słonecznego od kąta nachylenia i orientacji przeszklonej obudowy przestrzeni buforowej

sadzki w przestrzeni buforowej. Więcej roślin może znajdować się tu w okresie letnim, gdy wspomniane zacinienie ściany budynku staje się pożądane.

Absorbery promieniowania słonecznego

Ważny jest kolor powierzchni pochłaniających promieniowanie słoneczne. W systemie zysków bezpośrednich rolę tę spełniają praktycznie wszystkie przegrody otaczające pomieszczenie, a także niektóre elementy wyposażenia. Powierzchnia absorpcji jest zatem na ogół wystarczająco duża. Ciemna barwa ścian zwiększa ich zdolność pochłaniania. Jednak towarzyszy temu szybki wzrost temperatury wierzchniej warstwy, co niejednokrotnie prowadzi do przegrzewania pomieszczenia w porze dziennej. Jasne ściany umożliwiają natomiast wielokrotne rozpraszanie padającego promieniowania krótkofalowego i równomierne pochłanianie go w całej masie akumulacyjnej. Małe wnętrza powinny więc być malowane jasnymi farbami. Dotyczy to również oszklonej przestrzeni buforowej poza elementami ściśle przeznaczonymi do akumulowania zysków ciepła oraz za wyjątkiem powierzchni posadzki, dla której trzeba zapewnić współczynnik pochłaniania promieniowania słonecznego równy co najmniej 0,65.

Wielkość powierzchni ścian kolektorowo-akumulacyjnych oraz kolektorowych z reguły jest zdeterminowana konfiguracją geometryczną budynku. Trudno tu ustalać miarodajne wskaźniki, choć spotyka się pogląd, iż powierzchnia tych elementów nie powinna być mniejsza niż 30% powierzchni ogrzewanego pomieszczenia. Powierzchnię czynną absorbera można rozbudować przez umieszczenie pionowych żeber, pokrycie płytami falistymi lub stworzenie przestrzennej struktury komórkowej. Zabiegi te są w stanie zwiększyć sprawność ściany o 5-15% w stosunku do gładkiej płaszczyzny. Zaleca się malowanie na kolor ciemny, choć niekoniecznie na czarno. Bardzo ciemne ściany nagrzewają się do stosunkowo wysokiej temperatury, tracą więc znaczną część ciepła przez promieniowanie i podlegają niepożądanym naprężeniom termicznym. Czarne elewacje są monotonne i nie przez wszystkich akceptowane. W omawianych systemach zadowalającą sprawność wykazują absorbery, których współczynnik pochłaniania promieniowania słonecznego przekracza 0,6. Takimi wartościami charakteryzuje się wiele materiałów budowlanych, które nie muszą już być dodatkowo malowane. Dobór ułatwiają również dane zawarte w tablicach 3.10 i 3.12. Stosowanie pokryć o właściwościach selektywnych nie jest praktykowane na elewacjach budynków, głównie ze względu na koszty i małą trwałość.

Ochronę przed stratami ciepła i niszczącym oddziaływaniem czynników atmosferycznych zapewnia zewnętrzne oszklenie umieszczane w odległości równej 5-7% wysokości ściany. Gwarantuje ono występowanie "efektu szklarniowego"

będącego warunkiem koniecznym funkcjonowania systemu pozyskiwania ciepła od nasłonecznienia. W naszym klimacie zaleca się podwójne oszklenie ścian kolektorowo-akumulacyjnych. Jeżeli rezygnuje się z cyrkulacji powietrza nagrzewanego w szczelinie między szybą a absorberem, to przestrzeń tę opłaca się wypełniać warstwą przezroczystej termoizolacji. Ściany kolektorowe, z założenia mające dobrą izolację, mogą posiadać tylko jedną szybę. Na rys. 3.37 przedstawiono zależność między wskaźnikiem słonecznych zysków ciepła, kolorem i liczbą szyb ochronnych w masywnych ścianach kolektorowo-akumulacyjnych. Użyteczne zyski ciepła będą większe, gdy zastosuje się dodatkowe elementy do okresowej termoizolacji. Można je tak zaprojektować, aby po otwarciu albo spełniały rolę reflektora wzmacniającego napromieniowanie absorbera, albo - w okresie letnim - zacieniały jego powierzchnię.

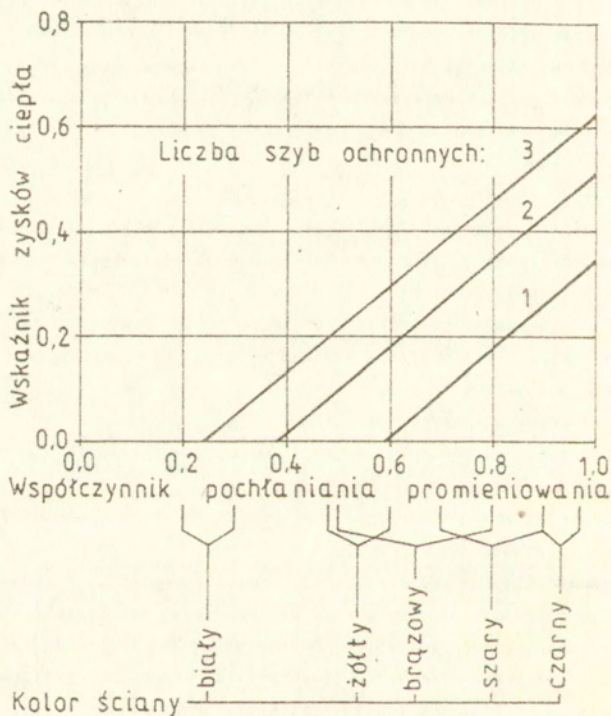
Przegrody akumulujące zyski ciepła

Generalną zasadą jest dążenie do uzyskania takiej pojemności cieplnej przegród budowlanych, która wystarcza do wchłonięcia całej nadwyżki słonecznych zysków ciepła w dzień, a następnie oddania jej w porze nocnej w celu jak najdłuższego utrzymania w pomieszczeniach temperatury odczuwalnej na wymaganym poziomie bez potrzeby uruchamiania dodatkowego ogrzewania. Zadaniem projektanta jest w tym zakresie:

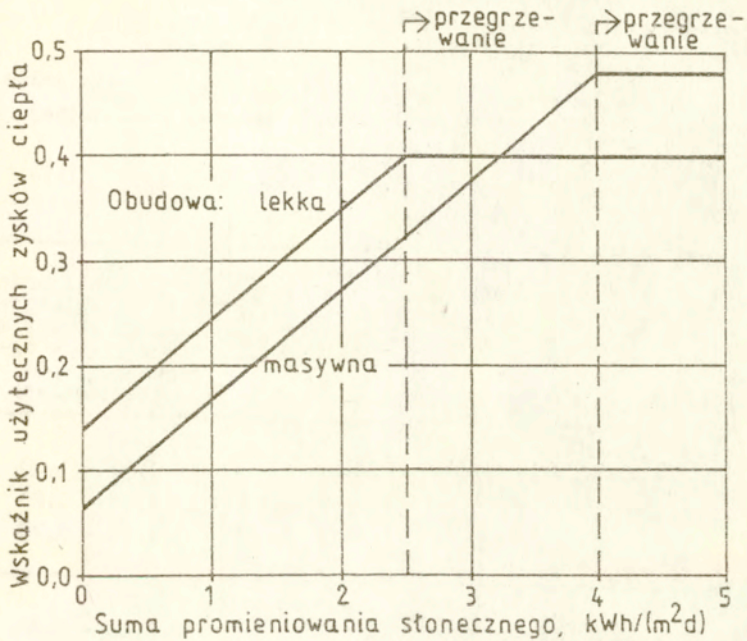
- 1) dobór właściwych materiałów;
- 2) najkorzystniejsze rozmieszczenie przegród akumulacyjnych względem elementów będących kolektorami;
- 3) określenie łącznej powierzchni i optymalnej grubości warstw o znaczącej pojemności cieplnej.

Pojemność cieplna przegród oraz tempo akumulacji i oddawania ciepła wpływają zdecydowanie na efektywność systemu jego wykorzystania. Świadczą o tym wyniki badań przeprowadzonych niezależnie w RFN i USA [7,23], pokazane na rys. 3.36. Zbyt lekka obudowa, o niewątpliwie doskonałych właściwościach termoizolacyjnych, nie jest w stanie wchłonąć w krótkim czasie całej nadwyżki ciepła. Następuje przegrzewanie pomieszczenia, wzrost temperatury powietrza wewnętrznego, a tym samym wzrost strat ciepła przez przenikanie. Często też nadmiar ciepła jest bezużytecznie usuwany z budynku drogą wzmożonej wentylacji. Z kolei duży udział masywnych przegród, nieadekwatny do rzeczywistych potrzeb, pogarsza izolacyjność termiczną obudowy i powoduje wzrost zapotrzebowania ciepła w okresach bezsłonecznych. Masywna obudowa jest z reguły droższa, bo wymaga większej ilości materiałów i solidniejszej konstrukcji budynku.

W różnych opracowaniach autorzy proponują pewne wskaźniki ułatwiające do-



Rys. 3.37. Zależność wskaźnika słonecznych zysków ciepła od koloru absorbera i liczby szyb ochronnych w masywnej ścianie kolektorowo-akumulacyjnej



Rys. 3.38. Wpływ masy przegród budowlanych na efektywność biernego wykorzystania słonecznych zysków ciepła przy ogrzewaniu pomieszczeń

pasowanie pojemności cieplnej budynku do potrzeb systemów biernego wykorzystania energii słonecznej. Ostatnio zaleca się wartość 185 kJ/K jako minimalną pojemność cieplną odniesioną do 1 m² powierzchni rozpatrywanych pomieszczeń. Spotyka się pogląd, że w odniesieniu do betonu, uważanego za standardowy materiał akumulacyjny z racji powszechnego zastosowania w budownictwie, na każdy 1 m² powierzchni pomieszczeń ogrzewanych energią słoneczną powinno przypadać 300-450 kg masy akumulacyjnej. Gdy projektuje się zbiorniki napełnione wodą, to analogiczny wskaźnik może wynosić około 0,08 m³ na 1 m² powierzchni podłogi ogrzewanego pomieszczenia lub 0,5-1,0 m³ na 1 m² powierzchni przestrzeni buforowej. Natomiast jeżeli w tej ostatniej przewiduje się kamienny zasobnik ciepła, to przyjmuje się 1,5-3,0 m³ kamieni na każdy 1 m² powierzchni posadzki.

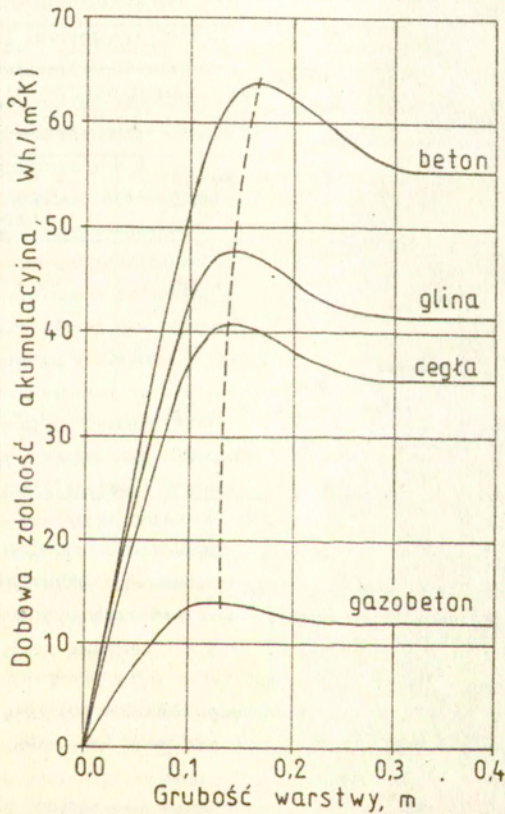
Tablica 3.21

Zalecana powierzchnia przegród akumulacyjnych umożliwiająca pełne wykorzystanie zysków ciepła od nasłonecznienia przy bezchmurnej pogodzie [27,52]

Typ klimatu	Średnia temperatura zewnętrzna w sezonie ogrzewczym, °C	Stosunek powierzchni przegród akumulacyjnych do powierzchni podłogi w ogrzewanych pomieszczeniach
Klimat chłodny z przewagą dni słonecznych	- 6,7	0,60 - 1,00
	- 3,9	0,51 - 0,93
	- 1,1	0,43 - 0,78
Klimat umiarkowany z przewagą dni pochmurnych	+ 1,7	0,35 - 0,60
	+ 4,4	0,28 - 0,46
	+ 7,2	0,22 - 0,35

W przypadku ścian kolektorowo-akumulacyjnych i masywnych przegród między przestrzenią buforową a budynkiem ich powierzchnia jest na ogół zdeterminowana wcześniej przyjętymi wymiarami. Jednak o ile istnieje swoboda doboru, można kierować się zaleceniami podanymi w tablicy 3.21. Wskazówki dotyczące grubości tych elementów, w zależności od rodzaju materiału i sposobu wykorzystania w systemie, zebrano w tablicy 3.22.

Ze względu na ograniczoną głębokość wnikania fali cieplnej w dobowym cyklu pracy systemu zysków bezpośrednich, projektowanie bardzo grubych warstw akumulacyjnych nie jest uzasadnione. Z rys. 3.39 wynika, że grubość tzw. warstwy aktywnej zawiera się w wąskich granicach 13-15 cm i w bardzo małym stopniu zależy od rodzaju materiału. W przypadku obudowy pomieszczeń, w których zakłada się funkcjonowanie systemu zysków bezpośrednich, należy ponadto przestrzegać następujących zaleceń wynikających z dotychczasowych doświadczeń eksploatacyjnych:



Rys. 3.39. Zależność dobowej zdolności akumulacyjnej przegród budowlanych od rodzaju materiału i grubości

Tablica 3.22

Zalecane grubości masywnych ścian kolektorowo-akumulacyjnych i akumulacyjnych z różnych materiałów [16,27,37,52,57]

Rodzaj materiału	Przedział zalecanej grubości, cm		
	Ściany kolektorowo-akumulacyjne	Ściany akumulacyjne między oszkloną przestrzenią buforową i ogrzewanym pomieszczeniem	
		bez warstwy izolacji cieplnej	z warstwą izolacji cieplnej
Beton	35 - 45	30 - 45	16 - 17
Cegła ceramiczna	25 - 41	25 - 40	14 - 17
Gлина surowa	20 - 30	25 - 30	11 - 16
Kamień	35 - 46	25 - 35	14 - 26
Woda	20 - 50	pow. 20	---

1. Korzystniejsze jest projektowanie dużych, równomiernie rozmieszczonych przegród akumulacyjnych niż elementów małych, skupionych w jednym miejscu.
2. Stosunek powierzchni przegród akumulacyjnych do powierzchni południowych okien powinien wynosić nie mniej niż 6:1.
3. Jeśli z różnych względów w pomieszczeniu jest tylko jedna przegroda masywna, najlepiej ściana przeciwległa do południowego okna lub podłoga, to fakturę i kolor jej powierzchni trzeba zaprojektować tak, aby ułatwić pochłanianie promieniowania słonecznego.
4. W strefie oddziaływania promieniowania bezpośredniego nie powinno się lokalizować ciemnych elementów wyposażenia o małej pojemności cieplnej. Natomiast mogą one znajdować się w głębi pomieszczenia, gdzie w grę wchodzi już tylko promieniowanie rozproszone, oraz w strefie wzmożonej konwekcji.
5. Zawieszanie obrazów i innych elementów dekoracyjnych na ścianach przeznaczonych do pochłaniania ciepła, a także układanie dywanu lub wykładziny na masywnej posadzce w widoczny sposób ograniczają ich zdolność akumulacyjną.

Ponieważ na etapie projektowania budynku trudno przesądzać o wyposażeniu pomieszczeń, szczególnie w budynkach mieszkalnych, należy raczej nieco przewymiarować powierzchnię lub grubość tych przegród, przyjmując na przykład wartości bliższe górnej zalecanej granicy. Można też zaplanować rozmieszczenie dodatkowych elementów akumulacyjnych.

3.5.4 Wymiarowanie otworów do cyrkulacji powietrza

Jeżeli rozwiązanie konstrukcyjne ściany przewiduje możliwość transportu ciepła od absorbera do pomieszczenia również na drodze konwekcji, to należy stworzyć warunki do swobodnej cyrkulacji powietrza. W odniesieniu do ścian kolektorowych obowiązują tu zasady dotyczące projektowania kolektorów powietrznych wykorzystywanych w systemach aktywnego pozyskiwania energii słonecznej. W masywnych ścianach kolektorowo-akumulacyjnych okresowa cyrkulacja powietrza wspomaga proces przekazywania ciepła, ale daje widoczne efekty tylko w okresach intensywnego oddziaływania nasłonecznienia. Ocenia się, że przy właściwie dobranych wymiarach szczeliny między absorberem a oszkleniem ochronnym oraz przy wystarczającej powierzchni otworów u dołu i u góry ściany sprawność kolektora wzrasta o 20-30%. W skali doby w sezonie ogrzewczym oznacza to wzrost efektywności systemu zysków pośrednich o 8-10% w stosunku do równoważnej ściany nie wentylowanej [3,27]. Ewentualne korzyści uwidaczniają się w systemie z oszkloną przestrzenią buforową, w której tym sposobem można podgrzewać powietrze wentylacyjne. Proponowane niekiedy rozwiązanie polegające na przepływie powietrza przez układ kanałów w elementach akumulacyjnych jest już raczej domeną systemów semiaktywnych. Ze względu na znaczny opór aerodynamiczny, z reguły konieczne staje się wymuszanie ruchu powietrza za pomocą wentylatora. W tym przypadku obowiązują zasady wymiarowania przekroju kanałów i doboru wentylatora podobne, jak przy projektowaniu urządzeń mechanicznej wentylacji.

Powierzchnia otworów cyrkulacyjnych w ścianie musi być na tyle duża, aby zminimalizować opór przepływu przy niewielkiej różnicy ciśnienia wywołanej zmianą gęstości nagrzewanego powietrza. Z kolei zbyt duży przekrój tych otworów uszczupla czynną powierzchnię absorbera i masę ściany akumulacyjnej, a nie wpływa już na intensywność cyrkulacji. Właściwy stosunek łącznej powierzchni otworów cyrkulacyjnych do powierzchni absorbera można wyznaczyć ze wzoru ustalonego w oparciu o wskaźniki podane w pracy [6]:

$$(3.6) \quad A_0/A_c = 0,0387(Z_{12})^{0,5} .$$

gdzie:

A_0 - łączna powierzchnia otworów cyrkulacyjnych, m^2

A_c - powierzchnia absorbera w ścianie kolektorowo-akumulacyjnej, m^2

Z_{12} - odległość między otworami u góry i u dołu absorbera, m.

Przyjmuje się jednakową powierzchnię otworów górnych i dolnych. Najczęściej są to poziome szczeliny rozciągnięte na całej szerokości ściany. Może to jednak być kilka pojedynczych, mniejszych otworów o równoważnej powierzchni. Aby nie dopuszczać do odwrotnej cyrkulacji, gdy temperatura przy absorberze staje się niższa od temperatury powietrza w pomieszczeniu (co ma miejsce w nocy), otwory powinny być wyposażone w szczelne przesłony, najlepiej otwierające i zamykające się samoczynnie w określonych warunkach temperaturowych.

Ponieważ siła czynna przy naturalnej konwekcji zależy od pionowego odstępu między otworami górnymi i dolnymi, należy przestrzegać zasady, aby odległość ta nie była mniejsza niż 2,0 m.

3.5.5. Kształtowanie warunków rozdziału ciepła w obrębie budynku

Praktyka wykazuje, że bezpośrednie dostarczanie zysków ciepła do pomieszczeń usytuowanych w głębi budynku, na przykład przez świetliki w stropie lub specyficznie rozmieszczone okna, a także na drodze przewodzenia przez ściany działowe, jest albo trudne do realizacji, albo mało efektywne. Duży potencjał tkwi natomiast w wykorzystywaniu swobodnej lub okresowo wymuszanej konwekcji. Dotyczy to w pierwszym rzędzie obiektów, w których pozyskiwanie energii promieniowania słonecznego zachodzi w przeszklonej przestrzeni buforowej, ale także i systemu zysków bezpośrednich. Z dokonanego w artykule [35] przeglądu prac badawczych przeprowadzonych w USA wynika między innymi, że w dwukondygnacyjnym budynku mieszkalnym z dobudowaną na całej wysokości południowej elewacji szklarnią, przy różnicy temperatury 1,8-5,6 K, strumień powietrza cyркуlującego przez otwory wewnętrznych drzwi i okien wynosił 0,22-1,06 m^3/s , zaś strumień przeniesionego ciepła zawierał się w granicach 0,6-6,2 kW. Udział ciepła przepływającego ze szklarni do pomieszczeń mieszkalnych stanowił w bilansie rocznym około 80%. Współczynnik przejmowania ciepła na drodze swobodnej konwekcji przez wspomniane otwory okazał się przeszło 50 razy większy od współczynnika przenikania przez ściany działowe. Także obserwacje poczynione w trakcie własnych badań przemawiają za potrzebą zwrócenia uwagi projektantów na to zagadnienie, czemu mają służyć niżej sformułowane zalecenia.

Korzystne jest takie rozplanowanie pomieszczeń, aby stworzyć warunki

sprzyjające powstawaniu "pętli konwekcyjnej" łączącej południową i północną strefę budynku. Przykłady zagranicznych rozwiązań wykazują, że można to uzyskać bez wyrafinowanych zabiegów architektonicznych, aczkolwiek przestrzegając pewnych reguł.

Przeszklone werandy, loggie i szklarnie przylegające do południowej ściany zewnętrznej stanowią w tym przypadku najkorzystniejsze rozwiązanie kolektora z uwagi na panującą w nich stosunkowo wysoką temperaturę w słoneczne dni sezonu ogrzewczego. Ponieważ prędkość konwekcyjnego ruchu powietrza zależy od wspomianej już wysokości czynnej, zaleca się projektowanie możliwie wysokich przestrzeni buforowych. W dwukondygnacyjnych budynkach mieszkalnych, w których dopuszcza się cyrkulację powietrza przez wszystkie pomieszczenia (np. w budynkach jednorodzinnych) należy przewidzieć duże otwory w strefie górnej. Mogą to być drzwi i okna. Dobrym rozwiązaniem są balkony wewnątrz oszklonej przestrzeni buforowej. Okna natomiast nie są zalecane jako otwory dolne, gdyż nie sięgają podłogi, przez co nie wykorzystuje się całej potencjalnej wysokości czynnej. Posadzka w przestrzeni buforowej powinna znajdować się na poziomie nieco niższym niż w pomieszczeniach mieszkalnych. Proponuje się, aby poziom podłogi w kolejnych pomieszczeniach obniżał się stopniowo w kierunku od strefy północnej do południowej, gdyż taki układ wymusza zakładany kierunek ruchu powietrza.

Rozdział słonecznych zysków ciepła może być rozpatrywany w powiązaniu z organizacją wymiany powietrza wentylacyjnego. W uzasadnionych przypadkach opłaca się mechaniczne wymuszanie przepływu powietrza, szczególnie w rozległych budynkach lub bardzo wysokich pomieszczeniach. Przy wzmożonej konwekcji następuje szybsze wyrównywanie temperatury bez tendencji do stratyfikacji i powstawania martwych stref. Intensyfikację mieszania powietrza można łatwo uzyskać przy pomocy wentylatorów śmigłowych wzbudzających dodatkowe zawirania. Zaleca się je montować głównie w wysokich przeszklonych przybudówkach, w których nagrzane powietrze zalega bezużytecznie pod stropem. Odległość płaszczyzny śmigieł od stropu oblicza się ze wzoru:

$$(3.7) \quad Z_w = 0,25(H - 2) , \quad [m]$$

natomiast średnią prędkość powietrza w pomieszczeniu - z empirycznej zależności:

$$(3.8) \quad w_m = 1,84U^{-0,657} H^{0,483} , \quad [m/s],$$

w których:

H - wysokość pomieszczenia, m

U - obwód pomieszczenia, m.

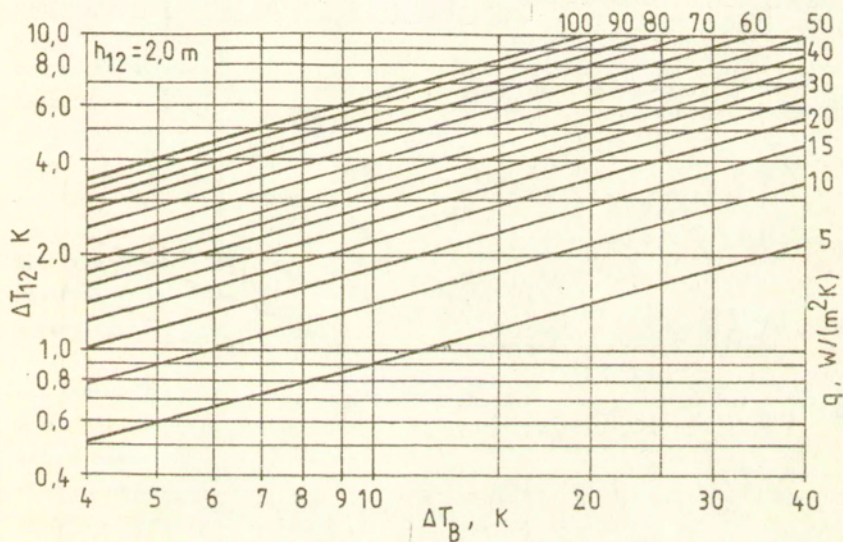
Zakładając, że cała nadwyżka ciepła z południowej strefy budynku będzie przepływać do przylegających pomieszczeń przez otwory drzwiowe, w oparciu o zależności wyprowadzone w artykule [35] sporządzono wykresy przedstawione na rys. 3.40 i 3.41. Dla typowej wysokości drzwi $h_{12}=2$ m, pierwszy ułatwia określenie różnicy temperatury ΔT_{12} panującej w wymienionych strefach w zależności od różnicy temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego ΔT_B oraz wskaźnika strat ciepła q odniesionego do powierzchni otworu drzwi. Drugi wyznacza niezbędną szerokość otwarcia drzwi b_{12} , przy której strumień zysków ciepła Q_{12} odpywa z południowej strefy przy wymienionej różnicy temperatury ΔT_{12} . Obydwa wykresy mogą być pomocą przy wariantowym projektowaniu rozdziału ciepła w obrębie budynku. W cytowanym tu artykule wykazano, że średnia prędkość przepływu powietrza przez otwór drzwiowy może być nieprzyjemnie odczuwana, gdy różnica temperatury ΔT_{12} przekracza 3K. Wartość tę można więc uznać za górną granicę dla pomieszczeń związanych ze stałym przebywaniem ludzi.

3.5.6. Uwagi dotyczące konwencjonalnych urządzeń ogrzewczych

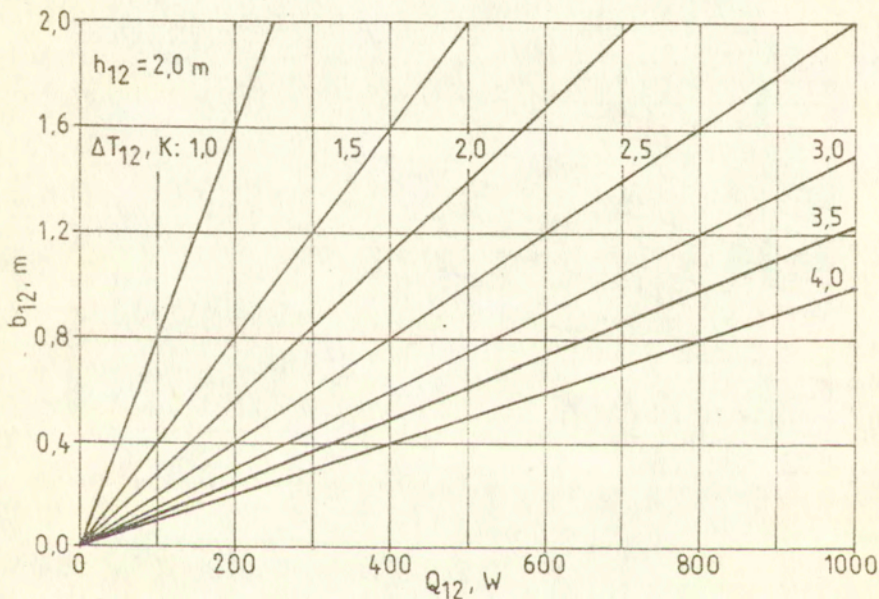
W naszych warunkach klimatycznych, niezależnie od przyjętego systemu wykorzystania energii słonecznej, konwencjonalne urządzenia ogrzewcze pozostają niedozownym i nadal podstawowym źródłem ciepła. Powinny one jednak spełniać dodatkowe wymagania narzucone przez specyficzną strukturę podaży zysków od nasłonecznienia. Kryteria wyboru systemu ogrzewania pomieszczeń trzeba więc rozpatrywać w trzech kategoriach:

- 1) dopasowania dynamicznej charakterystyki do rytmu przebiegu procesów heliologicznych w budynku;
- 2) obiektywnych uwarunkowań i pewnych tradycji w krajowej technice ogrzewniczej, przyzwyczajień do określonego standardu oraz świadomości użytkowników o nadrzędnej konieczności oszczędnego gospodarowania ciepłem, a ściślej zakupionym paliwem.
- 3) dostępności właściwych urządzeń na rynku, ich ceny w stosunku do łącznych kosztów inwestycyjnych, a także kosztów ponoszonych w czasie eksploatacji.

Nie ulega wątpliwości, że powinien to być system o małej bezwładności cieplnej, niemal natychmiast reagujący na zmiany temperatury w pomieszczeniach, a nawet okresowo zmiany te wymuszający. Tym tłumaczy się powszechny pogląd, iż grzejniki muszą być wyposażone w automatyczne regulatory



Rys. 3.40. Charakterystyka wykorzystania słonecznych zysków ciepła przepływającego z południowej do północnej strefy budynku przez otwory drzwiowe między pomieszczeniami



Rys. 3.41. Wymagana szerokość otwarcia drzwi między pomieszczeniami w zależności od strumienia słonecznych zysków ciepła oraz warunków temperaturowych w południowej i północnej strefie budynku

wydajności. Tylko wtedy można liczyć na pełne wykorzystanie zysków ciepła i widoczną oszczędność energii z gwarancją utrzymania wymaganych warunków mikroklimatu pomieszczeń.

W takim kontekście często zaleca się ogrzewanie powietrzne (konwekcyjne), sugerując zasilanie nagrzewnic energią elektryczną, palnikami gazowymi lub olejowymi. Podkreśla się poważne mankamenty, a nawet zupełną nieprzydatność centralnego ogrzewania wodnego, szczególnie korzystającego z miejskiej sieci ciepłowniczej. W większych budynkach, w których całkowita autonomia źródła ciepła jest mało prawdopodobna, proponuje się układ hybrydowy, złożony z zasadniczej instalacji centralnej, ogrzewającej pomieszczenia do wyznaczonej temperatury dyżurnej, oraz dodatkowych grzejników indywidualnych, włączanych w razie potrzeby. Innym wariantem może być ogrzewanie strefowe z osobnym zasilaniem i odrębną regulacją temperatury, powiązane z orientacją pomieszczeń względem stron świata. Racjonalne i interesujące wydaje się stanowisko tych specjalistów, którzy postulują w uzasadnionych przypadkach łączenie koncepcji biernego pozyskiwania promieniowania słonecznego z wykorzystaniem innych odnawialnych źródeł energii i tym samym szersze stosowanie nowoczesnych urządzeń ogrzewczych. Wśród tych ostatnich wymienia się najczęściej pompę ciepła.

To krótkie omówienie tendencji zarysowujących się w technologii ogrzewania energooszczędnych budynków od razu nasuwa refleksję, iż szanse wdrożenia większości sposobów w krajowym budownictwie są z wielu względów w najbliższych latach niewielkie, jeśli nie wręcz znikome. Nie oznacza to jednak sztywnej bariery przekreślającej rozwój "słonecznej architektury". Przedstawione sposoby wykorzystania słonecznych zysków ciepła, aczkolwiek w ograniczonym zakresie, nadal pozostają atrakcyjną i realną formą poprawy bilansu energetycznego budynków. W pierwszej kolejności powinny być brane pod uwagę przy projektowaniu obiektów eksperymentalnych, które z czasem wytyczą właściwy kierunek rozwoju przyszłościowego budownictwa.

Bibliografia

1. Achard, P., Gicquel, R.: *European Passive Solar Handbook*, Commission of the European Communities, Brussels 1986
2. Adamson, B.: *Energy conservation, climatic control and moisture in buildings*, Swedish Council for Building Research, Document D2:1986
3. Anderson, B.: *Solar Energy. Fundamentals in building Design*, McGraw-Hill, New York 1977

4. Anderson, E.E.: *Fundamentals of Solar Energy Conversion*, Wesley Publ., Reading 1983
5. Bahr, R., Gansfort, K.H.: *Architektonische Gestaltung von Häusern mit Sonnenenergie-Anlage*, Pfrieder Verlag, München 1977
6. Balcomb, J.D., Kosiewicz, C.E., Lazarus, G.S.: *Passive Solar Design Handbook*, Vol.3: Passive Solar Design Analysis. Report DOE/CS-0127/3, Los Alamos 1982
7. Burch, D.M.: *Effect of wall mass on energy consumption*, Batiment Intern. Vol.11(1983) No 5
8. Cammarata, G., Marletta, L., Patane, F.: *Using the Barra-Constantini system for multistorey residential building retrofitting*, Proc. 2nd Intern. PLEA Conference, Rethimmon 1983
9. Clarke, J.A.: *Energy Simulation in Building Design*, Hilter, Boston 1985
10. Davis, A.J., Schubert, R.P.: *Alternative Natural Energy Sources in Building Design*, Nostrand-Reinhold, New York 1974
11. Dubois, S.: *Energy efficient building walls*, Proc. 1st EC Conference on Solar Collectors in Architecture, Venice 1983
12. Epinatjeff, P., Weidlich, B.: *Rationelle Energieverwendung im Hochbau*, Springer Verlag, Berlin 1986
13. Erat, B., Woolston, G.: *Viherhuonekirja*, Rakentajain Kustannus Oy, Helsinki 1983
14. Faiman, D.: *A kinetic wall for winter space heating*, Energy and Buildings Vol.4(1982) No 3
15. Faiman, D., Feuermann, D.: *Performance details of a rotating prism solar wall*, Energy and Buildings Vol. 7(1984) No 4
16. Fisk, M.J., Anderson, H.C.W.: *Introduction to Solar Technology*, Wesley Publ., Reading 1982
17. Garg, H.P.: *Treatise of Solar Energy*, Wiley Publ., Chichester 1982
18. Garg, H.P., Mullick, S.C., Bhargava, A.K.: *Solar Thermal Energy Storage*, Reidel Publ., Dordrecht 1985
19. Gertis, K.: *Passive Solarenergienutzung - Umsetzung von Forschungsergebnissen in den praktischen Gebäudeentwurf*, Bauphysik Jg.5(1983) Nr 6
20. *Glossary of Terms Used in Solar Energy*, ISES Committee on Standardization and Education, 1984
21. Goetzberger, A., Wittwer, V.: *Sonnenenergie*, Teubner Verlag, Stuttgart 1986
22. Haas, O., Kesselring, P.: *Chameleon facade*, Proc. ENERGEX'84, Toronto 1984
23. Hauser, G.: *Einfluss des Wärmedurchgangskoeffizienten und der Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen auf den Heizenergieverbrauch von Gebäuden*, Bauphysik Jg.6(1984) Nr 5, 6
24. Jones, R.W., McFarland, R.D.: *The Sunspace Primer. A Guide for Passive Solar Heating*, Reinhold, New York 1984

25. Johnson, T.E.: *Solar Architecture. The Direct Gain Approach*, McGraw-Hill, New York 1981
26. Klein, W.: *Nowoczesne okna*. Arkady, Warszawa 1978
27. Koblin, W., Krüger, E., Schuh U.: *Handbuch Passive Nutzung der Sonnenenergie*, Schriftenreihe "Bau- und Wohnforschung" Nr 04.097/1984
28. Kotarski, Z.: *Materiały miejscowe i mała energetyka w budownictwie wiejskim*, PWRiL, Warszawa 1985
29. Krusche, P., Althaus, D., Gabriel, I.: *Ökologisches Bauen*, Bauverlag, Wiesbaden 1982
30. Kukliński, E.: *Nykonywanie izolacji termicznych w budownictwie*, Arkady, Warszawa 1982
31. Laskowski, L.: *Bierne systemy wykorzystania energii słonecznej do ogrzewania pomieszczeń*, COW t.15(1983) nr 3
32. Laskowski, L.: *Badania zużycia ciepła i efektywności biernego wykorzystywania energii słonecznej do ogrzewania eksperymentalnego budynku jednorodzinnego*, Praca nauk.-bad. NF-71. ITB, Warszawa 1985 (maszynopis)
33. Laskowski, L.: *Dodatkowe osłony termoizolacyjne okien*, Przegląd Budowlany t.58(1986) nr 10
34. Laskowski, L.: *Wybrane zagadnienia fizyki miasta*, COIB, Warszawa 1987
35. Laskowski, L.: *Rozdział ciepła w budynku przy biernym wykorzystywaniu energii słonecznej*, COW (w druku)
36. Laskowski, L.: *Pozyskiwanie energii słonecznej do ogrzewania z wykorzystaniem ścian budynku*, Zeszyty Naukowe WSI w Zielonej Górze nr 88, Budownictwo nr 19 (w druku)
37. Meltzer, M.: *Passive and Active Solar Heating Technology*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs 1985
38. Mittal, G.S., Otten, L., Brown, R.P.: *Short-term monitoring and performance evaluation of solar-heated farm buildings*, Energy and Buildings Vol.9(1986) No 3
39. Morck, O., Holz, M.J.: *Passive and Hybrid Solar Low Energy Buildings*. IEA Report No 175/1986
40. Nolic, V.: *Bau und Energie. Bauliche Massnahmen zur verstärkten Sonnenenergienutzung in Wohnungsbau*, TÜV Rheinland, Köln 1983
41. Ohlwein, K.: *Das Sonnenhaus von nebenan. Passive Nutzung der Sonnenenergie in unseren Breiten*. Bauverlag, Wiesbaden 1986
42. Page, P., King, B.: *Low-energy school design - a case study*, Batiment Intern. Vol.11(1983) No 3
43. Pečenik, J.: *Nowoczesna stolarka budowlana*, Arkady, Warszawa 1981
44. Pflüger, A., Platzer, W., Wittwer, V.: *Transparent insulation systems composed of different materials*, Proc. ISES Solar World Congress, Hamburg 1987
45. Pogorzelski, J.A.: *Fizyka ciepła budowli*, PWN, Warszawa 1976
46. Sabady, P.R.: *Haus und Sonnenkraft*, Helion Verlag, Zürich 1977

47. Sayigh, A.A.M.: *Solar Energy Application in Buildings*, Academic Press, New York 1979
48. Scartezzini, J.L.: *Projects NEFF 110. Dossier systemes*, EPFL Departament de Physique, Lousanne 1985
49. Selivanov, N.P., Szokolay, S.V., Melua, A.I.: *Energy Active Buildings*, Stroyizdat, Moscow 1987
50. Sfeir, A.A., Guarracino, G.: *Ingenierie des systemes solaires*, Technique et Documentation, Paris 1981
51. Shurcliff, W.A.: *Solar Heated Buildings of North America: 120 Outstanding Examples*, Brick House Publ., Church Hill 1978
52. Sodha, M.S., Bansal, N.K., Kumar, A.: *Solar Passive Buildind. Science and Design*, Pergamon Press, Oxford 1986
53. Tabb, P.: *Solar Energy Planning. A Guide to Residential Settlement*, McGraw-Hill, New York 1984
54. *The Konsolen Block*, Swedish Council for Building Research, Stockholm 1986
55. Trombe, F.: *Le chauffage par rayonnement solaire*, Study Contr. No 207-75-9, Copenhagen 1976
56. Wettermark, G., Carisson, B., Stymme, H.: *Storage of heat*, Swedish Council for Building Research, Stockholm 1979
57. Yanda, B., Fisher, R.: *Une serre solaire pour chauffer votre maison et pour jardiner toute l'anne*, Eyrolles, Paris 1982