

Wojciech Marks

7. ANALIZA ZAGRANICZNYCH ROZWIĄZAŃ ENERGOOSZCZĘDNYCH BUDYNKÓW MIESZKALNYCH

7.1. Wstęp

W rozdziale tym przedstawiono wyniki badań gospodarki energetycznej zagranicznych budynków energooszczędnych. Przygotowano go na podstawie raportu z realizacji programu badawczego koordynowanego przez Międzynarodową Agencję Energetyczną (IEA) [2,3] oraz na podstawie prac prowadzonych przez Instytut Technologii i Organizacji Budownictwa Politechniki Krakowskiej w ramach tematu 1.11 "Analiza i ocena zagranicznych rozwiązań architektoniczno-budowlanych budynków energooszczędnych z biernym wykorzystaniem energii słonecznej" realizowanego w CPBP 02.21 koordynowanym przez IPPT PAN [6].

W programie IEA prowadzono badania 181 budynków mieszkalnych zlokalizowanych w Belgii, Danii, Kanadzie, Norwegii, Szwajcarii, Szwecji i USA.

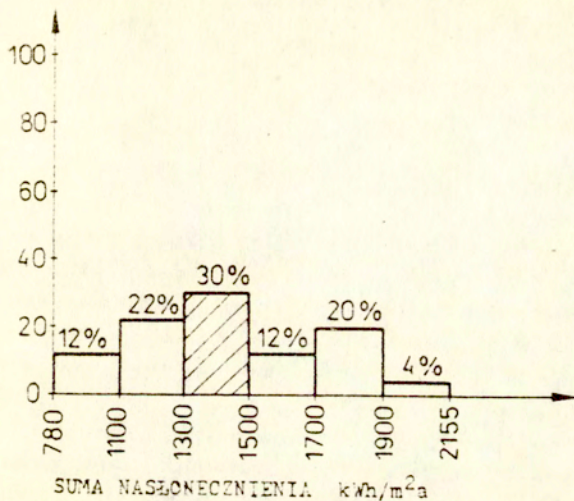
W badaniach krajowych przeanalizowano 60 budynków zlokalizowanych w Austrii, Danii, Francji, Kanadzie, RFN, Szwajcarii, USA i Wielkiej Brytanii. Prawie wszystkie budynki były zrealizowane w latach 1975-1985.

Charakterystykę warunków klimatycznych i odniesioną do nich ilościową strukturę domów słonecznych badanych w programie IEA przedstawiono na rys.7.1.

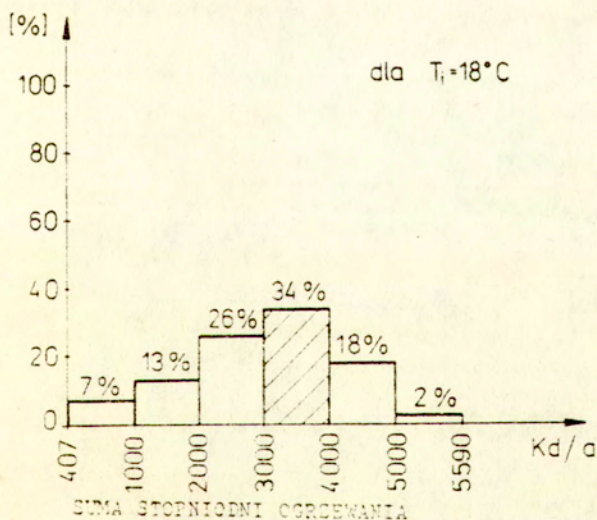
Można zauważyć, że rozkład liczby budynków w poszczególnych przedziałach zmienności rocznej sumy nasłonecznienia jest dość wyrównany. Niewielka przewaga dotyczy przedziału $1300 + 1500 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, zaś liczba budynków zlokalizowanych na obszarze o szczególnie dużym nasłonecznieniu jest na tyle mała, iż nie zaważy na interpretacji wskaźników efektywności biernych systemów słonecznych.

Jeśli chodzi o temperaturę zewnętrzną odzwierciadlającą roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania, to większość budynków jest zlokalizowana w strefie bliskiej warunkom polskim. W tym 34% badanych obiektów znajduje się w strefie, dla której suma stopniodni ogrzewania zawarta jest w granicach od 3000 do 4000 Kd/a. W ekstremalnych, tj. bardzo ostrych lub bardzo łagodnych warunkach sezonu ogrzewczego pozostaje mała liczba budynków.

a)



b)



Rys.7.1. Charakterystyka warunków klimatycznych, w jakich znajdowały się badane budynki:

a) warunki nasłonecznienia,

b) warunki ciepła sezonu ogrzewczego

7.2. Charakterystyka badanych budynków

7.2.1. Badania IEA

Zdecydowaną większość badanych obiektów stanowiły wolno stojące, dwukondykcyjne, jednorodzinne budynki już eksploatowane przez użytkowników lub wzniesione wyłącznie w celach eksperymentalnych. Oprócz tego badano kilka segmentów wchodzących w skład zabudowy szeregowej, kilka budynków wielorodzinnych oraz doświadczalne pawilony. Badany obiekt miał najczęściej powierzchnię użytkową wynoszącą $100+200 \text{ m}^2$, przy czym ekstremalne wartości tej powierzchni wynosiły 10 m^2 (doświadczalny pawilon) oraz 4500 m^2 (wolno stojący, wielorodzinny budynek mieszkalny).

Rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne odzwierciedlają tendencje panujące obecnie w tego rodzaju budownictwie w krajach zachodnich. Przede wszystkim są to konstrukcje drewniane lub drewnianopochodne, murowane z cegły ceramicznej i ewentualnie łączone z elementami drewnianymi. Rzadziej występują konstrukcje betonowe z częściowym wykorzystaniem drewnianych okładzin. W kilku przypadkach zastosowano nietypowe, tanie materiały miejscowe, takie jak glina, a nawet azbestocement. Stosunek wielkości okien do powierzchni podłogi z reguły nie przekraczał 20%. Budynki o dużym stopniu przeszkleń elewacji były raczej wyjątkiem. Charakterystykę tę przedstawiono dokładniej poniżej.

Rodzaj budynku:

- jednorodzinny, wolno stojący, zamieszkały	75%
- jednorodzinny, wolno stojący, eksperymentalny	14%
- jednorodzinny, szeregowy (segment)	6%
- wielorodzinny, wolno stojący	3%
- pawilon doświadczalny	1%
- pawilon mieszkalny, przewoźny	1%

Zasadnicza konstrukcja:

- drewniana i z elementów drewnopochodnych	72%
- murowana z cegły ceramicznej	11%
- mur z cegły łączony z konstrukcją drewnianą	10%
- betonowa z ewentualnym oblicowaniem drewnem	5%
- różne materiały miejscowe	2%

Powierzchnie użytkowe [m^2]:

10 + 100	19%
101 + 200	63%
201 + 300	12%
301 + 400	3%
401 + 4500	3%

Stosunek powierzchni okien do powierzchni podłogi

0,02 + 0,10	32%
0,11 + 0,20	46%
0,21 + 0,30	16%
0,31 + 0,40	4%
0,41 + 0,68	2%

O poziomie ochrony cieplnej tych budynków, a szczególnie o izolacyjności termicznej i szczelności obudowy, świadczą wskaźniki strat ciepła obliczone na podstawie dokumentacji projektowej.

Obliczeniowy wskaźnik całkowitych strat ciepła budynku [W/K]

19 + 100	13%
101 + 200	39%
201 + 300	22%
301 + 400	15%
401 + 500	7%
501 + 830	4%

Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania 1 m² powierzchni użytkowej podłogi [kWh/(m²a)]

31 + 50	4%
51 + 100	38%
101 + 150	48%
151 + 182	10%

Z porównawczego zestawienia wynika, że wskaźnik całkowitych strat ciepła dla większości obiektów zawarty jest w przedziałach 101-200 lub 201-300 W/K. Natomiast wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię cieplną do ogrzewania 1 m² powierzchni użytkowej, określony dla jednakowej bazowej temperatury wewnętrznej równej 18°C, w niemal połowie budynków wynosi 101-150 kWh/(m²a). Budynki tzw. superizolowane, dla których powyższy wskaźnik nie przekracza 50 kWh/(m²a), stanowią zaledwie 4%, zaś budynki o stosunkowo dużym zapotrzebowaniu na ciepło, wynoszącym 151-182 kWh/(m²a) - 10% badanej populacji. Z punktu widzenia realiów budownictwa jednorodzinnego w Polsce cały występujący tu zakres wskaźnika zapotrzebowania na ciepło wydaje się nader "energooszczędny". Jednak struktura poszczególnych wartości odzwierciedla przeciętne tendencje zastrzonych w ostatnich latach i konsekwentnie wprowadzonych w życie wymagań dotyczących racjonalnej ochrony cieplnej budynków w większości państw zachodnich.

7.2.2. Badania krajowe

Budynki analizowane w badaniach krajowych charakteryzują następujące zestawienia.

Rodzaj budynku:

- jednorodzinny, wolno stojący	77%
- jednorodzinny, szeregowy	12%
- pawilony	8%
- wielorodzinny	3%

Liczba kondygnacji:

- jedna	23%
- dwie	60%
- trzy	12%
- cztery	3%
- powyżej czterech	2%

Zasadnicza konstrukcja:

- drewniana i z elementów drewnopochodnych	20%
- murowana z cegły	17%
- betonowa lub żelbetowa	40%
- kamienna	8%
- z różnych materiałów	15%

Powierzchnia użytkowa:

10 + 100	7%
101 + 200	65%
201 + 300	12%
301 + 400	3%
powyżej 401	8%
brak danych	5%

Około 90% badanych budynków stanowiły jednorodzinne budynki mieszkalne. Pozostałe to budynki mieszkalne wielorodzinne i cztery budynki o innej funkcji (hala sportowo-komunalna, biuro konstrukcyjne, ośrodek konferencyjny). Liczba kondygnacji wynosiła od 1+6.

50 budynków (84% zbioru) to budynki o powierzchni nie przekraczającej 300 m² a więc odpowiadające przyjętym u nas normatywom powierzchniowym.

Konstrukcja budynków jest trudna do ustalenia, dlatego ograniczono się do podania rodzaju materiału konstrukcyjnego. Wyróżniono tu drewno i materiały drewnopochodne, cegłę ceramiczną, beton lub żelbet zarówno w postaci monolitycznych konstrukcji jak i prefabrykowanych bloczków oraz kamień. Najwięcej bo aż 24 budynki wykonano w konstrukcji betonowej lub żelbetowej 12 budynków to budynki z drewna lub materiałów drewnopochodnych, 10 budynków wykonano z cegły i 5 z kamienia. Dane dotyczące materiału konstrukcyjnego dotyczą ścian, na temat materiału stropów na ogół nie ma informacji.

Otwartość wnętrza umożliwiająca swobodny, naturalny przepływ ciepłego powietrza cechuje 33 budynki co stanowi 55% całego zbioru. Powszechnie stosowane jest strefowanie czyli świadome tworzenie przy północnej ścianie budynku zespołu pomieszczeń o niższych wymogach cieplnych stanowiących dodatkowy element ochronny zwany często buforem cieplnym. W opracowywanych budynkach aż w 43 stwierdzono wyraźne strefowanie. Stanowi to 72% zbioru.

Budynki energooszczędne winny się charakteryzować znacznie lepszą od przeciętnej izolacją cieplną. Wobec braku dokładnych informacji oraz z reguły braku skali na rysunkach, podano rodzaj i grubość warstwy izolacji, a nie współczynnik k.

Najczęściej materiałem izolacyjnym jest wełna mineralna, występuje ona 29 razy na 79 zidentyfikowanych warstw izolacji. Prawie równie często - 28 razy - stosowany był styropian, 14 razy pianka poliuretanowa.

Grubość warstw izolacji jest bardzo zróżnicowana. Poniżej zestawiono rodzaje stosowanych materiałów izolacyjnych oraz grubość warstw w ścianach, stropodachu i podłodze parteru.

Materiał	Grubość warstwy izolacji [cm] w:		
	ścianach	stropodachu	podłodze parteru
włókno celulozowe	* 11	24	-
słoma	10+40	40	-
pianka poliuretanowa	7,5+12	5-12	5+20
wełna mineralna	7,5+15	7+37	20
styropian	6+12	6+7,5	2,5+17

Izolacja nocna występuje w całości lub częściowo w 33 budynkach czyli ogółem w 55% badanych obiektów. Rozwiązania są tu bardzo różnorodne, zewnętrzne, wewnętrzne, czasami pomiędzy dwiema warstwami przeszklenia. Rozwiązania materiałowe też są różne. Od prostych drewnianych okiennic, czasami ocieplonych, przez zasłony do specjalnych rolet. W warunkach polskich w okresie długiej zimowej nocy brak izolacji nocnej kolektorów powoduje większe straty niż uzyskiwane w ciągu dnia zyski słoneczne. Stąd potrzeba uświadomienia projektantom konieczności stosowania osłon nocnych, a jednocześnie uruchomienia produkcji ich różnorodnych systemów. Powiększenie powierzchni okien jako kolektorów w bezpośrednim systemie bez izolacji nocnej może doprowadzić w efekcie do strat a nie zysków. Ochrona przed przegrzaniem występuje w 41 budynkach.

7.3. Charakterystyka konwencjonalnych systemów ogrzewania

7.3.1. Badania IEA

Konwencjonalne systemy ogrzewania badanych budynków charakteryzują następujące zestawienia.

Rodzaj ogrzewania:

- ogrzewanie powietrzne z centralną nagrzewnicą	40%
- ogrzewanie powietrzne z indywidualnymi nagrzewnicami	21%
- pompa ciepła	14%
- kominek wspomagany przez grzejniki konwencjonalne	9%
- centralne ogrzewanie wodne	6%
- piecze kafłowe	5%
- ogrzewanie płaszczyznowe niskoparametrowe	5%

Rodzaj paliwa lub nośnik energii cieplnej w konwencjonalnym urządzeniu ogrzewczym

- energia elektryczna	58%
- gaz z centralnej sieci	23%
- energia elektryczna oraz gaz lub drewno	8%
- drewno opałowe	5%
- gaz z butli (propan)	4%
- olej opałowy	2%

Najpopularniejszym systemem stosowanym w omawianych domach słonecznych było ogrzewanie konwekcyjne z centralną nagrzewnicą (40%) lub z nagrzewnicami indywidualnymi (21%). Oprócz konwencjonalnych nagrzewnic elektrycznych dość często stosowano pompę ciepła. Priorytet ogrzewania powietrznego nie jest bynajmniej przypadkowy. Mała bezwładność cieplna czynnika i łatwość regulacji wydajności sprzyjają bowiem oszczędności energii przy współpracy z biernym systemem słonecznym. Wykorzystanie pompy ciepła oznacza natomiast poszerzenie zakresu wykorzystania odnawialnych źródeł energii i odpowiada obecnym tendencjom.

W pozostałych przypadkach stosowano inne znane systemy ogrzewania, a więc: centralne ogrzewanie wodne, ogrzewanie płaszczyznowe (najczęściej podłogowe), kominki i piecze kafłowe.

Odpowiednio do wymienionych rodzajów urządzeń ogrzewczych stosowano różne paliwa lub nośniki energii cieplnej. Energią elektryczną zasilano urządzenia ogrzewcze w ponad połowie budynków. Około jedna czwarta badanych obiektów korzystała z gazu dostarczanego z centralnej sieci. Poza tym stosowano gaz z butli lub drewno. Udział palenisk na olej opałowy wynosił zaledwie 2%.

7.3.2. Badania krajowe

Wszystkie budynki mają konwencjonalne systemy ogrzewania. Warunkiem uzyskania oszczędności z wykorzystania energii słonecznej jest możliwość regulacji dopływu ciepła z urządzeń konwencjonalnych w zależności od potrzeb. W badanych budynkach stosowano ogrzewanie gazowe z termostatem (36%), ogrzewanie elektryczne (26%), różne piece i kominki (28%), ogrzewanie powietrzne (8%).

7.4. Charakterystyka biernych systemów słonecznych

6.4.1. Badania IEA

Wśród różnych rozwiązań mających na celu pozyskiwanie ciepła słonecznego, na pierwszym miejscu znajduje się system zysków bezpośrednich, polegający na wykorzystaniu południowych okien jako kolektorów. Niejednokrotnie równoczesnym uzupełnieniem była przybudowana od południa szklarnia i masywna ściana akumulacyjna. Rozwiązania ograniczające się tylko do przybudowanej szklarni, a tym bardziej do samej ściany akumulacyjnej, były sporadyczne. Wynika stąd wniosek, iż ogólną tendencją w projektowaniu domów słonecznych jest łączenie poszczególnych systemów biernych w określone konfiguracje. Przemawia za tym niewątpliwie chęć zwiększenia wypadkowej efektywności w skali całego sezonu ogrzewczego. Inny mechanizm pozyskiwania i przekazywania do ogrzewanych pomieszczeń słonecznych zysków ciepła kształtuje sprawność każdego z systemów w różnych warunkach insolacyjnych i temperaturowych. Także względy architektoniczno-budowlane i użytkowe budynków skłaniają projektantów do rozwiązań kompromisowych.

Ważnym składnikiem biernego systemu słonecznego są elementy budowlane będące zasobnikami ciepła słonecznego. W omawianych budynkach funkcję tę spełniają najczęściej betonowe ściany wewnętrzne oraz posadzki. W mniejszym zakresie wykorzystywane są do tego celu ściany z cegły lub nie wypalanej gliny, z różnych lżejszych materiałów budowlanych oraz przegrody stanowiące zbiorniki z wodą. Czasami stosowano posadzki lub słupy kamienne. Zasobniki ciepła słonecznego w postaci pojemników wypełnionych odpowiednio dobraną substancją chemiczną, a także złoża drobnych kamieni stanowiły raczej margines przyjmowanych rozwiązań (2% badanych budynków).

Udział budynków, w których wyposażono bierny system słoneczny w dodatkowe elementy mające na celu zwiększenie efektywności wynosi 30%. Są to prawie wyłącznie ruchome osłony termoizolacyjne kolektorów, a więc okiennice, rolety

lub inne tego typu nieprzezroczyste warstwy nakładane na przeszkłone powierzchnie okien, ścian akumulacyjnych lub szklarni. W ten sposób skutecznie chroni się je przed nadmiernymi stratami ciepła w nocy, a często także w pochmurne dni. W niektórych przypadkach, jako dodatkowe wyposażenie, wymienia się w opisie ekrany reflektorowe umieszczone przy budynkach oraz osłony zacieniające używane w okresie letnim.

Pełną charakterystykę badanych w programie biernych systemów słonecznych zamieszczono poniżej.

Rodzaj biernego systemu słonecznego:

- system zysków bezpośrednich	43%
- system zysków bezpośrednich z przybudowaną szklarnią	22%
- przybudowana szklarnia	11%
- system zysków bezpośrednich i masywna ściana akumulacyjna	10%
- system zysków bezpośrednich, masywna ściana akumulacyjna i przybudowana szklarnia	7%
- masywna ściana akumulacyjna	4%
- masywna ściana akumulacyjna i przybudowana szklarnia	3%

Rodzaj elementów i materiałów akumulujących ciepło słoneczne:

- betonowe ściany wewnętrzne i posadzki	55%
- ściany z cegły ceramicznej lub gliny	16%
- różne lekkie materiały budowlane	10%
- ściany lub dachy wodne	9%
- ściany, posadzki lub słupy kamienne	8%
- substancje chemiczne zmieniające fazę lub złoża kamienne	2%

Dodatkowe wyposażenie biernych systemów słonecznych

(w 36% badanych budynków)

- okresowe osłony termoizolacyjne kolektorów	85%
- ekrany reflektorowe przed kolektorami	8%
- ruchome elementy zacieniające stosowane w lecie	7%

7.4.2. Badania krajowe

Czysty bierny system słoneczny występował w 33% badanych budynków. W 7% budynków występowały urządzenia służące głównie do wymuszenia przepływu ciepłego powietrza. Często wentylator taki dodawany był przez użytkowników w trakcie eksploatacji. W 30% badanych budynków zastosowano systemy słoneczne semiaktywne.

Elementy pozyskiwania energii

W elementach pozyskiwania najpowszechniejsze jest okno. Jest to okno podwójnie szklone, w kilku przypadkach potrójnie. Brak jest danych dotyczących stopnia szczelności okien. Okna pozyskujące energię są z reguły orientowane

południowo, okna w pozostałych stronach budynku albo nie występują wcale, albo są ograniczone do minimum, co często powoduje pewne wydłużenie osi budynku w kierunku wschód-zachód.

Drugim co do częstotliwości elementem pozyskiwania energii są szklarnie (63%). Od szklarni niewielkich do obejmujących całą południową elewację i to czasem przez dwie kondygnacje. Są budynki zawierające dwie szklarnie zachodnio-południową i południową. Niektóre szklarnie mieszczą się na piętrze budynku. Nie było natomiast w badanych budynkach szklarni stojącej po prostu jako dach nad całym budynkiem. Szklarnie coraz częściej stanowią integralną część budynku, a nie dobudowany do niego element. Powierzchniowo są zróżnicowane, rzadko przekraczają 20 m^2 . Kamienna lub betonowa płyta podłogi szklarni, czasami ze zbiornikiem wodnym stanowi zwykle magazyn ciepła.

Ściana Trombe'a występuje w 17% badanych obiektów.

Elementy pozyskiwania energii najczęściej nie występują pojedynczo. W badanych budynkach samo okno występuje w 29% przypadków, okno i szklarnia w 55%, okno, szklarnia i ściana Trombe'a w 10%, okno ze ścianą Trombe'a w 6% przypadków.

Stosunek powierzchni kolektorów do powierzchni podłogi budynku jest zróżnicowany i wynosi od 0,11 do 0,30.

Elementy magazynujące energię

Najczęściej, bo aż w 31% badanych budynków magazynem ciepła są masywne ściany domu betonowe, ceglane, kamienne. Drugim co do częstotliwości występowania elementem jest płyta podłogi - 24%. Płyty te są wykonane z materiałów ceramicznych, z kamienia, czasami betonowe. Wykonane tak jak podłoga w szklarni, często przechodzą na następny pokój - zwykle wspólny - również naświetlony bezpośrednio. Element ten ważny dla magazynowania energii, trudny będzie do przyjęcia dla przeciętnego polskiego użytkownika przyzwyczajonego do "cieplej podłogi".

Podłoga kamienne, żwirowe lub betonowe występują w 13% przypadków. Wymagają one zastosowania wentylatorów, a więc wymuszonego rozprowadzania ciepła. O ile we wcześniejszych opracowaniach tylko kilka razy zwraca się uwagę na konieczność dobrej izolacji podłoga od gruntu to w rozwiązaniach późniejszych jest ono doskonale izolowane.

Stropy masywne występują tylko w 10% budynków, są to elementy magazynujące. W warunkach polskich stropy są z reguły betonowe lub ceramiczno-betonowe stąd znacznie częściej mogłyby stanowić magazyn ciepła.

Pozostałe magazyny to trzony kominków i różne środki chemiczne

(10%). Ściany Trombe'a występują jako magazyn ciepła w 6% budynków. Zbiorniki wodne konstruowane jako otwarte lub kolumny wodne stanowiące swoisty element ściany występują w 6% przypadków.

Najczęstszym zestawieniem magazynów ciepła w budynku jest ściana i płyta podłogi.

Rozprowadzanie ciepła

Bierny system słoneczny charakteryzuje się naturalnym rozprowadzaniem ciepła. Wymuszone rozprowadzanie ciepła występuje jednak w 65% budynków. Wydaje się, że tak częsta konieczność stosowania niewielkich urządzeń do wymuszania przepływu ciepłego powietrza skłania do uznania biernego systemu wspomaganego jako zapewniającego lepsze wykorzystanie zysków słonecznych w całym budynku.

Jako inne elementy biernego systemu wspomaganego włączono otwartość wnętrza dla przepływu ciepła. Oceniana na podstawie rzutów i przekrojów występuje w 55% budynków.

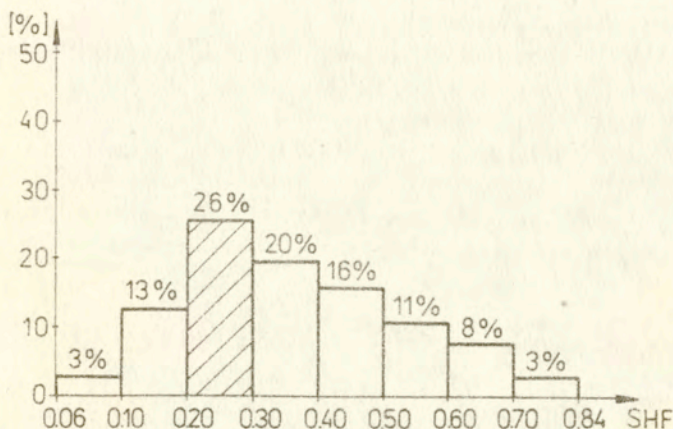
Wyraźny bufor cieplny wytworzony przez umieszczenie pomieszczeń o niższych wymogach cieplnych przy ścianie północnej - strefowanie, występuje w 72% budynków.

7.5. Wyniki badań efektywności biernych systemów słonecznych

Badania efektywności biernych systemów słonecznych polegały przede wszystkim na pomiarach poszczególnych składowych bilansu cieplnego budynków w ciągu całego sezonu ogrzewczego. Wszystkie zespoły uczestniczące w programie IEA opierały się na ujednoliconej metodyce opracowanej na potrzeby tegoż programu [2]. Oczywiście, przy tak dużej liczbie obiektów, nie wszystkie mogły być zbadane w jednakowym stopniu szczegółowości. Z omawianego raportu wynika, że 6% budynków badano na najdokładniejszym poziomie A, uwzględniającym ogół czynników wpływających na bilans energetyczny i wymagającym bogatego zestawu aparatury. Najwięcej, bo 83% budynków badano na poziomie B o dokładności wystarczającej do zbilansowania dostawy i zużycia ciepła w skali poszczególnych miesięcy sezonu ogrzewczego. Pozostałe budynki badano na poziomie C, uzyskując wrywkowe wyniki dające możliwość jedynie oceny szacunkowej. Dokładne informacje na temat wspomnianych poziomów badań można znaleźć w opracowaniu [1]. Scharakteryzowano je również w artykule [4].

Za miarę efektywności biernych systemów uznano wskaźnik użytecznego

ciepła słonecznego SHF, zdefiniowany jako faktyczny udział energii słonecznej w pokryciu całkowitego zapotrzebowania na ciepło przy ogrzewaniu budynku do wymaganej temperatury w ciągu całego roku. Z rysunku 7.2 wynika, że wskaźnik użyteczności ciepła słonecznego najczęściej był zawarty w granicach od 0,2 do 0,3, a w następnej kolejności w granicach od 0,3 do 0,4.



Rys.7.2. Częstość występowania wartości wskaźnika SHF w wynikach badań efektywności biernych systemów słonecznych

Aby dokładniej ocenić możliwości biernych systemów słonecznych w warunkach klimatu Polski, z całej populacji badanych obiektów wyodrębniono te, które były zlokalizowane w rejonach o rocznej sumie promieniowania słonecznego do $1100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{a})$. Okazało się, że 40% obiektów należących do tej grupy charakteryzowało się wskaźnikiem SHF z przedziału $0,21+0,30$, zaś 30% z przedziału $0,31+0,40$. Dla 20% budynków wskaźnik SHF nie przekraczał 0,20, natomiast dla pozostałych 10% był większy niż 0,40. W analizowanej grupie zdecydowanie przeważał system zysków bezpośrednich (55%), często łączony z przybudowaną szklarnią (dalsze 25%).

Podobną analizę przeprowadzono dla wyodrębnionej grupy budynków zlokalizowanych w strefie, dla której suma stopniodni ogrzewania była zawarta w przedziale $3000+4000 \text{ Kd/a}$. Tutaj prawie jedna czwarta obiektów charakteryzowała się wskaźnikiem SHF z przedziału $0,21+0,30$. Około 30% budynków miało system zysków bezpośrednich, 27% - system zysków bezpośrednich z przybudowaną szklarnią.

Analiza pozostałych stref klimatycznych również wykazała dominację

systemu zysków bezpośrednich oraz przewagę wskaźnika efektywności z przedziału 0,21+0,40. Tylko w strefie o bardzo dobrych warunkach insolacyjnych, tj. o sumie promieniowania powyżej 1700 kWh/(m²a), prawie 30% budynków charakteryzowało się wskaźnikiem SHF z przedziału 0,61+0,70. Taki zakres wskaźnika efektywności miało 20% budynków na obszarach, dla których suma stopniodni ogrzewania nie przekraczała 2000 Kd/a.

Z analizy budynków energooszczędnych przeprowadzonej w badaniach krajowych wynika, że wskaźnik SHF wynosi przy zastosowaniu:

-biernych systemów	23+75%
-biernych systemów wspomaganych	17+60%
-systemów biernych i semiaktywnych	39+78%.

Wyłączając wyniki odnoszące się do budynków położonych w zasadniczo różnej od Polski szerokości geograficznej uzyskujemy odpowiednio przy zastosowaniu:

-biernych systemów	23+48%
-biernych systemów wspomaganych	17+53%
-systemów biernych i semiaktywnych	33+58%.

Przedstawiony na rysunku 3.35 wykres [3] wskazuje na istnienie zależności między efektywnością funkcjonowania biernego systemu słonecznego a wskaźnikiem strat ciepła budynku, a więc pośrednio - jego izolacyjnością. Jak widać, najkorzystniejsze warunki uzyskuje się w budynkach, dla których wskaźnik całkowitych strat ciepła kształtuje się na poziomie 110+140 kWh/(m²a). Można przypuszczać, że uchwycona zależność odzwierciedla wpływ pojemności i izolacyjności cieplnej budynku na sprawność pozyskiwania i okresowego akumulowania słonecznych zysków ciepła. Budynki o doskonałej izolacyjności termicznej charakteryzują się n. ogół małą pojemnością cieplną ze względu na zastosowane materiały. Mała zdolność do akumulacji nadmiaru ciepła słonecznego w przegrodach powoduje okresowe przegrzewanie pomieszczeń i stwarza konieczność usuwania bezużytecznych zysków. Obniża to średnią wartość wskaźnika SHF. Z kolei w budynkach o znacznych stratach, mimo większej izolacyjności cieplnej przegród, udział energii słonecznej w pokrywaniu całkowitych strat ciepła jest ograniczony, gdyż oszczędności uzyskane w dni słoneczne są na ogół niewielkie w porównaniu z zapotrzebowaniem w dni pochmurne. Należy tu zaznaczyć, że mimo licznych prac poświęconych temu zagadnieniu problem optymalnej pojemności i izolacyjności cieplnej domów słonecznych nie został jeszcze rozwiązany w sposób zadowalający.

Wśród badanych budynków można wyodrębnić pięć obiektów zlokalizowanych w

warunkach porównywalnych z przeciętnym klimatem większości obszaru Polski (suma promieniowania słonecznego do 1000 kWh/(m²a) i suma stopniodni ogrzewania 3000+4000 Kd/a). Są to jedno- lub dwukondygnacyjne budynki jednorodzinne o betonowej i drewnianej konstrukcji, wolno stojące, albo pozostające w zabudowie szeregowej, ogrzewane elektrycznie. Wskaźnik strat ciepła waha się w granicach od 70 do 180 kWh/(m²a). Eksperymentalnie określony wskaźnik SHF wynosił 0,08+0,27, przy czym w każdym przypadku dotyczył on systemu zysków bezpośrednich, a w jednym - z dodatkowo dobudowaną szklarnią. Zauważa się dużą zgodność wymienionych wartości SHF z wynikami badań opisanych w artykule [5].

Na podstawie badań krajowych określono budynek "typowy" wynikający z analizy przykładów zagranicznych [6]. Jest to budynek:

- jednorodzinny, wolno stojący, dwukondygnacyjny,
- o powierzchni użytkowej 101+200 m²,
- z betonowymi ścianami konstrukcyjnymi,
- z kolektorami okno + szklarnia,
- o stosunku powierzchni kolektorów do powierzchni podłogi 0,21+0,30,
- z magazynowaniem ciepła w ścianach i płytach podłogi,
- z izolacją nocną kolektorów,
- z ochroną budynku przed przegrzaniem,
- z dodatkowym wymuszonym rozprowadzaniem ciepła,
- z otwartością wnętrza,
- z buforem cieplnym,
- z grubością warstwy izolacji cieplnej:

ścian	10 cm,
stropodachu	15+20 cm,
podłogi parteru	5+10 cm,
- wykonanej ze styropianu lub wełny mineralnej,
- z ogrzewaniem konwencjonalnym w postaci centralnego ogrzewania gazowego z podwójnym systemem regulacji (piec, każdy grzejnik),
- w klimacie o usłonecznieniu 1500+2000 h i stopniodni 1091+4950 Kd/a.

7.6. Podsumowanie

Zaprezentowany materiał zawiera dość istotne informacje dotyczące aktualnych tendencji w projektowaniu budynków mieszkalnych, w których zastosowano bierne systemy słoneczne do ogrzewania pomieszczeń. Uwidacznia też

rzeczywisty potencjał oszczędności energii cieplnej możliwy do wykorzystania tym sposobem. Wnioski, jakie nasuwają się przy analizie przedstawionych wyników badań są następujące.

Energia słoneczna pozyskiwana w sposób bierny nie wyeliminuje w krajach o klimacie zbliżonym do klimatu Polski konieczności stosowania konwencjonalnych urządzeń ogrzewczych w małych budynkach mieszkalnych. Jednak przez właściwą eksploatacją systemu w budynkach o architekturze i konstrukcji odpowiadającej lokalnym warunkom klimatycznym, przy poprawnie dobranej izolacyjności i pojemności cieplnej obudowy, można tym sposobem wyraźnie zmniejszyć zużycie energii, a tym samym ograniczyć ilość spalanej paliwa.

Stosunkowo dużą efektywnością, szczególnie w mniej korzystnych warunkach klimatycznych, charakteryzuje się system zysków bezpośrednich, ewentualnie uzupełniony dobudowaną do południowej elewacji szklarnią. Ta ostatnia, oprócz korzyści energetycznych, daje dodatkową powierzchnię użytkową.

Wyniki badań uzyskane w programie IEA oraz wyniki badań krajowych potwierdzają celowość propagowania i wdrażania biernych systemów słonecznych w Polsce. Wykazano bowiem, że w porównywalnych warunkach klimatycznych wskaźnik efektywności może osiągnąć w skali sezonu ogrzewczego wartość 30%. Tym samym, przy spełnieniu określonych warunków, o tyle można by zmniejszyć zużycie ciepła dostarczanego ze źródeł konwencjonalnych.

Bibliografia

1. Ferraro, R., Godoy, R., Turren, D.: *Monitoring Solar Heating Systems*, Pergamon Press, Oxford 1983
2. Holtz, M.J., Hamilton B.: *Program Area Plan - Passive Solar Performance Evaluation of Passive/Hybrid Solar Buildings*, IEA Report SERI/PR-721-788/1980
3. Laskowski L.: *Tendencje w projektowaniu i efektywność biernych systemów słonecznych*, COW 8-9/1988
4. Laskowski L.: *Badania bilansu i oszczędności energii cieplnej w budynkach mieszkalnych*, COW 7-8/1985
5. Laskowski L.: *Określanie efektywności biernych systemów słonecznych*, COW 3/1986
6. Lossow-Samkova B., Kisielewicz T., Przysiópska-Kłosek D.: *Analiza i ocena zagranicznych rozwiązań architektoniczno-budowlanych budynków energooszczędnych z biernym wykorzystaniem energii słonecznej*, Opracowanie wykonane w ramach CPBP 02.21, temat 1.11, etap III, Kraków 1988