CZASOPISMO TECHNICZNE A
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

z. 7-A/2008
ISSN 0011-4561
ISSN 1897-6271

STANISŁAWA WEHLE-STRZELECKA*

ROZWÓJ KONCEPCJI POZYSKIWANIA ENERGII SŁONECZNEJ W ROZWIĄZANIACH ARCHITEKTONICZNO-URBANISTYCZNYCH – PIERWSZA GENERACJA ARCHITEKTURY SŁONECZNEJ

DEVELOPMENT OF SOLAR ENERGY GAINING CONCEPT IN ARCHITECTURAL AND URBAN SOLUTIONS – FIRST GENERATION OF SOLAR ARCHITECTURE

Streszczenie

U progu ery ekologicznej, w którą obecnie wchodzimy, w ramach realizacji koncepcji zrównoważonego rozwoju, istotne wydaje się przypomnienie ukształtowanych na przestrzeni tysiącleci zasad poszukiwania harmonijnych związków łączących środowisko zbudowane i środowisko przyrody. Architektura słoneczna, jakkolwiek przewijała się przez całe dzieje ludzkości, od drugiej połowy XX w. (ściślej od lat 70.) przeżywa renesans ze względu na nowe systemy wartości, jakie pojawiły się w kulturze oraz możliwości technologiczne w zakresie pozyskiwania energii słonecznej i rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych. Umiejętność korzystania z wzorów tej architektury, rozwijanych w różnych kulturach i epokach, czerpanie doświadczeń z lekcji historii w tej dziedzinie, może stanowić jeden z elementów działań na rzecz powrotu do realizacji idei jedności człowieka i przyrody. Celowi temu służy niniejsza publikacja, przypominając wielowiekowe osiągnięcia w kształtowaniu środowiska życia człowieka w powiązaniu z korzystaniem z naturalnego źródła energii, jakim jest energia słoneczna.

Słowa kluczowe: *architektura, urbanistyka, architektura słoneczna, architektura energooszczędna, architektura zrównoważona, ekologia miasta*

Abstract

The realisation of a ecological model of life which would be based on the idea of sustainable development requires regard for the nature and the system of values to be built on a full respect to its laws. The renaissance an evolution of solar architecture took place during the past several years. The history of the concept of solar architecture, energy-saving solutions, technology and vernacular building tradition, shaping with full respect to the natural surrounding as well to biological processes, especially the solutions of the 1th generation in the epoch of the 20th century in the context of an idea of sustainable development constitute the subject matter of the research.

Keywords: *architecture, solar architecture, energy-saving architecture, solar city, sustainable architecture*

* Dr hab. inż. arch. Stanisława Wehle-Strzelecka, prof. PK, Instytut Projektowania Urbanistycznego, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

U progu ery ekologicznej, w którą obecnie wchodzimy, w ramach realizacji koncepcji zrównoważonego rozwoju istotne wydaje się przypomnienie ukształtowanych na przestrzeni tysiącleci zasad poszukiwania harmonijnych związków łączących środowisko zbudowane i środowisko przyrody. Architektura słoneczna, jakkolwiek przewijała się przez całe dzieje ludzkości, od drugiej połowy XX w. (ściślej – od lat 70.) przeżywa renesans ze względu na nowe systemy wartości, jakie pojawiły się w kulturze oraz możliwości technologiczne w zakresie pozyskiwania energii słonecznej i rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych. Umiejętność korzystania z wzorów tej architektury, rozwijanych w różnych kulturach i epokach, czerpanie doświadczeń z lekcji historii w tej dziedzinie, stanowić mogą jeden z elementów działań na rzecz powrotu do realizacji idei jedności człowieka i przyrody. Celowi temu służy niniejszy artykuł, przypominając wielowiekowe osiągnięcia w kształtowaniu środowiska życia człowieka w powiązaniu z korzystaniem z naturalnego źródła energii, jakim jest energia słoneczna.

Obecny ,,kryzys" energetyczny nie jest czymś nowym. Zjawiska tego typu cyklicznie pojawiały się w historii ludzkości. Znane były już m.in. starożytnym cywilizacjom greckiej i rzymskiej. Jednak nigdy nie występowały one w takiej skali, jak obecnie, stanowiąc zagrożenie globalne. Przyczynia się do tego gwałtowny postęp procesów urbanizacji z towarzyszącymi mu eksploatacją i zanieczyszczeniem środowiska oraz zmianami klimatycznymi. Działalność budowlana oraz użytkowanie budynków pochłaniają obecnie ok. 45% światowej konsumpcji energii, będąc jednocześnie źródłem ok. 35% emisji CO_2[1]. Wzrost populacji i wydłużanie się okresu życia ludzi, oczekiwania związane z jego jakością, a zatem również standardami mieszkania i przestrzeni miejskiej, powodują stały niedosyt w dziedzinie inwestycji budowlanych, a jednocześnie konflikt interesów w relacji z otoczeniem przyrodniczym. Przetrwanie cywilizacji wymaga zatem poszukiwania i wdrażania różnorodnych, zrównoważonych z naturą form kształtowania środowiska życia człowieka. W nowym świetle weryfikowane są zatem istniejące wartości w sferze kultury oraz formułowane kryteria oceny środowiska zbudowanego i nowoczesności technologii, a także osiągnięcia w dziedzinie techniki.

Zamknięcie „epoki ekonomii" czy też „ery przemysłowej" i „wieku maszyny" otwarło możliwość inicjowania nowej kultury, którą można określić jak ekologiczną („wiek życia"), towarzyszącą postindustrialnej epoce i zmierzającą w kierunku realizacji modelu życia opartego na idei trwałego i zrównoważonego rozwoju. Wyzwaniem dla współczesnej architektury i urbanistyki jest odniesienie się przede wszystkim do problemów rosnącego zapotrzebowania zarówno na teren, jak i energię. Gospodarce energią powinny służyć nowa polityka w zakresie promowania energooszczędnych technologii i odnawialnych źródeł energii, tradycyjnych, dostosowanych do klimatu rozwiązań, dążenie do przemian w świadomości społecznej oraz kulturze.

Architektura słoneczna należy do grupy energooszczędnych koncepcji w budownictwie[2]. Są one obecnie akceptowane przez społeczeństwo, szczególnie w krajach zachodniej i północnej Europy, gdzie świadomość dotycząca ekologii jest bardzo duża. Ideałem jest uzyskanie zdolności tej architektury do produkowania (generowania) większej ilości energii niż wynosi jej zapotrzebowanie. Wymaga to jednak przełomowych rozwiązań technologicznych. Konstrukcja systemów słonecznych postrzegana jest zatem nie tylko jako wyzwanie dla nowych technik i technologii, ale również dla architektury i urbanistyki.

BPK BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Należy podkreślić, że dom słoneczny nie stanowi nowej idei i nie jest wynalazkiem naszych czasów, ale powstał w drodze ewolucji form architektonicznych na przestrzeni wieków, kształtując się przez tysiąclecia. Kultury i społeczności żyjące w warunkach naturalnych wykształciły doskonałe wzorce siedlisk osadzonych w klimacie i miejscu, umożliwiając egzystencję mieszkańców różnych regionów świata przez tysiąclecia. Z zastosowaniem energii słonecznej do celów ogrzewania można się spotkać zarówno w tradycyjnym budownictwie, szczególnie gorących stref klimatycznych, jak też w pewnych konstrukcjach w świecie fauny, do jakich zalicza się np. termitiery[3]. Wpisujące się w klimat pasywne systemy pozyskiwania tej energii były rozwijane przez wiele cywilizacji świata wznoszących budynki znacznie lepiej dopasowane do otoczenia i warunków klimatycznych niż ma to miejsce obecnie. Znane od zarania ludzkości, są częścią długiej historii architektury i dowodem niezmiennych powiązań: przeszłość–współczesność–przyszłość w kształtowaniu środowiska życia człowieka. Symboliczny jest wielokrotnie wymieniany w literaturze dom Sokratesa.

Natomiast aktywnie energia słoneczna została wykorzystana dopiero w czasach współczesnych jako wynik kontynuacji uprzednich poszukiwań i doskonalenia metod oraz technologii jej pozyskiwania w uznaniu dla jej czystości, niewyczerpalnego charakteru i powszechnej dostępności.

2. Rozwój koncepcji pozyskiwania energii słonecznej w rozwiązaniach architektoniczno-urbanistycznych (pierwsza generacja architektury słonecznej – okres od starożytności po koniec XIX w.)

Informacje o wykorzystywaniu energii promieniowania słonecznego w architekturze sięgają III tysiąclecia p.n.e. Większość innowacji technologicznych starożytności zrodziła się na obszarze Bliskiego Wschodu oraz we wschodnim rejonie Morza Śródziemnego. Charakterystyczny dla osiedli i miast tego rejonu układ urbanistyczny i typ zabudowy mieszkaniowej był wynikiem dopasowywania się do warunków lokalnych. Przykłady słonecznej architektury można odnaleźć w Egipcie, Mezopotamii, starożytnej Persji, a także w najstarszych kulturach Ameryki Południowej, gdzie stosowano pasywne chłodzenie słoneczne w lecie, a ogrzewanie w zimie. Tarasowe ogrody Babilonu, podobnie jak pola Inków na zboczach Machu Picchu, łączyły przyrodę i architekturę, stanowiąc jedne z pierwszych przykładów projektowania słonecznego spajającego elementy przyrody i technologii[4]. Słoneczna architektura i planowanie urbanistyczne rozwijały się również w starożytnych Chinach[5].

Pomijając zorientowane na słońce obiekty kultu, celem zabiegów budowniczych każdej epoki było wprowadzanie lub też eliminowanie działania promieni słonecznych w obiektach mieszkaniowych.

U. Timm pisze: „Otwieranie się na słońce było istotne z punktu widzenia higieny, ale też ze względu na potrzebę stworzenia mikroklimatu z połączenia światła słonecznego, wody oraz roślinności – «małego kosmosu» wyłącznie do dyspozycji mieszkańców”[6].

Przegląd idei i rozwiązań przedstawiony niżej w ujęciu historycznym ukazuje ewolucję architektury słonecznej jako elementu kultury związanej z przyrodą[7]. Dowodzi, że współczesne koncepcje projektowe opierają się niejednokrotnie na sprawdzonych, znanych od

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

wieków i zakorzenionych w lokalnej tradycji rozwiązaniach. Prześledzenie rozwoju tej architektury na przestrzeni wieków pozwala na dokonanie porównania rozwiązań tradycyjnych i współczesnych, pogłębia świadomość kontynuacji i ciągłości idei włączania energii słonecznej w kształtowanie środowiska mieszkaniowego. Przedstawiony niżej rozwój architektury słonecznej obejmuje okres od starożytności po koniec lat 80. XX w.

2.1. Architektura słoneczna w kulturze europejskiej

Wielkim wkładem starożytnych budowniczych do architektury i urbanistyki była sztuka operowania światłem słonecznym i cieniem, umiejętność wprowadzania zarówno rozwiązań służących zacienieniu przestrzeni domu i miasta, jak i wykorzystujących w tej przestrzeni promieniowanie słoneczne.

Od połowy V w. p.n.e. do IV w. architektura słoneczna odgrywała dużą rolę w cywilizacji śródziemnomorskiej. Eksploatacja lasów dla celów budownictwa, ogrzewania domów i budowy okrętów spowodowała, że do V w. p.n.e. większość obszarów starożytnej Grecji została ich pozbawiona. Konieczność oszczędzania nieodnawialnych zasobów energii **przyczyniła się do narodzin i rozkwitu na tych terenach architektury słonecznej oraz rozwoju zasad projektowania i wznoszenia budynków oraz planowania miast w sposób pozwalający na optymalne** czerpanie korzyści z energii słonecznej w okresie chłodnych zim i zabezpieczanie ich przed przegrzaniem w okresie letnim. Celowi temu służyło prowadzenie dokładnych studiów zacienienia i nasłonecznienia zabudowy w różnych porach dnia i roku. Miasto greckie uważane jest za nieporównywalne osiągnięcie pod względem estetyki, komfortu i higieny, a także czystości i zwartości układu urbanistycznego w stosunku do współczesnych miast naszego kontynentu[8]. Regularny, szachownicowy układ ulic, znany z okresu klasycznego, słoneczna orientacja i naturalna wentylacja należały do charakterystycznych cech tych racjonalnych układów urbanistycznych (przykłady: m.in. Priene, Milet)[9]. Dzisiaj można je określić jako idealne miasta słoneczne. Doświetlenie od południa każdego domu i możliwości korzystania z ogrzewania słonecznego w okresie zimowym stanowiły standard zarówno w planach domów miejskich, jak i wiejskich. Technika budowy domów słonecznych była bardzo efektywna. Pasywne rozwiązania propagowali, jako nowoczesne budownictwo, m.in. Ksenofont, Arystoteles i Sokrates; ten ostatni podkreślał, że idealny dom powinien być chłodny w lecie, a ciepły w zimie[10]. Nie wprowadzono wówczas przegród ze szkła ani z innych transparentnych materiałów między otwartym na dziedziniec portykiem a wejściem do pokoi. Stosowanie tych prostych zasad stanowiło podstawę architektury słonecznej w starożytnej Grecji. Południowa słoneczna ekspozycja zabudowy, podnosząc komfort klimatyczny, wywierała też korzystny wpływ na zdrowie mieszkańców (o świadomości w tym zakresie świadczy m.in. opinia autorytetu medycznego, jakim był Oribasius)[11]. Należy tu dodać, że omówione racjonalne zasady planowania miast oparte na przestrzeganiu prawa dostępu do słońca każdego domu odzwierciedlały demokratyczny etos tego okresu w historii kultury.

Olint (Olynthus) – planowane miasto słoneczne, jedno z wiodących miast greckich okresu hellenistycznego, stanowiło wzorzec wdrożenia w praktyce słonecznej architektury, o południowej ekspozycji, w zespole urbanistycznym o bardzo intensywnej zabudowie. Typowy dom, zaprojektowany na rzucie prostokąta, miał wszystkie pokoje mieszkalne otwarte od strony południowej na portyk. Ściany z adobe i podłogi z ziemi stanowiły doskonały magazyn ciepła słonecznego.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

W **Priene** wzorowano się na zasadach kształtowania zabudowy słonecznej Olintu. Uwzględniając topografię terenu, przystosowano większość domów do korzystania z promieniowania zimowego słońca, stosując zasady południowej ich ekspozycji, a gdy nie było to możliwe – zachodniej.

W **Delos** wprowadzono inny typ domów słonecznych, odmienny od wyżej opisanego. Charakterystyczne było zastosowanie ściany północnej niższej od południowej, co umożliwiało pełną penetrację słońca do wnętrz mieszkalnych od południa w zimie, a ograniczało ją w lecie. Podobne zalety miała zasada łączenia dwupoziomowego skrzydła północnego z parterowym skrzydłem południowym[12].

Starożytny Rzym udoskonalił grecki model słonecznej architektury dzięki zastosowaniu w I w. n.e. nowych materiałów – szkła płaskiego oraz wypukłego, łączonego metalem, a także miki i selenitu[13].

Okna przekształciły się od tego momentu w płaszczyzny pozyskujące energię słoneczną. To proste, znane już wówczas zjawisko efektu cieplarnianego wykorzystywane jest nadal w ogrzewaniu współczesnych, pasywnych domów słonecznych[14]. Ciepło słoneczne, skumulowane w ciągu dnia we wnętrzu, zatrzymywane było w nocy wskutek stosowania dodatkowych, okiennych osłon. Badania z Herculanum i Pompei dowodzą, że szkło stosowano w oknach domów bogatych Rzymian już we wczesnym okresie cesarstwa. Zasad architektury słonecznej uczono się z bezpośrednich kontaktów z kolonistami greckimi, którzy osiedlali się na południu Italii oraz z dzieł Witruwiusza. Pisząc o lokalizacji budynków prywatnych, zalecał on uwzględnienie ich orientacji w stosunku do słońca, konieczność dostosowania architektury do warunków klimatu, szczególnie nasłonecznienia[15]. Znany jest opis Pliniusza Młodszego prezentujący zasady projektowania dwu willi pisarza: w Laurentum oraz u podnóży Apeninów, w których zastosowano ogrzewanie słoneczne. *Heliocaminus*, czyli „pokój – piec słoneczny" (*solar furnace room*) stanowił ważny element koncepcji domu. To koncentryczne pomieszczenie, o oknach od południa, południowego wschodu i południowego zachodu, pełniło rolę zbiornika ciepła słonecznego, z którego powietrze rozprowadzano przewodami do sąsiednich wnętrz[16]. Wraz z rozwojem wiejskich rezydencji pojawiły się koncepcje siedzib samowystarczalnych. Czołowi architekci Faventinus i Palladius, korzystając z porad Witruwiusza dotyczących sytuowania pokoi dziennych i łazienek, wprowadzali w swoich projektach różnorodne, energooszczędne rozwiązania. W ramach koncepcji energetycznej łączono zasadę stosowania transparentnych, południowych otworów okiennych z wykorzystaniem podłogi pokoju zimowego, ogrzewanego energią słoneczną, jako idealnego jej absorbera. Technologia ta stosowana była w Grecji, a jej opis został przekazany w pismach Witruwiusza[17]. Palladius wprowadzał recykling wody do kąpieli oraz stosował zasadę lokalizacji pokoi zimowych bezpośrednio nad gorącymi łazienkami, co pozwalało na czerpanie ciepła pozyskiwanego zarówno z promieniowania słonecznego, jak i z łazienek. Podobnie w rzymskich łaźniach energia słoneczna uzupełniała ciepło uzyskane z ogrzewania podłogowego. Rzymianie wprowadzali też ogrody zimowe w celach dekoracyjnych do swoich miejskich domów i willi, konstruowali także szklarnie. Umiejętność korzystania z energii słonecznej umożliwiała hodowlę w nich egzotycznych roślin, owoców i warzyw, niezależnie od sezonu. W okresie rządów Augusta, w I w. n.e., aż do czasu upadku Rzymu wykorzystywanie energii słonecznej do ogrzewania rezydencji, miejsc do kąpieli i ogrodów zimowych było bardzo rozpowszechnione w całym cesarstwie. Jednak budownictwo słoneczne nie było stosowane tak masowo jak w demokratycznej Grecji. Na ogół tylko zamożni Rzymianie wprowadzali

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

ogrzewanie słoneczne w swoich rezydencjach. Wyjątek stanowiły łaźnie jako obiekty publiczne, otwarte dla całego społeczeństwa.

Podsumowując dorobek starożytnej kultury śródziemnomorskiej, należy podkreślić, że Rzym wniósł znaczący wkład w rozwój architektury słonecznej i postęp technologiczny w tej dziedzinie. Szczególnie dotyczyło to wprowadzenia transparentnych osłon otworów okiennych, ogrodów zimowych oraz oranżerii i szklarni, które w wyniku efektu cieplarnianego stanowiły pułapkę dla ciepła słonecznego wykorzystywanego do ogrzewania wnętrz domów i łaźni. W Rzymie po raz pierwszy w historii ludzkości zostało też ustanowione, sformułowane i zapisane prawo słoneczne (dostęp budynków do słońca) jako element prawa rzymskiego[18]. Wiele z ówczesnych reguł do dzisiaj wchodzi w skład zasad pasywnej architektury słonecznej.

Należy dodać, że starożytni Grecy, Rzymianie i Chińczycy rozwijali też różnorodne technologie słonecznej broni, wykorzystując krzywe zwierciadła (m.in. grecki matematyk Dositheus – III w. p.n.e.), a także napędzane energią słońca urządzenia[19].

Wraz z upadkiem imperium rzymskiego zanikły w Europie, na ponad tysiąc lat, tradycja oranżerii i szklanych ścian południowych, a także zasady solarnej orientacji domów i zabudowy miejskiej. Zapomniane zostały też klasyczne dzieła i opinie na temat architektury słonecznej Sokratesa, Arystotelesa i Witruwiusza, a także rzymskie prawo określające dostęp budynków do słońca.

W okresie średniowiecza nieliczne były przykłady kontynuowania tradycji rodzimej architektury słonecznej w niektórych rejonach Europy (w regionie Morza Śródziemnego i Azji Mniejszej, szczególnie w Grecji i w Turcji)[20].

Od XVI w. powraca zainteresowanie ogrzewanymi słoneczną energią oranżeriami. Lata od 1550 do 1850 r. zaznaczyły się w Europie bardzo niesprzyjającym mieszkańcom klimatem o długotrwałym okresie zimowym. Energia słoneczna stała się sprzymierzeńcem w łagodzeniu tych warunków wskutek rozwoju upraw szklarniowych. W XVI w. A. Palladio wprowadzał praktycznie porady Witruwiusza dotyczące sytuowanie pokoi letnich od północy, a zimowych od południa. Holendrzy i Flamandowie od XVI w. byli pionierami w rozwijaniu ogrodnictwa i zakładaniu pierwszych nowoczesnych szklarni (ok. 1550 r.). W XVII w. we Francji oraz w Anglii stosowano dość powszechnie technikę *fruit walls* – ścian słonecznych o różnorodnej konstrukcji i południowej lub południowo-zachodniej ekspozycji, do których mocowano gałęzie drzew. W XVIII w. kryte szkłem i zorientowane na południe pomieszczenia (cieplarnie, ogrody zimowe), a także duże południowe okna rozpowszechnione były na całym kontynencie. Wiek XVIII określano nawet jako „wiek szklarni" (*Age of the Greenhouse*) wskutek wielkiej ich popularności i powszechnego wznoszenia. Od XI do końca XVII w. szkło uzyskiwano metodą rzemieślniczą. Powszechną jego dostępność umożliwił rozwój produkcji płaskich, większych i grubszych jego tafli w manufakturach i związane z tym obniżenie ceny. Stosowanie osłon na szklane przegrody zapobiegało utracie ciepła z pomieszczeń nocą.

Pierwsze szklarnie wznoszono o ścianach południowych nachylonych (wg profesora botaniki – H. Boerhave z Holandii – optymalny kąt nachylenia wynosił 75,5°). Proponowano różną ich konstrukcję wedle francuskich i holenderskich wzorów. Teorię i zasady ich kształtowania po raz pierwszy systematycznie opracował francuski naukowiec M. Adanson, a wiedzę na ten temat rozwinął pod koniec XVIII w. dr J. Anderson, proponując rozwiązania dla magazynowania ciepła słonecznego pozyskiwanego w dzień[21].

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

W XIX w. kontynuowano rozwój architektury słonecznej i do jego końca ogrody zimowe stanowiły ważny element architektoniczny, uzupełniający od południa bryłę budynków mieszkalnych, szczególnie wiejskich rezydencji[22]. Szklarnie, z pomieszczeń służących głównie uprawie roślin, przekształcały się stopniowo w droższe i bardzo atrakcyjne przeszklone ogrody (*conservatories*), o południowej orientacji, w których rośliny, m.in. egzotyczne, umieszczano w celu ich eksponowania oraz dla rekreacji mieszkańców. Angielski architekt H. Repton włączył oranżerię wprost do domu, dodając ją jako przedłużenie salonu. W słoneczne dni zimowe szklane drzwi dzielące te pomieszczenia otwierano w celu dogrzania wnętrza. Ogrody zimowe stały się w ten sposób integralnym składnikiem przestrzeni do życia, niezbędnym dla zdrowia i komfortu psychicznego mieszkańców, szczególnie dzieci, ze względu na dostęp do słońca i przyrody. Przyjmowały one też charakter wolno stojącego elementu ogrodu publicznego[23]. Crystal Palace J. Paxtona – olbrzymia oranżeria, zbudowana z prefabrykatów – stanowił wyraz nowej technologii szkła i żeliwa. Z Europy wzory te przeniesiono do północno-wschodnich stanów USA, gdzie zyskały dużą popularność.

2.2. Rozwój słonecznych systemów aktywnych

Studia H. de Saussure'a (1767 r.) nad efektem cieplarnianym i doświadczenia z miniaturowymi pudełkami szklanymi oraz pozyskiwanymi w nich temperaturami, prowadzone m.in. przez J. Herschela, S.P. Langleya, stały się prototypami dla solarnych kolektorów. Pojawiły się one z końcem XIX i w XX w. jako nowa technologia wykorzystująca energię słońca w celu ogrzewania domów, wody, a także do pracy różnorodnych urządzeń (A. Mouchot, A. Pfire – kolektory, silniki parowe i pompy słoneczne, 1860–1870). Francuz Ch. Tellier jako pierwszy w nowożytnych czasach rozwijał koncepcję niskotemperaturowych, solarnych kolektorów dla napędu maszyn, m.in. pompy słonecznej użytecznej w rolnictwie (1885). Do amerykańskich pionierów-konstruktorów rozwijających w drugiej połowie XIX i w pierwszej dekadzie XX w. projekty różnego typu maszyn o napędzie słonecznym należeli: J. Ericson, Ch. Pope, R. Thurston, A. Aeneas, H.E. Willsie, J. Boyle, F. Schuman. Omawiany okres przyniósł też postęp technologiczny w systemach instalacji. Do połowy XIX w. rozwinęły się m.in. systemy centralnego ogrzewania. C.M. Kemp w Baltimore opatentował pierwsze zbiorniki wodne ogrzewane energią słońca, uruchamiając ich fabryczną produkcję (1889). Wcześniejsze badania datują się na lata 80. XIX w., kiedy to E.S. Morse (Instytut Essex, Salem, Massachusetts) zastosował do tego celu *hot box* (pierwsze ogrzewanie słoneczne: Peabody Museum, Salem, 1882, największy grzejnik słoneczny: Boston, Athenaeum). Metody te i technologie, na różnych zasadach konstrukcyjnych, rozwijali F. Walkerok i Ch. Haskell (1900). W 1909 r. W.J. Bailey rozpoczął sprzedaż solarnych grzejników wody, które miały zrewolucjonizować przemysł, a dr Remington zaproponował ich niezależną od kolektora słonecznego konstrukcję. W 1902 r. zrobiła karierę klimatyzacja. Pierwszym nowoczesnym budynkiem biurowym z systemem klimatyzacji był Larkin Office Building architekta F.L. Wrighta w Buffalo, z przeszklonym atrium[24]. Po I wojnie światowej fabryki rozpoczęły masową produkcję dużych tafli szkła o bardzo dobrej jakości i przystępnej cenie. Towarzyszył temu postęp w systemach konstrukcji stalowych, pełniących rolę szkieletu wypełnionego szklaną „skórą". Rozwiązania te architekci promowali z czysto estetycznych względów.

Należy jeszcze wspomnieć o postępie badań, które przyczyniły się w kolejnym stuleciu do rozwoju fotowoltaiki. Jakkolwiek A. Volta (1745–1827) uważany jest za pioniera elek-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

tryczności, dopiero A. Becquerel, odkrywając efekt fotowoltaiczny, udowodnił, że energia słoneczna może służyć do wytwarzania prądu (1839), a A. Mouchot prowadził w tym zakresie eksperymenty. Pięćdziesiąt lat później Amerykanin Ch. Fritts skonstruował pierwsze ogniwo słoneczne. W kolejnych dekadach sprawdzano efekt fotowoltaiczny, a z początkiem lat 30. XX w. odkryte zostało solarne ogniwo z selenu.

Podsumowując omawiany wyżej okres w kulturze europejskiej od starożytności po początek XX w., można stwierdzić, że dał on podwaliny pod systematyczny rozwój pasywnego wykorzystywania energii słonecznej, pierwsze technologie systemów aktywnych, a także zasady słonecznej urbanistyki[25]. Należy jednak zaznaczyć, że już w początkowym okresie industrializacji i rozwoju technologii w budownictwie, ok. 1742 r., zaznaczyły się pierwsze kroki odchodzenia od zasad kształtowania zabudowy w powiązaniu z miejscem i klimatem i podejście to stało się dominujące w architekturze XX w., aż do ostatnich jego dekad.

2.3. Architektura słoneczna w kulturze amerykańskiej

Amerykańska architektura słoneczna rozwijała się jako rodzime dziedzictwo kultury. Pasywny system ogrzewania słonecznego domów i architektura bioklimatyczna stanowiły miejscową tradycję w okresie prekolumbijskim w południowo-zachodnich rejonach Ameryki Północnej[26], wznoszonych przez Indian z grupy Pueblo, oraz w Ameryce Łacińskiej. Do dziś istnieje w dolinie rzeki Rio Grande 25 miasteczek z okresu prekolumbijskiego (puebli, nadal zamieszkiwanych). Wiele porzuconych ok. XIII i XIV w. siedzib przetrwało do dzisiaj w stanie niemal nietkniętym. Wzniesione z rodzimych, miejscowych materiałów dopasowane są do terenu i przyrody, wpisują się w klimat. Charakteryzuje je dostosowanie do warunków nasłonecznienia zarówno w ciągu doby, jak i całego roku, świadome gospodarowanie naturalną energią. Reprezentują podejście do kształtowania środowiska życia ludzi na zasadzie ekosystemu. Najwcześniejsze przykłady tych rozwiązań architektoniczno-urbanistycznych stanowią liczne osiedla wzniesione przez Indian Anasazi w formie struktur usadowionych na południowych ścianach skalnych klifów lub też na otwartych, płaskich platformach. Cywilizacja ta zorganizowana była w miastach, z których każde charakteryzowała typowa, zwarta, otwarta na południe zabudowa (habitat w kanionie w Mesa Verde z 5 tys. mieszkańców, 1200 r.; Kolorado, Peueblo Bonito i Pueblo Acoma oraz Pueblo Taos, XIV w.). Odkrycia archeologiczne potwierdzają doskonałość relacji klimatu, krajobrazu, kosmosu oraz kształtowania siedliska człowieka, jaką reprezentują te rozwiązania[27]. Acoma, nadal zamieszkiwane osiedle Indian z grupy Pueblo z XII w., postrzegana jest jako doskonały przykład wrażliwości jej twórców na środowisko przyrodnicze i przystosowanie architektury do warunków klimatycznych. Zbudowana została na skalnej mesie, podobnie jak grecki Olint. Zabudowę tworzyły trzy długie rzędy tarasowych domów, dwu- lub trzypoziomowych, których wzajemne odległości umożliwiały wprowadzenie promieni zimowego słońca do ich wnętrza. Masywne ściany zewnętrzne tych energooszczędnych domów z adobe (suszonej cegły) oraz z kamienia, o wysokiej pojemności cieplnej, wraz z tarasami absorbowały energię słoneczną, stanowiąc jej zbiorniki, a jednocześnie zapobiegając przegrzaniu budowli w lecie[28]. Budynki, zwrócone na południe, w kierunku zimowego słońca, nie zacieniały się wzajemnie. Masywne ściany północne, o małych otworach, służyły jako zbiorniki ciepła i osłona przed wiatrami. Ściany boczne, dzielące poszczególne budynki i osłaniające tarasy, miały za zadanie redukcję wiatru i zacienianie w lecie. Elementy zacieniające tworzyły horyzontalne, wysunięte

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

dachy zbudowane z adobe i słomy, pokryte sosnowymi deskami i gałęziami, chroniącymi wnętrza przed letnim słońcem. Podobnie wykorzystywały energię słońca amfiteatralne, otwarte na południe i osłonięte od północy masywami skalnymi osiedla Indian kultury Chaco. Zasady te stosowano w innych zespołach miejskich o zwartej i wielopiętrowej zabudowie: m.in. w Mesa Verde i de Chelly w kanionach Kolorado, a także w pueblach wznoszonych wzdłuż Rio Grande (np. puebla Zuni czy Taos), w Nowym Meksyku oraz w Arizonie. Wszystkie przykłady osiedli indiańskich stanowią wzór organicznej jedności architektury i przyrody, doskonałego przystosowania siedzib ludzkich do klimatu. Reminiscencję tych zasad odnajduje się w projekcie organicznego zespołu mieszkaniowego P. Soleri-Arcosanti, w pustynnym krajobrazie Arizony.

Zasady dostosowywania domów mieszkalnych do klimatu wprowadzali również Hiszpanie, osiedlający się w południowo-zachodnich rejonach Ameryki Północnej, włączając w koncepcję architektoniczną zimowe słońce poprzez eksponowanie południowej, najdłuższej elewacji. Najwcześniejsze osadnictwo hiszpańskie pojawiło się na terenie Nowego Meksyku. Jako charakterystyczny przykład należy tu wymienić: dom w Trampas i hacjendę w Ranchos de Taos (1818). Charakter wprowadzanej przez pierwszych osadników zabudowy zachowały do dzisiaj architektura miejska z cegły ziemnej w Santa Fe (m.in. pałac gubernatora, 1610), a także miasto Taos, które rozwinęło się z indiańskiego puebla. Typowa kolonialna willa hiszpańska, wznoszona przez plantatorów, była wolno stojącym budynkiem o ścianach słonecznych wykonanych z adobe, o większości pokoi otwartych na południe i zacienionych otaczającą budynek werandą. Okiennice pomagały zatrzymywać w nocy ciepło słoneczne we wnętrzu. Wszystkie budowle w basenie Rio Grande, w Nowym Meksyku i w Arizonie wznoszono z cegły ziemnej. Stanowiła ona jedyny dostępny, a jednocześnie doskonały ze względu na swój skład materiał.



Fot. 1. Tarasowa zabudowa osiedla Taos, Nowy Maksyk.
Źródło: [26, s. 40]

Photo 1. Multi-storied pueblo settlement in Taos, New Mexico. Source: [26, p. 40]

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Od połowy XIX w. zaczęto zarzucać tradycje budownictwa na omawianych terenach. Nie została doceniona doskonała adaptacja domów z adobe do miejscowego klimatu. Za wyjątek uchodzi Dorsey Mansion – dwór na prerii k. Springer w Nowym Meksyku, z końca XIX w., **uważany przez amerykańskich teoretyków architektury za pierwszy współczesny energooszczędny budynek na obszarze stanów południowo-zachodnich, w którym pasywnie wykorzystano energię słoneczną**[29]. Architektura rodzima nie przetrwała w obliczu dominującego wpływu architektury mieszkańców północno-wschodnich stanów USA o korzeniach europejskich i angielskich.

Siedziby osadników w Nowej Anglii, na ogół o charakterze typowych piętrowych budynków (*saltbox houses*), dostosowywano do warunków klimatycznych, orientując je na słońce dwoma rzędami okien pokoi słonecznych usytuowanych przy południowej, frontowej elewacji[30]. Wysunięte, głębokie zadaszenia lub pergole służyły zacienieniu południowych ścian parteru, osłaniając jednocześnie budynek przed zimowymi wiatrami[31]. Po połowie XIX w. koncepcje słonecznych domów kolonialnych typu *saltbox*, o charakterze wiejskich rezydencji, zostały również zapomniane m.in. wskutek napływu wielomilionowych grup nowych mieszkańców i związanymi z tym industrializacją i intensywną urbanizacją wschodniego wybrzeża. Tradycje te starała się przywrócić promująca zalety słonecznych pokoi grupa architektów, w skład której wchodzili m.in. B. Price oraz W. Atkinson z Bostonu, prowadząca badania nad zabudową dla obszarów zurbanizowanych i optymalną orientacją budynków mieszkalnych oraz ich ekspozycją słoneczną (1904–1910). Architekci sformułowali zasady i reguły kształtowania zabudowy miejskiej oraz postulaty dla władz o konieczności wprowadzenia prawa gwarantującego dostęp do słońca[32]. Prace w tym zakresie prowadzone były również przez S. Cabota, przyczyniając się do wydania pierwszej rozprawy na temat architektury słonecznej pt. *The orientation of Buildings, Or Planning for Sunlight* (1912). W tym samym okresie, z początkiem XX w., dążono do odrodzenia architektury Indian prekolumbijskich na południowo-zachodnich terenach Ameryki Północnej. Szczególny wpływ na promocję tej tradycji wywarła wystawa budownictwa hispano-meksykańskiego w San Diego w Kalifornii (1915).

3. Rozwój architektury słonecznej w XX w. – kontynuacja rozwiązań w ramach pierwszej generacji

Omówione wyżej idee i koncepcje różnych rozwiązań systemów pasywnych na przestrzeni ostatnich tysiącleci, doświadczenia architektury bioklimatycznej oraz pierwsze eksperymenty, otwierające drogę do konstruowania aktywnych systemów pozyskiwania energii słońca, które pozwoliły na ich dalszy rozwój w XX w., można zaliczyć do etapu **pierwszej generacji architektury słonecznej**, który stworzył podwaliny pod jej rozwój w XX w. i przygotował podstawy do pojawienia się w jego końcowych dekadach **drugiej generacji tej architektury**.

Rozwój architektury słonecznej w ramach kontynuacji jej pierwszej generacji przebiegał w XX w. cyklicznie, w formie fal, które pojawiały się w odpowiedzi na kryzysy gospodarcze, głównie energetyczne. Niżej przedstawiono ich charakterystykę, ograniczając materiały do przykładów europejskich i północno-amerykańskich. Skoncentrowano się na dorobku kultury wybranych krajów tych dwu kontynentów ze względu na fakt, że różnorodne, opisane niżej nurty, jakie zarysowały się w obrębie pojawiających się w XX w. fal,

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

splatały się ze sobą, wzajemnie czerpiąc z prowadzonych doświadczeń, badań, rozwijanych teorii oraz idei. Należy dodać, że w porównaniu z Europą odpowiadające sobie strefy klimatyczne występują w południowych partiach USA, a Nowy York znajduje się na szerokości geograficznej Neapolu.

Pierwsza fala architektury słonecznej w XX w. pojawiła się w Europie z końcem jego drugiej dekady, a w USA dopiero w latach 40. Na naszym kontynencie zaczęła rozwijać się po I wojnie światowej w ramach nurtu proekologicznego w architekturze współczesnej. Zarysował się on już na przełomie XIX i XX w. w odpowiedzi na kryzysy energetyczne oraz promowanie idei kształtowania zdrowego środowiska mieszkaniowego z prawem dostępu do słońca w planowaniu miast.

W USA natomiast pierwsza fala pojawiła się jako reakcja na ograniczenia związane z energią oraz materiałami budowlanymi w okresie II wojny światowej. W odpowiedzi na powojenny kryzys powstała cała oferta różnorodnych pomysłów rozwiązań technologicznych, które zostały wykorzystane i zasymilowane z architekturą oraz urbanistyką.

Druga fala (eksperymentalna) architektury słonecznej miała miejsce na obydwu omawianych kontynentach w tym samym czasie, zarówno w Europie Zachodniej, jak i w USA, jako reakcja na kryzys energetyczny lat 70. XX w. Charakteryzował ją znacznie szerszy niż w ramach pierwszej fali udział architektów wskutek wzrostu popularności rozwiązań energooszczędnych. Istotną rolę odegrała też, silniejsza już w tym okresie, świadomość społeczna, wynikająca z rozwoju wiedzy w dziedzinie ochrony przyrody i jej zasobów oraz jej popularyzacji w skali całego świata. Przyczyniło się to szczególnie do renesansu klasycznych, pasywnych słonecznych strategii w architekturze oraz rozwiązań bioklimatycznych, ale też i technologii aktywnych. Jakkolwiek również i ta fala opadła, jednak pozostawiła po sobie spuściznę w postaci rozwoju teorii i praktyki w zakresie energooszczędnych technologii i rozwiązań.

Trzecia fala jest obserwowana obecnie, już w ramach rozwoju **drugiej generacji architektury słonecznej** w okresie ostatniego 20-lecia. Ma ona szczególny związek z działaniami na rzecz idei ekorozwoju oraz rozwoju zrównoważonego i świadomością odpowiedzialności działalności inwestycyjnej człowieka za problem globalnego ocieplenia, stan zasobów nieodnawialnych, a także zanieczyszczenie środowiska. Legislacja promuje w ostatnich latach, szczególnie w krajach Unii Europejskiej, energooszczędne rozwiązania z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Rośnie też świadomość społeczna dotycząca kryteriów oceny kształtowania środowiska życia z uwzględnieniem relacji z otoczeniem przyrody – specyficznymi warunkami miejsca, klimatem i tradycjami kultury[33].

3.1. Pierwsza fala architektury słonecznej – doświadczenia zachodnioeuropejskie

Miasta europejskie w okresie rewolucji przemysłowej otwarte były na idee architektury i urbanistyki związanej z przyrodą i słońcem[34]. Nurt proekologiczny w architekturze współczesnej zaczął pojawiać się już na przełomie XIX i XX w., a jego rozwój przyspieszyły kolejne kryzysy energetyczne. Do 1900 r. wiele krajów uwzględniło warunki zdrowotne w planowaniu miast, wprowadzając też prawo dostępu do słońca zabudowy mieszkaniowej (Anglia, Niemcy). W Wielkiej Brytanii od połowy XIX w. promowano idee kształtowania zdrowego środowiska mieszkaniowego (przykład: m.in. zespół mieszkaniowy Port Sunlight), a powstawanie wielu tego typu osiedli stało się powodem do prowadzenia przez architektów studiów dotyczących zasad orientacji zabudowy (m.in. R. Unwin)[35]. Podobnie rozwijały się humanistyczne idee słonecznego planowania urbani-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

stycznego we Francji. Studia w tym zakresie prowadził na przełomie XIX i XX w. A. Rey. Wyznaczył on minimum przestrzeni otwartej wokół budynku pozwalające na dopływ promieni słonecznych w zimie do wnętrza dwu-, cztero- i sześciokondygnacyjnej zabudowy (1912 r.). Tony Garnier, w projekcie „Cité Industrielle", oparł koncepcję dostępu słońca do wszystkich budynków mieszkalnych na studiach urbanistyki starożytnego Olintu i Priene[36].

3.1.1. Proekologiczny nurt projektowania XX w. (organiczność, modernizm i pierwsza fala pasywnej architektury słonecznej)

Organiczność. Od neogotyku, poprzez ruch Arts and Crafts i Art Nouveau, rozwijały się późniejsze różne formy architektury organicznej. Architektura A. Gaudiego, amerykańskie realizacje F.L. Wrighta i doświadczenia B. Fullera odnosiły się do projektowania w „ludzkiej" skali, głęboko osadzonego w kontekście przyrodniczym[37]. Charakteryzująca architekturę organiczną postawa kształtowania środowiska życia człowieka na zasadach związku z przyrodą oddziaływała na dalszy rozwój architektury europejskiej, po dzień dzisiejszy znajdując odzwierciedlenie w kształtowaniu współczesnych domów i osiedli słonecznych[38]. Słynna formuła Sullivana: „Tak jak każda forma zawiera swoją funkcję i dzięki niej istnieje, tak każda funkcja znajduje lub jest włączona w poszukiwanie swojej formy" oddawała sens idei organiczności jako analogii do budowy organizmów żywych[39]. Współczesne nurty ostatniej dekady XX w., powstające na styku technologii i inspiracji organicznych, dążenie do dematerializacji i zacierania się granic między wnętrzem i zewnętrzem nie są zjawiskami nowymi. Już na początku XX w. F.L. Wright wspominał o eteryzacji architektury i wtopieniu jej w otoczenie przyrodnicze[40]. Wyrażany jest pogląd, że odczucia, jakie budzą jego dzieła, przyjmują formę odnoszenia się do organizmów żywych. Antropomorficzny charakter tej architektury stał się inspiracją dla jego następców i stworzył linię prowadzącą wprost do współczesnej architektury bioklimatycznej i słonecznej[41]. Przezroczyste, transparentne, słoneczne fasady odbierane są jako redukujące bariery architektura–kontekst[42].

Modernizm. Pomimo jego krytyki można zaobserwować w twórczości architektów tego okresu znaczące elementy będące zaczątkiem współczesnych idei zrównoważonego rozwoju w architekturze i urbanistyce[43]. Wrażliwość na przyrodę i odniesienie się do miejsca odnaleźć można w wielu realizacjach, jakkolwiek niejednokrotnie nie były one eksponowane w zunifikowanym nurcie określanym jako styl międzynarodowy. Oceniając wpływ na rozwój koncepcji proekologicznych nurtów projektowania wybranych dzieł wybitnych postaci XX w.: Le Corbusiera, A. Aalto oraz R.B. Fullera, należy podkreślić, że wiele z nich kontynuowało i wzbogaciło dialog między człowiekiem, architekturą i przyrodą. Le Corbusier, niejednokrotnie zainspirowany miejscem i kontekstem przyrody, poszukiwał jej związków z człowiekiem, otwierając architekturę dla promieni słonecznych (reprezentacyjny obiekt – Pavilon d'Esprit Nouveau)[44]. Energia słoneczna stanowiła też kluczowy element tej architektury w aspekcie higieny i zdrowia mieszkańców. Dzieło A. Aalto (1898–1976) to połączenie wyjątkowego i osobistego stosunku do relacji między człowiekiem, technologią a przyrodą. „Być może właśnie architektura (...) pozwoli ludziom zdominować maszynę" – pisał w 1956 r., wyprzedzając znacznie późniejsze postulaty architektury ekologicznej czy holistycznej[45]. Idee te stały się inspiracją dla F. Otto[46], a także N. Fostera i J. Kaplickiego w ich ukierunkowanych na technologię poszukiwaniach odpowiedzi na współczesne problemy degradacji środowiska życia człowieka. Koncepcję przekrytych transparentnymi kopułami, absorbującymi energię słoneczną, ogrodów

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

w St. Austell w Anglii (Eden Project, N. Grimshaw & Partners, 2001) określa się jako współczesną kontynuację idei Fullera.

Ekspresjoniści Scheerbart i B. Taut, rozwijając wizje i idee szklanego domu, oparli je na wierze w szkło jako materiale budowlanym przyszłości oraz fascynacji wizualnymi zaletami tego tworzywa (Taut: „Szkło niesie nam nowe czasy")[47]. Mies van der Rohe (amerykańskie, prekursorskie projekty w Chicago[48]) oraz inni twórcy Bauhausu (m.in. Gropius) rozwinęli w Europie studia przezroczystości w architekturze. Potencjał tkwiący w szkle został potwierdzony przez rozwój jego technologii w kolejnych dziesięcioleciach. Nowe relacje między domem i otoczeniem przyrodniczym za pośrednictwem przeszklonej przegrody realizują współczesne koncepcje pasywnej architektury słonecznej.

3.1.2. Słoneczne pasywne zespoły mieszkaniowe

Po I wojnie światowej w Europie, w przeciwieństwie do USA, nastąpił postęp w zakresie architektury słonecznej. Pojawiła się nowa fala zainteresowania wykorzystaniem energii słońca w kształtowaniu środowiska mieszkaniowego. Architektura, wskutek rozwoju technologii szkła, otworzyła się na nowe pomysły związane z wykorzystywaniem efektu cieplarnianego. Słoneczne osiedla, przeznaczone głównie dla klasy robotniczej, rozpowszechnione zostały w Holandii, Szwecji, Szwajcarii oraz innych krajach europejskich. Jednym z największych tego typu założeń był zespół mieszkaniowy w Szwajcarii–Neubühl k. Zurychu, o 200 apartamentach otwartych na południe i południowy zachód. Zasada kształtowania zielonych wnętrz i orientowanie „linijkowej zabudowy" wg słońca promowana była przez J.J.P. Ouda (osiedla Tussendijken, 1918 i Kifhoek, 1925 w Rotterdamie), a także A. Loosa (osiedle Heuberg w Wiedniu z biernym systemem słonecznym wg koncepcji L. Migge, 1921/1922)[49].

Duży wkład w renesans słonecznych osiedli mieszkaniowych wnieśli też architekci niemieccy. Za pionierów po I wojnie światowej w dziedzinie *solar design* uważa się M. Breuera, a także W. Moltke, promujących słoneczną orientację budynków i ich dostęp do słońca w okresie zimowym. Zaczęto dostrzegać energetyczne i zdrowotne korzyści ustawionych do południa elewacji. Eksplozja budownictwa mieszkaniowego, o niewysokich kosztach, zapewniającego dobry standard życia w ramach inwestycji rządowych, pozwalała na realizację nowych idei wykorzystania energii słońca w kształtowaniu dużych kompleksów urbanistycznych (realizacje: m.in. W. Gropius – osiedle Dammerstock, 1928, Karlsruhe; E. May, H. Boehm – osiedle Goldstein, 1929, Frankfurt nad Menem; B. Taut i M. Wagner – osiedle w Berlinie Britz, 1925; M. van der Rohe – osiedle Weissenhof w Stuttgarcie, 1927)[50]. W. Moltke promował wprowadzanie naturalnej ściany z drzew liściastych jako zacieniającej osłony nasłonecznionych elewacji w lecie. Była to wówczas powszechna praktyka. H. Meyer prowadził, w ramach działalności Bauhausu, studia nad optymalnym nasłonecznieniem budynku („ciało człowieka, jak każdy organizm, jest zbiorem komórek chłonących energię słoneczną"[51]). W latach 30. prowadzone były też prace nad modelem domu prefabrykowanego.

Pojawił się, jako dominujący, system zabudowy o długich, niskich, równoległych do siebie budynkach mieszkalnych, usytuowanych na dłuższej osi północ–południe (W. Gropius był jednym z czołowych architektów wprowadzających tego typu rozwiązania urbanistyczne). Zabudowa ta (*Zeilenbau*, *row-house*), określana jako heliotropiczna, stała się powszechnie powielanym wzorcem. Wzorcowym przykładem był m.in. kompleks mieszkaniowy Siemenstadt k. Berlina (1929). Krytyka L. Mumforda ostudziła entuzjazm

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

związany ze stosowaniem takich zasad sytuowania budynków, w wyniku których ulice otrzymywały więcej słońca od apartamentów[52]. Długie, totalne układy zabudowy mieszkaniowej uznane zostały też za nieekonomiczne. W ramach realizacji dużych zespołów mieszkaniowych pojawiła się idea działań w małej skali oparta na systemie zabudowy tworzonym z niewielkich elementów – małych, słonecznych budynków o południowej orientacji (przykład: realizacje arch. H. Heringa z lat 30. XX w.).

W latach 1931–1932 najbardziej wpływowe i wiodące w dziedzinie energetyki słonecznej były badania i studia Royal Institute of British Architects (R.I.B.A.).

Opisane wyżej idee, przeniesione do USA wraz z nawiązaniem do miejscowej tradycji, stały się podłożem rozwoju ruchu słonecznego na kontynencie amerykańskim i pojawienia się tam rozwiązań, które można zaliczyć do pierwszej fali architektury słonecznej XX w. w USA, będącej jednocześnie kontynuacją pierwszej generacji architektury słonecznej. Z kolei wpływ amerykańskich doświadczeń i idei R. Neutry, M. van der Rohe, A. Saarinena, a także rozwój architektury bioklimatycznej oraz postęp w USA w zakresie technologii szkła oddziaływały na stan badań i eksperymentów w zakresie architektury słonecznej w Europie. Jakkolwiek pierwszy przykład realizacji idei podwójnej, przezroczystej przegrody jako bufora termicznego pochodzi z 1903 r. (hala maszyn koncernu Steiff), dopiero rozwój technologii szkła w drugiej połowie XX w. pozwolił na szerokie wprowadzanie systemów tych przegród w energooszczędnej architekturze oraz ich wykorzystanie w celu pozyskiwania energii słońca. A. Pilkington (1955) opracował nową technologię wyrobu gładkich, szklanych tafli, co przyczyniło się do możliwości produkowania elementów o większych rozmiarach (*float*). Technologia ta otworzyła drogę późniejszym rozwiązaniom stosowanym w konstrukcji szklanych słonecznych fasad. Postępowi technologicznemu w dziedzinie produkcji szkła towarzyszył postęp w systemach ogrzewania, wentylacji i chłodzenia budynków.

Po II wojnie światowej rosnąca *prosperity* i tanie surowce nieodnawialne energii zahamowały rozwój architektury słonecznej w Europie. Twórczość wymienionych architektów pozwoliła na kontynuację otwarcia na przyrodę w okresie powojennym, aż do całkowitego odrodzenia tej idei w latach 70. i 80. XX w. w postaci nurtu ekologicznego i później – energetyczno-ekologicznego w ramach koncepcji zrównoważonego rozwoju. Stała się też inspiracją dla powstawania nowych technologii.

3.2. Pierwsza fala architektury słonecznej – doświadczenia amerykańskie (USA)

Jak już wspomniano, po I wojnie światowej nastąpiło w USA zahamowanie zainteresowania technologiami słonecznymi wraz z działalnością wielkich kompanii naftowych i gazu ziemnego. Postęp w tym czasie miał miejsce w Europie. W USA do końca lat 30. pojawiły się tylko nieliczne prace, które miały na ogół jedynie charakter doświadczeń inżynierskich i naukowych. Dopiero kolejne dziesięciolecia przyniosły rozwój architektury słonecznej w tym kraju, który na przestrzeni XX w. przebiegał, tak jak w Europie, w formie serii fal, w odpowiedzi na pojawiające się różnorodne kryzysy, głównie energetyczne. W wyniku poszukiwania modelu szklanego domu słonecznego, przystosowanego do klimatu, powstawały w ramach opisanych niżej fal propozycje różnych jego wariantów, w dostosowaniu do możliwości przemysłu budowlanego oraz dostępnych technologii.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

3.2.1. Architektura słoneczna pasywna – rozwój technologii

Poszukiwania i eksperymenty. Pod wpływem rozwiązań europejskich rozwijali koncepcję domów słonecznych w latach 20. R. Schindler i R. Neutra dla klimatu Kalifornii (dom Lovella, 1926). Wkład R. Neutry, twórcy idei biorealizmu, stanowiły też eksperymenty w Los Angeles (Health House, 1927) propagujące zasadę zespolenia wnętrza domu i otoczenia, a szklane płaszczyzny, osłaniane roślinnością lub żaluzjami, miały ułatwić bezpośrednie obcowanie z przyrodą i światłem słonecznym[53]. A. Frey i L. Kocher promowali model domu z aluminium (Aluminium House, realizacja 1930) jako korzystny do zastosowania w zimnym klimacie wschodniego wybrzeża, wykonany z ram drewnianych i aluminiowej powłoki. Temat masowej produkcji domów, nowe koncepcje materiałowe i rozwiązania energooszczędne były też przedmiotem doświadczeń R.B. Fullera (projekt domu Dymaxion House w Dearborn/Michigan, 1927, z próżniową ścianą szklaną, systemem klimatyzacji z filtrem oczyszczającym oraz pierwszymi panelami słonecznymi). Europejskie badania i studia Royal Institute of British Architects (R.I.B.A, 1931–1932) wzbudziły ponowne zainteresowanie architekturą słoneczną w USA. Wymienić tu można wkład do rozwoju teorii architektury słonecznej w postaci licznych publikacji urbanisty H. Wrighta z Columbia University (1934–1936) oraz jego syna H.N. Wrighta w ramach badań Pierce Foundation m.in. w zakresie optymalnej orientacji budynków słonecznych z uwzględnieniem komfortu mieszkańców w okresie letnim (publikacja wyników studiów w „Architectural Forum", 1938).

Na postęp technologii szkła wpłynęły prace American Society of Heating and Ventilating Engineers (ASHVE). Wzrost możliwości produkcyjnych i obniżenie jego ceny pozwoliły na wprowadzanie w architekturze jego wielkich płaszczyzn. Jednak nadal nierozwiązany problem stanowiła redukcja strat ciepła oraz wahań temperatury w ciągu doby w porównaniu z tradycyjnymi budynkami, a także negatywny efekt przegrzewania pomieszczeń od strony południowej i zachodniej w lecie. Prace w tym zakresie rozpoczął architekt G.F. Keck z Chicago badaniami nad efektem cieplarnianym i konstrukcją szklanej, południowej fasady (1932 r. – projekt futurystycznego domu o ścianach w 90% wykonanych ze szkła, prezentacja na Chicago World's Fair, 1933). Wprowadzenie dwuszybowych zestawów okien z izolacyjną warstwą powietrza przez Liberty Owens Ford Glass (1935) pozwoliło na zredukowanie o 50% strat ciepła we wnętrzu domów słonecznych w okresie zimowym oraz w nocy, w porównaniu ze szkleniem szybami pojedynczymi. W latach 30. i 40. XX w. wzniesiono wiele pasywnych domów w rejonie Chicago. Charakteryzowały je szklane, południowe ściany otwarte na zimowe słońce, z osłonami chroniącymi przed jego promieniami w lecie[54]. Analizy zapotrzebowania na energię i jej zużycia oraz opinii użytkowników eksperymentalnych domów zachęciły G.F. Kecka do prowadzenia doświadczeń ze zwiększaniem powierzchni przeszklonych płaszczyzn. W ich wyniku powstała realizacja domu H. Sloana w Chicago, w którym zastosowano całkowicie przeszklone fasady południowe. Opublikowanie poszukiwań i doświadczeń z zapotrzebowaniem na energię w realizacji domu Duncana (1940) i pozytywne opinie użytkowników przyczyniły się do popularyzacji idei domu słonecznego oraz poszerzenia kręgu inwestorów, co umożliwiło Keckowi i Sloanowi kontynuację pracy.

W latach 40. w rejonie Chicago domy słoneczne były szeroko popularyzowane przez prasę i akceptowane przez społeczeństwo. Termin **dom słoneczny (*solar home*) po raz pierwszy pojawił się w 1940 r.** w związku z realizacją domu H. Sloana w Glenviev, w Chicago, zaprojektowanego przez G.F. Kecka. Od tego czasu znalazł się w powszech-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

nym użyciu jako określenie dla wszelkiego typu domów ogrzewanych z wykorzystaniem energii słonecznej. Sloan zbudował tam również eksperymentalny zespół domów w połowie o charakterze konwencjonalnym, a w połowie złożony z domów słonecznych (1941). Kolejno wzniósł osiedle składające się z 30 domów – Solar Park, stanowiące pierwszy, kompletnie zorientowany na słońce, nowoczesny zespół mieszkaniowy w USA. F.L. Wright w omawianym okresie testował solarne zasady i prowadził prace nad domem słonecznym, które doczekały się realizacji po latach domu Herberta Jacobsa o półkolistym ogrodzie zimowym (1945–1947).

W reakcji na ograniczenia energetyczne w zakresie materiałów budowlanych podczas II wojny światowej i w latach powojennych pojawiło się wiele propozycji w dziedzinie nowych rozwiązań technologicznych ze względu na ogromne zapotrzebowanie na nowe domy o lekkiej konstrukcji. Domy słoneczne o takich konstrukcjach wymagały wypracowania nowych rozwiązań w związku z redukcją strat ciepła i sezonowymi oraz dobowymi wahaniami temperatur. R.B. Fuller propagował różnorodne oszczędne technologie, przyczyniając się do rozwoju idei ochrony zasobów naturalnych i energooszczędnego budownictwa. Z końcem lat 40. fabryki domów prefabrykowanych zaczęły szeroko wprowadzać na rynek słoneczne domy, o dużych szklanych, południowych fasadach. Kontynuowano też sponsorowaną drugą serię badań w celu dalszego rozwijania tego typu architektury. A. Brown rozwinął w Arizonie koncepcję zbiorników ciepła słonecznego, użytecznego w porze nocnej. Był też autorem doświadczalnego domu słonecznego w Tucson, w którym wewnętrzna, ciemna, betonowa ściana, stanowiąca element akumulujący ciepło słoneczne, oddzielała całkowicie przeszklone od południa wnętrze jadalni od pozostałych pomieszczeń (1945). F.W. Hutchinson rozwijał studia nad prostymi metodami doboru odpowiedniej wielkości przeszkleń ścian południowych w dostosowaniu do miejscowego klimatu. W ich efekcie powstał zbiór informacji, wraz z tabelami, dla architektów (Pardue University, 1945–1947). Książka *Your Solar House*, autorstwa Simona i Schustera stanowiła pierwszy przegląd problematyki konstruowania domów słonecznych z uwzględnieniem formy i warunków regionalnych. Wśród 48 znanych architektów, którzy oferowali swoje usługi w celu opracowania typowych rozwiązań dla poszczególnych stanów USA, znajdowali się m.in. H. Stubbins, E.D. Stone i L. Kahn.

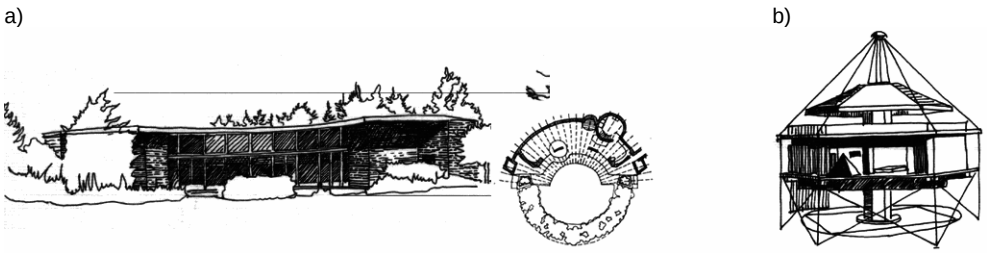
Domy słoneczne, ze względu na wyższy o ok. 10% koszt w stosunku do konwencjonalnych, popularne były w USA jedynie w zamożniejszych kręgach społeczeństwa. Idea ich budowy była znana już z końcem lat 40. w wielu stanach, kolejno przenosząc się od Maine po Kalifornię i od Teksasu po Kanadę[55]. Jednak wystąpił spadek zainteresowania nimi inwestorów w związku z niewielkimi zyskami energetycznymi wynikającymi z błędów projektowych oraz wykonawczych. Nie zahamowało to jednak poszukiwań i rozwoju teorii w dziedzinie optymalnego dostosowywania architektury do klimatu i jej związków z otoczeniem. M. Breuer w książce *Sun and Shadow* (1952) przedstawił w tym zakresie teoretyczne i praktyczne zasady budowlane. P. Rudolph zrealizował różne koncepcje projektowe domów na Florydzie (w Lido Healy i w Siesta Key oraz w Sanibal Island), a B. Goff w Oklahomie (Barvinger House). Symbolem dostosowania zabudowy do warunków klimatycznych stał się też budynek projektu H. Abramovitza w Nowym Jorku (1950), a także realizacja F. Bridgesa w Albuquerque, z zamkniętym systemem obiegu powietrza ogrzewanego za pomocą energii słonecznej (Simms Building, 1954). W Los Angeles R. Neutra i Ch. Alexander prowadzili studia i eksperymenty nad systemami zacieniania budynków. Futurystyczną wizję kopuły klimatycznej nad Manhattanem zapre-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

zentował R.B. Fuller (1960). Z końcem lat 50. ukazała się praca *Solar Control and Shading Devices* V. Olgaya, a kolejna *Design with Climat* – w 1963 r. Zagadnienia przystosowania bryły, konstrukcji i powłoki budynku do optymalnego pozyskiwania energii słonecznej stały się tematem pracy R. Knowlesa *The Derivation of Surface Responses to Selected Environmental Forces*.

Inspirującą rolę w korzystaniu z nowych technologii szkła odegrała architektura Miesa van der Rohe i popularność rozwiązań typu „skóra i kości", a także wkład A. Saarinena. W latach 50. XX w. prowadził on doświadczenia nad systemami zacieniającymi szklane fasady (rozwiązania elewacji siedziby Deere and Company w Illinois), a także szkłem refleksyjnym. Szkło to, odbijające 75% promieni słonecznych, zastosował w projekcie kompleksu laboratoriów firmy Bell Telephon w New Jersey. Wymienione rozwiązanie stało się też przykładem możliwości podejścia do problemów klimatyzacji w obiektach wielkokubaturowych w okresie kryzysu energetycznego lat 70.

Odrodzenie architektury tradycyjnej, bioklimatycznej o pasywnych systemach słonecznych na terenach południowo-zachodnich USA. Do rozwiązań pasywnych, rozwijających się w ramach pierwszej fali architektury słonecznej, zaliczyć należy również omówione niżej idee i realizacje domów bioklimatycznych na terenach południowo-zachodnich Ameryki Północnej, które nawiązywały do tradycji indiańskich. W latach 20. i 30. XX w. stało się popularne wznoszenie siedzib imigrantów o charakterystycznej, masywnej bryle i miękko formowanych narożnikach (*Spanish Pueblo Style*). Styl ten oraz energooszczędne, tradycyjne rozwiązania budynków z adobe propagował J.G. Meem w Santa Fe i w Albuquerque. Należy tu podkreślić, że w 1926 r. władze Santa Fe podjęły uchwałę nakazującą wznoszenie domów w stylu architektury i kultury regionalnej.



Rys. 1a) Dom w Middleton (1946) – „słoneczne półkole" proj. F.L. Wrighta, b) „Dymaxion House" proj. R.B. Fullera (oprac. aut.)

Fig. 1a) House in Middletown (1944) – "solar hemi-cycle" designed by F. L. Wright, b) "Dymaxion House" designed by R.B. Fuller (prep. by author)

Architektura tradycyjna stanowiła inspirację dla wielu wybitnych architektów w latach 30. (R. Schindler, R.J. Neutra, F.L. Wright), a w ramach ruchu słonecznego (pierwsza fala) od lat 40. XX w. (D. Wright, S. i W. Nicolsowie) zasady architektury bioklimatycznej kontynuowane są w Nowym Meksyku i rejonie Santa Fe do chwili obecnej[56]. F.L. Wright, wiążąc swoją twórczość z amerykańskim Południem, rozwijał w Arizonie idee budownictwa zintegrowanego z otoczeniem w powiązaniu z teorią architektury organicznej. Dom jego projektu – Pottery House, z początku lat 40. (zrealizowany dopiero w 1985, k. Santa Fe), częściowo zagłębiony w ziemi i wzniesiony z adobe, o przeszklonych ścianach południowych pozyskujących energię słoneczną znacznie wyprzedził rozwijający się od lat 50. XX w. nurt określany mianem nowoczesnej architektury bioklimatycznej. Do pionierów tej

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

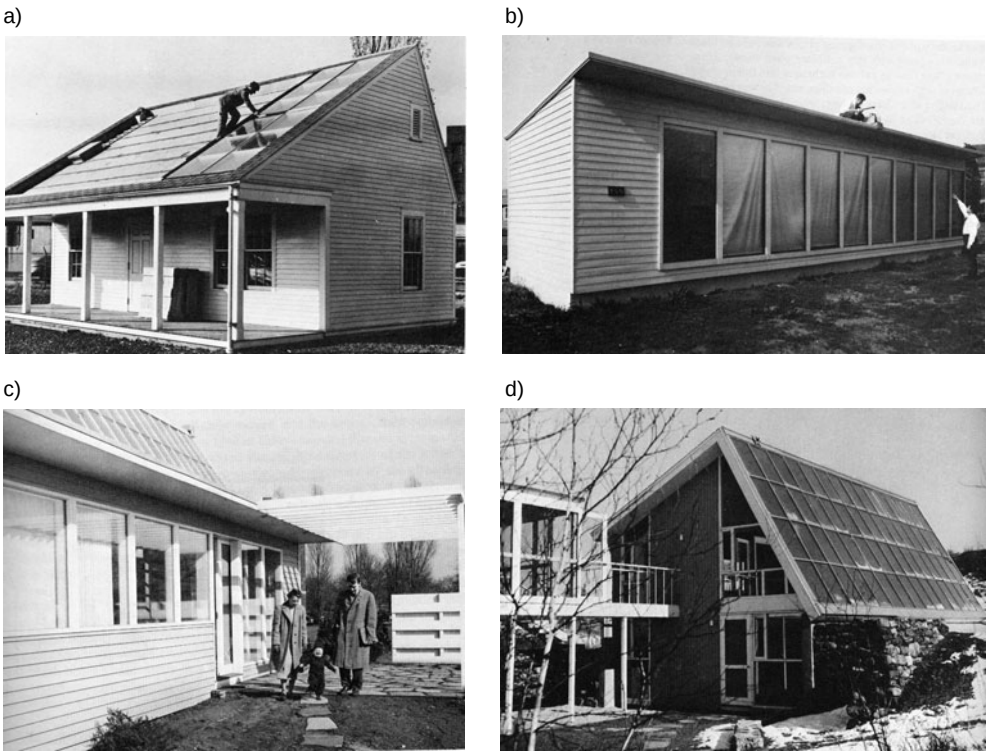
architektury, opartej na tradycyjnych rozwiązaniach, należał W. Lumpkins, promujący od lat 40. XX w. styl hispano-meksykański, łącząc pasywne systemy pozyskiwania energii słońca z doskonałymi właściwościami termicznymi masywnych, tradycyjnych ścian[57].

Od lat 50. XX w. teoria architektury bioklimatycznej i idee nowoczesnej, energooszczędnej architektury słonecznej, powiązanej z otoczeniem, klimatem oraz rodzimymi materiałami budowlanymi, były bardzo konsekwentnie rozwijane (inspirująca realizacja przebudowy domu z adobe P. Van Dressera w Santa Fe, 1958). Należy też wspomnieć o wpływie na rozwój w teorii i praktyce słonecznej architektury bioklimatycznej działalności Sundwelling Group (W. Lumpkins, P. Van Dresser, S. Bear, D. Wright), założonej z początkiem lat 60. i prowadzącej badania m.in. nad tradycyjnymi metodami pozyskiwania energii słońca inspirowane kulturą indiańską[58]. Przy projektach domów z suszonej cegły (adobe) wykorzystywano w okresie ostatniego 30-lecia, w przeważającej liczbie realizacji, metody pozyskiwania energii słonecznej bez kosztownych instalacji i baterii fotowoltaicznych, na zasadzie akumulacji ciepła i naturalnej cyrkulacji powietrza[59]. W ramach tradycyjnego budownictwa południowo-zachodnich stanów znane były realizacje słonecznych domów (*solar adobe*) A. Predocka, D. Wrighta i K. Terry, D. Eastona, a także D. Hollowaya (realizacje domów pasywnych *solar adobe houses*, *high-mass solar buildings* w Nowym Meksyku i Kolorado)[60]. S. Baer i propagowany przez niego ruch słoneczny kontynuował idee R.B. Fullera i doświadczenia z zastosowaniem różnego typu rozwiązań materiałowych i technologicznych[61]. W Albuquerque architekt ten rozwijał koncepcje domów o ścianach z adobe, pełniących rolę zbiorników ciepła słonecznego, oraz o betonowych podłogach i stropach na zasadzie rozwiązań typu *low-tech*. O ich atrakcyjności decydowało wprowadzenie doświetlenia od góry i usytuowanie ściany absorbującej ciepło słoneczne za ścianą szklaną ze zbiornikami wody, a także wprowadzenie ruchomych elementów zacieniających[62]. Opracował też koncepcję samoczynnych systemów osłon termicznych wewnętrznych (*skylid*). Symbolem zapoczątkowania nowej kultury projektowania, wpisującej się w otoczenie przyrody i wartości miejsca, stał się w omawianym okresie słoneczny dom D. Wrighta w Sea Ranch, na północ od San Francisco (1966). W nową kulturę ekologiczną wpisywały się też, rozwijane od lat 50., idee P. Soleri związane z architekturą organiczną, powiązaną ze środowiskiem pustynnym (sformułowanie pojęcia *ARCOLOGY = architecture + ecology*). Na bazie tej filozofii tworzył teoretyczne projekty samowystarczalnych energetycznie megastruktur miejskich o własnym klimacie (30 wersji tzw. *arcologies*, lata 60.). W projektach rezydencji nawiązywał do architektury organicznej F.L. Wrighta (przykłady: Dome House, 1949 w Cave Creek, Arizona, doświetlony kopułami pozyskującymi energię słoneczną oraz rezydencja własna, Cosanti, Scottsdale, Arizona, lata 50.).

3.2.2. Architektura słoneczna z systemami aktywnymi

Eksperymentalne domy słoneczne – M.I.T. W USA powszechnie stosowano solarne grzejniki wody w domach, zarówno w pierwszym 20-leciu XX w., jak i w kolejnych dekadach. Nie była to nowa idea, ponieważ, jak wspomniano, już w 1909 r. W.J. Bailey rozpoczął ich promocję i sprzedaż. Wprowadzano też kolektory i zbiorniki wodne sytuowane na terenie (ok. 1934). W latach 30. i 40. zamontowano wiele tego typu instalacji na Florydzie, gdzie ponad 80% nowo budowanych domów było w nie wyposażonych. Do początku II wojny światowej (1941) zakończyła się fabryczna produkcja słonecznych grzejników wody.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Fot. 2. Domy eksperymentalne M.I.T.: a) pierwszy dom słoneczny (1939), b) drugi dom słoneczny ze ścianą wodną (1947), c) trzeci dom słoneczny (1949–1953), d) czwarty dom słoneczny w Lexington, Massachusetts (1958). Źródło: [12, s. 196, 201, 206, 209]

Photo 2. Experimental houses M.I.T.: a) first solar house (1939), b) second solar house with water wall (1947), c) third solar house (1949–1953), d) fourth solar house, Lexington, Massachusetts (1958). Source: [12, pp. 196, 201, 206, 209]

W 1938 roku pracownicy M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) pod kierunkiem H. Hottela zapoczątkowali dwie dekady badań nad wykorzystaniem kolektorów słonecznych do ogrzewania domów. System kolektorów pierwszego domu eksperymentalnego rozpoczął pracę w 1940 r. Badania nad różnymi konstrukcjami tych urządzeń, w połączeniu z architekturą słoneczną, kontynuowano po wojnie. Powstał drugi dom słoneczny z zastosowaniem kolektorowej „ściany wodnej" usytuowanej za południową, przeszkloną fasadą (1947). W trzecim domu eksperymentalnym połączono kolektory dachowe ze zbiornikiem wodnym oraz siecią ogrzewania elektrycznego. Wielkie, południowe okna, jako element rozwiązania pasywnego, uzupełniały całą koncepcję energetyczną domu słonecznego, dodatkowo wyposażonego w meble, dobrane w celu absorbowania słonecznego ciepła (1949–1953). Ponieważ eksperyment ze ścianą wodną nie zakończył się pełnym sukcesem, A. Brown zaproponował zastosowanie czarnej powłoki na południowych ścianach zewnętrznych. Jego szkoła w Arizonie (Rose Elementary School) była pierwszym obiektem publicznym z płaskimi, dachowymi kolektorami słonecznymi, które dostarczały 86% energii dla celów grzewczych. Czwarty dom M.I.T., wzniesiony w Lexington, Massachusetts,

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

o całej południowej ścianie pokrytej kolektorami słonecznymi, **uważany jest za dający początek drugiej generacji domów słonecznych ogrzewanych z zastosowaniem systemów aktywnych** (1958)[63]. W tym samym czasie testowany był dom w Dover, k. Bostonu wg projektu architekt Marii Telkes z M.I.T., o kolektorach powietrznych zamontowanych na południowej ścianie drugiej kondygnacji (1958). Badania nad prototypami kolektorów słonecznych prowadzone były przez G. Löfa w Denver w Colorado (dom w Boulder) oraz firmę Bridgers i Paxton w Albuquerque, w Nowym Meksyku. Istotny wpływ na dalsze poszukiwania w zakresie energooszczędnych rozwiązań wywarła praca J.M. Fitcha *A building: The Forces That Shape It*, której celem było zaprezentowanie koncepcji relacji człowieka i jego otoczenia.

Solarne, kolektorowe ogrzewanie wody było dość szeroko rozpowszechnione w latach 50., nie tylko w USA, ale w różnych krajach świata, m.in. w Izraelu, Australii, Japonii, jakkolwiek jego dostępność była ograniczona ze względu na dość wysokie koszty tych instalacji.

W latach 50. XX w., wraz z budową ośrodków nuklearnych, zaczęła się też rozwijać produkcja ogniw fotowoltaicznych w laboratoriach Bell Telephone w Murray Hill, New Jersey (badania: D. Chapin, C. Fuller, 1954). Słoneczne komórki (*solar cells*) bezpośrednio przetwarzały energię słoneczną w prąd elektryczny. Osiągnięcie to stanowiło efekt kontynuacji wspomnianych badań prowadzonych już w XIX w. we Francji przez A. Mouchot, E. Becquerela (1839) oraz Amerykanina Ch. Frittsa.

Podsumowując, można stwierdzić, że lata 40. i 50. należy uznać za okres, który stał się podłożem nie tylko dla drugiej fali architektury słonecznej, ale też dał podwaliny pod powstanie w końcu XX w. jej drugiej generacji, rozwijając nie tylko różne formy systemów pasywnych wraz z rozwiązaniami bioklimatycznymi, ale też uzupełniając architekturę pasywną systemami aktywnymi. Doświadczenia z domami M.I.T., zakończone sukcesem, spełniły swój cel, udowadniając, że korzystanie z energii słonecznej do ogrzewania domów w chłodnym klimacie jest możliwe i technicznie osiągalne. Uważa się, że opisane domy doświadczalne zapoczątkowały grupę rozwiązań drugiej generacji architektury słonecznej, w której łączono systemy pasywne z aktywnymi.

Doświadczenia omawianego okresu udowodniły słuszność kierunku poszukiwań, stymulując rozwój różnorodnych, współczesnych technologii[64]. Jednak przez prawie 3 dekady po zakończeniu II wojny światowej w USA znacznie osłabło zainteresowanie architekturą słoneczną, ponieważ nie pojawiły się w tym okresie większe problemy z dostawą energii dla przemysłu, mieszkalnictwa i gospodarki oraz usług. Nie bez znaczenia było wzniesienie pierwszej amerykańskiej elektrowni atomowej (1954).

3.3. Druga fala architektury słonecznej (eksperymentalna)

Druga fala eksperymentalnej architektury słonecznej miała związek z kryzysem energetycznym lat 70. W wyniku embargo z lat 1973–1974 w różnych rejonach świata zaczęto wprowadzać kolektory słoneczne. Przyczyną zwrotu stał się też pięciokrotny wzrost zapotrzebowania na energię obserwowany w latach 1945–1968. Podwojeniu uległo też w tym okresie (1950–1970) zużycie energii przez budynki biurowe.

3.3.1. Doświadczenia zachodnioeuropejskie

Po omówionej wyżej fali rozwiązań pasywnych w Europie w latach 20. i 30., pod wpływem wspomnianej pierwszej fali architektury słonecznej z lat 40. i 50. w USA, która rozwinęła się tam również dzięki znaczącemu wkładowi europejskich imigrantów (m.in.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

R. Neutry), **pojawiła się na naszym kontynencie, podobnie jak w USA, druga fala architektury słonecznej**, związana z raportami U'Thanta oraz Klubu Rzymskiego, a także kryzysami paliwowymi lat 70. i początku 80. (1973 i 1979–1981). Nazywana jest okresem projektów eksperymentalnych[65]. Poprzedził on drugą generację architektury słonecznej, której rozwój obserwuje się obecnie w ramach trzeciej z fal tej architektury, jakie pojawiły się na przestrzeni XX w. Jakkolwiek zarysowała się ona z początkiem lat 70., niżej zostaną przedstawione też wcześniejsze, wyprzedzające ją doświadczenia, studia i realizacje, głównie z lat 60. jako okresu do niej wprowadzającego. W latach 60. oraz w kolejnym dziesięcioleciu rozwinęły się w Europie koncepcje projektowe łączące wykorzystanie nowych możliwości technologicznych z lokalnymi warunkami klimatycznymi oraz naturalnymi zasobami[66]. Filozofia ta była reakcją na modernistyczną technologię, konsumpcyjny styl życia, ale też potrzeby ekonomiczne związane z koniecznością poszukiwania modeli domów energooszczędnych oraz autonomicznych pod względem energetycznym[67]. Szczególnie wyraźnie zaznaczyło się odrodzenie architektury pasywnej. Badania, podobnie jak w USA, prowadzono w dwu kierunkach: w kierunku poszukiwania **pasywnych rozwiązań** technologicznych i doskonalenia zasad dopasowywania architektury do klimatu i otoczenia oraz w kierunku uzyskania samowystarczalnych energetycznie budynków, **łączących systemy pasywne i aktywne**.

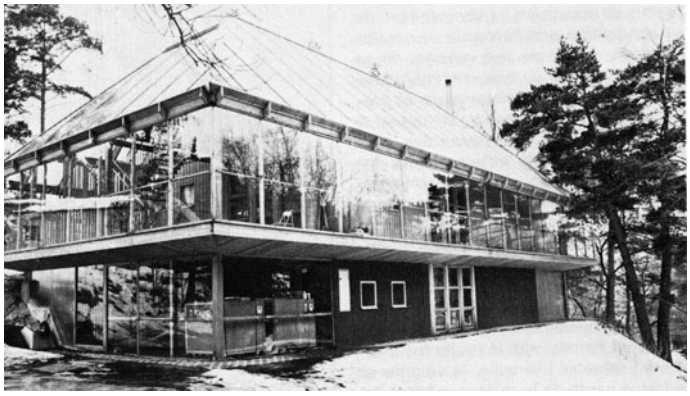
Pierwszy wymieniony kierunek stanowił nurt związany z pracami F. Trombe'a we Francji oraz wpływem realizacji m.in. S. Baera, D. Watsona, D. Wrighta, W. Kelbaugha, P. Davisa w USA. Pasywny słoneczny dom projektu F. Trombe'a w Odeillo (1956), z oszkloną ścianą kolektorowo-magazynową od południa oraz wielorodzinny zespół Trombe'a–Michela (1967), zrealizowane we Francji, stały się punktem wyjścia dla kolejnych eksperymentów technologicznych w ramach omawianego nurtu[68]. W pierwszej fazie poszukiwania skoncentrowano na zmniejszaniu strat cieplnych w relacji dom–otoczenie. Kolejno energooszczędnymi działaniami objęto wszystkie tworzące budynek elementy wraz z wyposażeniem technicznym i metodami pozyskiwania energii słonecznej. Ważnym etapem doświadczeń nurtu był projekt szkoły St. Georges School w Wallasey k. Liverpoolu w Wielkiej Brytanii. Architekt A.E. Morgan (1962) zastosował w nim trzy fundamentalne zasady pasywnej słonecznej architektury:

– wysoki stopień izolacyjności cieplnej wszystkich przegród zewnętrznych,
– ściany i stropy pełniące rolę elementów kolektorowo-magazynowych z wykorzystaniem pojemności cieplnej betonu,
– szklaną cieplarnię (ogród zimowy) od strony południowej[69].

Znaczący wkład w poszukiwanie relacji z otoczeniem przyrodniczym i klimatem wniosły dzieła R. Erskina (orientacja na słońce i czerpanie jego energii, wpisanie w teren, kierunek wiatrów, analiza strat cieplnych). Zasadą „forma wynika z klimatu" zastąpił on z końcem lat 50. XX w. regułę „forma wynika z funkcji"[70]. Uważał, że ,,domy i osady powinny się otwierać jak kwiaty na słońce wiosny czy lata, ale również jak kwiaty obracać tyłem do cienia i do zimnych, północnych wiatrów"[71]. Idee te przejawiały się w koncepcji osiedli i domów dla Arktyki, opartych na zasadzie parawanowej, wysokiej zabudowy od północy, o dużych, południowych oknach, która osłaniała grupy zabudowy jednorodzinnej (Svappavara, 1963). Charakterystyczna forma asymetrycznie ściętych dachów budynków o ciemnych ścianach służyła pochłanianiu promieni słońca (Kiruna, 1961–1962, później – m.in. Vårby w Sztokholmie, 1985)[72]. Doświadczenia związane z formami architektury arktycznej przeniesione zostały do odmiennych klimatycznie warunków w Sztokholmie[73]

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

(przykłady pasywnej architektury słonecznej R. Erskina: dom Stróma (1961) – oryginalne rozwiązanie pasywne, przeszklony otwór w dachu, osłonięty ekranami, wprowadza światło słoneczne do wnętrza – wspólnej przestrzeni łączącej kilka poziomów – wewnętrznego ogrodu zimowego. Dom Gadeliusa w Lidingó (1961), dom własny w Drottningholm (1963) – zwarta forma, ekspozycja pomieszczeń na południe, energooszczędne rozwiązanie konstrukcji ścian, dachu i detalu).



Fot. 3. Natur Huset proj. B. Warne, Sztokholm, 1976–1978. Źródło: [32, s. 23]

Photo 3. Natur Huset designed by B. Warne, Stockholm, 1976–1978. Source: [32, p. 23]

Z końcem lat 70. we Francji (arch. M. Gerber, G. Choleur) oraz w innych krajach europejskich pojawiła się, odradzająca wzory historyczne, pierwsza generacja słonecznych domów bioklimatycznych. Częściowo przykładem stały się poszukiwania amerykańskie oraz prace nad odrodzeniem słonecznej, wernakularnej architektury egipskiego architekta Hassana Fathy (Nowa Gurna, k. Luksoru)[74]. Alternatywne koncepcje rozwijał też metabolizm[75]. Wśród architektów promujących zasady pasywne wymienić można działalność biura projektowego IBUS, prace T. Herzoga, a także B. Warne'a i LOG ID oraz pionierów *low-tech*: P. Hübnera, studia Vandkusten z Kopenhagi (osiedle Tinngarden), belgijskie projekty L. Krolla. W wyniku ich twórczości wzniesiono bardzo szybko w omawianym okresie wiele domów mieszkalnych z popularnym rozwiązaniem w postaci oszklonych, różnorodnych ogrodów zimowych. Spełniały one praktycznie zasady pasywnego pozyskiwania energii słonecznej. Zorientowane na południe szklane wnętrza służyły jako słoneczne kolektory, pełniąc jednocześnie rolę buforowej strefy klimatycznej. Wśród oryginalnych przykładów architektury pasywnej wymienić można projekt domu farmera w Begnins, w Szwajcarii, o masywnej konstrukcji betonowej (Flore Stuby, 1978)[76], przebudowę domu k. Treillers w Langwedocji (arch. M. Gerber), dom słoneczny bioklimatyczny pod Paryżem (arch. J.M. Didier, F. Pelegrin)[77], projekty w ramach programu francuskich słonecznych domów prefabrykowanych[78], a także wiele domów wzniesionych w regionie Garonny we Francji[79]. Przykładem rozwijania koncepcji domu bioklimatycznego były belgijskie realizacje architekta L. Schuitena w Rosiére oraz k. Brukseli. Bierny system słoneczny w postaci dużych szklanych płaszczyzn zastosowano m.in. w znanym projekcie B. Warne'a – Natur Huset (1978) w Sztokholmie[80], projektach ekologicznych domów opracowanych w Finlandii (w Vantaa, Iirislahti, Espo, Sipoo), w realizacji domu T. Herzoga w Regensburgu

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

oraz koncepcji zabudowy dzielnicy mieszkaniowej Berlin–Rudow (1979)[81]. Pasywny dom słoneczny stanowił też temat konkursu dla miejscowości Landstuhl w Niemczech (1979), przynosząc zróżnicowany, bogaty zbiór idei[82].

Do osiągnięć technologicznych należy zaliczyć podjęte przez architektów brytyjskich prace na przełomie lat 60. i 70. XX w. nad wielkoelementowymi, szklanymi systemami elewacyjnymi w postaci termoizolacyjnych, prefabrykowanych paneli. Etapem poszukiwań w zakresie redukcji konsumpcji energii z zastosowaniem dużych płaszczyzn przeszklonych była realizacja zespołu biurowego General Electricity Generating Board (Bristol, Anglia, Arup Associates, 1973) i „inteligentnej" fasady w Farnborough w Hampshire (Arup Associates, 1984), realizacja zakładów Millera w Bath (N. Grimshaw, 1976) oraz Galerii Sztuki w Swindon (N. Foster, 1977). Centrum biurowe w Ipswich (1975) i centrum Sztuk Wizualnych Uniwersytetu w Norwich (1978) stanowiły przykłady energooszczędnego rozwiązania, w którym centralne, przeszklone patio pełniło rolę naturalnego regulatora wewnętrznego klimatu.

Drugi kierunek badań i eksperymentów to doświadczenia zmierzające do uzyskania samowystarczalnych energetycznie budynków, **łączących systemy pasywne i aktywne**. A. Pike wraz z grupą studentów Uniwersytetu w Cambridge w Wielkiej Brytanii zaprojektowali doświadczalną, autonomiczną rezydencję (Autarkic House, 1971–1979), która jako jeden z pierwszych tego typu budynków stała się inspiracją dla kolejnych rozwiązań. Ogrzewanie pomieszczeń i wody uzyskano za pomocą kolektorów słonecznych, a otaczająca budynek z trzech stron, przeszklona przestrzeń ogrodu zimowego stanowiła dodatkowy, pasywny system uzupełniający ogrzewanie wnętrz w okresie zimowym[83]. Katalogowy dom eksperymentalny firmy Philips w Aachen (1975) prezentował architekturę o rozbudowanych instalacjach systemów aktywnych. We Francji w ramach „architektury kolektorowej" wymienić można realizację wielorodzinnego zespołu mieszkaniowego, którego południowa fasada konsekwentnie została wypełniona kolektorami (Bourgoin Jallieu, arch. Audrain i Genève, 1978)[84], a także domy jednorodzinne w Szwajcarii projektu architektów J. i P. Gygax. Dom w Biel łączył system kolektorów powietrznych z rozwiązaniem pasywnym w postaci wewnętrznego, przeszklonego ogrodu zimowego, natomiast dom w Dornach k. Bazylei charakteryzują duży, południowy ogród zimowy i umieszczone w pochyłej płaszczyźnie dachu kolektory (1978)[85]. Na uwagę zasługują też wyniki konkursu ogłoszonego w Szwajcarii w gminie Iverdon na projekt rekreacyjnego domu słonecznego, w którym proponowano wykorzystanie rozwiązań pasywnych oraz pasywnych w połączeniu z aktywnymi[86]. Podobne zasady zastosowano w projekcie domu jednorodzinnego w Felsted w Danii z uzupełnieniem systemu ogrzewania pompą cieplną, zbiornikiem ciepłej wody oraz ogrzewaniem podłogowym (arch. Suenson Tagnestue, Kopenhaga)[87]. W Niemczech opracowano projekty prefabrykowanych domów słonecznych z wbudowanymi kolektorami dachowymi, a także eksperymentowano z zastosowaniem energii słońca do ogrzewania basenów[88]. Wiele słonecznych domów z kolektorami wzniesiono w tym czasie we Francji (m.in. w Aramon)[89].

Wśród osiągnięć technologii szkła tego okresu wymienić należy budynek administracyjny Cristaleria Española w Madrycie, o kolektorach słonecznych zintegrowanych ze wschodnią i zachodnią fasadą oraz komputerowym systemem kontroli zużycia energii (arch. Manuel Aymerich Amadios, 1978).

Kryzys energetyczny lat 70. przyczynił się też do postępu badań w zakresie fotowoltaiki (PV). Od połowy ubiegłego stulecia technologie te rozwijano w związku z poszukiwaniem zastosowania komórek słonecznych w badaniach kosmicznych, a szczególnie w zakresie zasila-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

nia w energię słoneczną stacji satelitarnych[90]. W 1981 r. Mike Davis zaprezentował system „energetycznie aktywnej," wielofunkcyjnej obudowy budynku (*dynamic skin, polyvalent wall*), która mała reagować na warunki środowiska automatycznie, dzięki zasilaniu energią elektryczną wytwarzaną wskutek pozyskiwania energii słońca. Podsumowaniem stanu wiedzy omawianego okresu w architekturze była pierwsza konferencja „Solar technology for building" (Londyn, 1977). Podkreślono wówczas szczególne znaczenie i perspektywy pasywnej architektury słonecznej, która może być rozwijana na całym świecie w różnorodnych warunkach klimatycznych. Zwrócono uwagę na znaczenie odrodzenia tradycyjnych wzorów architektury regionalnej, dostosowanej do topografii i klimatu – szczególnie słońca i wiatru[91].

3.3.2. Doświadczenia amerykańskie (USA)

W USA, w 1972 r., na krótko przed embargo na ropę naftową i kryzysem energetycznym lat 1973–1974, ukazało się drugie, poszerzone wydanie wspomnianej wyżej pracy J.M. Fitcha *American Building: The Environmental Forces That Shape It* oraz zainicjowano Program Energii Słonecznej USA.

Społeczeństwo zareagowało bardzo szybko na kryzys. W latach 1977 i 1978 w 25 tys. domów wprowadzono ogrody zimowe, a w ponad 1/4 domów zastosowano w 1978 r. aktywne solarne ogrzewanie. Z początkiem 1979 r. było już zamontowanych ok. 100 tys. solarnych instalacji. Ponad połowa domów w Nowej Szkocji wprowadziła też energooszczędne izolacje[92]. W Kalifornii powstało 8 budynków administracyjnych (firma Jerry Brown) o pasywnych systemach ogrzewania i chłodzenia.

Z początkiem lat 70. pojawiła się nowa generacja słonecznych domów jednorodzinnych. Do grupy znanych domów pasywnych tego okresu należały: dom w Princeton (Kelbaugh-Haus, 1974), w którym zastosowano południową ścianę Trombe'a w powiązaniu ze szklarnią, dom w Trenton (D.S. Kelbaugh), o masywnej konstrukcji betonowej i dwu południowych pasmach pasywnych przeszkleń z aluminiowymi systemami zacieniającymi[93], dom w Illinois (arch. M. Gerber, 1973), dom w Yorku (*Sun-Kissed solar house*, arch. D. Watson). Wymienić też należy oryginalną koncepcję pasywnego domu w Bar Harbor (arch. R. Caivano), rezydencję w Guilford (arch. P. Lytle i S. Conger) i dwie rezydencje w Kolorado – projektu arch. F.J. Tabb, F. Tabb oraz w Denver (arch. R.L. Crowter, Crouther Solar Group). R.F. Shannon zrealizował dom w Windham, Vt., o przekroju odpowiadającym zasadom kształtowania indiańskiego pueblo, z systemem reflektorów nad każdym z trzech jego tarasów, które służyły w zimie wzmocnieniu zysków cieplnych z promieniowania słonecznego, natomiast w lecie pełniły rolę zacieniającą[94]. W grupie rozwiązań pasywnych należy wymienić też dwie realizacje domów: w Luizjanie oraz w Kolorado projektu SEA Group (D. Wright, D.A. Andrejko, 1981) oraz dom w Aspen, Kolorado (arch. D. Sellers). Architekci Kelbaugh i Lee rozwijali badania i eksperymenty w ramach działalności Milford Reservation Solar Center w Pensylwanii (1979). Na zlecenie AIA Research Corporation, w ramach badań na Arizona State University, opracowano zbiór zasad i możliwości łączenia różnych rozwiązań technologicznych – od rozwiązań typu *low-tech*, po koncepcje *high-tech*. W grupie tych ostatnich rozwiązań wymienić można koncepcję domu autonomicznego (arch. R.F. Augistine, Phoenix, Arizona).

Wpływ na humanizację architektury modernistycznej przez poszukiwanie relacji z przyrodą wywarły też w USA studia projektowe i realizacje domów P. Koeniga (*Case Study House*)[95]. W tym też czasie nastąpił szybki rozwój prac nad materiałami budowlanymi przyjaznymi dla środowiska (Center for Maximum Potential Building Systems)[96].

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Wzrosło też grono architektów projektujących i realizujących całe osiedla i zespoły mieszkaniowe z wykorzystaniem energii słonecznej. Podobnie jak w starożytnej Grecji czy w Niemczech okresu Republiki Weimarskiej oraz w USA w latach 40. zaczęły powstawać duże słoneczne osiedla mieszkaniowe opierające się na racjonalnym zagospodarowaniu terenu. W większości realizowane były one na południowo-zachodnich obszarach USA (publikacja *Solar Oriented Architecture*)[97].

Jak już wspomniano, A. Predock przyczynił się w latach 70. XX w. do unowocześnienia tradycyjnych technik budowlanych, wznosząc osiedla z adobe i upowszechniając w swoich realizacjach systemy solarne. Należy tu wymienić eksperymentalny zespół 96 domów słonecznych „La Luz" k. Albuquerque w Nowym Meksyku, o pasywnych systemach pozyskiwania energii słonecznej. Zastosowano w nim technologię nowoczesnej produkcji cegły ziemnej adobe. Osiedle sprawdziło się doskonale w zmiennym i ostrym klimacie miejscowym. Rozwiązania bioklimatyczne, z pasywnymi systemami słonecznymi, stosowano zarówno w tanim budownictwie ze względów ekonomicznych i socjalnych, jak i w luksusowych rezydencjach (komfort relacji z naturą – przykład: rezydencja Balcomba, Santa Fe, Nowy Meksyk, 1970, arch. W. Lumpkins).

a) b)



Fot. 4a) Dom Balcomba, proj. W. Lumpkinsa, Santa Fe, Nowy Meksyk, USA, 1970, b) fragment zabudowy osiedla „La Luz", proj. A. Predocks, Albuquerque, Nowy Meksyk, USA, 1967–1974. Źródło: [56, s. 65, 128]

Photo 4a) Balcomb's House, designed by W. Lumpkins, Santa Fe, New Mexico, USA, 1970, b) a part of "La Luz" estate, designed by A. Predocks, Albuquerque, New Mexico, USA, 1967–1974. Source: [56, pp. 65, 128]

Koncepcje domów z adobe rozwijał w latach 70. D. Wright w Santa Fe (m.in. realizacje dwu domów dla K. Terry'ego). Powstawały też koncepcje łączenia pasywnych domów z adobe z systemami kolektorowymi (dom w Seton Village, Santa Fe, proj. Sun Mountain Design, dom w Sea Ranch w Kalifornii projektu D. Wrighta). W omawianym okresie rozpoczęto też realizację idealnego, samowystarczalnego, do dziś niezakończonego miasta Arcosanti na pustyni w Arizonie wg wizji P. Soleriego. Składało się ono ze struktur pozyskujących energię słoneczną (1979). Proponowane przez architekta samowystarczalne megastruktury miejskie wyrażały alternatywną do modernistycznej ideę architektury i urbanistyki (*Drop outs Cities*)[98]. Pojawiła się też fala publikacji świadcząca o stanie świadomości, badań oraz realizacji, obejmująca okres aż po lata 80.[99]

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

4. Podsumowanie

W wyniku oceny przedstawionych wyżej materiałów należy podkreślić, że rozwój architektury słonecznej na przestrzeni dziejów, począwszy od starożytności, przebiegał w formie serii fal w odpowiedzi na pojawiające się różnorodne kryzysy, na ogół związane z brakiem dostępu do konwencjonalnych źródeł energii. Należy uznać, że okres od starożytności po początek XX w. stworzył podwaliny pod systematyczny rozwój zasad pasywnego wykorzystywania energii słonecznej w architekturze i urbanistyce, rozwinął doskonałe wzory rozwiązań bioklimatycznych w kształtowaniu domów i miast, a także przygotował podłoże dla rozwoju w kolejnym stuleciu pierwszych technologii słonecznych systemów aktywnych.

Podstawowe zadania i zasady kształtowania pasywnej architektury słonecznej, znane od czasów antycznych i nadal aktualne, przedstawiają się następująco:

– południowa orientacja zespołu urbanistycznego i budynku, dostosowanie bryły i elewacji południowej do pozyskiwania energii słonecznej w zimie, a elewacji północnej do pełnienia roli osłony przed wiatrem,
– umożliwianie penetracji światła słonecznego przez okna w okresie zimowym, a ograniczanie jej w lecie, wprowadzenie oranżerii i pokoi słonecznych (pasywne kolektory),
– chłodzenie budynku poprzez wykorzystanie naturalnej wentylacji,
– gromadzenie ciepła w termicznych zbiornikach, którymi są masywne ściany, podłogi, warstwy kamienia lub woda,
– izolowanie wnętrza mieszkalnego od otoczenia w celu ochrony przed niepożądanym nagrzewaniem lub chłodzeniem (promieniowanie lub przewodzenie). Rolę izolacji i zbiornika termicznego mogą pełnić te same elementy budynku.

Można przyjąć, że zasadniczy zwrot w rozwoju pierwszej generacji architektury słonecznej odegrały dwie fale architektury słonecznej, jakie miały miejsce w XX w. w Europie oraz w USA. Wpisują się w nie zarówno zaprezentowane w artykule koncepcje różnorodnych rozwiązań pasywnych jako kontynuacja idei zapoczątkowanych przez starożytne cywilizacje, jak i doświadczenia zmierzające do uzyskania i doskonalenia aktywnych systemów słonecznych oraz koncepcji domów samowystarczalnych energetycznie dzięki rozwojowi współczesnych technologii.

Pierwsza fala architektury pasywnej miała początek na kontynencie europejskim w latach 20. i 30., jednak rozwój różnorodnych koncepcji nastąpił w latach 40. i 50. w USA, dając impuls do rozwiązań eksperymentalnych z lat 70., zarówno w tym kraju, jak i w Europie, w ramach drugiej fali tej architektury. Odrodziły się wówczas i zostały udoskonalone zasady budowy domów pasywnych, znane od czasów antycznych, a także z tradycyjnych, bioklimatycznych, rodzimych form architektonicznych, występujących w różnych regionach świata. Realizacje tego okresu obejmowały na ogół niewielkie obiekty, głównie domy jednorodzinne oraz osiedla mieszkaniowe. Domy słoneczne, powstające w ramach tej fali, charakteryzowała na ogół prosta, podporządkowana technologii architektura lub też nawiązująca formą i materiałami do lokalnej tradycji.

Należy tu zaznaczyć, że jakkolwiek XIX w. oraz kolejne dziesięciolecia do połowy XX w. stanowiły okres wynalazków i odkryć związanych z wykorzystaniem energii promieniowania słońca w różnych dziedzinach techniki oraz w architekturze, to jednak powszechne użycie kopalnych paliw i ich niskie ceny wpływały na brak szerszego zainteresowania rozwojem technologii wykorzystujących energię słoneczną. Doświadczenia oma-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

wianego okresu nie były związane wyraźnie z filozofią ochrony środowiska przyrodniczego, która wówczas (1920–1960) nie wpływała znacząco na architekturę. Biologię i ekologię zaczęto uznawać za kluczowe nauki w zmianie podejścia do projektowania zespołu mieszkaniowego dopiero w latach 60. XX w. W obliczu nowych oczekiwań metafory żywego organizmu czy ekosystemu zaczęły dopiero w tym przedziale czasowym zastępować corbusierowską koncepcję anonimowego mieszkania jako „maszyny do życia".

Druga fala architektury słonecznej (eksperymentalna) pojawiła się w wyniku kryzysu energetycznego z początkiem lat 70., rozwijając się równolegle zarówno w Europie, jak i na kontynencie amerykańskim. Przed architektami i urbanistami, już z początkiem lat 60., stanęło wyzwanie kreowania domu zintegrowanego z lokalnym środowiskiem i ekosystemami na bazie syntezy nauk: architektury, ekologii i biologii, czerpiącego energię ze źródeł naturalnych. Okres projektów eksperymentalnych odegrał stymulującą rolę w rozwoju nowych technologii pozyskiwania energii słonecznej i materiałów budowlanych oraz dalszym definiowaniu słonecznej architektury. Można uznać, że zarysowały się wówczas, aktualne do dzisiaj i rozwijane nadal, już w ramach obecnej, drugiej generacji architektury słonecznej, różne kierunki poszukiwań: kontynuacja i doskonalenie rozwiązań pasywnych opierających się na nowych technologiach, zarówno w zakresie systemów słonecznych, rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych, jak i na bazie studiów budownictwa wernakularnego, tradycji lokalnej i rozwiązań bioklimatycznych oraz badania nad kojarzeniem systemów pasywnych z aktywnymi, a także prace nad uzyskaniem samowystarczalnych energetycznie budynków. Znajdowało to odzwierciedlenie nie tylko w konstrukcji, ale i estetyce budynków.

Nurty wszystkich wymienionych fal, jakie pojawiły się w historii w Europie i USA splatały się ze sobą, czerpiąc wzajemnie z prowadzonych na obu kontynentach doświadczeń, badań oraz rozwoju teorii i literatury. Można przyjąć, że pierwsza generacja architektury słonecznej zakończyła się u progu lat 90. XX w.

Druga generacja rozwija się obecnie, obejmując rozwiązania tak pasywne, jak i pasywne w połączeniu z aktywnymi, w ramach zapoczątkowanej z końcem XX w. **trzeciej fali architektury słonecznej**. Pojawienie się tej nowej generacji ma związek z rozwojem możliwości technologicznych w dziedzinie systemów słonecznych oraz współczesnymi osiągnięciami w zakresie możliwości materiałowo-konstrukcyjnych. Jak wspomniano, pierwsze sygnały jej pojawienia się zaznaczyły się już w okresie eksperymentów z czwartym domem M.I.T., wzniesionym w Lexington, Massachusetts (1958).

Trzecia fala architektury słonecznej stanowi odpowiedź dzisiejszej cywilizacji na globalny problem ocieplenia, zmian klimatycznych, zanieczyszczenia i degradacji środowiska oraz związaną z tym konieczność oszczędzania zasobów naturalnych. Architekci w jej ramach proponują i wprowadzają rozwiązania projektowe mieszczące się pomiędzy filozofią *high*- i *low-tech* (*no-tech*), a także ich interpretacje lokalne i globalne, które są tak różnorodne, jak różnorodne są zarówno lokalne cechy klimatu, jak i strefy kulturowe oraz dostępność współczesnych technologii.

Doskonalenie i rozwój energooszczędnych rozwiązań w ostatnich latach w Europie ma związek z konsekwentną polityką rządów, szczególnie Unii Europejskiej i wdrażaniem idei rozwoju zrównoważonego oraz legislacji w tym zakresie. Natomiast w USA, ze względu na znacznie mniej surowe niż w Europie prawodawstwo, presję ekonomii wolnego rynku na szybką amortyzację budynków oraz nadal niskie ceny energii, budownictwo energooszczędne nie rozwinęło się w tym samym stopniu.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Trzecią falę architektury słonecznej charakteryzuje nowe, całościowe podejście do projektowania środowiska zbudowanego. Służy ono uzyskaniu maksymalnej spójności wszystkich tworzących budynek i zespół urbanistyczny elementów przy zachowaniu spójności z otoczeniem przyrodniczym. Poszukuje się pełnej integracji wszystkich elementów w ramach budynku, osiedla w połączeniu z otoczeniem. Kształtowanie zespołów i większych kompleksów mieszkaniowych, a także całych miast słonecznych oraz słoneczna rewaloryzacja pozwalają na tworzenie wspólnych słonecznych koncepcji energetycznych i łączenie różnorodnych rozwiązań technologicznych w ich obrębie oraz w powiązaniu z miejskimi sieciami energetycznymi lub innymi zespołami mieszkaniowymi.



Fot. 5. Heliotrop – współczesny eksperymentalny dom projektu R. Discha we Fryburgu, Niemcy. Koncepcja architektoniczna oparta na obserwacji zjawiska heliotropizmu. Fot. aut.

Photo 5. Heliotrop – contemporary experimental house designed by R. Disch, Freiburg, Germany. Architectural concept based on heliotropism phenomenon; photo by author

Analiza ewolucji współczesnych zewnętrznych przegród budynku oraz ich konstrukcji wykazuje, że nastąpiła zmiana ich charakteru w związku z nowym zadaniem architektury, jakim jest pozyskiwanie energii słonecznej. Wraz z zastosowaniem systemu pasywnego i systemów aktywnych przestaje być ona statyczna, a przekształca się w aktywny organizm. Reaguje na warunki zewnętrzne, które ulegają stałym wahaniom i zmianom, w celu spełnienia wymogów związanych z komfortem mieszkańców w zakresie mikroklimatu. Powłoki budynku pośredniczą zatem pomiędzy zmiennym otoczeniem a wymagającymi stabilności warunkami wewnętrznymi. Dom, dzięki współczesnym technologiom i rozwiązaniom materiałowym może odbijać, absorbować, filtrować strumienie energii, magazynować je i transformować, podobnie jak odbywa się to w przypadku organizmów żywych (fot. 5).

Należy też zaznaczyć, że obok funkcjonalności i estetyki od współczesnej architektury słonecznej drugiej generacji oczekuje się spełniania wymogów, jakie narzucają kryteria oceny zrównoważenia środowiskowego, stosowane w ocenie zrównoważonych budynków

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

i ich jakości, opracowane w ostatnich latach w ramach badań nurtu energetyczno-ekologicznego (idee „Green Building", „Eco-Building", metody ocen na bazie POE, narzędzia ocen jakości: m.in. BREEAM, BEPAC, LEED, ECO Quantum, ECO-PRO, program cyklicznie doskonalonych, porównywalnych metod Green Building Challange – GBC)[100].

Badania nad koncepcją i modelami zrównoważonych budynków, a także wymogi certyfikatów energetycznych, obowiązujące w Unii Europejskiej i wielu innych krajach, dowodzą, że współczesne środowisko mieszkaniowe zaczyna być kształtowane na bazie interdyscyplinarnych poszukiwań i nowoczesnej, stale rozwijanej wiedzy. Jako istotne dla dalszego rozwoju architektury słonecznej, a także zrównoważonej, zarysowują się badania skoncentrowane na kształtowaniu zewnętrznych osłon budynku, m.in. z wykorzystaniem wzorów powłok organizmów żywych. Należy wspomnieć tu o pojawiających się w latach 90. XX w. i nadal rozwijanych awangardowych tendencjach w poszukiwaniu nowego, organicznego języka architektury, a także jej związku z biologią i technologią. Biologiczny jej model rozwija się na bazie nowych materiałów i technologii, sztucznej, analogicznej do biologicznej, inteligencji, form powstających na styku technologii cyfrowych i biologii. Wydają się tu cenne m.in. osiągnięcia architektury bionicznej. Ważny obszar przyszłości dostrzega się też w ekonice (ekologicznym systemie bioniki).

P r z y p i s y

[1] Charakterystyczne jest, że kraje uprzemysłowione Wschodu i Zachodu, zamieszkiwane przez 25% populacji światowej, konsumują ok. 75% energii, podczas gdy pozostałe, rozwijające się, jedynie 25% przy populacji liczącej 75% całej ludności świata, a działalność inwestycyjna związana z budownictwem pochłania w Europie więcej niż połowę jej konsumpcji. Dołączają się do tego koszty eksploatacji budynków, głównie związane z ich ogrzewaniem.

[2] Pod pojęciem architektury słonecznej rozumie się architekturę, której struktura, sposób ukształtowania przestrzeni zewnętrznej i wewnętrznej umożliwiają, adekwatne do klimatu, czerpanie maksymalnych zysków ciepła z energii słonecznej przy jednoczesnym zapewnieniu minimalnych strat cieplnych. Tworzy ona integralną całość z elementami, które służą pozyskiwaniu energii słonecznej w sposób pasywny lub pasywny i aktywny. Architektura ta związana jest z energooszczędnymi sposobami budowania i przystosowana, przez rozwiązania architektoniczne i strukturalno-materiałowe, do wykorzystywania ciepła pozyskiwanego wskutek fototermicznej konwersji promieniowania słonecznego (helioaktywność).

[3] Więcej: D. Althaus, *Häuser, dir sich sonnen: Solares Baue-Grundlage postfossiler Architektur*, Detail 6, 2002, s. 718.

[4] Również ukształtowanie Babilonu świadczyło o orientacji miasta w stosunku do słońca. Układ ulic pozwalał na wykorzystanie wszystkich walorów klimatycznych, a jednocześnie zapewniał ochronę przed niesprzyjającymi czynnikami: wentylację, zacienienie i osłonę przed wiatrem. Pierwsze miasta w dorzeczu Tygrysu i Eufratu są doskonałym przykładem zrównoważonego rozwoju organizmu miejskiego.

[5] Duże okna, pokryte jedwabiem lub papierem ryżowym, wypełniały południowe fasady. Według K. Butti, J. Perlin, *Golden Thread. 2500 years of solar architecture and technology*, New York 1980, s. 3.

[6] Źródło: U. Timm, *Wohnräume unter Glas. Der Wintergarten. Planung. Konstruktion. Ausstattung, Bepflanzung*, Monachium 1987.

[7] Przytoczyć można słowa M. Heideggera: 1. Budowanie jest właściwie zamieszkiwaniem, 2. Zamieszkiwanie jest sposobem, w jaki Śmiertelni są na Ziemi, 3. Budowanie jako zamieszkiwanie wykształca się w budowanie, które wystawia budowle. Budowla jest „rzeczą, która jako miejsce

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

zapewnia osadzenie w jakiejś siedzibie". M. Heidegger, *Budować, mieszkać, myśleć. Eseje wybrane*, Warszawa 1977, s. 317.

[8] Por. W. Ostrowski, *Urbanistyka współczesna*, Warszawa 1975, s. 11.

[9] Konieczność korzystania z alternatywnego źródła energii – słońca powodował brak opału.

[10] Sokrates (469–399 r. p.n.e.), mieszkając w domu ogrzewanym ciepłem słonecznym, promował rozwiązanie odbiegające od zasady „megaronu", optymalnie dostosowane do korzystania z zimowego słońca i chroniącego jednocześnie przed działaniem letnich promieni. Zaobserwował, że w domach otwartych na południe zimowe słońce penetruje głęboko w portyki, co umożliwia ogrzewanie wnętrz, natomiast w lecie, ze względu na kąt padania promieni słonecznych, portyki te są całkowicie zacienione. Grecki historyk Ksenofont (430–354 r. p.n.e.) promował zasadę projektowania wyższych ścian południowych i obniżonych, ze względu na zimowe wiatry, ścian północnych.

[11] Por. K. Butti, J. Perlin, *op. cit*., s. 3-13.

[12] Zadaniem ściany południowej było ogrzewanie pomieszczeń, natomiast ściana północna, o niewielkich otworach okiennych, chroniła przed wiatrem. W zimie promienie słoneczne (kąt padania 26°) penetrowały przez portyk do pomieszczeń mieszkalnych. Ciepło słoneczne magazynowane było w ścianach z suszonej na słońcu cegły oraz w podłogach ziemnych. W lecie dostęp słońca uniemożliwiały zacieniające portyk okapy. Według K. Butti, J. Perlin, *op. cit*., s. 5-11.

[13] Według pism Seneki – listu z 65 r. n.e., opisującego transparentne materiały używane do wypełniania otworów okiennych. Kolorowe szkło było stosowane od ponad 3 tys. lat.

[14] Magazynowanie ciepła słonecznego umożliwiała w domach rzymskich specjalna konstrukcja magazynów podłogowych. W Rzymie już w II w. n.e. obowiązywały prawa dotyczące domów słonecznych, promujące powszechne korzystanie z energii słonecznej.

[15] Wymienione prawo określało warunki zabudowy dające dostęp wszystkim domom do południowego słońca. Witruwiusz zalecał, aby w klimacie chłodniejszym, w krajach północnych stawiać budynki zwrócone ku ciepłej stronie, a za pomocą sztuki wyrównywać braki przyrody. Źródło: Witruwiusz, Księga VI, 1999, s. 149.

[16] Rzymski termin *heliocaminus* (palenisko) był też używany na określenie pokoju zorientowanego na słońce. Opisane zasady przeniesiono do budynków rzymskich łaźni (*caldarium*).

[17] Płytki dół pod podłogą, po wybraniu ziemi, wypełniano mieszanką kamieni, uzyskując doskonały magazyn ciepła.

[18] Prawnik Ulpian w II w. n.e. wprowadził zapis na korzyść właścicieli, że dostęp do słońca nie może być blokowany przez nowo powstające obiekty, które powodują zacienienie w miejscu, gdzie niezbędny jest absolutny dostęp do słońca, a jego wyrok włączono do Wielkiego Kodeksu Praw Justyniana cztery stulecia później. Szerzej: K. Butti, J. Perlin, *op. cit*., s. 27.

[19] W Aleksandrii w I w. n.e. zbudowano solarny syfon, poruszany energią słońca, służący do transportowania wody.

[20] Zupełnie odwrotnie było w Chinach, gdzie kontynuowano od starożytności zasady słonecznej architektury, z uprzywilejowaną południową elewacją jako elementem decydującym o zdrowiu mieszkańców. W VII w. n.e. z Chin architektura słoneczna została przeniesiona do Japonii. W wiekach średnich w kulturze europejskiej zaginęły też wiedza i doświadczenia starożytnych dotyczące słonecznych zwierciadeł. Została na nowo wydobyta (m.in. matematyk Al. Haitham z Kairu (XI w.), franciszkanin R. Bacon (XIII w.), nauczający w Oxfordzie i Uniwersytecie w Paryżu).

[21] Szerzej: K. Butti, J. Perlin, *op. cit*., s. 47.

[22] Należy wspomnieć o wkładzie w rozwój pasywnej koncepcji słonecznej domu architekta H. Reptona. Łącząc wnętrze pokoju mieszkalnego i biblioteki z dobudowanym od południa szklanym ogrodem zimowym, otworzył je na powstałą strefę klimatyczną. Otwarcie w słoneczne, zimowe dni drzwi oddzielających ogród zimowy od pozostałych pomieszczeń umożliwiało nagrzanemu słońcem powietrzu, wskutek cyrkulacji, ogrzewanie pozostałych pomieszczeń. W nocy zamykano drzwi, aby zatrzymać ciepłe powietrze.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

[23] Pierwszy projekt domu z kolektorowo-magazynowym systemem pasywnym powstał w połowie XIX w. (R. Morse).

[24] Szerzej: S. Sliwinski, *Eine Chronologie der Solararchitectur in den USA*, Detail nr 6, 2005, s. 600.

[25] Leonardo da Vinci proponował paraboliczne zwierciadło możliwe do zastosowania w przemyśle i dla celów rekreacji (ogrzewanie wody dla celów produkcyjnych, a także w basenie (1515)). Lustra dla różnych celów konstruowali i opisywali: Andrea del Verocchio (dla Santa Maria del Fiore we Florencji), A. Loncier (1561), G. Magini, Galileusz, G. Porta, J. Cardano, A. Kircher (XVII w.), Vilette, Gartner P. Hoesen (Drezno – XIX w.). Dzięki heliotermometrowi De Saussure (1774) przeprowadził dowód „efektu cieplarnianego". Jednocześnie rozpoczęto eksperymenty dotyczące konstrukcji szklarni i kąta nachylenia przeszkleń (F. Miller, 1751, T. Knight, 1811; G. Mackenzie, 1815; J.C. Loudon, 1817, Londyn). Źródło: J. Franz, S. Hanke, M. Krampen, D. Schempp, *Ogród* ..., 2000, s. 12-14.

[26] Forma *shalow pithouse*, pomieszczenia mieszkalnego z początku naszej ery, jest uważana przez teoretyków architektury amerykańskiej (m.in. Paolo Soleri) za pierwszą skuteczną energetycznie i doskonałą budowlę z naturalnym systemem wentylacyjnym. Utrzymywała się w nim stała temperatura dzięki zagłębieniu w podłożu i obsypaniu ziemią części ponad terenem. Najstarsze obiekty (*shalow pithouse*) pochodziły z III w. Szerzej: T. Kelm, *Powrót do źródeł. Architektura bioklimatyczna w budownictwie amerykańskim*, 2000, s. 58, 59; T. Kelm, *architektura prerii i kanionów*, 2007, s. 45.

[27] Mieszkańcy tych miast, żyjący w wielorodzinnych i wielokondygnacyjnych domach, znakomicie wykorzystali topografię, lokalne materiały budowlane, a także swoje umiejętności w zakresie obliczeń i obserwacji astronomicznych związanych z porami roku. Domy chroniły przed słońcem w lecie i maksymalnie je wykorzystywały w okresie zimowym (w Meksyku m.in. zasada pałaców Montezumy). Źródło: M. Gerber, [w:] „*Solar and regional*...", 1978, s. 82. Miasta Indian Anasazi omawia szerzej D.L. Jones, *Architecture and the Environment. Biochimatic Building Design*, s. 17, 1998, S. Sliwinski, *op. cit*., s. 600, K. Butti, J. Perlin, *op. cit*., s. 173, T. Kelm, *Architektura prerii ..., op. cit*.

[28] Według S. Sliwinski, *op. cit*., s. 600.

[29] Od południa do masywnych ścian z piaskowca dobudowano w nim oranżerię, a dwupoziomowa galeria doświetlona została szklanym dachem pozyskującym słoneczną energię, wg T. Kelm, *Architektura prerii ..., op. cit*., s. 50, 67.

[30] Sytuowano przy niej większość pomieszczeń mieszkalnych. Ukształtowanie dachu tworzyło dodatkową osłonę ochronną przed zimowym wiatrem. Ażurowe osłony nad drzwiami i oknami uzupełniały system zacieniania wnętrza w lecie i ułatwiały penetrację słońca w porze zimowej.

[31] Według K. Butti, J. Perlin, *op. cit*., s. 175.

[32] W 1912 r. Atkinson zbudował *sun house* dla S. Cabota w Bostonie o szklanej południowej fasadzie. Jednak jego wkład w badania na temat architektury słonecznej został zapomniany w USA na ponad 20 lat.

[33] Charakterystykę fal oparto na pracy Z. Sliwinskiego, *op. cit*., s. 600.

[34] Urbaniści angielscy, domagając się reform w kształtowaniu zabudowy mieszkaniowej, postulowali w pierwszej dekadzie XX w. konieczność otwarcia na słońce – źródło „światła, radości i zdrowia" dla każdego budynku mieszkalnego.

[35] W skupiskach robotniczych uprzemysłowionej Anglii powstało w połowie XIX w. motto nastawionych na kształtowanie zdrowego środowiska życia lekarzy: „*Where the sun doesn't go, the doctor does*". Tezę o bakteriobójczym działaniu światła ultrafioletowego potwierdzały m.in. badania L. Pasteura we Francji oraz angielskiego lekarza A. Daviesa.

[36] Por. K. Butti, J. Perlin, *op. cit.*, s. 160.

[37] Podkreśla się sięganie korzeni architektury organicznej do odległych czasów „architektury bez architektów".

[38] Architektura antyczna była organiczna z założenia, stanowiąc część uporządkowanego świata natury, a rozumienie związku z przyrodą było znacznie głębsze od współczesnego, ponieważ odno-

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

siło się do treści i struktury, a nie wyłącznie kształtu. Takie rozumienie organiczności istniało również w okresie renesansu.

[39] L.H. Sullivan [w:] M. Tobolczyk, *Narodziny architektury*, Warszawa 2000, s. 208.

[40] „Dom nad wodospadem" od początku uznawany był za przełomowe wydarzenie w nowoczesnej architekturze, wyobrażenie domu człowieka natury w pełni zintegrowane z nauką i techniką współczesnych czasów. Por. T. Copplestone, 1998, s. 111, 74.

[41] Lista architektów tworzących pod wpływem Wrighta jest obszerna, a oddziaływanie idei przeciwieństwa estetyki „ery maszyn" nadal trwa. Bliskie jej są w Europie niektóre dzieła A. Aalto, H. Scharouna, R. Pietila, L. Krolla, R. Erskina, w USA B. Goffa, a obecnie H. Greena i B. Prince'a.

[42] Por. B. Juchniewicz, *Architektura ciała i ciało architektury*, [w:] *Architektura współczesna wobec natury*, red. L. Nyka, s. 71.

[43] Wczesne funkcjonalistyczne budynki (schyłek XVIII w.) o prostej konstrukcji, zwartej formie i naturalnych materiałach to wzorce wielu prekursorów modernizmu i jego kontynuatorów w architekturze współczesnej. Twórczość Violette-le Duca i idee Ruskina stały się podstawą rozwoju biomechanicznej architektury okresu modernizmu, kontynuowanej przez *high-tech*. Idee osiedli typu *ville sociale* (Chaux, Falanstere) kontynuował modernizm, a współcześnie m.in. R. Erskin (os. Byker) i H. Herzberger (IBA, blok berliński).

[44] Villa Savoye (1929–1931), Unite d'Habitation w Marsylii (1947–1952), Maisons Jaoul (1954––1956), Unite La Tourette (1957–1960). Ville Radieuse i Radiant City uwzględniały oś heliotermiczną. W pracy *The Radiant City* (Paryż 1967) Corbusier stwierdza: „Człowiek jest wytworem natury i jego twórczość powinna być zgodna z jej prawami".

[45] Według P. Trzeciak, *Pochwała* ..., [w:] „*Sztuka świata*", 1996, s. 330.

[46] Klimatyczne utopijne konstrukcje miast i osiedli (m.in. w Arktyce), przekrytych wspólną, transparentną membraną powstały w okresie pierwszego kryzysu energetycznego. Szerzej: R. Krisch, *Klima--Utopien-Der Traum vom grossem Dach*, 1999, s. 363-364.

[47] Źródło: R. Banham, *Rewolucja w architekturze*, 1979, s. 322.

[48] Zainteresowanie skierowane było głównie na konstrukcję i zastosowany materiał, a relacja z otoczeniem podporządkowana została wizualnemu oddziaływaniu szklanej kurtyny. Lata 40. i 50. XX w. to okres postępu w technologiach oświetlenia i klimatyzacji budynków, a zmierzanie do doskonalenia klimatu wnętrz stało się podstawową zasadą architektury lat 60. (kulminację stanowiło Centrum Pompidou w Paryżu). Źródło: H.J. Cowan, *Solar Energy Applications* ..., 1980, s. 7.

[49] Leberecht Migge instalował szklane ogrody w celu stworzenia osłony klimatycznej budynku mieszkalnego. Parter jego domu otoczony był z trzech nasłonecznionych stron w zimie strefą ochronną, gromadzącą ciepło słoneczne i przekazującą je do wnętrza. Elementy okienne demontowano w okresie letnim. Szerzej: R. Bauman, *Domy w zieleni*, 1991, s. 42, 43, 171, K. Butti, J. Perlin, *op. cit.*, s. 71.

[50] Jego idea oparta jest na sekwencji usytuowanych na wzgórzu budynków i łączących je tarasów.

[51] Funkcjonalizm uznawał za jeden z istotnych elementów komfort fizyczny i psychiczny związany z mikroklimatem wnętrza mieszkalnego. W stosunkowo chłodnym klimacie europejskim do najważniejszych jego składników zalicza się komfort cieplny. Królewski Instytut Architektów Brytyjskich z początkiem lat 30. XX w. promował przyrząd pomagający architektom w określeniu warunków nasłonecznienia projektowanego budynku metodą symulacji.

[52] K. Butti, J. Perlin, *op. cit*., s. 171.

[53] Stanowiły one przeciwieństwo wyrastających z ziemi i wtopionych w teren domów Wrighta. Biologię architektoniczną nazywał Neutra „biorealizmem". Przyrodę traktował jako nierozerwalnie związaną z człowiekiem, twierdząc, że największym niebezpieczeństwem jest niekontrolowane korzystanie z wynalazków technicznych.

[54] Zlokalizowane od północy drugorzędne pomieszczenia, garaże i komunikacja stanowiły strefę buforową chroniącą dom przed zimnymi północnymi wiatrami.

[55] Według K. Butti, J. Perlin, *op. cit.*, s. 180.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

[56] W 1926 r. władze Santa Fe podjęły uchwałę nakazującą utrzymanie stylu i kultury regionalnej, dzięki czemu miasto do dzisiaj utrzymało swój charakter i skalę. Szerzej: P. van Dresser [w:] „*Solar technology*...", 1978, s. 110, *op. cit*. Por. T. Kelm, *Spotkanie dwóch kultur*, Magazyn Budowlany 6, 2001, s. 52, T. Kelm, *Architektura prerii ..., op. cit.*, s. 68, 72.

[57] Teorię na temat pozyskiwania energii słonecznej przez nagrzewanie masywnych murów i odpowiednie ukształtowanie budynków przedstawił w katalogu projektów *Modern Spanish Pueblo Homes.*

[58] Celem był specjalny program badań nad sposobami pozyskiwania naturalnej energii. Badania dla Solar Demonstartion Center w Ghost Ranch w Nowym Meksyku obejmowały doświadczenia na modelowych budynkach z cegły ziemnej – adobe. Program w latach 70. objął doświadczenia nad różnymi systemami pozyskiwania energii słonecznej, od tradycyjnych po nowoczesne, m.in. ze ścianą Trombe'a oraz przeszklonymi werandami – ogrodami zimowymi i ścianami wodnymi. W ich wyniku powstały katalogi domów pozyskujących energię słoneczną za pomocą różnych metod. Szerzej: T. Kelm, *Spotkanie ..., op. cit*., s. 52.

[59] Dom P. van Dressera w Santa Fe (1958 r.) był przykładem przebudowy meksykańskiego domu z adobe, który wyposażono w kolektory słoneczne.

[60] Por. T. Kelm, *Architektura prerii ..., op. cit.*, s. 74.

[61] Osiągnięcia mają swe źródło często w prostych pomysłach i ludzkiej inteligencji. Przykładem może być eskimoskie igloo – doskonałe ze względu na geometrię oraz zintegrowanie ze środowiskiem naturalnym. Dlatego szeroką akceptację zdobyły idee Fullera na początku lat 60. XX w.

[62] Z. Sliwinski, *op. cit.*, s. 600.

[63] Według K. Butti, J. Perlin, *op. cit.*, s. 216.

[64] Do popularności nowych idei przyczynił się wojenny deficyt tradycyjnych materiałów opałowych oraz media. W okresie powojennej eksplozji przemysłowej słoneczne rozwiązania włączono do produkcji prefabrykowanych domów.

[65] Przyjęto wg klasyfikacji Z. Sliwinskiego, opracowanej dla architektury słonecznej w USA. Według Z. Sliwinski, *op. cit*., s. 600.

[66] Powszechnie znanym przykładem w USA był dom pasywny projektu D. Wrighta (1974). Słoneczna energia pochłaniana była przez wielkie płaszczyzny okien. Nie przewidziano jednak możliwości jej magazynowania. W USA koncepcje domów pasywnych rozwijali architekci: D. Kelbaught (Princeton) i B. Hunn (Los Alamos), S. Baer (Albuquerque), H. Hay (Atascadero), P. Davis (Corrales). Szerzej: J.D. Balcomb, [w:] *Solar*..., red. S. Cowan, 1978, s. 74, 75.

[67] Ruch ekologiczny narodził się pod wpływem kryzysu naftowego i związanej z nim konieczności poszukiwania alternatywnych źródeł energii, a także przemian zachodzących w świadomości społeczeństw. Termin „pasywny system słoneczny" został wprowadzony do języka naukowego w latach 70. XX w. i w tym czasie spopularyzowany w społeczeństwie.

[68] Pierwszy z wymienionych budynków nie miał okien w ścianie południowej. Kolejny projekt wielorodzinnego domu Trombe'a–Michela w Odeillo (1956) wprowadził na południowej ścianie okna o wielkości zgodnej z obowiązującymi normami. Po zmagazynowaniu pochłoniętej przez budynek energii oddawanie jej w celu ogrzewania pomieszczeń odbywało się przez konwekcję i wypromieniowanie. Należy wspomnieć, że znane obecnie jako ściana Trombe'a rozwiązanie opatentował w 1881 r. E.L. Morse.

[69] A.E. Morgan (1974) zaprojektował doskonałą ścianę słoneczną składającą się z dwu płaszczyzn szkła usytuowanych we wzajemnej odległości 60 cm. Znaczna część powierzchni wewnętrznej płaszczyzny szklanej pokryta była ciemnym szkłem. Niektóre fragmenty tej płaszczyzny wykonano z odwracalnych elementów, które przystosowane były do odbijania promieni słonecznych w lecie, a z drugiej strony, pokrycie czarną barwą ułatwiało absorbowanie ciepła w zimie. Według D.L. Jones, 1998, s. 58. Por. J.D. Balcomb, [w:] „*Solar* ...", red. S. Cowan, 1978, s. 74-80, *op. cit.*

[70] Por. T. Barucki, *Ralph Erskine*, 1987, s. 26.

[71] Źródło: R. Erskine, [w:] T. Barucki, *op. cit.*, 1987, s. 28.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

[72] Architekt wprowadził ruchome osłony okien pozwalające na korygowanie oświetlenia wnętrz, a także konstrukcje dachowe służące oświetleniu wnętrza domu od góry pośrednim, odbitym światłem. Szerzej: T. Barucki, *op. cit*., s. 28-29,

[73] Zasadami związku z klimatem kierował się architekt także w projekcie osady Resolute Bay w Kanadzie (1973), osiedla Byker w Anglii (1969–1981). Osiedle Byker określił Ch. Jenks jako paradygmat do naśladowania na równi z osiedlem Weissenhof w Stuttgarcie (konferencja RIBA, 1976), podkreślając, że budownictwo mieszkaniowe oznacza sposób życia, a żaden architekt nie zbliżył się do tego celu bardziej niż Ralph Erskine. Źródło: Ch. Jenks, *Architektura późnego modernizmu*, Warszawa 1989, s. 103.

[74] H. Fathy zaprezentował doświadczenia bazujące na eksperymencie przeprowadzonym w latach 1945–1946, promując standard mieszkania dla najuboższych opierającego się na rodzimych materiałach i miejscowej tradycji arabskiej sztuki architektonicznej.

[75] Nazwa *metabole'* – przemiana (w nawiązaniu do przyrody: przemiana materii, procesy tworzenia się i rozpadu). Możliwości techniczne, a także inspirujący wpływ R.B. Fullera odzwierciedliły się w propozycjach mieszkania prezentowanych przez Grupę Archigram, a także japońskich metabolistów. K. Kurokawa określił swoje idee jako architekturę symbiozy – rozumianą jako połączenie nowoczesnej technologii z ideami humanizmu, symbiozę wnętrza budynku ze światem zewnętrznym i przyrodą.

[76] Por. K. Kurokawa, *From the Age of the Machine* ..., 1992, s. 98-108.

[77] Źródło: U. Schäfer, *Energie-der Beitrag des Architekten*, Bauen + Wohnen, nr 6, 1979, s. 211.

[78] Źródło: L'Architecture D'Aujourd'hui, nr 209, 1980, s. XXXIII.

[79] Źródło: *Ibidem*, s. XLII.

[80] Według Constructions solaires passives europeennes, Bauen + Wohnen, nr 6, 1979, s. 403.

[81] „Natur Huset" stanowił przykład domu obudowanego szklarnią z kamiennym magazynem ciepła. Kolektorem była cała kubatura budynku.

[82] Arch. B. Faskel, G. Hillman, J. Nagel, H. Schreck. Według: R. Bauman, *op. cit*., s. 43.

[83] Energię elektryczną dostarcza instalacja wykorzystująca wiatr. D.L. Jones, porównując projekt tego autonomicznego budynku z domem Malaparte na Capri projektu A. Libery (1938), podkreśla, że stanowią one szczególną symbiozę architektury, otaczającej przyrody i klimatu. Pierwszy oparty jest na nauce, drugi – intuicyjny. Obydwie drogi są obecnie kontynuowane. Według D.L. Jones, *op. cit*., s. 57.

[84] Według Bauen + Wohnen, nr 6, 1979, s. 204.

[85] Źródło: U. Schäfer, *Energie – der Beitrag des Architekten*, Bauen + Wohnen, nr 6, 1979, s. 218-219.

[86] Konkurs ogłoszono we współpracy z Technische Hochschule w Lozannie. Szerzej: *Les architectes viennent le derniers – Ideenwettbewerb Sonnenhaus Yverdon*, Bauen + Wohnen, nr 6, 1979, s. 243.

[87] Źródło: U. Schäfer, *op. cit.*, s. 214-216.

[88] Najstarsze słoneczne ogrzewanie pływalni zainstalowano w Monachium (1966), potem w Wiehl. Według A. Urbanek, 1977, s. 655. Por. J. Wallner [w:], *Solar technology ..., op. cit.*, s. 157.

[89] Źródło: G. Chouleur, [w:] *Solar technology..., op. cit.*, s. 100-101.

[90] W 1954 r. Chapin, Fuller i Pearson skonstruowali pierwsze ogniwo słoneczne. Technologia ta nie wzbudziła wówczas większego zainteresowania.

[91] Por. *Solar technology..., op. cit*.

[92] Według K. Butti, J. Perlin, *op. cit.*, s. 249.

[93] Źródło: *Südfenster, Oblicht und Skylids, Wärmespeichernder Fussboden*, Bauen + Wohnen, N.J. 1979, nr 6, s. 212.

[94] Źródło: *Fenster und Reflektoren, aufsteigende Warmluft, Baunasse und ventilatorgespiesenes Geröllbett-Skihütte in Windham*, Vt., Bauen + Wohnen, 1979, nr 6, s. 209.

[95] Eksponowały związek człowieka ze środowiskiem. Szerzej: W. Bonenberg, *Architektura ostatnich dziesięcioleci XX wieku*, Poznań 2001, s. 23.

[96] Według Z. Sliwinski, *op. cit*.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

[97] Według K. Butti, J. Perlin, *op. cit*., s. 220, 249.
[98] Źródło: Z. Sliwinski, *op. cit*., s. 602.
[99] Przykłady m.in.: *Energy-Efficient Building, Passive Solar Energy* – B. Anderson i M. Wells, *Climatic Design* – D. Watson.
[100] Szczegółowo omawiane są w pracy E. Niezabitowska, Masły D., *Oceny jakości środowiska zbudowanego i ich znaczenie dla rozwoju koncepcji budynku zrównoważonego*, Gliwice 2007.

Literatura

[1] Adamczewski P., *Projektowanie budynków na podstawie komputerowej symulacji bilansu cieplnego z uwzględnieniem naturalnych źródeł energii*, Polska Energetyka Słoneczna 3, 2003.
[2] Althaus D., *Häuser, dir sich sonnen: Solares Baue-Grundlage postfossiler Architektur*, Detail 6, 2002.
[3] *Architektura współczesna wobec natury*, red. L. Nyka, Gdańsk 2002.
[4] Banham R., *Rewolucja w architekturze*, Warszawa 1979, 322.
[5] Baranowski A., *Projektowanie zrównoważone w architekturze*, Gdańsk 1998.
[6] Barucki T., *Ralph Erskine*, Warszawa 1987.
[7] Bauman R., *Domy w zieleni*, Warszawa 1991.
[8] Behling S., Fuchs A., Volz T., *Solare Architektur – Forschung und Entwicklung*, Detail 6, 2007.
[9] Behling S., Behling S., *The Evolution of Solar Architecture*, Monachium 1996.
[10] Bonenberg W., *Architektura ostatnich dziesięcioleci XX wieku*, Poznań 2001.
[11] Booth D., Booth J., Doyles P., *Sun/Earth Buffering and Superinsulation*, Canterbury, New Hampshire 1980.
[12] Butti K., Perlin J., *Golden Thread. 2500 years of solar architecture and technology*, New York, USA 1980.
[13] Carriere D., *Solar Houses for a cold Climate*, New York 1980.
[14] *Constructions solaires passives europeennes*, Bauen + Wohnen 6, 1979.
[15] Cowan H.J., *Solar Energy Application in the Design of Buildings*, London 1980.
[16] Feist W., *Dom niskoenergetyczny – budowlany standard przyszłości*, Sto Journal 2, 2000.
[17] *Fenster und Reflektoren, aufsteigende Warmluft, Baunasse und ventilatorgespiesenes Geröllbett-Skihütte in Windham*, Vt., Bauen + Wohnen 6, 1979.
[18] Gauzin-Müller D., *Sustainable Architecture and Urbanism*, Berlin 2002.
[19] Herzog T., *Architecture + Technologie*, Monachium 2001.
[20] Hultin O., Johansson B., Märtelius J., Waern R., *The complete quide to architecture in Stockholm*, Stockholm 1998.
[21] Franz J., Hanke S., Krampen M., Schempp D., *Ogród zimowy*, Warszawa 2000.
[22] Jenks Ch., *Architektura późnego modernizmu*, Warszawa 1989.
[23] Jones D.L., *Architecture and the Environment. Bioclimatic Building Design*, London 1998.
[24] Kelm T., *Powrót do źródeł. Architektura bioklimatyczna w budownictwie amerykańskim*, cz. I, II, Magazyn Budowlany 4, 5, 2000.
[25] Kelm T., S*potkanie dwóch kultur*, Magazyn Budowlany 6, 2001.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

[26] K e l m T., *Architektura prerii i kanionów*, Warszawa 2007.
[27] K r i s c h R., *Klima-Utopien-Der Traum vom grossem Dach*, Detail 3, 1999.
[28] K u r o k a w a K., *From the Age of Machine to the Age of Life*, Japan Architect 3, 1992.
[29] *Les architectes viennent le derniers – Ideenwettbewerb Sonnenhaus Yverdon*, Bauen + Wohnen 6, 1979.
[30] L e w a n d o w s k i W., *Proekologiczne źródła energii odnawialnej*, Warszawa 2001.
[31] L y l e J.T., *Regenerative Design for Sustainable Development*, New York 1994.
[32] *Maison de la nature près de Stockholm*, L'Architrecture D'Aujourd'hui 209, 1980.
[33] M e i e r - W i e c h e r t G., *Solarthermie im Wohnungsbau – Energie frei Haus*, DBZ 10, 2001.
[34] N i e z a b i t o w s k a E., M a s ł y D., *Oceny jakości środowiska zbudowanego i ich znaczenie dla rozwoju koncepcji budynku zrównoważonego*, Gliwice 2007.
[35] O s t r o w s k i W., *Urbanistyka współczesna*, Warszawa 1975.
[36] P e a r s o n D., *Przyjazny dom*, Warszawa 1998.
[37] R e h g U., L e i t h o l d W., *Structural Glazing Solar-Fassade*, DBZ 4, 1994.
[38] R e w e r s E., *Post-polis. Wstęp do filozofii ponowoczesnego miasta*, Kraków 2005.
[39] S c h ä f e r U., *Energie – der Beitrag des Architekten*, Bauen + Wohnen 6, 1979.
[40] S c h m i t z - G ü n t e r T., *Living Spaces. Sustainable Building and Design*, Kolonia 1998.
[41] S c h w a r z D., *Nachhaltiges Bauen*, Detail 6, 2007.
[42] S l i w i n s k i S., *Eine Chronologie der Solararchitectur in den USA*, Detail 6, 2005.
[43] S t e e l e J., *Ecological Architecture. A critical History*, Londyn 2005.
[44] *Südfenster, Oblicht und Skylids, Wärmespeichernder Fussboden-Freizeithaus in Trenton*, N.J., Bauen + Wohnen 6, 1979.
[45] T i e f e n s e e W., *Energy efficiency begins with the individual*, Detail 6, 2007.
[46] T i m m U., *Wohnräume unter Glas. Der Wintergarten. Planung. Konstruktion. Ausstattung, Bepflanzung*, Monachium 1987.
[47] T o b o l c z y k M., *Narodziny architektury*, Warszawa 2000, 208.
[48] T r z e c i a k P., *Sztuka świata*, Warszawa 1996.
[49] W e b e r G., *Solarenergienutzung*, DBZ 4, 1997.
[50] W e h l e - S t r z e l e c k a S., *Zasady zrównoważonego rozwoju – architektura bezpieczna dla człowieka i środowiska naturalnego*, część autorska, [w:] *Przestrzeń bezpieczna – urbanistyczne i architektoniczne uwarunkowania kształtowania przestrzeni miejskiej dla zwiększenia bezpieczeństwa mieszkańców*, Kraków 2004.
[51] W e h l e - S t r z e l e c k a S., *Ekologiczne standardy w kształtowaniu przestrzeni miejskiej*, Urbanista 10, 2004.
[52] W e h l e - S t r z e l e c k a S., *Architektura słoneczna w zrównoważonym środowisku mieszkaniowym*, Monografia 312, PK, Kraków 2004.
[53] W e h l e - S t r z e l e c k a S., *Wykorzystanie energii słonecznej we współczesnej architekturze i urbanistyce jako element poszukiwania równowagi między dziełem człowieka a natury* (Solar energy applocations in architecture and urban planning. On a search for balance between man and nature), [w:] *Oblicza równowagi, Aspects of Equilibrium. Architektura urbanistyka planowanie u progu międzynarodowej dekady edukacji na rzecz zrównoważonego rozwoju* – Studia i Materiały Wydziału Architektury Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

[54] W e h l e - S t r z e l e c k a S., *Związki z tradycją we współczesnych energooszczędnych rozwiązaniach architektoniczno-urbanistycznych – na przykładzie architektury słonecznej* (The relation with tradition in modern energy-efficient architecture and urbanism on the example of solar architecture), Teka Komisji Architektury, Urbanistyki i Studiów Krajobrazowych, Commission of Architecture, Urban planning and Landscape Studies, Polska Akademia Nauk Oddział w Lublinie, t. II, Lublin 2006.
[55] W e h l e - S t r z e l e c k a S., *Wykorzystanie odnawialnej energii słonecznej w architekturze – geneza i rozwój*, Czasopismo Techniczne, z. 3-A/2007, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007.
[56] W i n e s J., *Green Architecture*, Kolonia 2000.
[57] W i t r u w i u s z, *O architekturze ksiąg dziesięć*, Warszawa 1999.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ