

**MICHAŁ CIUŁA**

mgr inż. arch.

Malopolska Laboratory of Energy Efficient Building

e-mail: [michal.ciula@pk.edu.pl](mailto:michal.ciula@pk.edu.pl)

# GRA BRYŁ W ŚWIETLE, CZYLI ROLA SŁOŃCA W ARCHITEKTURZE

## THE PLAY OF MASSES IN THE LIGHT, OR THE ROLE OF THE SUN IN ARCHITECTURE

**STRESZCZENIE**

W 1969 roku miała miejsce XXIV Sesja Generalna ONZ na temat aktualnego stanu środowiska na świecie. Raport U. Thanta ostrzegał przed postępującą degradacją natury. Konieczna stała się zmiana systemu wartości. Od lat 70. ochrona przyrody jest priorytetem. Rozpoczęła się era budownictwa zrównoważonego, w którym słońce odgrywa kluczową rolę. Celem artykułu jest przypomnienie istotności słońca w kształtowaniu architektury na przestrzeni wieków, oraz próba oceny jego ważności w przyszłości budownictwa.

**Słowa kluczowe:** architektura energooszczędna, architektura słoneczna, architektura zrównoważona

**ABSTRACT**

In 1969, the XXIV UN General Session on the current state of the world's environment took place. U. Thant's report warned against the ongoing degradation of nature. It was necessary to change the system of values. Nature protection has been a priority since the 1970s. The era of sustainable building has begun, in which the sun plays a key role. The aim of the article is to remind the significance of the sun in shaping architecture over the centuries, and an attempt to evaluate its validity in the future of construction.

**Keywords:** energy-efficient architecture, solar architecture, sustainable architecture

### WPLYW PROMIENI SŁONECZNYCH NA ROZWÓJ CZŁOWIEKA

Na przestrzeni wieków powstało wiele definicji architektury, próbujących racjonalnie wyjaśnić czym ona w istocie jest. Jak zauważa Mark Wigley cała architektura jest protezą ponieważ konstryuuje środowisko w którym żyjemy. [1] Dzięki właściwie zaprojektowanej „protezie” użytkownik budynku jest zdrowszy i może sprawniej funkcjonować. W ostatnich dziesięcioleciach odrodziła się świadomość wpływu architektury na zdrowie człowieka. Obiek-

ty budowlane zaczęto weryfikować nie tylko pod kątem ich bezpośredniego oddziaływania na środowisko naturalne, ale również skupiać się na ich wpływie na zdrowie ludzi. Doskonałym przykładem może być certyfikat WELL Building Standard, wykorzystujący wiedzę z zaawansowanych badań medycznych. Jednym z najistotniejszych kryteriów oceny tego certyfikatu jest oddziaływanie słoneczne na użytkowników budynku. Architekci poprzez prawidłowo zaprojektowaną i oświetloną światłem naturalnym przestrzeń, w znaczący sposób wpływają na zdrowie człowieka. Światło oddziałuje na zdro-

wie fizyczne, i psychiczne. Słońce to główny trybutor witaminy D dla organizmu człowieka. Należy pamiętać że, przesłonecznienie pomieszczeń jest szkodliwe i może oddziaływać bardziej negatywnie na człowieka niż pozostawienie ich w cieniu. Istotne jest, aby przestrzeń projektować tak, aby obok miejsc nasłonecznionych były miejsca zacienione. Badania wskazują, że współcześnie spędzamy aż 90% czasu wewnątrz budynków [2], co stanowi poważny problem i ryzyko schorzeń dermatologicznych. Taki stan rzeczy jest spowodowany tym że, szklenie nie stanowi przeszkody w produkcji melatoniny, jednak pakiety szybowe uniemożliwiają przedostawanie się do wnętrza pomieszczeń promieniowania UV-B. Tym samym ważne jest, aby projektować otwieralne okna, dobrze oświetlone balkony i tarasy zachęcające do przebywania na słońcu. Architekci muszą również uwzględniać pośrednie działanie promieni słonecznych na zdrowie człowieka. W zależności od projektowanego nasłonecznienia i zacienienia inaczej kształtuje się temperatura, wilgotność oraz ruchy powietrza. Te czynniki z kolei determinują naszą odporność, samopoczucie, wpływają na układ oddechowy, krążenia oraz pokarmowy. Słońce uniemożliwia powstawanie tak szkodliwej dla zdrowia pleśni, działa również bakteriobójczo. Temperatura ma istotny wpływ na zdolności człowieka. „W środowisku zimnym < 18,33°C dochodzi do upośledzenia sprawności uczenia się, pamięci i rozumowania logicznego, podczas gdy w środowisku gorącym > 26,67°C obniżeniu ulega poziom uwagi, spostrzegawczość, sprawność w rozwiązywaniu zadań matematycznych oraz czujność.” [3] Najnowsze badanie w tym zakresie prowadzone są w Małopolskim Laboratorium Budownictwa Energo-oszczędnego.

## MINIMALNY CZAS NASŁONECZNIENIA POMIESZCZEŃ

W „Karcie Ateńskiej” z 1933 roku, dokumencie przygotowanym w ramach kongresu CIAM zapisano: *Należy wymagać od budujących rysunków wykazujących, że w czasie trwania przesilenia zimowego Słońce dociera do każdego mieszkania przynajmniej przez dwie godziny dziennie.* [4] Polskie prawo budowlane reguluje kwestię oświetlenia w §60 Rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (WT). Wskazany zapis jest bardzo liberalny szczególnie w ustępie 3, który dopuszcza brak nasłonecz-

nienia mieszkań jedno-pokojowych oraz zmniejsza konieczność oświetlenia mieszkań z 3 do 1,5 godziny w zabudowie śródmiejskiej. Również § 40 (WT) mówiący o oświetleniu słonecznym placów zabaw, dopuszcza zmniejszenie nasłonecznienia do 2 godzin dziennie, co może mieć bardzo negatywne skutki dla zdrowia dzieci. Zacienianie wraz z przesłanianiami §13 (WT) to czynniki w dużej części determinujące kubaturę i formę budynku. Należy spodziewać się że, w przyszłości ulegną zmianie wyżej wymienione zapisy. Powstały one w wyniku badań przeprowadzanych blisko 90 lat temu. Obecnie mamy możliwość, dzięki rozwojowi specjalistycznego oprogramowania, przeprowadzania w prosty sposób analiz zacieniania pomieszczeń w skali całego roku. Fakt ten skutkuje sposobnością tworzenia budynków dostosowanych pod względem oświetlenia naturalnego do indywidualnych potrzeb użytkowników. Architekci mogą projektować pomieszczenia uwzględniając wymagania nasłonecznienia w określonych porach dnia. Obecny zapis prawa budowlanego mówiący o „pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi” jest bardzo szeroki i w kontekście oświetlenia naturalnego wydaje się zbyt „miękki”. W istocie inne wymagania oświetleniowe mają pomieszczenia do pracy fizycznej w której przebywają ludzie dłużej niż 4 godzinny, a inne pomieszczenia do pracy umysłowej. Przykładowo: *Pożądaną jest wprowadzenie promieni słonecznych do wnętrza przeznaczonego do pracy umysłowej jedynie w godzinach rannych (...) w ten jednak sposób, aby nie obejmowały one miejsca przeznaczonego na pracę. Źródła światła – otwór okienny – powinien znajdować się po lewej stronie pracującego. Nasłonecznienie w godzinach popołudniowych jest nie dopuszczalne*. [5] O wielkości samego otworu okiennego decyduje zapis § 57 (WT) *W pomieszczeniu przeznaczonym na pobyt ludzi stosunek powierzchni okien, liczonej w świetle ościeżnic, do powierzchni podłogi powinien wynosić co najmniej 1:8, natomiast w innym pomieszczeniu, w którym oświetlenie dzienne jest wymagane ze względów na przeznaczenie – co najmniej 1:12.*

## WPLYW SŁOŃCA NA FORMĘ BUDYNKU NA PRZESTRZENI WIEKÓW

### „Architektura jest mądrą, skoordynowaną grą brył w świetle” (le Corbusier)

Ten podręcznikowy cytat jednoznacznie wskazuje na miarę światła w architekturze. Na przestrzeni wieków często światło traktowane było w sposób wyjątkowo plastyczny i świadomy. Nadzwyczaj-

nią rolę odgrywało w kulturach Egiptu, starożytnej Persji, Mezopotamii, Ameryki Południowej oraz Chin. Cywilizacje starożytne perfekcyjnie analizowały ruch słońca na niebie oraz długość rzucanego cienia przez obiekty na ziemi. Najbardziej oczywiste przykłady zawsze dotyczą obiektów sakralnych. To w nich uniwersalistyczny symbolizm światła niejednokrotnie odgrywa najistotniejszą rolę. Przykładowo piramida Cheopsa w Egipcie od końca lutego do połowy października nie rzuca w południe żadnego cienia (Il. 1), z kolei Aztecka piramida słońca w Meksyku zachodnią ścianą budowli zwrócona jest dokładnie w kierunku, gdzie zachodzi słońce podczas letniego przesilenia. *Differentia specifica* świątyni i ich słoneczna orientacja to perfekcyjny przykład świadomości kształtowania przestrzeni przez starożytnych inżynierów. Imponujące założenia świątynne, to tylko część ich spuścizny. Zapoczątkowali oni architekturę którą dziś nazwalibyśmy „architekturą słoneczną”. Zasady jej kształtowania są obowiązujące również dziś. A do podstawowych antycznych jej odkryć zaliczyć można:

- \* orientację względem stron świata – Witruwiusz w Księdze I, szczegółowo opisuje usytuowanie budynków względem stron świata z uwagi na wiejące wiatry, z kolei w Księdze VI zauważa że „(...) przy planowaniu budowli uwzględnić należy warunki lokalne i różnice klimatyczne. Na północy należy stawiać budynki o dachach wysokich jak najbardziej skupione i nie na otwartym polu, zwrócone ku cieplej stronie. Natomiast w okolicach południowych znajdujących się pod silnym działaniem słońca, gdy budynki narażone są na żar, powinny być bardziej otwarte i zwrócone ku północy lub ku północnemu wschodowi.” [6]
- \* ogrzewanie pasywne – Sokrates (469–399 r. p.n.e.), mieszkał w budynku ogrzewanym słońcem. Słusznie zauważył że, w domach które są otwarte na południe, słońce w okresie letnim nie wnika tak głęboko do środka ponieważ jest wysoko. W okresie zimowym kiedy jest nisko nad horyzontem oświetla pomieszczenia znacznie głębiej co powoduje ogrzewanie wnętrza. [7]
- \* bufory ciepła – antyczni architekci wykorzystywali zdolności akumulacyjne materiałów ciężkich. Podłogi, które były oświetlone promieniami słonecznymi, wykonywane były na dołach wypełnionych kamieniami. Kamienie te stanowiły doskonałe źródło ciepła po zmroku. Ciepło słoneczne magazynowane było również w ścianach z suszonej na słońcu cegły. [8]
- \* energooszczędną formę – uczeń Sokratesa grecki historyk Ksenofont (430–354 r. p.n.e.)

popularyzował budownictwo w którym południowe ściany są wyższe, a północne niższe tak aby zabezpieczyć budynek od zimowego wiatru. W myśl takiej zasady projektowane było np. rzymskie miasto Delos. [9]

- \* efekt cieplarniany – Rzymianie udoskonalili grecki model „budyńku słonecznego” poprzez zastosowanie szkła. Używali szkła płaskiego oraz wypukłego łączonego metalem. Szklili południowe ściany swoich łaźni oraz okna zamożnych mieszkańców. Budowali również szklarnie z miki, które zapewniały cesarzowi dostęp do świeżych warzyw niemal cały rok. [10]

Na uwagę w kontekście „architektury słonecznej” zasługuje prawo rzymskie które już w II w.n.e. popularyzowało korzystanie z energii słonecznej. Nowo powstające budynki nie mogły ograniczać dostępu do słońca sąsiadowi w miejscu gdzie jest ono mu niezbędne (*Servitutes altius non tollendi*). [11] Po upadku cesarstwa zachodniorzymskiego rozpoczęła się epoka średniowiecza, czasy w który nie przywiązywano roli do słońca w kontekście zdrowia i komfortu życia człowieka. Słońce przez następane stulecia w budownictwie Europy odgrywało rolę głównie oświetleniową, rola ta w okresie gotyku doprowadzona była do perfekcji. Jednak zasady projektowania architektury słonecznej zostały stracone i obowiązywało już tylko podejście zdrowo-rozsądkowe.

Po upływie półtora tysiąca lat od rzymskich szklarni produkujących ogórki dla cesarza Tyberiusza. Renesans na nowo odkrywa słoneczne możliwości. Architekci rozpoczęli studiowanie klasycznych pism Sokratesa, Arystotelesa, Witruwiusza. Wybitni twórcy renesansu tacy jak Andrea Palladio projektują, zgodnie z antycznymi zasadami. Letnie pokoje zawsze umieszczają na stronie północnej, zimowe na południowej (Il. 2). Podróże do Azji, Afryki i Nowego Świata skutkowały poznaniem nowych kwiatów i roślin. Ludzie zapragnęli wyhodować je w Europie i cieszyć się ich owocami. Holendrzy i Flamandowie byli pierwszymi nowoczesnymi mieszkańcami Europy którzy ogrodnictwo doprowadzili do poziomu równego lub przewyższającego poziom rzymski. Świadome wykorzystanie efektu cieplarnianego do ogrzania domów ma miejsce w XVIII w. kiedy architekt H. Repton łączy wnętrze pokoju mieszkalnego i biblioteki z dobudowaną od południa oranżerią [12]. Otwarcie w słoneczne dni drzwi do oranżerii, powodowało w sutek cyrkulacji, przepływ ciepłego powietrza do wnętrza zimnej części mieszkalnej. Wraz z nadejściem wieczoru, zamykano drzwi tak aby zamknąć ciepłe powietrze w domu. W XIX w. w Anglii szklarnia nie służy już tylko celą pro-

dukcyjnym. Stają się domem dżentelmena w którym rośliny są wystawiane dla egzotycznej atmosfery (Il. 3). Egzemplifikacja rozwoju szklarni może być Pałac Kryształowy wzniesiony w 1851 r. w Londynie. Nie miał on jednak wiele wspólnego z architekturą słoneczną. Ludzie rozentuzjzmowani energią paliw, stali się ich nadmiernymi konsumentami. Czasy rewolucji przemysłowej to czasy w których, klasa średnia i wyższa mogła cieszyć się komfortowym życiem w przestronnych ciepłych domach ze „sztucznie” ogrzewanymi przeszklonymi ogrodami, jednak migrujący do miast mieszkańcy wsi, ubodzy robotnicy fabryk mieszkali z zgoła innych warunkach. Zatłoczeni w bezsłonecznych, nieogrzewanych i nieprzewietrzanych pokojach padali ofiarami śmiertelnych chorób. Ciemne wilgotne domy robotnicze z otwartymi kanałami ściekowymi i brakiem bieżącej gorącej wody przyczyniły się do rozwoju cholery, gruźlicy, ospy wietrznej i duru brzuszego. Choroby pustoszyły te XIX w. robotnicze slumsy. W miastach Europy śmiertelność była ogromna. W samej tylko Anglii choroby pochłonęły tysiące istnień ludzkich. Tamtejsi lekarze częściowo widzieli przyczynę tych zaraz w braku słońca. Ukuli nawet motto: *Gdzie słońce nie dociera, dociera lekarz*. [13] Około roku 1900 wiele krajów Europy wprowadziło przepisy dotyczące zdrowia publicznego oraz wytyczne projektowania urbanistyki zapewniające prawo dostępu do słońca wszystkim obywatelom. Z czasem powstające słoneczne osiedla klasy robotniczej stały się popularne, a architekci w bardziej naukowy sposób zaczęli badać kwestię oświetleniową. Przykładowo:

- \* Augustin Rey badał zabudowę dwu-, cztero- i sześciokondygnacyjną i wyznaczył minimalne odległości między budynkami, tak by nie zacięniały się wzajemnie w okresie zimy. Szeroko analizował wielkość otworów okiennych i ich wpływ na oświetlenie wnętrza, a nawet zmieniał geometrię sufitu aby lepiej światłem naturalnym (odbitym) doświetlać podłogę. [14]
- \* Raymond Unwin protoplasta idei „osiedli satelitarnych”, [15] zebrał informacje na temat rocznego ruchu słońca i doszedł do tego samego wniosku co greccy architekci tysiąclecie wcześniej, czyli że południowa orientacja jest najkorzystniejsza. Niestety jego badania miały na celu poprawę warunków sanitarnych a nie energooszczędność. Współcześnie nie było wiedzy że szkło zatrzymuje promieniowanie ultrafioletowe. [16]
- \* Tony Garnier projektował idealne (utopijne) miasta przemysłowe. Przestrzeń dzielił na kategorie: przemysłową, obywatelską, mieszkaniową,

związaną ze zdrowiem i rozrywką. Budynki w jego metropoliach skierowane były na południe, domy zajmowały tylko połowę działki, tak aby nie zacięniać budynków sąsiednich w okresie zimowym, pozostałe tereny używane były jako prywatne ogrody [17]. Jego idea została podjęta przez członków Międzynarodowego Kongresu Architektury Nowoczesnej (CIAM) i wpłynęła na projekt miasta Brazylii. [18]

Po pierwszej wojnie światowej na gruzach wojennych zniszczeń powstawała nowa architektura. W Niemczech okna były projektowane z myślą o zyskach energii. Powstawała nowa eksperymentalna wizja chcąc wykorzystać słoneczne ciepło, co miało zaoszczędzić wydatki na ogrzewanie. Budynki miały być przede wszystkim funkcjonalne. Zrodziła się tendencja do projektowania budynków zorientowanych głównymi fasadami na wschód i zachód, ze zwykle wąskimi bokami bez okien. Budynki łączono ze sobą tworząc długie wąskie liniowce. Taki model urbanistyczny nazwano Zeilenbau. Teoretycznie w takich budynkach połowa pomieszczeń otrzymywała poranne słońce, a druga połowa wieczorne. Główne projekty z taką orientacją to: Weissenhofseidlung – Ludwiga Mies van der Rohe i innych (Stuttgart, 1927), Wohnstadt Carl Legien – Bruno Taut i Franz Hillinger (Berlin, 1928–30), Siedlung Westhausen, – Ernst May (Frankfurt, 1929–31), Großsiedlung Siemenstadt – Martina Wagnera, Hansa Scharouna, Waltera Gropiusa, Hugo Häringa i innych (Berlin, 1929–34), Siedlung Dammerstock – Walter Gropius i inni (Karlsruhe, 1929), Hellerhof Seidlung – Mart Stam (Frankfurt, 1929–32). Wybudowane z taką orientacją budynki nie sprawdziły się. Taki układ co prawda odwrócony był od niekorzystnej północnej strony, jednak nie wykorzystywał strony najbardziej korzystnej, czyli południowej. Zimowe słońce na południu jest przez cały rok. Wschodzi na południowym wschodzie, i zachodzi na południowym zachodzie, dla układu Zeilenbau oznaczało to brak słońca w okresie zimy przez większą część dnia, oraz uciążliwe niskie słońce w okresie lata. Jasnym stał się fakt że, orientacja wschód – zachód jest niewłaściwa z punktu widzenia słonecznych zysków energii. Mieszkania wymagały zużycia dużych ilości energii do ogrzania. Na tak projektowanych osiedlach *cieplejsze były ulice niż budynki*. [19] Nie tylko Niemcy w okresie międzywojennym eksperymentowali ze słoneczną architekturą. Brytyjczycy w latach 1931–32 prowadzili badania nad oświetleniem budynków, czego efektem był opracowany przez Royal Institute of British Architects heliodon Urządzenie, które oświetlało model sztucznym światłem pod kątaami analogicznymi do

słońca. W Holandii, Szwecji i Szwajcarii powstawały nowoczesne osiedla mieszkaniowe, dla których oświetlenie naturalne było jednym z najistotniejszych kryteriów kształtowania przestrzeni. Kształtował się modernizm. Podstawowe cechy nowego stylu zostały opisane przez Le Corbusiera i Pierra Jeannereta w pięciu punktach. Czytamy w nich że modernistyczny budynek powinien mieć: podpory, ogrody na dachu, wolny plan i fasadę oraz horyzontalne okna. To dzięki dużym horyzontalnym oknom biegnącym od podpory do podpory, wnętrza stają się równomiernie oświetlone. Doświadczenia wskazały że wnętrza z takimi oknami jest osiem razy lepiej oświetlone niż pomieszczenie z pionowymi oknami o tej samej powierzchni. [20] Nowo budowane budynki i osiedla mieszkaniowe stają się wzorem na następne dziesięciolecia. Budynki w modernistycznych osiedlach orientowane były głównie na południe lub południowy wschód i rozstawione w takich odległościach żeby nie blokowały wzajemnie dostępu do zimowego słońca. Jedne z ciekawszych realizacji tamtego okresu to: Neubühl w Szwajcarskim Zurychu, Novy Dum w Brnie, Lainz w Wiedniu, Baba w praskiej dzielnicy Dejvice czy osiedle Weissenhof w Stuttgarcie.

Do końca XIX w. prawie milion ludzi przybywa do USA. Następuje przyspieszona urbanizacja takich miast jak Nowy Jork, Boston, Filadelfia. Ambitnie projektowane systemy ulic uniemożliwiały słoneczną orientację. Podobnie jak w Europie miasta stają się zatłoczone i brudne. Z powodu ogromnego napływu ludności zaczęto budować w pionie. Na przełomie wieków zwrócono uwagę na problem zaciemnienia. Wieżowce miały doskonały dostęp do światła słonecznego kosztem budynków niskich. William Atkinson przedstawił diagram pokazujący jak wysokie budynki ograniczają dostęp światła niskiej zabudowie. Jego odkrycia przyczyniły się do ograniczania wysokości budynków w Bostonie. Atkinsona w sposób szczególny interesowała ekspozycja słoneczna obiektów, analizował ruch słońca na niebie i doszedł do takich samych wniosków jak starożytni Grecy. [21] W 1912 r. Zbudował budynek dla bostońskiego arystokraty Samuela Cabota który, sam nazwał „domem słonecznym” Prosta, wąska forma, z całą południową elewacją przeszkloną, umożliwiała promieniom słonecznym wnikać do wnętrza domu. Pozostałe ściany oraz dach były mocno zaizolowane co umożliwiało zatrzymanie ciepła we wnętrzu. Dom w okresie zimy mógł być się całkowicie bez ogrzewania. Pomimo opisanu przez Atkinsona zjawiska w książce: *The Orientation of Buildings Or Planning for Sunlight*, architekci nie skorzystali z jego pomysłów, ten sukces został zapomniany

na dwie dekady. Dopiero Europejskie doświadczenia nakłoniły amerykańskich urbanistów do uważniejszej analizy ruchów słońca. Henry Wright z Uniwersytetu Columbia od 1934 do 1936 opublikował liczne artykuły o projektowaniu zgodnym ze słońcem oraz słonecznych społecznościach takich jak Szwajcarskie Neubiühl. [22] Artykuły te przyczyniły się w USA do studiowania przez architektów problematyki oświetlenia, jednak ich przemyślenia ograniczały się do teorii. Projektant Fred Keck wcielił w życie nieco przypadkowo architekturę słoneczną projektując dla wystawy Century of Progress w Chicago w 1933 „Dom Jutra”. [23] Szkła używał dla formy a nie dla funkcji, jednak będąc na budowie domu zauważył że duże szyby od południa umożliwiają robotnikom prace w środku zimy w samych koszulach. [24] Nie świadomy odkryć starożytnych Greków, współczesnej jemu architektury europejskiej czy pracy Atkinsona, doszedł do wniosku że, najlepsza forma energooszczędna dla domu musi być przeszklona od południa z nawisem dającym cień w lecie. Po siedmiu latach od swojego odkrycia i stopniowym zwiększaniu przeszkleń od strony południowej, w projektowanych przez siebie domach, Keck zdecydował się zaprojektować w 1940 roku dom dla swojego przyjaciela Howarda Sloana. Tutaj południowa ściana była przeszklona już w 100%. Projekt prasa nazwała „Domem Słonecznym” który obejrzało (za opłatą) ponad 5 milionów ludzi. Dzięki temu sukcesowi Fred Keck stał się pionierem w projektowaniu domów pasywnych [25] już w latach 30 i 40 XX w.

Po II wojnie światowej następuje nieustanny wzrost świadomości roli słońca w architekturze. Prowadzone są liczne badania naukowe mające na celu optymalizację energetyczną budynków. Przykładowo Francis William Hutchinson analizował właściwy stosunek powierzchni okna do podłogi. Opracował specjalną tabelę w której wskazał że, w zależności od klimatu w którym budynek ma powstać wielkość okna powinna być inna. Zauważył że, właściwa proporcja przeszkleń i podłogi uchroni obiekt przed przegrzaniem. Hutchinson zaobserwował również, że dom który ogrzewany jest przez słońce ma wahania temperatury znacznie większe niż tradycyjne budownictwo. Odpowiedzią na tą obserwację były projekty systemów magazynowania ciepła. Arthur T. Brown eksperymentował z czarnymi ścianami we wnętrzach budynków. Szacował że ciepło słoneczne które pada na taką ścianę przenika je w tempie jednego cala na godzinę. W domu Rosenberga (Tucson, 1946) zaprojektował 8 calowe ściany które wieczorem wypromieniowywały swoje ciepło. [26] Analogiczne ściany magazynującej

ciepło rozwinął i opatentował Felix Trombe dziesięć lat później. Pomysł takiego ogrzewania sięga do lat osiemdziesiątych XIX wieku, kiedy Edward S. Morse (zoolog) zbudował pierwszy kolektor słoneczny nagrzewający powietrze (patent 1881). [27]

Pomimo rozkwitu technologicznego budynki słoneczne od końca lat czterdziestych popadają w niełaskę. Coraz tańsza energia z paliw skutkuje brakiem chęci do korzystania z energii słonecznej, tym bardziej że, budynek słoneczny za sprawą kosztownych przeszkleń na etapie budowy był znacząco droższy. Reputacja domów słonecznych również obniżana była za sprawą architektów którzy, używali szkła tylko do celów estetycznych. Niewłaściwa orientacja budynków przyczyniła się do opinii że, duże gabarytowo przeszklenia prowadzą głównie do ogromnych strat energii w zimie i przegrzewania w lecie. Sytuacja zmieniła się w roku 1969 kiedy to miała miejsce XXIV Sesja Generalna ONZ na temat aktualnego stanu środowiska na świecie i raportu U. Thanta ostrzegającego przed postępującą degradacją natury, głównie za sprawą nadmiernej eksploatacji paliw kopalnych. Rozpoczęła się po raz kolejny w historii ludzkości era świadomości, w której budynki już nie tylko powinny być komfortowe i funkcjonalne przy jednoczesnym zachowaniu swojej atrakcyjności, ale mają być na nowo energooszczędne.

## SŁOŃCE WSPÓŁCZEŚNIE

**„Jako architekt tworzysz w terażniejszości, mając świadomość przeszłości i w perspektywie przyszłości, która jest właściwie nieznaną.”** Norma Foster

Architekci dzisiaj mają wielowymiarową świadomość wpływu słońca na człowieka i budynki. Wykorzystują słońce jako źródło energii w różnorodny sposób. W swoich obiektach korzystają z doświadczeń historycznych i najnowszej technologii. Projektują budynki ze współczesnymi systemami pozyskiwania energii:

**Pasywne** – w których zewnętrzna skorupa budynku (ściany, dach) oraz orientacja względem stron świata, odgrywa decydującą rolę w czerpaniu słonecznej energii. Materiały budowlane tworzące tą zewnętrzną warstwę budynku, mają bezpośredni kontakt z promieniowaniem słonecznym i dlatego mają kluczową rolę w magazynowaniu i oddawaniu ciepła do wnętrza budynku. Jednocześnie materiały te, muszą zabezpieczać to wnętrze przed ujemnymi skutkami oddziaływania słonecznego np. przed przegrzaniem wnętrza. Chcąc zapewnić użytkow-

nikom pomieszczeń coraz większy komfort, sposób projektowania tych zewnętrznych elementów ulega ciągłemu doskonaleniu. Przykładowo „*A.E. Morgan (1974 r.) zaprojektował doskonałą ścianę słoneczną składającą się z dwóch 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). [28] Efekt który Morgan uzyskiwał poprzez odwracanie swoich elementów obecnie dostępny jest w oknach typu smartglass – Technologia wykorzystuje cechy polimerów które pod wpływem przepływu prądu zmieniają swoje położenie. Okno z zamkniętym obwodem elektrycznym jest oknem przezroczystym, z otwartym staje się oknem mlecznym. W opisanych powyżej szybach o zmiennej przezroczystości istnieje efekt blokowania światła i ciepła za pomocą jednego przycisku, jednak takie okna wymagają ciągłego przepływu prądu elektrycznego, co podraża koszty eksploatacji i czyni je trudnymi do modernizacji. Nie jest to więc system w pełni pasywny z uwagi na ciągły wydatek energii, a jedynie system pozyskujący pasywną energię. Naukowcy z Uniwersytetu Princeton stworzyli okno które może zaoszczędzić nawet 40 procent wydatków na energię budynku. Innowacja polega na fakcie że przy ściemnienie lub rozjaśnienie okna, nie następuje za sprawą ciągłego wydatku energii elektrycznej, ale za sprawą pojedynczego impulsu ładunku elektrycznego, powodującego reakcje w dwóch warstwach polimerów. [29]

**Aktywne** – W 1839 r. w obwodzie oświetlonych elektrod umieszczonych w elektrolicie A.C. Becquerel po raz pierwszy w historii zaobserwował efekt fotowoltaiczny. 115 lat później (1954 r.) Chapin, Fuller i Pearson skonstruowali pierwsze ogniwo krzemowe, którego wydajność wynosiła 6%. [30] Co ciekawe technologia ta nie wzbudziła większego zainteresowania. Pod koniec lat 80 XX w. udało się wyprodukować ogniwa z użyciem arsenku galowego co zwiększyło sprawność do ponad 20%. Zastosowanie soczewek na powierzchni ogniwa dodatkowo poprawiło efektywność do 37%. [31] Współcześnie prowadzone są badania nad ogniwami z perowskitu a liderką tych badań jest polski naukowiec Olga Malinkiewicz. [32] Dzięki nowej metodzie możliwe będzie uzyskiwanie prądu również ze światła sztucznego a sam proces produkcji ogniwa będzie znacząco tańszy. Współcześnie oczywistym

jest że, energia słońca to doskonałe źródło zasilania systemów aktywnych takich jak: baterie czy kolektory słoneczne. Wydajne ogniwa, oraz akumulatory, pozwalające na magazynowanie znacznych ilości prądu. Technologia daje bodziec do tworzenia budynków nie emitujących trujących gazów, powstających w procesie spalania paliw. Obecnie architektki sięgając po panele fotowoltaiczne, traktują je jak atrakcyjną okładzinę, już nie tylko dachów, ale również elewacji. Instalacje słoneczne stały się integralnymi elementami budynku, zyskując przy tym dodatkową estetyczną funkcjonalność. Projektanci mogą zastępować typowe elementy budowlane rozwiązaniami zintegrowanymi z systemami solarnymi czyli: kolektorami słonecznymi (BIST), modułami fotowoltaicznymi (BIPV), urządzeniami hybrydowymi tzw. photovoltaic thermal hybrid solar collector (BIPVT). Egzemplifikacją takich rozwiązań jest projekt francuskich architektów Jourda et Perraudin (we współpracy z Hegger Hegger Schlieff z Kassel) którzy w niemieckim mieście Harne zaprojektowali jeden z największych systemów BIPV. Kompleks składający się z akademii, hotelu, biblioteki i biur w szklanej obudowie zawierającej 1000 kWp szkła słonecznego. Orientacja i właściwe nachylenie paneli fotowoltaicznych czasami wręcz są natchnieniem do tworzenia form nietypowych i bardzo dynamicznych jak Pawilon Endesa, dzieło zespołu z instytutu Zaawansowanej Architektury w Katalonii. Upowszechnienie ogniów o znacznej transparentności oraz ogniów kolorowych daje projektantom niemal nieograniczone możliwości kreowania elewacji, przy jednoczesnym zapewnieniu alternatywnego źródła energii elektrycznej. Coraz częściej tworzone się projekty budynków w 100% elektrycznych. *Budynek staje się nie tylko obiektem architektoniczno-budowlanym, ale także systemem energetycznym, pozyskującym i przetwarzającym energię na miejscu dla potrzeb jego użytkowników.* [33] Najbardziej znaczącym obiektem tego typu wydaje się być The Crystal w Londynie. Jest to globalny ośrodek debaty na temat zrównoważonego życia i rozwoju należący do koncernu Simensa. Miejsce spotkań ekspertów z dziedziny urbanistyki, architektury i najnowszych technologii ale także studentów, uczniów szkół i mieszkańców. Budynek posiada najwyższą certyfikację w systemach BREEAM, LEED oraz wielu innych akredytacjach.

**Semiaktywne** – wraz z rozwojem technologii zyskują one coraz większą popularność. Łączą one rozwiązania pasywne z aktywnymi. Do najbardziej nowoczesnych rozwiązań tego typu należą powłoki dynamiczne. Systemy umożliwiające konstruowanie „inteligentnych okien i fasad” które dzięki spe-

cialnemu oszkleniu i automatyce umożliwiają zgromadzenie ciepła w ilości wystarczającej do pokrycia straty ciepła przez te przegrody. Doskonałym przykładem budynku wykorzystującym takie rozwiązanie jest Mediativ w Barcelonie projektu Cloud 9. Jego elewacja, zbudowana została z membran które, zatrzymują promieniowanie słoneczne. Dzięki stu czujnikom stopniowane jest wejście światła do budynku. Cała elewacja otwiera się i zamyka wraz ze zmieniającymi się warunkami pogodowymi.

## PRZYSZŁOŚĆ ANALIZA

**„Architekt musi być prorokiem... prorokiem w prawdziwym znaczeniu tego słowa... jeżeli nie widzi co najmniej 10 lat do przodu nie nazywaj go architektem.” Frank Lloyd Wright**

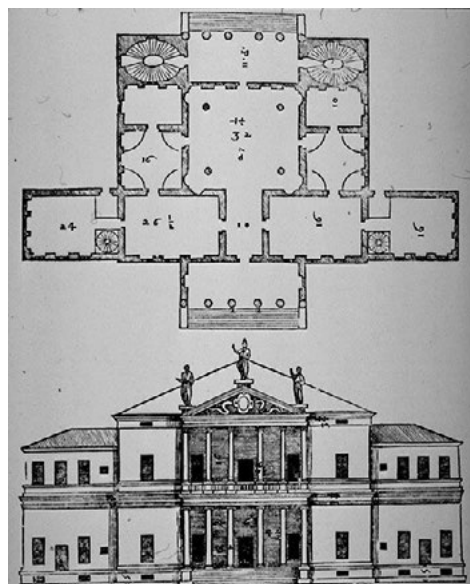
Słońce to czynnik ożywczy. Dzięki niemu nasz świat może istnieć a człowiek może się rozwijać. Starożytne kultury miały do słońca znacznie większy szacunek niż współczesna zbiorowość ludzka. Od czasu zbudowania przez Jamesa Watta, maszyny parowej rozwój cywilizacyjny gwałtownie przyspieszył. Następne 200 lat zaowocowało skokiem technologicznym który umożliwia loty w kosmos, budowę komputerów czy reaktorów atomowych. Ludzkość rozpoczęła ofensywne działania mające na celu podporządkowanie sobie reguł panujących we wszechświecie na skalę nie spotykaną od 200 tysięcy lat, całkowicie zapominając przy tym o naturze. Nasza cywilizacja jest uzależniona od systemów elektronicznych i elektronicznej komunikacji. Rozwój architektury nierozzerwalnie związany jest z rozwojem technologii. Obecnie nowoczesne budynki całkowicie uzależnione są do komputerowej kontroli. Komputery nie tylko sterują wewnętrznym klimatem w obiektach, ale również ewakuacją ludzi czy mechanizmami pożarowymi. Pojawia się więc globalny problem awaryjności tych rozwiązań. Słońce które jest głównym źródłem energii ziemi może być również główną przyczyną problemów technicznych. W roku 1859 miała miejsce burza słoneczna zwana efektem Carringtona. Uszkodziła ona raczkujący w tamtych czasach system telegraficzny i była przyczyną licznych pożarów. Naukowcy w wielu raportach między innymi Severe Space Weather-Social and Economic Impacts [34] ostrzegają, o możliwości powtórzenia takich zjawisk słonecznych, oraz o ich globalnych konsekwencjach. Europejska Agencja Kosmiczna pracuje obecnie nad systemem ostrzegania, w którym bierze udział aktywnie 14 państw. Samo ostrzeganie jednak nie jest w stanie uchronić nas przed ewentualnymi konsekwen-

cjami awarii elektryczności. Powyższe rozważania mogą sugerować że futurystyczne wizje architektury rodem z grafik Geografa Hulla w istocie nie są wiać przyszłości, a samo podążanie architektury za technologią to za mało. Współcześni architekci za sprawą cyfryzacji mają dostęp do niespotykanej bazy informacji. Dlatego niemal pewne jest to, że nie będą powtarzać błędów projektowych swoich poprzedników. Można się spodziewać że budynki przyszłości powinny wykorzystywać rozwiązania najnowszej technologii, jednak od tej technologii nie powinny

być uzależnione całkowicie. Nowoczesne projekty z pewnością będą uwzględniać kontekst w którym powstają, nie tylko pod względem urbanistycznym, ale również dostępnej energii oraz lokalnych materiałów budowlanych. Szeroka analiza oddziaływania architektury na przyrodę, obniżanie śladu środowiskowego, węglowego i wodnego zagwarantuje przyszłym pokoleniom bezpieczeństwo i zdrowie. Jak zauważa le Corbusier „Człowiek jest wytworem natury i jego twórczość powinna być zgodna z jej prawami”.



Il. 1. Źródło: [www.ljplus.ru/img4/g/v/gvozdeff/Piramyd.jpg](http://www.ljplus.ru/img4/g/v/gvozdeff/Piramyd.jpg) [dostępne 19.10.2018]



Il. 2. Źródło: <http://cubamason.forosactivos.net/t1318-masoneria-y-arquitectura-villa-cornaro> [dostępne 17.07.2018]



Il. 3. Źródło: <https://www.1st-art-gallery.com/frame-preview/20122378.jpg?sku=Unframed&w=72&h=50&thumb=0&huge=1> [dostępne 17.07.2018]



# THE PLAY OF MASSES IN THE LIGHT, OR THE ROLE OF THE SUN IN ARCHITECTURE

## THE INFLUENCE OF SUNLIGHT ON HUMAN DEVELOPMENT

Over the centuries, many definitions of architecture have arisen, attempting to rationally explain what it actually is. As Mark Wigley notes, the whole architecture is a prosthesis because it constitutes the environment in which we live [1]. Thanks to a properly designed “prosthesis”, the building user is healthier and can function more efficiently. In recent decades, the awareness of the impact of architecture on human health has been revived. Building structures have been verified not only in terms of their direct impact on the natural environment, but also with the focus on their impact on human health. An excellent example can be the WELL Building Standard certificate, which utilizes knowledge from advanced medical research. One of the most important assessment criteria for this certificate is the solar impact on building users. Architects have a significant impact on human health through a properly designed and naturally illuminated space. The light affects both physical and mental health. The sun is the main provider of vitamin D for the human body. The intensity of light affects the production of melatonin, which is responsible for the regulation of the daily cycle in the human body. However, it should be remembered that the oversolation of the rooms is harmful and may have a more negative effect on the human being than leaving them in the shade. It is important to design the space so that shaded places are next to the sunlit places. Studies show that today we spend as much as 90% of the time inside buildings [2], which is a significant problem and the risk of dermatological diseases. This state of affairs is caused by the fact that glazing is not an obstacle to the production of melatonin, however, glazing blocks prevent the penetration of UV-B radiation into the interior. Therefore, it is important to design openable windows, well-lit balconies and terraces encouraging to stay in the sun. Architects must also take into account the indirect effects of sunlight on human health. Depending on the design of insolation and shading, the temperature, humidity and air movement are different. These factors, in turn, determine our immunity, well-being, affect the respiratory, circulatory and digestive systems. The sun prevents the formation of mould that is very harmful to our health, and it also has a bactericidal effect. Temperature has a significant impact on human ability. “In a cold environment  $< 18.33^{\circ}\text{C}$ ,

impairment of learning, memory and logical reasoning occur, while in a hot environment  $> 26.67^{\circ}\text{C}$  the level of attention, perceptiveness, efficiency in solving mathematical problems and vigilance are reduced.” [3] Recent research in this area are carried out in the Małopolska Laboratory of Energy-Efficient Construction.

## THE MINIMUM TIME OF INSOLATION OF ROOMS

In the Athens Charter of 1933, the document prepared as part of the CIAM congress, it was recommended that *Builders should be required to show with their drawings that during the winter solstice the sun reaches each apartment for at least two hours a day* [4]. Polish construction law regulates the issue of lighting in Art. 60 of the Regulation on Technical Conditions to Be Met by Buildings and Their Location (TC). The indicated provision is very liberal, especially in Par. 3, which allows for the lack of insolation of one-room apartments and reduces the need to illuminate apartments from 3 to 1.5 hours in city centre development. Also the Art. 40 (TC) regarding solar lighting of playgrounds allows the reduction of insolation up to 2 hours a day, which can have very negative effects on children’s health. Shading along with obscuring described in Art. 13 (TC) are factors that in a large part determine the volume and form of the building. It is expected that the above-mentioned provisions will change in the future. They were created as a result of research carried out nearly 90 years ago. Currently, due to the development of specialized software, we have the ability to easily analyse the shading of rooms in the whole year. This fact results in the opportunity to create buildings adapted in terms of natural lighting to the individual needs of users. Architects can design rooms taking into account the requirements of insolation at certain times of the day. The current record of the building code on “rooms for permanent human stay” is very wide and in the context of natural lighting it seems too “soft”. In fact, rooms for physical work where people stay longer than 4 hours have different lighting requirements than rooms for mental work. For example: *It is desirable to introduce sunlight to the interior intended for mental work only in the morning hours (...) in this way, however, so that they do not cover the space intended for work. The light source—the window opening—should be on the left side of the*

worker. Insolation in the afternoon hours is not allowed.” [5] The size of the window opening itself is determined by Art. 57 (TC) *In a room intended for the stay of people, the ratio of window area, calculated in the frame opening, to the floor area should be at least 1:8, while in a different room, where daylight is required due to purpose—at least 1:12.*

## THE INFLUENCE OF THE SUN ON THE FORM OF THE BUILDING OVER THE CENTURIES

### “Architecture is the masterly, correct and magnificent play of masses brought together in light” (Le Corbusier)

This textbook quote clearly indicates the importance of light in architecture. Over the centuries, light has often been treated in an extremely plastic and conscious manner. It played an extraordinary role in the cultures of Egypt, ancient Persia, Mesopotamia, South America and China. Ancient civilizations perfectly analysed the movement of the sun in the sky and the length of the shadow cast by objects on earth. The most obvious examples always apply to places of worship. It is in them that the universalist symbolism of light often plays the most important role. For example, the Great Pyramid of Giza in Egypt from the end of February to mid-October does not cast any shadow at noon (ill. 1), while the western wall of the Aztec Pyramid of the Sun in Mexico is positioned exactly in the direction of the sunset during the summer solstice. The characteristic features of temples and their solar orientation is a perfect example of the awareness of shaping space by ancient engineers. Impressive temple assumptions are only part of their legacy. They initiated the architecture which today we would call the “solar architecture”. The principles of its shaping are also valid today. And its basic antique discoveries include:

\* Orientation towards the geographic directions—Vitruvius in Book I describes in detail the location of the buildings in relation to the world’s parts due to the blowing winds, while in the VI, he notes that “(...) so the form of buildings must be varied according to the temperature of the place, and the various aspects of the heavens. In the north, buildings should be arched, enclosed as much as possible, and not exposed, and it seems proper that they should face the warmer aspects. Those under the sun’s course in southern countries where the heat is oppressive, should be exposed and turned towards the north and east.” [6]

\* Passive heating—Socrates (469–399 BC) was living in a building heated by the sun. He rightly

observed that in homes that are open to the south, the sun in the summer does not penetrate so deeply inside because it is high. In winter, when it is low above the horizon, it illuminates the room much deeper which causes heating of the interior [7].

\* Thermal buffers—ancient architects used the accumulation capacity of heavy materials. The floors, which were lit with sunlight, were made on pits filled with stones. These stones were an excellent source of heat after dark. Solar heat was also stored in the walls made of sun-dried bricks [8].

\* Energy-efficient form—a student of Socrates, Greek historian Xenophon (430–354 BC), was popularizing the construction in which the south walls are higher and the north walls are lower so as to secure the building from the winter wind. For example, according to such a rule, the Roman city of Delos was designed [9].

\* Greenhouse effect—the Romans refined the Greek model of the “solar building” by using glass. They used flat and convex glass connected with metal. They glazed the southern walls of their baths and the windows of wealthy residents. They also built mica greenhouses that provided the emperor with access to fresh vegetables almost all year [10].

In the context of “solar architecture”, the attention should be paid to the Roman law that already in the second century BC popularized the use of solar energy. Newly constructed buildings could not limit access to the sun for neighbours in a place where it was vital to them (*Servitutes altius non tollendi* [11]). After the fall of the West Roman Empire, the Middle Ages began, a time in which no role was attached to the sun in the context of health and comfort of human life. In the European construction, for the next centuries the sun played mainly the lighting role. This role was perfected during the Gothic period. However, the principles of designing solar architecture have been lost and only the common-sense approach has been in force.

After one and a half thousand years from the Roman greenhouses producing cucumbers for Emperor Tiberius, the Renaissance rediscovers the possibilities the sun gives. Architects began to study the classic writings of Socrates, Aristotle, and Vitruvius. Prominent Renaissance creators like Andrea Palladio design according to ancient principles. They always place summer rooms on the north side, and winter ones on the south side (ill. 2). Travels to Asia, Africa and the New World have resulted in learning about new flowers and plants. People wanted to grow them in Europe and enjoy their fruits. The Dutch and Flemish were the first modern inhabitants of Europe who brought gardening to a level equal to

or above the Roman level. The conscious use of the greenhouse effect to heat houses took place in the 18th century when the architect H. Repton connected the interior of a living room and a library with an orangery added from the south [12]. Opening the door to the orangery on the sunny days caused the flow of warm air into the interior of the cold residential part as a result of circulation. With the arrival of the evening, the doors were closed so as to retain the warm air in the house. In the 19th century, the greenhouse in England no longer serves just a production purpose. They become the home of a gentleman in which plants are exhibited for an exotic atmosphere (ill. 3). The greenhouse development may be exemplified by the Crystal Palace erected in 1851 in London. However, it did not have much in common with solar architecture. People enthusiastic about energy from fuels became their excessive consumers. The times of the industrial revolution are times in which the middle and upper classes could enjoy a comfortable life in spacious warm homes with “artificially” heated glass gardens, but village residents migrating to the cities, poor factory workers, lived in very different conditions. Crowded in sunless, unheated and poorly ventilated rooms, they fell victim to deadly diseases. Dark damp workhouses with open sewers and a lack of running hot water have contributed to the development of cholera, tuberculosis, chickenpox, and typhoid fever. Diseases ravaged those 19th century workers’ slums. Mortality in the European cities was huge. In England alone, thousands of lives were consumed by the diseases. The doctors there partially saw the reason for this pestilence in the lack of sunlight. They even drew the motto: *Where there is no sun, the doctors come* [13]. Around 1900, many European countries introduced public health regulations and urban planning guidelines that ensure the right of access to the sunlight for all citizens. With time, sunlit working class housing estates became popular, and architects began to study the lighting issue in a more scientific way. For example:

\* Augustin Rey studied two-, four- and six-storey buildings and set minimum distances between buildings, so that they would not shadow each other during the winter. He extensively analysed the size of window openings and their influence on the interior lighting, and even changed the geometry of the ceiling to better illuminate the floor with natural (reflected) light [14].

Raymond Unwin, the progenitor of the idea of “satellite housing estates” [15], collected information on the annual solar movement and came to the same conclusion as the Greek architects a millennium earlier, that the southern orientation is the most

advantageous. Unfortunately, his research aimed at improving sanitary conditions, not energy efficiency. At that time, no one knew that the glass stops ultraviolet radiation [16].

\* Tony Garnier was designing the ideal (utopian) industrial cities. He divided the space into an industrial, civic, housing, health and entertainment category. The buildings in its metropolises were directed to the south, houses occupied only half of the plot, so as not to shadow the neighbouring buildings in the winter, the remaining areas were used as private gardens [17]. His idea was taken up by members of the International Congress of Modern Architecture (CIAM) and influenced the project of the city of Brazil [18].

After the First World War, new architecture was created on the ruins of war. In Germany, windows were designed for energy gains. There was a new experimental vision that wanted to use solar heat, which would save heating expenses. The buildings were to be functional in the first place. The tendency was born to design buildings with main facades oriented to the east and west, and with usually narrow sides without windows. The buildings were joined together to form long narrow liners. Such a urban model was called Zeilenbau. Theoretically, in such buildings half of the rooms received the morning sunlight and the other half the evening sunlight. The main projects with this orientation are: Weissenhofseidlung—Ludwig Mies van der Rohe and others (Stuttgart, 1927), Wohnstadt Carl Legien—Bruno Taut and Franz Hillinger (Berlin, 1928–30), Siedlung Westhausen—Ernst May (Frankfurt, 1929–31), Großsiedlung Siemenstadt—Martin Wagner, Hans Scharoun, Walter Gropius, Hugo Häring, and others (Berlin, 1929–34), Siedlung Dammerstock—Walter Gropius and others (Karlsruhe, 1929), Hellerhof Seidlung—Mart Stam (Frankfurt, 1929–32). The buildings constructed according to this orientation did not work. Such a layout was actually reversed from the unfavourable northern side, but did not use the most advantageous side, that is the southern one. The winter sun in the south is throughout the year. It rises in the south-east and sets in the south-west; for the Zeilenbau configuration, this meant the lack of sunlight in the winter during most of the day and the uncomfortable low sun in the summer. It became clear that east-west orientation is inappropriate from the point of view of solar energy gains. Apartments required the consumption of large amounts of energy to be heated. On such designed estates *the streets were warmer than buildings* [19]. In the interwar period, not only Germans experimented with solar architecture. The British in 1931–32 conducted studies

on lighting of buildings, which resulted in the construction of a heliodon—device developed by the Royal Institute of British Architects, which illuminated the model with artificial light at angles analogous to the sun. In the Netherlands, Sweden and Switzerland, modern housing estates were built, for which natural lighting was one of the most important criteria for shaping space. Modernism was developing. The basic features of the new style were described by Le Corbusier and Pierre Jeanneret in five points. They state that the modernist building should have pilotis, roof top gardens, free plan, free façade, and horizontal windows. Due to the large horizontal windows that run from the support to the support, the interiors are evenly illuminated. Experimental studies showed that the interior with such windows is eight times better illuminated than a room with vertical windows of the same area [20]. Newly constructed buildings and housing estates are becoming the model for the next decades. The buildings in the modernist housing estates were oriented mainly to the south or southeast and spaced in such distances that they would not mutually block access to the winter sunlight. Some of the more interesting implementations of that period are: Neubühl in Zurich, Novy Dum in Brno, Lainz in Vienna, Baba in the Prague district of Dejvice or the Weissenhof estate in Stuttgart.

By the end of the 19th century, nearly a million people came to the USA. Accelerated urbanization of such cities as New York, Boston, and Philadelphia took place. The ambitiously designed street systems prevented solar orientation. Just like in Europe, cities became crowded and dirty. Due to the huge influx of people, vertical construction began to prevail. At the turn of the century attention was paid to the problem of shading. Skyscrapers had excellent access to sunlight at the expense of low buildings. William Atkinson presented a diagram showing how high buildings limit access to sunlight for low buildings. His discoveries contributed to limit the height of buildings in Boston. Atkinson was particularly interested in the solar exposure of objects; he analysed the movement of the sun in the sky and came to the same conclusions as the ancient Greeks [21]. In 1912, he constructed a building for the Boston aristocrat Samuel Cabot, which he himself called the "solar house". A simple, narrow form, with the entire southern façade in glass, allowed sunlight to penetrate the interior of the house. The remaining walls and roof were tightly insulated, which enabled the retention of heat in the interior. During the winter, the house could be left completely without heating. Despite the description of the phenomenon by

Atkinson in the book *The Orientation of Buildings Or Planning for Sunlight*, architects did not take advantage of his ideas; this success was forgotten for two decades. It was only European experiences that prompted American urban planners to look more closely at the movements of the sun. From 1934 to 1936 Henry Wright from Columbia University published numerous articles on solar design and solar communities such as the Swiss Neubühl [22]. These papers contributed to the study of lighting problems in the USA, but their considerations were limited to theory. Designer George Fred Keck put into practice the solar architecture somewhat accidentally by designing the "House of Tomorrow" for the Century of Progress exhibition in Chicago in 1933 [23]. He used glass for the form and not for the function, but being on the construction site of a house, he noticed that the large panes from the south allow the workers to work in the middle of winter in shirts [24]. Unaware of the discoveries of the ancient Greeks, contemporary European architecture or Atkinson's work, he came to the conclusion that the best energy-efficient form of the house must be glazed from the south with a overhang that gives shade in the summer. After seven years from his discovery and gradually increasing the glazing from the south in the houses he designed, Keck decided to design a house for his friend Howard Sloan in 1940. Here, the southern wall was already 100% glazed. The press nicknamed the project "the Solar House", which was seen (for a fee) by over 5 million people. Thanks to this success, Fred Keck became a pioneer in designing passive houses [25] already in the 1930s and 1940s.

After the Second World War, the awareness of the role of the sun in architecture is constantly growing. Numerous scientific researches were conducted aimed at energy optimization of buildings. For example, Francis William Hutchinson was analysing the correct ratio of the window surface to the floor surface. He developed a special table in which he indicated that, depending on the climate in which the building is to be erected, the window size should be different. He noticed that the correct ratio of glazing to floor would protect the object from overheating. Hutchinson also observed that the house that is heated by the sun has temperature fluctuations much higher than traditional construction. The answer to this observation were projects of heat storage systems. Arthur T. Brown experimented with black walls in the interiors of buildings. He estimated that the solar heat that falls on such a wall penetrates them at a rate of one inch per hour. In the Rosenberg House (Tucson, 1946) he designed 8-inch walls that radiated their heat in the evening [26]. Analogous walls

for storing heat were developed and patented by Felix Trombe ten years later. The idea of such heating goes back to the 1880s, when Edward S. Morse (zoologist) built the first air heating solar collector (patent no. 1881) [27].

Despite the technological boom, solar buildings were out of favour since the late 1940s. Increasingly cheaper energy from fuels results in a lack of willingness to use solar energy, the more that the solar building, due to costly glazing at the construction stage, was significantly more expensive. The reputation of solar homes was also deteriorated by architects who used glass only for aesthetic purposes. Incorrect orientation of buildings contributed to the opinion that large-sized glazing leads mainly to huge energy losses in winter and overheating in the summer. The situation changed in 1969 when the XXIV UN General Session on the current state of the world's environment took place and U. Thant submitted a report warning against the progressive environmental degradation mainly due to the excessive exploration of fossil fuels. The era of consciousness has begun once again in the history of mankind, in which buildings should not only be comfortable and functional while maintaining their attractiveness, but they should also be energy-efficient again.

## SUN TODAY

**“As an architect, you design for the present, with an awareness of the past, for a future which is essentially unknown.” Norman Foster**

Architects today have a multidimensional awareness of the influence of the sun on people and buildings. They use the sun as a source of energy in a variety of ways. They make use of historical experience and the latest technology in their facilities. They design buildings with modern energy generation systems:

**Passive**—in which the outer shell of the building (walls, roof) and orientation towards the geographic directions play a decisive role in utilizing solar energy. Building materials that form this external layer of the building are in direct contact with solar radiation and therefore play a key role in storing and releasing heat into the building. At the same time, these materials must protect the interior from the negative effects of solar interaction, e.g. from overheating the interior. In order to provide users with increasing comfort, the way of designing these external elements undergoes constant improvement. For example, “*A.E. Morgan (1974) designed an excellent solar wall consisting of two glass surfaces located at a distance of 60 cm from each other.*

*A significant part of the inner glass plane surface was covered with dark glass. Some fragments of this surface were made of reversible elements that were adapted to reflect sunlight in the summer and covering the other side with black paint made it easier to absorb heat in the winter.” (According to D.L. Jones, 1998, p. 58., cf. J. D. Balcomb) [28].* The effect that Morgan obtained by reversing the elements is now available in smartglass windows—this technology uses the features of polymers that change their location under the influence of electric current. A window with a closed electrical circuit is a transparent window, and with an open current it becomes a milk window. In the panes of variable transparency described above, there is the effect of blocking light and heat with a single button, but such windows require a continuous flow of electric current, which increases the operating costs and makes them difficult to retrofit. Therefore, it is not a fully passive system due to the continuous energy expenditure, but only a system that acquires passive energy. Researchers at Princeton University created a window that can save up to 40 percent of energy costs of a building. The innovation is based on the fact that darkening or brightening a window is not caused by the continuous usage of electricity, but by a single pulse of an electric charge, triggering reactions in two layers of polymers [29].

**Active**—in 1839, in the circuit of illuminated electrodes placed in the electrolyte, A.C. Becquerel observed the photovoltaic effect for the first time in history. 115 years later (1954) Chapin, Fuller, and Pearson constructed the first silicon cell with the efficiency of 6% [30]. Interestingly, this technology did not attract much attention. At the end of the 1980s, it was possible to manufacture cells using gallium arsenide, which increased efficiency to over 20%. The use of lenses on the cell surface further improved efficiency up to 37% [31]. Currently, studies are being carried out on perovskite cells, and the leader of this research is Polish scientist Olga Malinkiewicz [32]. Thanks to the new method it will be possible to obtain electricity also from artificial light, and the cell production process itself will be significantly cheaper. Nowadays, it is obvious that solar energy is an excellent source of power for active systems such as batteries or solar collectors. Powerful cells and batteries that allow to store large amounts of electricity. Technology gives an incentive to create buildings that do not emit toxic gases generated in the fuel combustion process. Currently, architects reaching for photovoltaic panels treat them as an attractive cladding, not only for roofs, but also for elevations. Solar installations have become

integral elements of the building, gaining additional aesthetic functionality. Designers can replace typical construction elements with solutions integrated with solar systems, i.e.: solar collectors (BIST), photovoltaic modules (BIPV), hybrid devices called photovoltaic thermal hybrid solar collector (BIPVT). The exemplification of such solutions is the project of French architects Jourda et Perraudin (in cooperation with Hegger Hegger Schlieff from Kassel) who in the German city of Harne designed one of the largest BIPV systems. The complex consisting of an academy, hotel, library, and offices in a glass enclosure containing 1000 kWp of solar glass. Orientation and proper inclination of photovoltaic panels are sometimes the inspiration for creating atypical and very dynamic forms like the Endesa Pavilion, the work of a team from the Institute of Advanced Architecture in Catalonia. The dissemination of cells with significant transparency and colour cells gives designers almost unlimited possibilities to create façades, while providing an alternative source of electric energy. Increasingly, designs of 100% electric buildings are constructed. *The building becomes not only an architectural and construction object, but also an energy system that acquires and converts energy on site for the needs of its users* [33]. The Crystal in London is the most significant object of this type. It is a global centre for debate on sustainable living and development belonging to the Siemens group. It is a meeting place for experts in the fields of urban planning, architecture, and the latest technologies, but also for students, pupils, and residents. The building has the highest certification in BREEAM and LEED systems and many other accreditations.

**Semi-active**—they become increasingly popular with the development of technology. They combine passive and active solutions. The most modern solutions of this type include dynamic coatings. These are systems enabling the construction of “intelligent windows and façades”, which due to special glazing and automation allow to accumulate sufficient heat to cover the heat loss through these partitions. An excellent example of a building using this solution is Mediatic in Barcelona of the Cloud 9 project. Its façade has been built of membranes that retain the solar radiation. Due to one hundred sensors, the penetration of light into the building is graded. The whole façade opens and closes with the changing weather conditions.

## FUTURE ANALYSIS

**“The architect must be a prophet... a prophet in the true sense of the term... if he can’t see at least ten years ahead don’t call him an architect.”  
Frank Lloyd Wright**

The sun is an invigorating factor. Thanks to it, our world can exist and mankind can develop. Ancient cultures had much greater respect for the sun than the contemporary human population. Since the moment James Watt built the steam engine, the civilization development has accelerated rapidly. The next 200 years has resulted in a technological leap that allows flights into space, construction of computers or nuclear reactors. Humanity has launched offensive actions aimed at subordinating the rules prevailing in the universe on a scale not seen for 200,000 years, completely forgetting about nature. Our civilization depends on electronic systems and electronic communication. The development of architecture is inseparably connected with the development of technology. Currently, modern buildings are completely dependent on computer control. Computers not only control the indoor climate in objects, but also evacuate people or trigger fire mechanisms. Thus, there is a global problem of a failure rate of these solutions. The sun which is the main source of the Earth energy can also be the main cause of technical problems. In 1859, there was a solar storm called the Carrington effect. It damaged the fledgling telegraph system at that time and was the cause of numerous fires. In many reports, including Severe Space Weather—Social and Economic Impacts [34], scientists warn about the possibility of repeating such solar phenomena and their global consequences. The European Space Agency is currently working on a warning system in which 14 countries actively participate. However, the warning itself is not able to protect us from the possible consequences of electricity failure. The above considerations may suggest that futuristic architectural visions straight from the graphics of Georg Hull are not really vision of the future, and the mere pursuit of architecture behind technology is not enough. Contemporary architects, due to digitization, have access to an unprecedented information base. That is why it is almost certain that they will not repeat design mistakes of their predecessors. It can be expected that the buildings of the future should use the latest technology solutions; however, they should not be completely dependent on technology. Modern projects will certainly take into account the context in which they arise, not only in urban terms, but also in respect of available energy and local building materials. An extensive analysis

of the impact of architecture on nature, reducing the environmental, carbon and water footprint will guarantee safety and health for future generations. As Le Corbusier notes, “Man is a product of nature and his works should be in accordance with its laws.

## LITERATURA

1. Wigley M. 2002 r. Architektura protez. Uwagi do prehistorii świata wirtualnego, w: Co to jest architektura?, red. A. Budak, Kraków 2002 r.
2. Europejskie badanie przeprowadzone przez Grupę VELUX, [https://issuu.com/velux\\_polska/docs/velux\\_barometr\\_2016\\_pol](https://issuu.com/velux_polska/docs/velux_barometr_2016_pol), [dostęp/access. 28.06.2018].
3. Sudół-Szopińska I., Łuczak A. 2006 r. Wpływ temperatury środowiska zewnętrznego na sprawność działania człowieka, w: *Bezpieczeństwo Pracy nauka i praktyka*, Warszawa, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy 2006, s. 18.
4. Le Corbusier 1933 r., Karta Ateńska przyjęta przez VI Kongres C.I.A.M. wraz z komentarzem według wydania z 1941 r, w: *Nowa Karta Ateńska 1998*, Pobitno – Wydawnictwo. Rzeszów 2004.
5. Twarowski M. 1960 r. *Słońce w architekturze*, Arkady, Warszawa 1960, s. 70.
6. Witruwiusz, *O architekturze ksiąg dziesięć*, przełożył K. Kumaniecki, PWN 1956, s. 102.
7. Wehle – Strzelecka S. 2008 r. Rozwój koncepcji pozyskiwania energii słonecznej w rozwiązaniach architektoniczno – urbanistycznych – Pierwsza generacja architektury słonecznej, w: *Czasopismo Techniczne Architektura*, Kraków, Wydawnictwo PK, 2008 r., s. 178.
8. Wehle – Strzelecka S. op. cit., s. 178.
9. Wehle – Strzelecka S. op. cit., s. 153.
10. Wilkins J., Nadeau R. 2015 r. *A Companion to Food in the Ancient World*, Chichester, Wiley Blackwell, 2015 r., s. 171.
11. Wołodkiewicz W. 1986 r. *Prawo rzymskie. Słownik encyklopedyczny*, Warszawa, Wiedza Powszechna, 1986 r., s. 140.
12. Wehle-Strzelecka S. op. cit., s. 155.
13. Butti K., Perlin J. 1980 r. *A golden thread – 2500 years of solar architecture and technology* New York Cheshire Books 1980, s. 160.
14. Harzallah A., Siret D. 2010 r. *Le Plafond lumineux d'Augustin Rey*, Edifice.book 2010 r.
15. Bottorff J. L. 1971 r. *A chronological analysis of utopias, urbanism, and technology* Houston, Rice University 1971, s. 91.
16. Butti K., Perlin J op. cit., s. 162.
17. Garnier T. 1918 r. *Une cite industrielle* edycja Riccardo Mariani, New York, Rizzoli 1990.
18. Biografia architekta Garnier’a T. [https://en.wikipedia.org/wiki/Tony\\_Garnier\\_\(architect\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Tony_Garnier_(architect)) [dostęp/access 02.07.2018].
19. Butti K., Perlin J op. cit., s. 171.
20. Le Corbusier, Jeanneret P., 1927 r. Five Points for a New Architecture, w: *Bau und Wohnen*, Stuttgart, Fr. Wederkind & Co., 1927 r.
21. Atkinson W., 1912 r. *The Orientation of Buildings or Planning for Sunlight*, New York, John Wiley & Sons, 1912 r.
22. Kendig J., 2001 r. *Ramirez solar house a case study of early solar design*, New Jersey, New Jersey School of Architecture 2001 r., s. 9.
23. Collins J., Nash A., 2002 r. *Preserving Yesterday's View of Tomorrow The Chicago World's Fair Houses*, CRM Magazine, s. 28.
24. Butti K., Perlin J, op. cit., s. 183.
25. Denzer A., 2013 r. *The Solar House: Pioneering Sustainable Design*, New York, Rizzoli, 2013.
26. Butti K., Perlin J op. cit., s. 193.
27. NREL <https://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/22834.pdf> [dostęp/access 02.07.2018].
28. Wehle-Strzelecka S. op. cit., s. 181.
29. Adarlo S., Andlinger Center for Energy and the Environment [www.princeton.edu/news/2017/06/30/self-powered-system-makes-smart-windows-smarter](http://www.princeton.edu/news/2017/06/30/self-powered-system-makes-smart-windows-smarter) [dostęp. 02.07.2018].
30. Perlin J., 2004 r. *From Space to Earth: The Story of Solar Electricity*, Harvard University Press, Boston 2004 r.
31. Siuzdak K., Klein M., Szkoda M, 2014 r. Badania i rozwój technologii ogniw PV, w: *Czysta Energia* 12/2014, Gdańsk 2014.
32. Antonowicz M, *Nowe trendy fotowoltaiki – organiczna, w sprayu, w folii*, <http://dlaklimatu.pl/nowe-trendy-pv/>, 2014.
33. Chwieduk D., 2011 r. *Energetyka słoneczna budynku*, Warszawa, Arkady Sp. z o.o. 2011 r.
34. Severe Space Weather-Social and Economic Impacts, [www.nap.edu/read/12507/chapter/1#iii](http://www.nap.edu/read/12507/chapter/1#iii) [dostęp/access 2018-07-05].