

POLITECHNIKA KRAKOWSKA IM. TADEUSZA KOŚCIUSZKI
WYDZIAŁ ARCHITEKTURY

**TECHNOLOGIA SOLARNA W ARCHITEKTURZE.
ANALIZA ZAGADNIEŃ PRZESTRZENNO-TECHNICZNYCH.**

***SOLAR TECHNOLOGY IN ARCHITECTURE.
ANALYSIS OF SPATIAL AND TECHNICAL ISSUES.***

PRACA DOKTORSKA

AUTOR: MGR INŻ. ARCH. PAWEŁ FILIPEK

PROMOTOR: PROF. DR HAB. INŻ. ARCH. WACŁAW CELADYN

KRAKÓW 2025

SPIS TREŚCI

1.	WPROWADZENIE	6
1.1	Uzasadnienie wyboru tematu	6
1.2	Cele pracy	7
1.3	Problematyka badań	8
1.4	Tezy pracy	8
1.5	Zakres opracowywanego tematu	9
1.6	Terminologia	10
1.7	Stan badań	13
1.8	Założenia metodologiczne	16
2.	POTENCJAŁ ENERGETYCZNY TECHNOLOGII SOLARNYCH	18
2.1	Zasoby helioenergetyczne Polski	18
2.2	Potencjał promieniowania w Polsce	19
2.3	Zasady konfiguracji przestrzennej instalacji solarnych	20
2.4	Efektywność instalacji solarnych	23
2.4.1	Technologia fotowoltaiczna	23
2.4.2	Technologia kolektorowa	27
3.	ZAGADNIENIA PRAWNE I EKONOMICZNE	31
3.1	Regulacje Unii Europejskiej	31
3.1.1	Porozumienie paryskie	32
3.1.2	Europejskie prawo o klimacie	33
3.1.3	Europejski zielony ład	34
3.1.4	„Gotowi na 55”	35
3.2	Wpływ regulacji unijnych na obiekty budowlane w kontekście technologii solarnych	36
3.3	Polskie normy i regulacje prawne	38
3.4	Aspekty ekonomiczne a wykorzystywanie technologii solarnych w architekturze	45
3.4.1	Technologia fotowoltaiczna	48
3.4.2	Technologia kolektorowa	49
3.4.3	Podsumowanie wyników	50
3.5	Certyfikaty ekologiczne w budownictwie a technologie solarne	51
4.	SYSTEMY SOLARNE	55
4.1	Pasywne systemy solarne w architekturze	55
4.2	Aktywne systemy solarne w architekturze	57
5.	SYSTEMY FOTOWOLTAICZNE	61
5.1	Historia oraz rozwój idei	61
5.2	Współczesne rodzaje ogniw fotowoltaicznych	63
5.2.1	Ogniwa pierwszej generacji	64
5.2.2	Ogniwa drugiej generacji	66
5.2.3	Ogniwa trzeciej generacji	69

5.2.4	Ogniwa czwartej generacji	71
5.3	Kierunki rozwoju technologii fotowoltaicznej	74
5.4	Systemy fotowoltaiczne	74
5.4.1	Instalacja PV typu on-grid	75
5.4.2	Instalacja PV typu off-grid	76
5.4.3	Instalacje PV stacjonarne i instalacje nadążne	77
5.4.4	BAPV, BIPV	78
6.	SYSTEMY KOLEKTOROWE	81
6.1	Historia oraz rozwój idei.....	81
6.2	Współczesne rodzaje kolektorów słonecznych	83
6.2.1	Kolektory cieczowe.....	84
6.2.2	Kolektory gazowe	88
6.3	Kierunki rozwoju kolektorów słonecznych	92
6.4	Systemy kolektorowe	92
6.4.1	System termosyfonowy	93
6.4.2	System ciekły bezpośredni.....	94
6.4.3	System ciekły pośredni.....	94
6.4.4	System powietrzny bezpośredni.....	95
6.4.5	System powietrzny pośredni	95
7.	PROJEKTOWANIE URBANISTYCZNE A TECHNOLOGIA SOLARNA.....	97
7.1	Charakterystyka badań	97
7.2	Kryteria doboru przykładów	97
7.3	Problematyka studium przypadku	98
7.4	Określenie zależności pomiędzy efektywnym wykorzystaniem technologii solarnej a układem urbanistycznym	104
7.4.1	Technologia solarna a orientacja obiektów	105
7.4.1.1	Instalacja fotowoltaiczna na dachach obiektów	105
7.4.1.2	Instalacja fotowoltaiczna na fasadach obiektów	108
7.4.1.3	Instalacja kolektorowa na dachach obiektów	111
7.4.1.4	Instalacja kolektorowa na fasadach obiektów	115
7.4.1.5	Instalacja na dachu płaskim i na dachu stromym.....	118
7.4.2	Technologia solarna a odległości między obiektami	119
7.4.2.1	Teren płaski – instalacja solarna na dachach	120
7.4.2.2	Teren płaski – instalacja solarna na fasadach	121
7.4.2.3	Teren w spadku – instalacja solarna na dachach	122
7.4.2.4	Teren w spadku – instalacja solarna na fasadach	123
7.5	Zbiórce zestawienie i wnioski.....	124
8.	PROJEKTOWANIE ARCHITEKTONICZNE A TECHNOLOGIA SOLARNA	128
8.1	Charakterystyka badań	128
8.2	Kryteria doboru przykładów	128
8.3	Problematyka studium przypadku	128

8.4	Studium porównawcze przypadków	129
8.5	Technologia solarna w architekturze – wyniki analizy	141
8.5.1	Dachy	141
8.5.2	Fasady.....	143
8.5.3	Okna.....	145
8.5.4	Elementy zacieniające.....	146
8.5.5	Inne elementy budynku	146
8.5.6	Różne koncepcje aktywne solarnie w architekturze.....	147
8.6	Zbiornicze zestawienie	149
9.	PODSUMOWANIE	154
9.1	Wnioski końcowe wynikające z realizacji poszczególnych celów pracy	154
9.2	Potwierdzenie tezy pracy.....	156
9.3	Określenie perspektyw kontynuacji badań	157
	STRESZCZENIE W JĘZYKU POLSKIM	159
	STRESZCZENIE W JĘZYKU ANGIELSKIM	162
	BIBLIOGRAFIA	165
	SPIS ILUSTRACJI	173
	SPIS TABEL.....	191

I. WPROWADZENIE

1. WPROWADZENIE

1.1 Uzasadnienie wyboru tematu

Wzrost zainteresowania Inwestorów wykorzystywaniem energii pochodzącej z odnawialnych źródeł oraz systemowe zmiany geopolityczne przyczyniły się do głębszego zainteresowania się wpływem na architekturę obiektów budowlanych instalacji wykorzystujących energię słoneczną. Synteza istniejącej wiedzy w zakresie dostępnych technologii solarnych oraz konieczność przeprowadzenia głębszych badań jest efektem wymogów stawianych przez prawo zarówno nowopowstającym budynkom jak i tym modernizowanym. Pozyskiwanie energii słonecznej za pośrednictwem efektu fotowoltaicznego oraz wymiany ciepła (elementy kolektorowe) staje się dominującą determinantą projektową współczesnych obiektów budowlanych dążących do zminimalizowania zapotrzebowania na energię pochodzącą ze źródeł konwencjonalnych oraz wpływu na środowisko..

Rosnące ceny energii oraz relatywnie coraz niższe koszty wykonania instalacji OZE absurdalnie stają się zagrożeniem dla jakości przestrzeni zabudowanej. Świadomość energetyczna inwestorów oraz geopolityczne postulaty zmuszają architektów do działania na obszarze wymagającym posiadania ukierunkowanej wiedzy skonstruowanej z lokalnie panującymi warunkami, wpływającymi na efektywność pozyskiwania energii. Popularne struktury addytywne „doklejane” do budynków w ostatniej fazie wykonawstwa bądź też długo po uzyskaniu pozwolenia na użytkowanie często szpecą budynki, tworząc niezaplanowany brak estetyki, tym samym kłócąc się z podstawowymi dogmatami projektowymi. Dogłębna analiza zagadnień przestrzenno-technicznych już w pierwszej fazie projektowej – *konceptyjnej* pozwala na geometryczne zoptymalizowanie formy budynku, znalezienie zbieżności pomiędzy możliwością pozyskiwania energii a np. miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego, prowadząc tym samym do efektywniejszego wykorzystania konwertowanej energii oraz podejmowanie trafnych, świadomych decyzji projektowych.

Trend zrównoważonego rozwoju, w tym pozyskiwania energii pochodzącej z odnawialnych źródeł niezaprzeczalnie odciska swoje piętno na formach budynków. Wykorzystywanie siły wiatru oraz promieniowania słonecznego najmocniej uwidacznia się na dachach budynków oraz ich fasadach. Jakże zatem rozwiązanie projektowe winien przyjąć architekt, aby nie przekreślić zasad Witruwiusza, które od wieków

przyświecają projektantom? „Piękno, użyteczność i trwałość”¹ pryncypia niezmiennie lecz ewoluujące.

Na współczesną architekturę składają się paradoksy. Z jednej strony podążamy za częścią tez postawionych przez modernistów, kierując się maksymalnym uproszczeniem formy. Z drugiej strony natomiast doposażamy budynki w niezwykle skomplikowane systemy, poprawiające jakość środowiska wewnętrznego. Wśród wielu idei architektonicznych powstałych w minionym stuleciu odnaleźć można trendy poruszające tak ważny dzisiaj temat energii w architekturze, będący rdzeniem niniejszej pracy.

1.2 Cele pracy

Celem niniejszej pracy jest:

- zebranie oraz analiza materiałów naukowych skupiających się wokół tematu związanego z pozyskiwaniem energii słonecznej za pośrednictwem technologii solarnych;
- przedstawienie dysertacji doktorskiej w formie zrozumiałej w środowisku architektów, stanowiącej wytyczne umożliwiające zaktualizowanie podejścia projektowego o zbiór informacji przedstawionych w przedmiotowym opracowaniu;
- zwrócenie uwagi na rozwijające się technologie umożliwiające pozyskiwanie energii;
- określenie zakresu różnorodności technologii solarnych umożliwiających podejmowanie swobodnych decyzji projektowych;
- przedstawienie materiału określającego zależności pomiędzy ukształtowaniem budynku wraz ze spójnym, estetycznym ulokowaniem elementów technologii solarnej a zastałą sytuacją przestrzenną;
- podkreślenie roli projektowania koncepcyjnego oraz przeprowadzanie dogłębnych analiz przedprojektowych;
- usystematyzowanie zagadnień prawnych oraz ekonomicznych związanych z pozyskiwaniem energii.

¹ Witruwiusz, *O architekturze ksiąg dziesięć*, Kazimierz Kumanicki tł., Wydawnictwo Prószyński i S-ka, Warszawa 1999, s. 30.

1.3 Problematyka badań

Niniejsza praca podejmuje problematykę skupiającą się wokół:

- zagadnień wykorzystywania technologii solarnych we współczesnych obiektach budowlanych, związanych z estetycznym kształtowaniem ich form oraz prawidłowe z punktu widzenia funkcjonalności strefowanie budynków w skrócie nazywane geometryczną optymalizacją budynku w kontekście zastanej sytuacji przestrzennej.

1.4 Tezy pracy

Wzrost cen energii elektrycznej zauważalny w ostatnich latach w Polsce, związany z powstaniem opłat emisyjnych CO₂² w dużym stopniu uderzył w Polski sektor energetyczny, bazujący na spalaniu węgla kamiennego. Systemowy, polityczny nacisk oraz ograniczona ilość zasobów paliw kopalnianych zmuszają społeczeństwo do poszukiwania nowych sposobów produkcji energii. Coraz głośniej mówi się o „Programie polskiej energetyki jądrowej”, będącej paradoksalnie wyjątkowo ekologicznym rozwiązaniem oraz o energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych, wśród których prymat wiedzie wykorzystywanie energii fotonu. Boom na rynku fotowoltaicznym dostrzegalny jest przede wszystkim na dachach gospodarstw domowych, gdzie często struktury addytywne odcinają się od pierwotnej formy budynków. Ten fakt wymusza przedstawienie następującej, dość klarownej tezy:

- **Aplikacja technologii solarnych na elewacjach i dachach budynków ma istotny wpływ na ich ostateczną formę, estetykę oraz ład przestrzenny, a efektywność energetyczna tych rozwiązań wymaga analiz ich wzajemnych konfiguracji**

Czynnik ekonomiczny będący niezwykle istotny przy podejmowaniu pozytywnej decyzji dotyczącej montażu technologii solarnych stawia rozsądnych inwestorów przed pytaniem o efektywność planowanej instalacji / inwestycji. W przypadku budynków istniejących wpływ na formę budynku, geometrię połaci dachowych, zagospodarowanie

² Węglowe opłaty emisyjne to ekonomiczna metoda ograniczania skutków globalnego ocieplenia, Wikipedia, https://pl.wikipedia.org/wiki/Podatek_węglowy [dostęp 10.02.2025]

terenu pozostaje w dużym stopniu ograniczony co prowadzi do powstawania obcych, addytywnych struktur pozwalających na efektywne produkowanie energii podczas gdy, budynki nowoprojektowane umożliwiają pełne oraz efektywne zintegrowanie instalacji z obiektem.

1.5 Zakres opracowywanego tematu

Dobre przykłady poddane analizie case-study umożliwiły przedstawienie reprezentatywnego zbioru realizacji, które wpłynęły na rozwój oraz wykorzystywanie technologii solarnych w budownictwie.

- **Zakres czasowy**

Idea wykorzystywania technologii solarnych jest pojęciem stosunkowo młodym zarówno w skali urbanistycznej jak i architektonicznej, stąd pojawia się problem w doborze przykładów zrealizowanych przed 1980 rokiem.

Niemniej jednak w rysie historycznym warte wspomnienia są kluczowe realizacje mające wpływ na rozwój powyższej idei. W głównej mierze historia wykorzystywania energii pochodzącej od Słońca rozpoczyna się wraz z powstałym w 1939 roku w Massachusetts Institute of Technology pierwszym aktywnym słonecznie domem, którego koncept prezentuję w rozdziale piątym. Znaczący rozwój idei następuje w latach 80. ubiegłego stulecia, zapoczątkowany powstaniem pionierskiego budynku wielorodzinnego, zlokalizowanego w Monachium autorstwa Thomasa Herzog'a oraz Bernarda Schilling'a.

Rosnąca liczba obiektów produkujących energię, które powstają obecnie pozwala na wysnucie stwierdzenia, że prawdziwy rozkwit realizacji wykorzystujących energię pochodzącą od Słońca jest dopiero przed nami.

- **Zakres terytorialny**

Analizie case-studies poddane zostały realizacje w wybranych krajach europejskich. Wykorzystywanie technologii solarnej w skali urbanistycznej jak i architektonicznej zaczęło pojawiać się w gospodarkach dobrze rozwiniętych krajów zarówno na starym kontynencie jak i Ameryce Północnej czy też Australii.

Wprowadzone kryterium terytorialne powstało głównie w wyniku ograniczenia się do półkuli północnej oraz strefy czasowej (UTC 0 oraz UTC +1).

W Polsce niestety brakuje przykładów urbanistycznych wykorzystujących technologię solarną z wyjątkiem gęsto powstających farm fotowoltaicznych poza terytoriami miast. Obiekty te nie mieszczą się w ramach przyjętej koncepcji dysertacji.

- **Zakres funkcjonalny**

W Polsce technologia solarna najczęściej zauważalna jest w postaci paneli fotowoltaicznych, montowanych w większości na obiektach mieszkalnych, w tym przede wszystkim domach jednorodzinnych. Jest to związane z kwestiami finansowymi – mianowicie czytelnym podziałem (w zasadzie jego brakiem) uzysku energetycznego. Wspomniane instalacje montowane są zarówno na obiektach biurowych, handlowych, przemysłowych, nauki, a nawet budynkach sakralnych.

Wszystkie budynki posiadają różną skalę oraz w domyśle powinny posiadać unikalną, połączoną z funkcją narrację. Brak ograniczeń w doborze przykładów pod względem funkcjonalnym pozwala na przedstawienie pełnego spektrum możliwości oraz wyciągnięcie satysfakcjonujących wniosków.

1.6 Terminologia

W niniejszym opracowaniu wykorzystano terminologię powiązaną z fizyką jako dziedziną nauki oraz z wykorzystywaniem energii w budownictwie. Wśród istotnych pojęć należy wymienić.

BIPV	instalacje fotowoltaiczne zintegrowane ze strukturą budynku ³
EAE	elementy aktywne energetycznie (skrót utworzony na potrzeby przeprowadzonych analiz)
efektywność energetyczna	stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, w typowych warunkach ich

³ A. Karaś, *Fotowoltaika zintegrowana z budynkiem*, „Czysta Energia” 2014, nr 4, s.30-32.

użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację, albo w wyniku wykonanej usługi niezbędnej do uzyskania tego efektu⁴;

generator energii	jako generator energii w niniejszej pracy rozumiane są wszystkie elementy umożliwiające konwersję energii (np. moduły fotowoltaiczne lub kolektory słoneczne)
HPTEC	z j. ang. heat-pipe evacuated tube collector, kolektor słoneczny ciekły próżniowo-rurowy typu heat-pipe (skrót wykorzystywany w obliczeniach w rozdziale 7.)
jednostka kWp	kilowatopik, w niektórych artykułach naukowych zamiennie stosowana z PI^5 sumaryczna moc instalacji PV w standardowych warunkach pomiarowych
promieniowanie	rodzaj strumienia cząstek lub niektórych innych fal, a także proces ich wysyłania ⁶ , w niniejszej pracy hasło promieniowanie należy utożsamiać z promieniowaniem słonecznym będącym strumieniem fal elektromagnetycznych i cząstek elementarnych docierający ze Słońca do Ziemi
moduł PV	najmniejszy, w pełni chroniony przed wpływami środowiska, zespół połączonych ze sobą ogniw fotowoltaicznych ⁷
ogniwo PV	ogniwo słoneczne, ogniwo fotowoltaiczne, ogniwo fotoelektryczne, fotoogniwo element półprzewodnikowy zmieniający energię fotonu (światła) w energię elektryczną w wyniku zjawiska fotowoltaicznego

⁴ Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej Dz.U.2024.1047

⁵ P. Olczak, M. Olek, D. Matuszewska, A. Dyczko, T. Mania, Monofacial nad bifacial micro PV installation as element of energy transition – the case of Poland, „Energies” 2021, vol.14, nr 2, s.499

⁶ Wikipedia, <https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie> [dostęp 10.02.2025]

⁷ PN-HD 60364-7-712:2016-05 - Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji - Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania

optymalna(y)	zależność rozumiana w niniejszej pracy jako konfiguracja lokalizacji oraz kąta nachylenia generatora maksymalizująca uzysk energetyczny dla danej szerokości geograficznej
kolektor słoneczny	urządzenie służące do konwersji energii promieniowania słonecznego na ciepło
nasłonecznienie	średnia moc promieniowania słonecznego (natężenia promieniowania słonecznego), najczęściej wyrażana w ujęciu rocznym przedstawia ilość energii (W) przypadającą na jednostkę powierzchni (m^2), wartość G
pojemność cieplna	wielkość fizyczna, która charakteryzuje ilość ciepła, jaka jest niezbędna do zmiany temperatury ciała o jednostkę temperatury [J/K]
prosument	określenie powstałe w wyniku połączenia wyrazów „producent” oraz „konsument”, używane w odniesieniu do osób wytwarzających energię elektryczną, którzy jednocześnie ją konsumują a nadwyżki energetyczne odprowadzają do sieci elektrycznej
temperatura stagnacji kolektora słonecznego	parametr t_{stg} określający temperaturę absorbera przy braku odbioru ciepła dla wartości promieniowania słonecznego wynoszącego $1000W/m^2$ przy temperaturze powietrza zewnętrznego $30^{\circ}C$
uśłonecznienie	sumaryczny czas wyrażony w godzinach w danym okresie (np. rocznym) podczas którego na określone miejsce na powierzchni padają w sposób bezpośredni promienie Słońca ⁸
uzysk solarny	ilość energii słonecznej przechwyconej przez kolektory słoneczne

⁸ Wikipedia, <https://pl.wikipedia.org/wiki/Uśłonecznienie> [dostęp 10.02.2025]

współczynnik gęstości atmosfery	stosunek masy powietrza do jego objętości, ze współczynnikiem skorelowane jest spektrum promieniowania
zrównoważony rozwój	termin określony w raporcie Komisji Brundtland (Światowej Komisji ds. Środowiska i Rozwoju) ⁹ , jest to rozwój, w którym potrzeby obecnego pokolenia mogą być zaspokojone bez umniejszania szans przyszłych pokoleń na zaspokojenie ich własnych potrzeb.

1.7 Stan badań

W chwili obecnej literatura naukowa, podejmująca tematykę związaną z pozyskiwaniem energii w architekturze jest obszerna oraz znacznie rozbudowana. Kwestie podejmowanych badań nad technologiami solarnymi poruszone zostały również w artykułach naukowych, w których omówiono zagadnienia związane z efektywnością poszczególnych rodzajów instalacji oraz ich pośrednim pozytywnym wpływem na środowisko w postaci redukcji śladu węglowego, popartymi najczęściej analizą wybranych realizacji lub modeli badawczych.

Pojedyncze artykuły naukowe, stanowiące podsumowanie zagadnień związanych z technologią fotowoltaiczną, najczęściej pomijają traktowaną w chwili obecnej drugorzędnie możliwość konwersji energii za pośrednictwem kolektorów słonecznych. Wśród opracowań naukowych natomiast łatwo znaleźć pozycje łączące wiedzę dotyczącą pozyskiwania energii z estetycznym formowaniem obiektów, przy czym najczęściej ukazują one punktowe możliwości zastąpienia tradycyjnych elementów budowlanych strukturami produkującymi energię lub ich uzupełnienia.

Niestety należy również zauważyć, że wiele publikacji książkowych, niezwykle istotnych z punktu widzenia rozwoju idei pozyskiwania energii oraz ograniczania negatywnego wpływu na środowisko, dostępnych jest w języku angielskim. W tym miejscu chciałbym podkreślić, że liczba książek wydanych w języku polskim jest bardzo uboga. Rzetelne informacje dotyczące dostępnych technologii solarnych zawierają katalogi internetowe oraz broszury firm specjalizujących się w powyższym temacie,

⁹ Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, United Nations 1987, <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> [dostęp 10.02.2025]

jednak są one ograniczone ze względu na ochronę patentową. Spory zasób wiedzy niosą badania podejmujące systematykę oraz rozwój technologii kolektorowych, niestety bardziej w dziedzinach stricte związanych z fizyką oraz energią.

Jako istotny dla zintegrowanych technologii fotowoltaicznych należy przyjąć 1997 rok, kiedy to rozpoczął się nowy program zainicjowany przez International Energy Agency's Photovoltaic Power Systems (IEA PVPS). Jego głównym zadaniem była poprawa jakości architektury, kwestii technicznych oraz możliwości szerszego implementowania systemów fotowoltaicznych w obiektach budowlanych. Program ten częściowo przyczynił się do powstania nowych pozycji książkowych poruszających tematykę integracji technologii fotowoltaicznych w budownictwie.

Do najważniejszych pozycji naukowych z zakresu integracji technologii fotowoltaicznych należy zaliczyć książkę pt. *Building-Integrated Solar Technology: Architectural Design with Photovoltaics and Solar Thermal Energy* autorstwa Eiffert P., Kiss G. J. z roku 2000¹⁰. Pozycja ta w głównej mierze obrazuje zrealizowane obiekty budowlane wykorzystujące technologię BIPV wraz z szczerkowymi informacjami poruszającymi kwestię uzysków energetycznych oraz spraw ekonomicznych.

W książce Osmana Attmanna pt. *Green Architecture* z roku 2010¹¹ poruszającej kwestie architektury zrównoważonej oraz przyjaznej dla środowiska, autor podkreśla odpowiedzialność architektów za ekosystem pisząc „...architektura łączy się z ziemią, powstaje z zasobów środowiska naturalnego, powoduje zmiany środowiskowe i wpływa na życie ludzkie...” Opracowanie to przedstawia między innymi dostępne wówczas technologie wykorzystujące energię pochodzącą z odnawialnych źródeł jak i prezentuje możliwość zastosowania materiałów o niskiej energii wbudowanej.

Reasumując stan obszernych opublikowanych badań zajmujących się kwestią technologii solarnych w budownictwie możemy podzielić na te mające na celu zainspirowanie czytelnika do wykorzystywania energii fotonu (w głównej mierze są to publikacje książkowe). Podczas gdy ogromna ilość powstałych w ostatnim okresie artykułów naukowych podejmuje oraz rozszerza punktowe kwestie związane z efektywnością wykorzystywania technologii solarnych (w głównej mierze technologii fotowoltaicznych), podkreślając zalety stosowania jej wraz z innymi technologiami

¹⁰ P. Eiffert, G. J. Kiss, *Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, US 2000

¹¹ O. Attmann, *Green Architecture Advanced Technologies and Materials*, McGraw-Hill, Nowy Jork 2010

budowlanymi, jak np. zielonymi dachami, co prowadzi do znacznej redukcji efektu wyspy ciepła¹².

Uzupełnienia informacji dla niniejszej pracy stanowią naukowe czasopisma branżowe, takie jak „MDPI”, „Applied Energy”, „Detail”. W pracy zostały wykorzystane również informacje udostępniane przez niżej wymienionych producentów:

BIPV System Sp. z o.o.

Reformacka 6, 35-026 Rzeszów

Bruk–Bet Fotowoltaika

Mroźna 8, 33-102 Tarnów

Hewalex sp. z o.o. sp. k.

Płaska 27, 43-502 Czechowice-Dziedzice

ML System S.A

Zaczernie 190G, 36-062 Zaczernie

<https://mlsystem.pl>

SUNOVATION GmbH

Walter-Reis-Str. 1, 63785 Obernburg

SunPower Corporation

51 Rio Robles, San Jose, CA

Viessmann Sp. z o.o.

al. Karkonoska 65, 53-015 Wrocław

Systematyka zagadnienia wykorzystywania technologii solarnych oparta została na szczegółowym porównaniu informacji udostępnianych przez producentów wybranych systemów z opracowaniami naukowymi. Wśród podstawowych materiałów źródłowych pomocnych w skonstruowaniu niniejszej pracy należy wymienić:

¹² I. Zluwa, U. Pitha, The Combination of Building Greenery and Photovoltaic Energy Production-A Discussion of Challenges and Opportunities in Design, „Sustainability” 2021, vol.13, nr 3, s.1537

- anglojęzyczne prace naukowe;
- polskojęzyczne prace naukowe;
- informacje udostępniane przez producentów rozwiązań systemowych;
- własne badania realizacji obiektów oraz założeń urbanistycznych, w których wykorzystano technologie solarne;
- oraz udostępniane informacje o tychże realizacjach.

1.8 Założenia metodologiczne

Przyjęta teza oraz obrane cele wymusiły przyjęcie następującej struktury pracy:

- Zgłębiono problem badawczy, dotyczący analizy środków techniczno-przestrzennych stosowanych w architekturze współczesnej, związanych z pozyskiwaniem energii słonecznej za pośrednictwem technologii solarnych;
- Zebrano materiał badawczy w postaci:
 - publikacji książkowych podejmujących tematykę pozyskiwania energii w budownictwie;
 - bieżących artykułów naukowych dotyczących przedmiotowych technologii, publikowanych w bazach internetowych;
 - zdjęć oraz rysunków zamieszczonych na stronach internetowych pracowni projektowych oraz producentów systemów;
 - norm, ustaw i rozporządzeń określających wytyczne projektowe;
- W formie kart o spójnej grafice przedstawiono przykłady realizacyjne wykorzystujące technologię solarną zarówno w skali urbanistycznej jak i architektonicznej.
- Analiza materiału badawczego polegała na zinterpretowaniu zastosowanej technologii solarnej oraz skontrastowaniu ze sobą przykładów wraz z ukazaniem wariantowości danych systemów.
- Materiał badawczy posłużył do rozwinięcia następujących rozdziałów niniejszej pracy:
 7. Projektowanie urbanistyczne a technologia solarna
 8. Projektowanie architektoniczne a systemy solarne
 9. Wnioski

II. POTENCJAŁ ENERGETYCZNY TECHNOLOGII SOLARNYCH

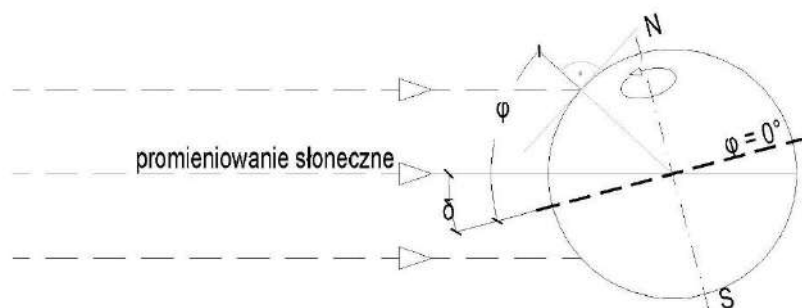
2. POTENCJAŁ ENERGETYCZNY TECHNOLOGII SOLARNYCH

2.1 Zasoby helioenergetyczne Polski

Reakcje termojądrowe zachodzące na powierzchni Słońca wyzwalają promieniowanie słoneczne, które w postaci fal elektromagnetycznych emituje we wszystkich możliwych kierunkach. Natężenie promieniowania słonecznego docierającego do Ziemi jest zróżnicowane poprzez ruch orbitalny, ruch wirowy planety oraz kąt deklinacji słonecznej uwarunkowany nachyleniem osi Ziemi wynoszącym około $23,45^\circ$. Składowe te prowadzą do zróżnicowania godzinowego oraz pojawienia się pór roku.

Ziemia znajduje się najbliżej Słońca około 3 stycznia, jest to tzw. perihelium wynoszące około 147.000 km, najdalej zaś dnia 4 lipca, kiedy wymiar ten (aphelium) powiększa się do 152 000 km. Wartości które można uznać za constans to tor poruszania się Ziemi (orbitę), poszczególne prędkości, odległości oraz kąt osi obrotu Ziemi.

Od kąta osi obrotu Ziemi zależny jest kąt deklinacji słonecznej δ . Opisuje on położenie osi obrotu Ziemi względem padającego promieniowania i zmienia się w zakresie od $-23,45^\circ$ do $+23,45^\circ$. Wartość deklinacji słonecznej jest równa zero w dniach równonocy¹³



Il. 1. Promienie słoneczne padające na Ziemię:

φ – szerokość geograficzna ($\varphi=0^\circ$ -> równik)

δ - deklinacja

(źródło: opracowanie własne)

Warto zauważyć, że różnica w czasie słonecznym jest ściśle związana z południkiem geograficznym. Różnica pomiędzy zachodnią a wschodnią granicą Polski wynosi około 40 minut czasu słonecznego. Nasze zegarki odmierzają czas strefowy,

¹³ F. Wolańczyk, *Jak wykorzystać дарowaną energię*, Wydawnictwo i Handel Książkami Ka-Be, Krosno 2019, s.20

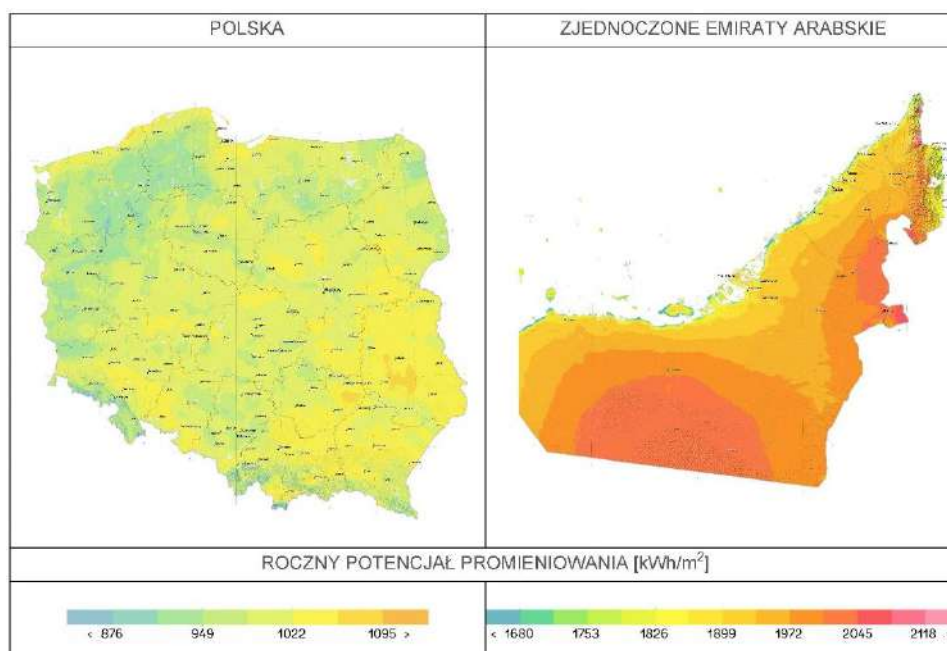
który jest uśredniony. Odpowiednio w okresie letnim używamy czasu strefowego, wyznaczonego przez południk 30°E – (czas wschodnioeuropejski) przebiegający między innymi przez miasto Prypeć na Ukrainie a czas w okresie zimowym determinuje południk 15°E – (czas środkowoeuropejski) – w Polsce są to okolice miasta Szczecin. Informacja ta jest ważna ze względu na wykorzystywanie wszelkich zależności geometrycznych (m.in. kierunków oraz kątów padania promieniowania słonecznego) w energetyce słonecznej.

2.2 *Potencjał promieniowania w Polsce*

Polska położona w strefie klimatu umiarkowanego między równoleżnikami 49°N a $54,5^{\circ}\text{N}$ uzyskuje średnie natężenie promieniowania słonecznego rzędu $950 - 1250 \text{ kWh/m}^2$ - wartość tę również nazywa się zamiennie nasłonecznieniem. Średnia sumaryczna liczba godzin słonecznych w ciągu roku wynosi 1600 – co stanowi około 18,2% długości całego roku – wartość nazywana usłonecznieniem. 75% tego czasu przypada w półroczu letnim – od kwietnia do końca września – około 1200 godzin a w półroczu zimowym – od października do marca liczba godzin słonecznych wynosi 400 godzin. Dla porównania w Zjednoczonych Emiratach Arabskich o szerokości geograficznej 25°N nasłonecznienie wynosi do 2200 kWh/m^2 a usłonecznienie 3000 godzin.

Polskie warunki klimatyczne pozwalają efektywnie wykorzystywać promieniowanie słoneczne ze względu na optymalną temperaturę otoczenia. Przegrzewający się moduł fotowoltaiczny znacznie traci na możliwości efektywnego konwertowania energii a ilość energii konwertowanej w kolektorach słonecznych w upalne dni nie jest w pełni wykorzystywana ze względu na jej chwilowy nadmiar.

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej na stacjach aktynometrycznych prowadzi pomiary oraz badania dopływu promieniowania słonecznego. Biorąc pod uwagę nasłonecznienie i usłonecznienie naukowcy z PAN wydzielili w Polsce 11 regionów oraz uszeregowali je pod kątem najkorzystniejszych warunków do budowy instalacji słonecznych. Jako najkorzystniejsze wybrano rejony: nadmorski, podlasko-lubelski, śląsko-mazowiecki, świętokrzysko-sandomierski, za mniej korzystne uznano: rejon pomorski, suwalski, warszawski i górnośląski.



Tab.1. Porównanie natężenia promieniowania słonecznego
(źródło wg. przypisu¹⁴)

2.3 Zasady konfiguracji przestrzennej instalacji solarnych

Nieodłączną kwestią związaną z produkcją energii za pośrednictwem technologii solarnych jest relacja konfiguracji przestrzennej instalacji oraz jej efektywności. Aspekty te są szeroko poruszane w artykułach naukowych często w kontekście poprawy efektywności energetycznej danego obiektu budowlanego¹⁵

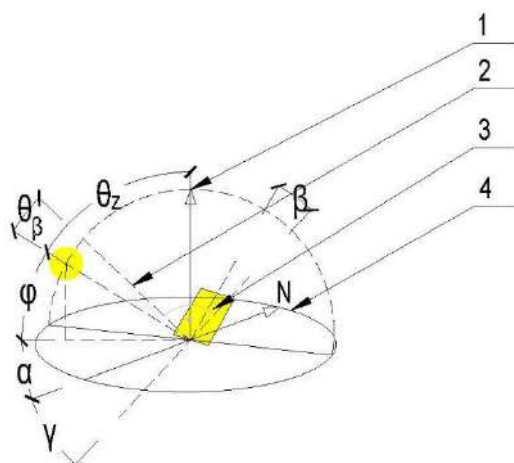
Ulokowanie generatorów energii wymaga określenia parametrów kątowych położenia Słońca względem obranego punktu. Jako składowe należy przyjąć wysokość kątową Słońca określaną w literaturze symbolem φ oraz azymut α . Są one funkcją szerokości δ , długości geograficznej λ , deklinacji Słońca oraz kąta godzinowego. Lokalizacja instalacji solarnych na powierzchni Ziemi obligatoryjnie odnosi się do długości i szerokości geograficznej.

W celu pełnego zobrazowania możliwości ulokowania generatora energii względem Słońca należy wprowadzić następujące wartości:

¹⁴ Opracowanie własne na podstawie danych Global Solar Atlas 2.0, <https://globalsolaratlas.info/global-pv-potential-study> [dostęp 17.02.2025]

¹⁵ S.A.E.M. El Gindi, Integration of Energy Efficiency measures and Renewable Energy technologies as an Approach to Sustainable development in Egypt, „Journal of Urban Research” 2020, vol. 36, s.102-117.

- β pochYLENIE generatora względem płaszczyzny horyzontu;
- γ azymut generatora, odchylenie od lokalnego południka mierzone względem kierunku południowego: na wschód – ujemne, na zachód – dodatnie;
- α azymut słoneczny, odchylenie rzutu kierunku bezpośredniego promieniowania słonecznego na powierzchnię Ziemi od kierunku południowego; wschodnie – ujemne, zachodnie – dodatnie;
- θ_z kąt zenitu, będący zarazem kątem padania promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą;
- θ_β kąt padania promieniowania słonecznego na powierzchnię generatora, mierzony między kierunkiem promieniowania bezpośredniego a normalną do generatora;
- φ wysokość Słońca, kąt mierzony pomiędzy kierunkiem promieniowania bezpośredniego a płaszczyzną horyzontu $\theta_z = 90^\circ - \varphi$



II. 2. Relacja przestrzenno-techniczna układu Słońce – generator

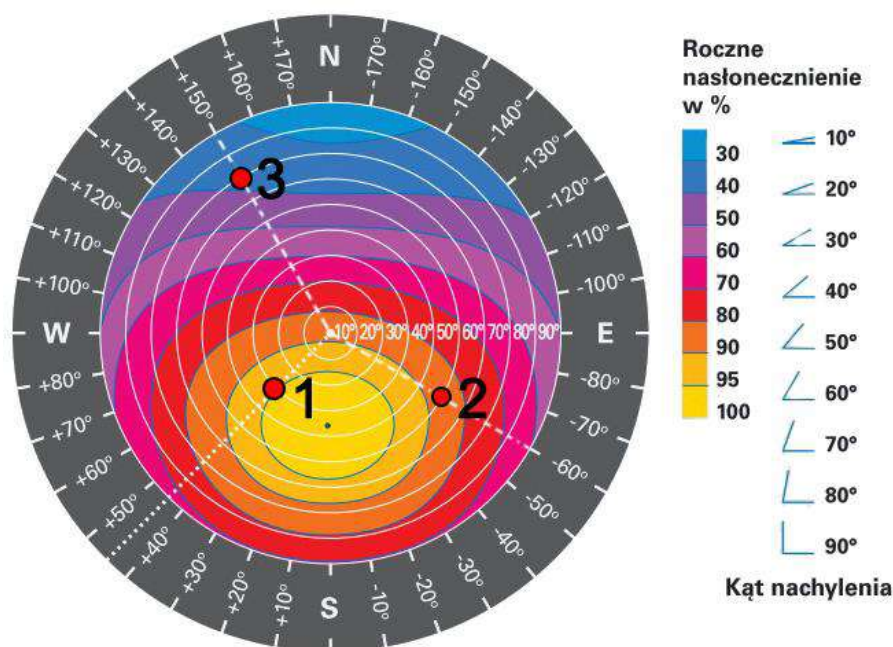
1 – zenit, 2 – normalna do generatora

3- generator, 4- horyzont

(źródło: opracowanie własne)

Źródła naukowe oraz producenci systemów posługują się sformułowaniem dotyczącym optymalnej lokalizacji instalacji solarnych. To znaczy że w zależności od zmiany parametrów określonych w ilustracji nr 2 zmianie ulega finalna wydajność instalacji. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że instalacje fotowoltaiczne w przeciwieństwie do instalacji kolektorowych są znacznie bardziej narażone na wpływ zacierania oraz w kontraście do instalacji kolektorowych efektywniej pracują przy niskim poziomie natężenia promieniowania słonecznego. Są one również mniej wrażliwe pod kątem wydajności na odchylenia od optymalnej lokalizacji¹⁶

¹⁶ Viessmann sp. z o.o., *Zeszyt fachowy - Fotowoltaika*, Wrocław 2018, s.16



Il. 3. Wpływ orientacji, nachylenia i zacielenia na energię promieniowaną
(źródło wg. przypisu¹⁷)

Powyższa ilustracja obrazuje relacje kąta pochylenia generatora względem płaszczyzny horyzontu (β) a azymutem generatora (γ). Optymalnym w granicach polskiej szerokości geograficznej, tzn. wykorzystującym największą wartość rocznego nasłonecznienia a tym samym produkcji energii jest zachowanie kąta β w przedziale $<30^\circ; 40^\circ>$ przy azymucie $\gamma=0^\circ$.

W poniższej tabeli przedstawiono różnice w procentowym wykorzystaniu dostępnego nasłonecznienia dla danej szerokości geograficznej. Przykładowe możliwości usytuowania generatora solarnego (punkty 1-3) oznaczono na ilustracji nr 3.

	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3
β	30°	50°	70°
γ	$+45^\circ$	-60°	$+150^\circ$
nasłonecznienie	95%	90%	40%

Tab.2. Porównanie wykorzystania dostępnego nasłonecznienia
(źródło: opracowanie własne)

¹⁷ Opracowanie własne na podstawie Viessmann sp. z o.o., *Zeszyt fachowy - Fotowoltaika*, Wrocław 2018, s.12

2.4 Efektywność instalacji solarnych

2.4.1 Technologia fotowoltaiczna

Zasadniczą kwestią związaną z produkcją energii za pośrednictwem technologii fotowoltaicznej jest jej ostateczna wartość, czyli ilość wyprodukowanego prądu. Podstawowym kryterium, umożliwiającym oszacowanie uzysku energetycznego jest sprawność ogniw fotowoltaicznych.

Parametr ten (sprawność generatora) określany jest przez producentów jako wartość procentowa (%) zbadana w warunkach testowych. Ustandaryzowane Warunki Testowe (Standard Test Conditions - STC) zakładają następujące parametry wejściowe¹⁸:

- temperatura ogniwa 25°C (po przekroczeniu tej temperatury następuje spadek wydajności);
- współczynnik gęstości atmosfery – 1,5 AM;
- natężenie promieniowania słonecznego równe $1000\text{W/m}^2 = (1\text{kW/m}^2)$.

Uzyskanie tego typu warunków atmosferycznych w Polsce jest problematyczne stąd niektórzy producenci używają również wskaźnika NOCT (Normal Operating Cell Temperature)¹⁹

- temperatura ogniwa 20°C (po przekroczeniu tej temperatury następuje spadek wydajności);
- współczynnik gęstości atmosfery – 1,5 AM;
- natężenie promieniowania słonecznego równe $800\text{W/m}^2 = (0,8\text{kW/m}^2)$;
- prędkość wiatru 1m/s.

Podane powyżej parametry są kluczowe dla wydajności ogniw fotowoltaicznych.

W tabeli nr 3, prezentowanej w dalszej części pracy przedstawiono różnice w ilości produkowanej energii przez ogniwa monokrystaliczne oraz polikrystaliczne. Te dwa rodzaje ogniw, z których produkowane są moduły wciąż stanowią najbardziej popularne rodzaje ogniw. Dla porównania przyjęto następujące założenia:

- powierzchnia generatora jest równa $1,63\text{m}^2$;
- zakładane nasłonecznienie wynosi $800\text{W/m}^2/\text{h}$;
- do obliczeń przyjęto uśrednione wartości sprawności;

¹⁸ Źródło: <https://fotowoltaikaonline.pl/efektywnosc> [dostęp 10.02.2025]

¹⁹ Źródło: <https://www.polenergia-pv.pl/blog/co-to-jest-sprawnosci-paneli-fotowoltaicznych> [dostęp 10.02.2025]

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że na rynku towarów dostępne są ogniwa fotowoltaiczne monokrystaliczne osiągające sprawność około 23%. Naukowcy z National Renewable Energy Laboratory (NREL) Departamentu Energii USA stworzyli ogniwo słoneczne o rekordowej sprawności 39,5%²⁰

	Ogniwo monokrystaliczne	Ogniwo polikrystaliczne
Deklarowana sprawność	16-22%; średnia 19%	14-16%; średnia 15%
Wyprodukowana energia	$800\text{W/m}^2 \cdot 19\% \cdot 1,63\text{m}^2 = 247,76 = \mathbf{248\text{Wp}}$	$800\text{W/m}^2 \cdot 15\% \cdot 1,63\text{m}^2 = 195,6 = \mathbf{196\text{Wp}}$

Tab.3. Porównanie produkcji energii w zależności od sprawności ogniw fotowoltaicznych
(źródło: opracowanie własne)

Producenci w swoich broszurach katalogowych dla poszczególnych modułów przedstawiają najczęściej finalną wartość przedstawioną w tabeli nr 3.

Szersze informacje dotyczące rodzajów oraz sprawności poszczególnych rodzajów ogniw przedstawiam w rozdziale nr 5 pt. Systemy fotowoltaiczne.

Poniżej wymieniono oraz omówiono główne zagrożenia, tzn. zjawiska wpływające na efektywność instalacji fotowoltaicznych.

- Zacienienie modułów

Ogniwa modułów fotowoltaicznych połączone są szeregowo, w momencie zacienienia jednego z ogniw w szeregu zaczyna się ono zachowywać jak odbiornik prądu (rezystor) nagrzewając się. Całe pole szeregowo (instalacja) dostarcza wtedy ilość prądu, która może swobodnie przepłynąć przez zacienione ogniwo.

Aspekt zacienienia instalacji powinien być rozważony w momencie jej projektowania lub najlepiej w początkowej fazie całego procesu projektowego, tj. etapu koncepcyjnego.

Zidentyfikowanie źródeł zacienienia oraz takie usytuowanie i optymalizacja geometryczna budynku ograniczająca negatywny wpływ zacienienia powinna stanowić jedno z podstawowych kryterium projektowych, gdy determinantą jest efektywność

²⁰ Źródło: <https://evolve.pl/najbardziej-wydajne-panele-fotowoltaiczne> [dostęp 10.02.2025]

energetyczna obiektu budowlanego. Wśród podstawowych przeszkód mogących zaciemniać instalacje należy wymienić:

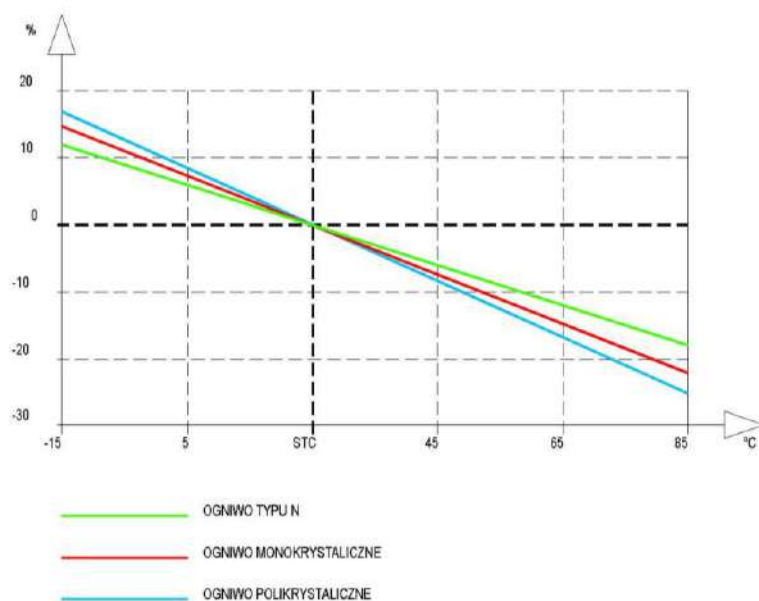
- sąsiednie budynki (również te mogące dopiero powstać);
- drzewa (które zmieniają swoją wysokość w czasie);
- czy też słupy energetyczne.

Od struktur budowlanych, wyposażenia obiektów znajdujących się na dachach i elewacjach budynków należy zachować odpowiedni odstęp określony w drodze analiz, najlepiej trójwymiarowych. Pomocne w tym zakresie jest modelowanie komputerowe. Przeprowadzenie tego typu analiz umożliwiają w dużej mierze programy bazujące na standardzie BIM²¹, takie jak Revit, Archicad, bądź szkicowo Sketchup wraz odpowiednimi wtyczkami, np. CuricSun.

- Zbyt wysoka temperatura ogniw

Temperatura ogniw przekraczająca próg określony w Ustandaryzowanych Warunkach

Testowych (STC) tj. 25°C prowadzi do spadku wydajności ogniw. Poniżej przedstawiono ilustrację (wykres) będący zmianą sprawności ogniw fotowoltaicznych w funkcji temperatury.



II. 4. Zmiana sprawności ogniw fotowoltaicznego w funkcji temperatury
(źródło: opracowanie własne)

²¹ BIM (ang. *Building Information Modeling*) – modelowanie informacji o budowaniu; cyfrowy zapis fizycznych i funkcjonalnych właściwości obiektu budowlanego

Zmiana temperatury w odniesieniu do wartości określonej w STC skorelowana jest z rzeczywistą wydajnością instalacji. Straty mieszczą się przedziale od 0,3% do 0,4% na 1K. Należy mieć na uwadze, że temperatura otoczenia skrajnie wynosząca około 40°C prowadzi do nagrzania modułu fotowoltaicznego do temperatury nawet 65°C, tym samym strata może wynosić nawet do 16% mocy. Warto zauważyć, że niska temperatura wpływa korzystnie na zachodzący proces fotowoltaiczny.

W celu ograniczania skutków związanych z przegrzewaniem się ogniw należy

- zapewnić właściwą wentylację przestrzeni pod modułami fotowoltaicznymi;
- rozważyć zastosowanie technologii PV-T (hybryda modułu fotowoltaicznego oraz kolektora słonecznego);
- w pewnych przypadkach niewystępujących w polskiej szerokości geograficznej prosumenci stosują osłony (rolety) zapobiegające nadmiernemu przegrzewaniu się modułów, które przy skrajnie wysokich temperaturach prowadzą do samozapłonu instalacji²².

- Zabrudzenie modułów

Pełne wykorzystanie potencjału promieniowania słonecznego wymaga aby powierzchnia modułów nie była zabrudzona. Potencjalny kurz, osiadający śnieg oraz innego rodzaju zanieczyszczenia prowadzą do ograniczenia ilości promieniowania docierającego do ogniw fotowoltaicznych, co przekłada się na spadek produkcji energii elektrycznej. Problem częściowo sam się rozwiązuje w wyniku opadów deszczu oraz roztopów²³.

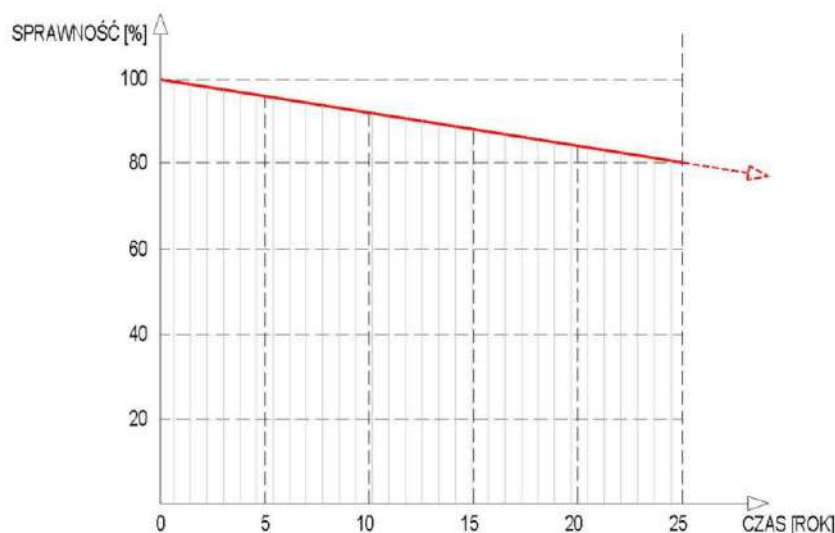
- Utrata sprawności wraz z upływem czasu

Ogniwa fotowoltaiczne wraz z biegiem czasu tracą swoją sprawność²⁴. Producenci określają dopuszczalny poziom utraty efektywności w kartach katalogowych produktów udzielając tak zwanej „gwarancji na uzysk” energii, najczęściej na okres 25 lat.

²² Źródło: <https://www.fotowoltaikaborton.pl/czy-instalacje-fotowoltaiczne-moga-sie-przegrzewac/> [dostęp 10.02.2025]

²³ Źródło: <https://akademia-fotowoltaiki.pl/sprawnosci-paneli-fotowoltaicznych/> [dostęp 10.02.2025]

²⁴ B.A. Nieto-Díaz, A.F. Crossland, C. Groves, A levelized cost of energy approach to select and optimise emerging PV technologies: The relative impact of degradation, cost and initial efficiency, „Applied Energy” 2021, vol. 299



Il. 5. Zmiana sprawności ogniwa fotowoltaicznego w funkcji czasu
(źródło: opracowanie własne)

- Straty na osprzęcie

Instalacja fotowoltaiczna oprócz samych modułów z ogniwami fotowoltaicznymi składa się z osprzętu, między innymi przewodów (okablowania) oraz inwertera (falownika) zamieniającego prąd stały na prąd zmienny. Niekiedy instalacje rozszerza się o magazyn energii akumulatory. Najwięcej strat pojawia się na inwerterze – rzędu od 3% do 7%, okablowanie powoduje średnią utratę 1% mocy. Straty te związane są z przetwarzaniem i przekazywaniem energii, która częściowo zamienia się w ciepło i jest tym samym bezpowrotnie tracona. Komponenty wchodzące w zakres instalacji fotowoltaicznej staram się przedstawić oraz omówić w rozdziale nr 5, poświęconym systemom fotowoltaicznym.

2.4.2 Technologia kolektorowa

W przeciwieństwie do technologii fotowoltaicznej technologia kolektorowa nie zajmuje się konwersją energii fotonu na prąd stały lecz na ciepło (konwersja fototermiczna). Podobnie jak w przypadku technologii fotowoltaicznych sprawność poszczególnych kolektorów ma kluczowe znaczenie w procesie produkcji ciepła. Szacuje się, że nakłady energii potrzebnej do ogrzewania obiektu oraz generowania ciepłej wody użytkowej wynoszą od 50% do 75%²⁵ całkowitego zapotrzebowania energetycznego budynku – w zależności od jego funkcji oraz strefy klimatycznej.

²⁵ F. Motte, G. Notton, C. Cristofari, J.-L. Canaletti, *A building integrated solar collector: Performances characterization and first stage of numerical calculation*, „Renewable Energy” 2013, vol. 299, s. 1-5.

W przypadku kolektorów słonecznych wprowadzono termin uzysku solarnego. Wyraża on zdolność generatorów do przechwycenia energii promieniowania słonecznego i konwersji ich do celów grzewczych. Stopień wykorzystania tejże energii przez kolektory nazywany jest ich sprawnością i wynosi ona w typowym zakresie temperatur roboczych zwykle od 50 do 70%²⁶. Górą granicą sprawności kolektora jest wartość tzw. sprawności optycznej, którą wyznacza się podczas badań laboratoryjnych zgodnie z normą PN-EN 12975:2022-08 „Solar collectors — General requirements”.

Dobrej jakości kolektory słoneczne spełniają wymagania określone w schemacie certyfikacyjnym Solar Keymark²⁷. Podstawowe parametry wpływające na wydajność generatora odnoszone są do powierzchni apertury, czyli części czynnej (nasłonecznionej) kolektora słonecznego, wśród nich wymienić należy:

- sprawność optyczna (η_0);
- współczynnik strat ciepła liniowych (a_1);
- współczynnik strat ciepła nieliniowych (a_2);
- temperatura stagnacji kolektora słonecznego (t_{stg}).

Powyższe zmienne określone są przez producentów kolektorów w drodze badań laboratoryjnych.

Zależność poszczególnych zmiennych obrazuje poniższy wzór:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_a - t_e}{G} - a_2 G \left(\frac{t_a - t_e}{G} \right)^2$$

η obliczeniowa sprawność kolektora

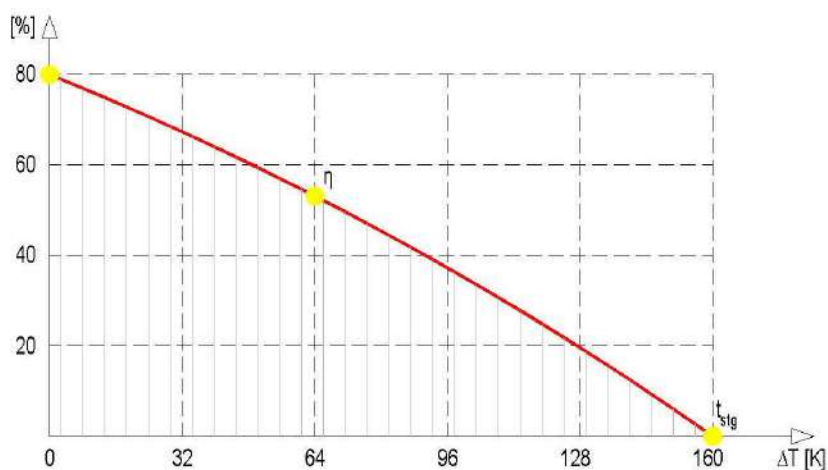
G natężenie promieniowania słonecznego

$t_a - t_e$ różnica temperatur między kolektorem a jego otoczeniem (ΔT [K])

Sprawność optyczna (η_0) wraz z podanymi współczynnikami strat ciepła liniowych (a_1) oraz nieliniowych (a_2) oraz temperatury stagnacji kolektora słonecznego (t_{stg}) umożliwia stworzenie wykresu sprawności kolektora słonecznego η przy wykorzystaniu wzoru przedstawionego powyżej.

²⁶Źródło: <https://www.hewalex.pl/wiedza/porady/kolektory/sprawnosc-kolektora-slonecznego/> [dostęp 10.02.2025]

²⁷Źródło: https://www.dincertco.de/media/dincertco/dokumente_1/brochures/solarthermische_produkte_thermal_solar_produ_cts_flyer.pdf [dostęp 10.02.2025]



II. 6. Obliczeniowa sprawność kolektora słonecznego
(źródło: opracowanie własne)

Poniżej przedstawiono główne zagrożenia, tzn. zjawiska wpływające na efektywność instalacji kolektorowych.

- Wpływ temperatury

Charakterystyka sprawności kolektora słonecznego jest bezpośrednio związana z bilansem energetycznym zachodzącym pomiędzy uzyskiem wchłoniętego promieniowania słonecznego a stratami optycznymi oraz termicznymi.

Cechą kluczową przedstawionej powyżej krzywej jest spadek sprawności obliczeniowej kolektora wraz ze zwiększającą się różnicą temperatur pomiędzy absorberem a otoczeniem (ΔT).

Straty optyczne w przeciwieństwie do strat ciepła nie są związane z różnicą temperatur ΔT . Tym samym efektywność pracy kolektora słonecznego zwiększa się wraz ze spadkiem temperatury absorbera²⁸.

- Dodatkowo podobnie jak w przypadku technologii fotowoltaicznych wśród potencjalnych

zagrożeń wymienić należy zacienienie kolektorów ich zabrudzenie oraz żywotność szacowaną przez producentów na 15-20lat.

²⁸ Źródło: <https://fizyka.wip.pcz.pl/wp-content/uploads/2021/10/CW-6.pdf> [dostęp 10.02.2025]

III. ZAGADNIENIA PRAWNE I EKONOMICZNE

3. ZAGADNIENIA PRAWNE I EKONOMICZNE

3.1 Regulacje Unii Europejskiej

Większość powstałych regulacji prawnych związanych z poprawą efektywności energetycznej obiektów należy rozpatrywać w kontekście zachodzących zmian klimatycznych. Globalne ocieplenie klimatu, zanieczyszczenie środowiska, w tym atmosfery skutkujące co raz częściej występującymi katastrofami środowiskowymi, doprowadziły do podjęcia działań przez społeczności międzynarodowe.

Nadrzędnym celem ratyfikowanych porozumień pozostaje szeroko rozumiana ochrona klimatu. Historia pokazuje, że tego typu aktywności mają sens. Najbardziej jaskrawy przykład skuteczności podjętych działań zauważalny jest w ograniczeniu powstawania dziury ozonowej w atmosferze. Działania międzynarodowe podjęto w 1985 roku w momencie uchwalenia *„Konwencji wiedeńskiej w sprawie ochrony warstwy ozonowej”*²⁹. Zobowiązywała ona państwa sygnatariuszy do ograniczenia emisji gazów powodujących zubażanie warstwy ozonowej.

Kolejnym krokiem mającym na celu przeciwdziałanie powiększania się dziury ozonowej było podpisanie protokołu montrealskiego w 1987 roku.. Porozumienie to doprowadziło do wprowadzenia przez 196 krajów regulacji, które miały skutkować redukcją emisji substancji zubożających warstwę ozonową. Emisja niektórych związków chemicznych, przyczyniających się do wzrostu dziury ozonowej została zredukowana aż o 90%.³⁰

W dalszej części rozdziału przedstawione oraz omówione zostały najważniejsze regulacje prawne uchwalone w minionych latach, mające wpływ na rozwój oraz powszechniejsze wykorzystywanie energii pochodzących z odnawialnych źródeł, w tym pochodzących z technologii solarnych.

²⁹ Źródło: <https://eur-lex.europa.eu/PL/legal-content/summary/vienna-convention-for-the-protection-of-the-ozone-layer.html> [dostęp 10.02.2025]

³⁰ Źródło: <https://csl.noaa.gov/assessments/ozone/2018/executivesummary/> [dostęp 10.02.2025]

3.1.1 Porozumienie paryskie

Porozumienie paryskie, będące początkiem drogi Unii Europejskiej do neutralności klimatycznej, zostało podpisane jako akt wieńczący Dwudziestą Pierwszą Konferencję Organizacji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu w 2015 roku. Zastąpiło ono protokół z Kioto z 1997 roku. Porozumienie zaakceptowane zostało przez wszystkie 195 państw uczestniczących w Konferencji. Składanie podpisów pod porozumieniem rozpoczęło 22 kwietnia 2015 roku³¹.

Wśród długoterminowych celów, określonych w artykule drugim porozumienia jest wzmocnienie odpowiedzi na zagrożenia związane ze zmianami klimatu przy uwzględnieniu ścieżki zrównoważonego rozwoju. Jako nadrzędne długoterminowe cele określono³²:

- Ograniczenie globalnego ocieplenia znacznie poniżej 2 °C, a docelowo do 1,5 °C względem epoki przedprzemysłowej w celu ograniczenia ryzyka i szkód wywołanych przez zmianę klimatu;
- Adaptację i ograniczanie skutków zmian klimatu, wzmacnianie odporności i niskoemisyjnego rozwoju w sposób, który nie ogranicza produkcji pożywienia;
- Uwzględnienie zgodności działań sektora finansowego z celami klimatycznym.

Państwa sygnatariusze Porozumienia paryskiego zostały zobowiązane do przedstawiania oraz aktualizowania co pięć lat dobrowolnych celów krajowych (INDC - Intended Nationally Determined Contributions)³³. W celu spełnienia wymagań określonych w Porozumieniu poszczególne kraje mają za zadanie zwiększyć wysiłki na rzecz szybkiego osiągnięcia szczytu emisji globalnych gazów cieplarnianych a następnie szybko zredukować tą wartość. Docelowym osiągnięciem powinna być neutralność klimatyczna krajów w drugiej połowie XXI wieku.

Neutralność klimatyczna jest wizją świata, w którym globalne emisje gazów cieplarnianych będą w stanie zbilansować się z tym, co mogą zneutralizować lasy i oceany w wyniku zjawiska nazywanego absorpcją planetarną. Obowiązek raportowania do Sekretariatu ONZ podjętych działań mają zarówno kraje rozwinięte, jak i rozwijające się. Porozumienie przewiduje, że w przypadku tych drugich ścieżka dojścia do neutralności klimatycznej może być dłuższa.

³¹ Źródło: <https://www.consilium.europa.eu/pl/infographics/paris-agreement-eu/> [dostęp 10.02.2025]

³² Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Porozumienie_paryskie [dostęp 10.02.2025]

³³ Źródło: <https://www.wri.org/indc-definition> [dostęp 10.02.2025]



Il. 7. Oś czasu związana z Porozumieniem paryskim
(źródło: opracowanie własne)

3.1.2 Europejskie prawo o klimacie

Rozwinięcie porozumienia paryskiego w skali europejskiego poskutkowało wprowadzeniem w 2021 roku zmian „Europejskiego prawa o klimacie”. Rozporządzenie (UE) 2021/1119 ustanawia ramy na potrzeby osiągnięcia neutralności klimatycznej oraz zmieniło rozporządzenia (WE) nr 401/2009 i (UE) 2018/1999 (Europejskie prawo o klimacie). Do nadrzędnych celów Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE zaliczyć należy³⁴:

- ustanowienie kroków służących osiągnięciu neutralności klimatycznej w Unii Europejskiej 2050 r. tj. zrównoważenia w całej UE emisji gazów cieplarnianych i ich pochłaniania uregulowanych unijnym prawem;
- stanowisko, że oprócz wiążącego celu, polegającego na osiągnięciu neutralności klimatycznej do 2050 r. UE powinna następnie dążyć do osiągnięcia ujemnych emisji;
- ustanowienie wiążącego celu dla UE zakładającego ograniczenie unijnych emisji netto gazów cieplarnianych do 2030 r. o co najmniej 55 % (w porównaniu z poziomami z 1990 r.) oraz przewiduje określenie celu klimatycznego na 2040 r. w ciągu sześciu miesięcy od pierwszego globalnego przeglądu przeprowadzonego w ramach porozumienia paryskiego;
- wprowadzenie przepisów zapewniających ciągle postępy w realizacji globalnego celu w zakresie przystosowywania się do zmiany klimatu, ustanowionego na mocy porozumienia paryskiego.

Europejskie prawo o klimacie wymaga, aby instytucje Unii Europejskiej oraz państwa członkowskie zwiększały zdolność do adaptacji, wzmacniały odporność i zmniejszały podatność na zmiany klimatu. Strategie dotyczące przystosowania się do zmian klimatycznych powinny być wewnętrznie spójne i działać na rzecz lepszej integracji we wszystkich obszarach.

³⁴ Źródło: <https://eur-lex.europa.eu/PL/legal-content/summary/european-climate-law.html> [dostęp 10.02.2025]

3.1.3 Europejski zielony ład

Europejski zielony ład to unijna strategia wzrostu gospodarczego powiązana z zasadami zrównoważonego rozwoju. Przyjęty w 2019 roku zbiór inicjatyw polityczno-społecznych skierował Unię Europejską na ścieżkę eko-transformacji, której celem jest osiągnięcie do 2050 roku neutralności klimatycznej.

Zielony ład jest unijnym wkładem w porozumienie paryskie, które zostało ratyfikowane zarówno przez Unię Europejską jak i wszystkie jej państwa członkowskie. Wpisuje się on również we wspieranie tworzenia się w UE społeczeństwa, któremu żyje się dostatnio w otoczeniu nowoczesnej i konkurencyjnej gospodarki.

Zielony ład podnosi kwestię związaną z odpowiedzialnością wszystkich sektorów gospodarczych za zmianę klimatu. W ramach zielonego ładu Rada razem z Parlamentem Europejskim, jako współustawodawcy przyjęli legislację, która przekształciła wizję zawartą w strategii w przepisy prawne dotyczące wszystkich państw członkowskich UE.

Poniżej podano kluczowe cele zielonego ładu³⁵:

- neutralność klimatyczna, będąca ambitnym planem UE na bycie pierwszym w świecie obszarem tego typu;
- gospodarka o obiegu zamkniętym, w którym produkty są ponownie wykorzystywane, naprawiane lub poddawane recyklingowi, co prowadzić ma do zmniejszenia ilości odpadów oraz chronić zasoby nieodnawialne;
- czysty przemysł, zrównoważony oraz energooszczędny;
- zdrowsze środowisko, w którym podejmuje się plany odbudowy przyrody i działań na rzecz eliminacji zanieczyszczeń;
- zrównoważone rolnictwo wykorzystujące ekologiczne praktyki rolnicze chroniące środowisko przy jednoczesnym zapewnieniu zdrowej i przystępnej cenowo żywności;
- sprawiedliwość i równość klimatyczna.

³⁵ Źródło: <https://www.consilium.europa.eu/pl/policies/green-deal/> [dostęp 10.02.2025]

3.1.4 „Gotowi na 55”

Omówione w powyższych podpunktach rozdziału zagadnienia poruszały kwestię związaną z zapisami zawartymi w europejskim prawie o klimacie dotyczącymi obowiązkowego unijnego celu klimatycznego, tj. ograniczenia emisji w UE o co najmniej 55% do 2030 r. Obecnie państwa członkowskie UE nadal pracują nad nowymi przepisami, które pozwolą ten cel osiągnąć, a do 2050 r. uczynić UE neutralną dla klimatu. Pakiet „Gotowi na 55” to zestaw wniosków ustawodawczych mających zmienić i uaktualnić unijne przepisy oraz ustanowić nowe inicjatywy, tak by polityka UE była zgodna z celami klimatycznymi ustalonymi przez Radę i Parlament Europejski. Pakiet ma stanowić spójne i wyważone ramy realizacji unijnych celów klimatycznych tj.:

- zapewnić sprawiedliwy społecznie charakter transformacji;
- utrzymać i zwiększyć innowacyjność i konkurencyjność unijnego przemysłu, a równocześnie zagwarantować równość szans względem podmiotów gospodarczych z państw trzecich;
- umocnić pozycję UE jako lidera globalnej walki ze zmianą klimatu.

Nazwa pakietu „Gotowi na 55” odnosi się do celu, którym jest redukcja emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 55% do 2030 roku. Proponowany pakiet rozwiązań ma na celu dostosować unijne przepisy.

Wśród pakietu rozwiązań znajdują się propozycje dotyczące energetyki oraz obiektów budowlanych, m.in.:

- redukcja emisji gazów cieplarnianych powstających w związku z budową oraz użytkowaniem budynków,
- zwiększenie udziału energii pochodzącej z odnawialnych źródeł,
- budowa „bardziej zielonych” obiektów w UE

Pakiet „Gotowi na 55” zawiera propozycję nowelizacji dyrektywy o odnawialnych źródłach energii. Proponuje się w niej, by do 2030 r. podnieść z 32% do co najmniej 40% obecny unijny cel, którym jest udział odnawialnych źródeł energii w ogólnym koszyku energetycznym.³⁶

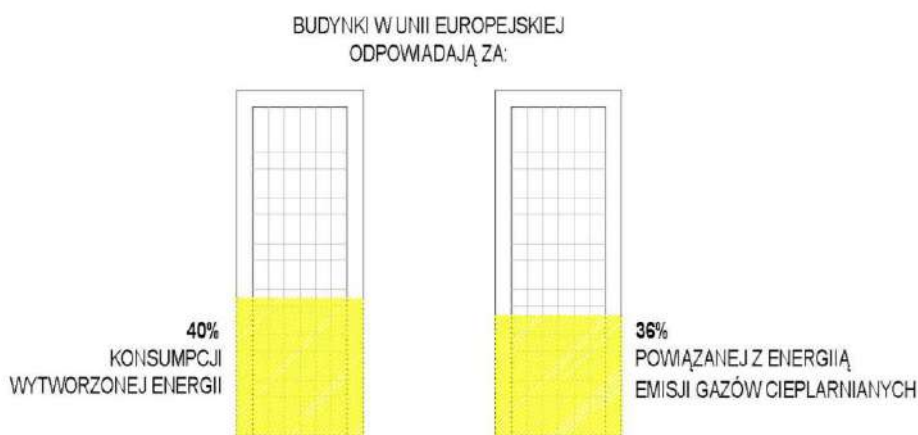
³⁶ Źródło: <https://www.consilium.europa.eu/pl/policies/fit-for-55/> [dostęp 10.02.2025]

3.2 Wpływ regulacji unijnych na obiekty budowlane w kontekście technologii solarnych

W poprzedniej części niniejszego rozdziału przedstawiono kluczowe kwestie, wpływające w bezpośredni sposób na proces projektowy obiektów budowlanych. Wpływ w ten w większości związany jest z kwestiami energetycznymi. W niniejszym punkcie przedstawiono zwięzłe podsumowanie nadchodzących zmian, do których architekci będą zmuszeni zaadoptować swoje działania.

Budynki odpowiadają za ponad jedną trzecią emisji gazów cieplarnianych w UE. Ograniczenie tych emisji – poprzez większą efektywność energetyczną lub mniejsze zużycie energii – ma kluczowe znaczenie dla osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r. Rewizja dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej budynków – część pakietu Fit for 55 – ma na celu uczynienie budynków w UE bardziej energooszczędnymi. W październiku 2022 r. państwa członkowskie UE na posiedzeniu w Radzie uzgodniły wspólne stanowisko w sprawie propozycji Komisji dotyczącej rewizji tej dyrektywy. W dniu 7 grudnia 2023 r. Rada i Parlament osiągnęły wstępne porozumienie polityczne w sprawie wniosku.

Nowe przepisy zostały przyjęte w kwietniu 2024 r.



II. 8. Energia zużywana w budynkach w Unii Europejskiej
(źródło: opracowanie własne)

Szacuje się również, że prawie 75% istniejących budynków jest nieefektywna energetycznie i będzie wymagała modernizacji, związanych z redukcją zużywanej energii oraz emisji gazów cieplarnianych.

W związku z faktem generowania przez budynki w Unii Europejskiej ponad 1/3 gazów cieplarnianych wszystkie nowoprojektowane obiekty (z wyjątkami podanymi na

następnej stronie) po roku 2030 będą musiały być zeroemisyjne. Wymóg ten od 2028 roku będzie dotyczył wszystkich budynków nowoprojektowanych będących własnością władz publicznych lub przez nich użytkowanych.³⁷

W docelowym modelu wszystkie budynki w UE do roku 2050 będą musiały być zero-emisyjne. Budynki istniejące niepełniące funkcji mieszkalnych będą musiały mieć obniżoną konsumpcję energii określoną w dyrektywie EPBD – Energy Performance of Buildings Directive minimalnie o 16% do roku 2030 oraz o 26% do roku 2033. Budynki istniejące pełniące funkcją mieszkalną o 16% do roku 2030 i o 20% do roku 2035. Wśród budynków zwolnionych z powyższych wymagań należy wymienić następujące obiekty:

- obiekty zabytkowe,
- obiekty kultu religijnego,
- budynki wolnostojące o powierzchni zabudowy do 50m²,
- budynki lotniskowe,
- budynki wojskowe,
- budynki przemysłowe.

Niżej wymienione budynki **będą musiały posiadać instalacje wykorzystujące technologię solarną**, pod warunkiem możliwości technicznych oraz uzasadnienia funkcjonalnego i ekonomicznego. Ustawodawca unijny dopuszcza wyjątki prawne na poziomie regulacji krajowych³⁸.

Od roku	Funkcja obiektu
2027	Nowoprojektowane budynki użyteczności publicznej oraz budynki niemieszkalne o powierzchni użytkowej ponad 250m ²
2028	Istniejące budynki użyteczności publicznej oraz budynki niemieszkalne o powierzchni użytkowej ponad 2000m ²
2028	Istniejące budynki niemieszkalne o powierzchni użytkowej ponad 500m ² poddawane przebudowie wymagającej przeprowadzenia stosownej procedury administracyjnej (zgłoszenie lub pozwolenie na budowę)

Kontynuacja tabeli na następnej stronie

³⁷ Źródło: <https://www.consilium.europa.eu/pl/8-ways-life-in-the-eu-is-becoming-greener/> [dostęp 10.02.2025]

³⁸ Źródło: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/> [dostęp 10.02.2025]

2029	Istniejące budynki użyteczności publicznej oraz budynki niemieszkalne o powierzchni zabudowy ponad 750m ²
2030	Nowoprojektowane budynki mieszkalne oraz nowoprojektowane zadane miejsca postojowe
2031	Istniejące budynki użyteczności publicznej o powierzchni użytkowej ponad 250m ²

Tab.4. Tabela prezentująca obowiązek wykonywania instalacji solarnych w zależności od funkcji obiektu (opracowanie własne na podstawie materiałów Rady Europejskiej)

3.3 Polskie normy i regulacje prawne

W Polsce proces projektowy funkcjonuje w otoczeniu skomplikowanych oraz mnogich przepisów. Na uchwalane ustawy oraz wydawane rozporządzenia wpływ mają omówione w poprzedniej części niniejszego rozdziału regulacje Unii Europejskiej.

Źródła powszechnie obowiązującego prawa Rzeczypospolitej Polskiej posiadają swoją hierarchię podaną poniżej:

- Konstytucja jako najwyższy akt prawny;
- ratyfikowane umowy międzynarodowe;
- ustawy i rozporządzenia z mocą ustawy;
- rozporządzenia;
- akty prawa miejscowego;
- przepisy końcowe.

Wśród istotnych aktów prawnych o charakterze ustawy wpływających na proces projektowy wymienić należy³⁹:

- ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (Dz. U. z 2024 r. poz. 725, z późn. zm.)
- ustawa z dnia 11 sierpnia 2001 r. o szczególnych zasadach odbudowy, remontów i rozbiórek obiektów budowlanych zniszczonych lub uszkodzonych w wyniku działania żywiołu (Dz. U. z 2020 r. poz. 764, z późn. zm.);
- ustawa z dnia 14 czerwca 1960 r. Kodeks postępowania administracyjnego.(Dz.U. 1960 nr 30 poz. 168, z późn. zm.);

³⁹ Źródło: <https://isap.sejm.gov.pl/> [dostęp 10.02.2025]

- ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Dz.U. 2004 nr 92 poz. 880, z późn. zm.);
- ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami (Dz.U. 2003 nr 162 poz. 1568, z późn. zm.);
- ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. (Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627, z późn. zm.);
- ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. 2003 nr 80 poz. 717, z późn. zm.);
- ustawa z dnia 9 października 2015 r. o rewitalizacji (Dz.U. 2015 poz. 1777, z późn. zm.).

Na mocy ustaw wymienionych powyżej ministrowie poszczególnych resortów wydają rozporządzenia wpływające na proces inwestycyjny oraz realizację obiektów budowlanych. Dodatkowo tworzy się również akty prawa miejscowego takie jak plany zagospodarowania przestrzennego oraz wydaje się decyzje o warunkach zabudowy (w przypadku inwestycji o charakterze publicznym są to decyzji o uzgodnieniu lokalizacji inwestycji celu publicznego).

Poniżej przedstawiono listę⁴⁰ obecnie obowiązujących rozporządzeń wydanych na podstawie ustawy Prawo budowlane. Wedle subiektywnej oceny wybrano rozporządzenia i zarządzenia, którymi najczęściej kierują się architekci podczas prac projektowych:

- rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2022 r. poz. 1225, z późn. zm.);
- rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 13 stycznia 2023 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie (Dz. U. poz. 297);
- zarządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 12 marca 1996 r. w sprawie dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia,

⁴⁰ Źródło: <https://www.gunb.gov.pl/strona/obowiazujace-akty-prawne> [dostęp 10.02.2025]

wydzielanych przez materiały budowlane, urządzenia i elementy wyposażenia w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi (M. P. poz. 231);

- rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 23 czerwca 2003 r. w sprawie informacji dotyczącej bezpieczeństwa i ochrony zdrowia oraz planu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia (Dz. U. poz. 1126);
- rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 11 września 2020 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz. U. z 2022 r. poz. 1679, z późn. zm.);
- rozporządzenie Ministra Transportu Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz. U. poz. 463);
- rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 2 lutego 2021 r. w sprawie określenia wzoru formularza wniosku o wydanie decyzji o niezbędności wejścia do sąsiedniego budynku, lokalu lub na teren sąsiedniej nieruchomości (Dz. U. poz. 296);

Dodatkowo wymienić należy⁴¹:

- rozporządzenie Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego z dnia 2 sierpnia 2018 r. w sprawie prowadzenia prac konserwatorskich, prac restauratorskich i badań konserwatorskich przy zabytku wpisanym do rejestru zabytków albo na Listę Skarbów Dziedzictwa oraz robót budowlanych, badań architektonicznych i innych działań przy zabytku wpisanym do rejestru zabytków, a także badań archeologicznych i poszukiwań zabytków (Dz.U. 2018 poz. 1609);

Wśród dokumentów formalnych, mających decydujący wpływ na możliwość efektywnego wykorzystania technologii solarnych w architekturze należy wymienić zapisy przedstawione w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego⁴² dla danego terenu lub decyzji o warunkach zabudowy⁴³. Dokumenty te określając formy obiektów w tym rodzaj dachu, kąty nachylenia połaci dachowych, kolorystykę oraz

⁴¹ Źródło: <https://www.izbaarchitektow.pl/kategoria/ustawy-i-rozporzadzenia,183/> [dostęp 10.02.2025]

⁴² Miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego, będący aktem prawa miejscowego uchwalony zgodnie z rozporządzeniem Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 17 grudnia 2021 r. w sprawie wymaganego zakresu projektu miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego (Dz.U. 2021 poz. 2404)

⁴³ Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 15 lipca 2024 r. w sprawie sposobu ustalania wymagań dotyczących nowej zabudowy i zagospodarowania terenu w przypadku braku miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego (Dz.U. 2024 poz. 1116)

materiały elewacji, orientację kalenicy obiektu względem drogi frontowej (stron świata) wpływają na efektywność wykorzystywania technologii solarnych. Profesor Wacław Celadyn twierdzi że, „w problematyce architektury energooszczędnej pomija się z reguły aspekty prawne dotyczące jej relacji z planowaniem przestrzennym. Tymczasem powinny być spełnione specyficzne wymogi przestrzenne budynków ekologicznych i energooszczędnych wraz z ich otoczeniem, w celu skutecznego pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. Miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego w celu zapewnienia wymaganego zrównoważonego rozwoju przestrzennego powinny zawierać odpowiednie parametry urbanistyczne dla zespołów takich budynków.”⁴⁴ Wśród wniosków szczegółowych Profesor Wacław Celadyn zwraca uwagę na konieczność zapewnienia w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego:

- korzystnego układu dróg i ulic,
- odpowiednią wielkość i proporcje działek budowlanych w przypadku ich podziałów geodezyjnych bądź scalania,
- odpowiedni przebieg obowiązujących linii zabudowy i rezygnację z nieprzekraczalnych linii zabudowy,
- wybór właściwej formy dachów w zależności od kierunku przebiegu ulic,
- odpowiednie kąty spadku dachów w przypadku dachów stromych i kierunki ich kalenicy.

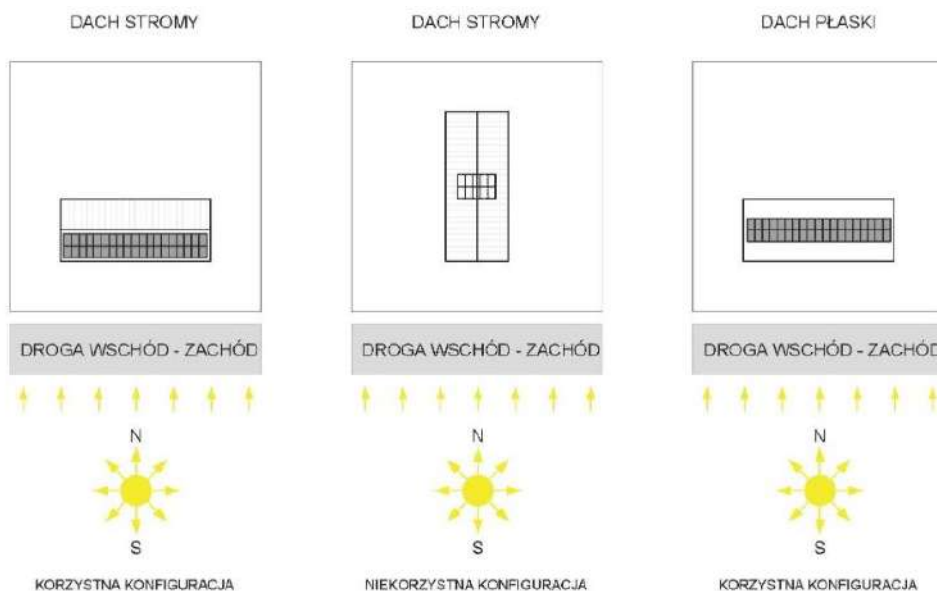
W dalszej części pracy zilustrowano rozważania dotyczące korzystnych oraz niekorzystnych układów dachów, opracowane na podstawie artykułu naukowego „Investigation of the Effective Use of Photovoltaic Modules in Architecture”⁴⁵. Kwestie urbanistyczne związane z technologią solarną zostały szerzej omówione w rozdziale 7.

Przedstawione ilustracje w tej części pracy mają za zadanie podkreślić rolę przeprowadzania analiz na etapie opracowywania miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego. Przedstawione konfiguracje mają swoje zastosowanie zarówno przy wykorzystywaniu technologii fotowoltaicznych jak i kolektorowych. Ilustracje nr 9 -11 obrazują potencjalne korzystne oraz niekorzystne możliwości lokalizacji generatorów względem orientacji drogi dojazdowej do frontu działki. Ilustracje wskazują również dachy płaskie jako najbardziej neutralny rodzaj dachu pod kątem zapewnienia maksymalnej możliwości wykorzystania natężenia

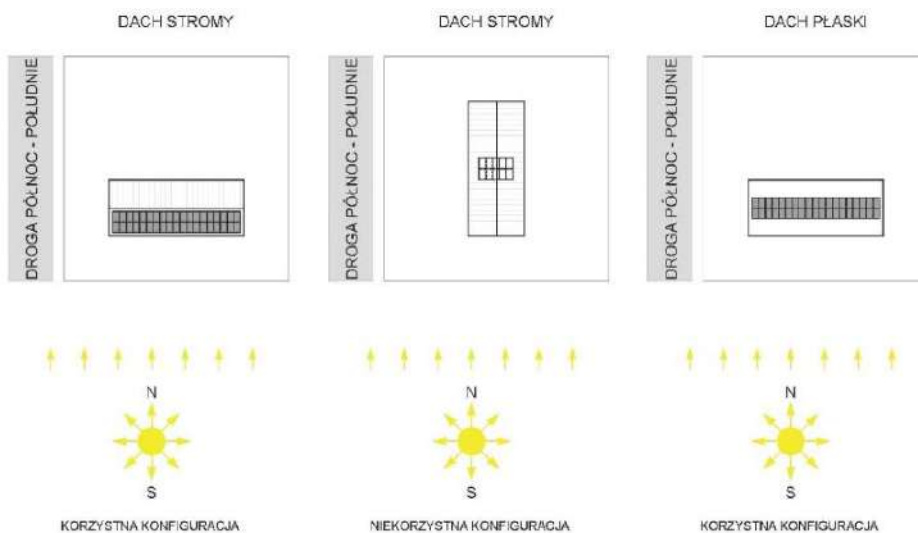
⁴⁴ W. Celadyn, *Architektura energooszczędna w planowaniu przestrzennym*, „Czasopismo Techniczne Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej” 2010, nr 18, s.111-120.

⁴⁵ W. Celadyn, P. Filipek, *Investigation of the Effective Use of Photovoltaic Modules in Architecture*, „Buildings” 2020, vol. 10, nr 9, s.145

promieniowania słonecznego (funkcji nachylenia generatorów oraz ich kąta azymutalnego) przedstawione na ilustracji nr 3 (strona 22).



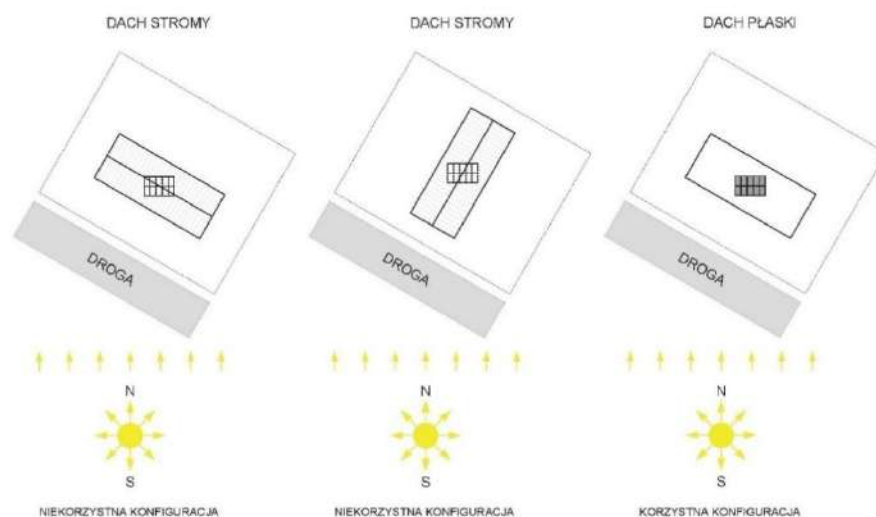
II. 9. Lokalizacja generatorów względem lokalizacji drogi E-W
(źródło wg. przypisu⁴⁶)



II. 10. Lokalizacja generatorów względem lokalizacji drogi N-S
(źródło wg. przypisu⁴⁷)

⁴⁶ W. Celadyn, P. Filipek, Investigation of the Effective Use of Photovoltaic Modules in Architecture, „Buildings” 2020, vol. 10, nr 9, s.151)

⁴⁷ Ibidem.



II. 11. Lokalizacja generatorów względem lokalizacji drogi NE - SW
(źródło wg. przypisu⁴⁸)

Zgodnie z art. 29 ust. 4 pkt.3 ppkt. c) ustawy prawo budowlane nie wymaga decyzji o pozwoleniu na budowę oraz zgłoszenia wykonywanie robót budowlanych polegających na:

- instalowaniu wolnostojących kolektorów słonecznych;
- instalowaniu urządzeń fotowoltaicznych o mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 150kWp.

Tym samym budowę instalacji fotowoltaicznej o mocy przekraczającej 150kWp można zrealizować jedynie na podstawie decyzji o pozwoleniu na budowę (stan prawny na styczeń 2025). Ustawodawca wprowadził również konieczność uzgodnienia instalacji fotowoltaicznej o mocy przekraczającej 6,5kWp z rzeczoznawcą do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych pod względem ich zgodności z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej⁴⁹. W myśl polityki energetycznej państwa polskiego i ustawy Prawo Energetyczne operator sieci elektrycznej ma obowiązek podłączyć prosumencką instalację fotowoltaiczną przy czym ustawa o OZE ogranicza maksymalną moc w przypadku budynków jednorodzinnych do 50kWp. Jest to granica nieprzekraczalna dla osób fizycznych, nieprowadzących działalności gospodarczej.

Stricte projektowaniem technologii solarnych zajmują się projektanci branżowi, tacy jak instalatorzy sanitarni oraz elektryczni w nawiązaniu do wytycznych przedstawionych przez architekta. Bardziej skomplikowane rozwiązania, zwłaszcza

⁴⁸ W. Celadyn, P. Filipek, Investigation of the Effective Use of Photovoltaic Modules in Architecture, „Buildings” 2020, vol. 10, nr 9, s.151)

⁴⁹ Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (Dz. U. z 2024 r. poz. 725, z późn. zm.)

połączone z technologiami zintegrowanymi z budynkiem, takie jak BIPV projektanci powinni realizować w symbiozie z działem technicznym producenta, oferującego dane systemy.

W poniższych tabelach zebrano najważniejsze normy odnoszące się do technologii solarnych.

Nr normy	Tytuł normy
PN-EN ISO 9488:2002P	Energia słoneczna - Terminologia
PN-EN 12975-1+A1:2010E	Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy - Kolektory słoneczne - Część 1: Wymagania ogólne
PN-EN 12976-1:2007P	Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy - Urządzenia wykonywane fabrycznie - Część 1: Wymagania ogólne
PN-EN 12977-1:2012E	Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy - Systemy wykonywane na zamówienie - Część 1: Wymagania ogólne dla słonecznych podgrzewaczy wody i systemów dwufunkcyjnych

Tab.5. Normy dotyczące kolektorów słonecznych
(opracowanie własne)

Nr normy	Tytuł normy
PN-EN 15316-4-6:2007E	Instalacje ogrzewcze w budynkach - Metoda obliczania zapotrzebowania na ciepło i oceny sprawności instalacji – Część 4-6: Źródła ciepła do ogrzewania, systemy fotowoltaiczne
PN-EN 60904-1:2007E	Elementy fotowoltaiczne - Część 1: Pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych elementów fotowoltaicznych
PN-EN 61215:2005E	Moduły fotowoltaiczne (PV) z krzemu krystalicznego do zastosowań naziemnych - Kwalifikacja konstrukcji i aprobaty typu

Kontynuacja tabeli na następnej stronie

PN-EN 61646:2008E	Cienkowarstwowe naziemne moduły fotowoltaiczne (PV) - Kwalifikacja konstrukcji i zatwierdzenie typu
PN-EN 61724:2002P	Monitorowanie własności systemu fotowoltaicznego - Wytyczne pomiaru, wymiany danych i analizy
PN-EN61730-1:2007/A1:2012E	Ocena bezpieczeństwa modułu fotowoltaicznego (PV) - Część 1: Wymagania dotyczące konstrukcji
PN-EN 61730-1:2007/A2:2013-11E	Ocena bezpieczeństwa modułu fotowoltaicznego (PV) - Część 1: Wymagania dotyczące konstrukcji
PN-EN 61730-1:2007E	Ocena bezpieczeństwa modułu fotowoltaicznego (PV) - Część 1: Wymagania dotyczące konstrukcji
PN-EN 62124:2005E	Systemy fotowoltaiczne (PV) wolnostojące - Weryfikacja projektu
PN-EN 62253:2011E	Fotowoltaiczne systemy pompowania wody - Kwalifikacja projektu i pomiar parametrów eksploatacyjnych

Tab.6. Normy dotyczące urządzeń fotowoltaicznych
(opracowanie własne)

3.4 Aspekty ekonomiczne a wykorzystywanie technologii solarnych w architekturze

W poprzedniej części niniejszego rozdziału wymieniono regulacje prawne związane z zagadnieniami dotyczącymi ochrony klimatu. Wskazano jako zasadniczy ich cel doposażanie istniejących oraz nowoprojektowanych budynków w technologie solarne wykorzystujące energię pochodzącą z promieniowania słonecznego

Głos społeczeństwa w powyższej kwestii pozostaje podzielony, głównie ze względu na konieczność poniesienia znacznych nakładów finansowych w celu montażu technologii solarnej. Niemniej jednak pojawia się pewien rodzaj nagrody finansowej dla Inwestorów decydujących się na wykonanie instalacji solarnej, który przekłada się na niższe koszty eksploatacji obiektów. Dodatkowo na poziomie urzędowym w 2024 roku oferowane były rodzaje zachęt finansowych (dopłat) do instalacji, przedstawione w poniższych tabelach.

Nazwa programu	Rodzaj wsparcia	Zakres inwestycji (między innymi)
Mój Prąd	Dotacja do 50% kosztów inwestycji, nie więcej niż 3.500,00 zł.	• montaż instalacji fotowoltaicznej • zakup i montaż magazynu energii • zakup i montaż magazynu ciepła
Czyste powietrze	Dotacja do 100% kosztów inwestycji, nie więcej niż 20.400,00 zł.	• montaż instalacji fotowoltaicznej • montaż kolektorów słonecznych
Stop Smog	Dotacja do 100% kosztów inwestycji, nie więcej niż 53.000,00 zł.	• montaż instalacji fotowoltaicznej • montaż C.O. i C.W.U opartego na energii z kolektorów słonecznych
Ulga termomodernizacyjna	Rodzaj ulgi podatkowej, gdzie maksymalna kwota odpisu nie może przekroczyć 53.000 zł na podatnika	• szeroko pojęta termomodernizacja • montaż instalacji fotowoltaicznej • montaż C.O. i C.W.U opartego na energii z kolektorów słonecznych
Premia termomodernizacyjna	Dopłata do kredytu, od 26% do 41% kosztów przedsięwzięcia.	• montaż instalacji fotowoltaicznej • montaż C.O. i C.W.U opartego na energii z kolektorów słonecznych

Tab.7. Dotacje związane z montażem technologii solarnych dla gospodarstw domowych
(opracowanie własne)

Zbiór możliwych dofinansowań w 2024 roku rozszerzony był dla gospodarstw rolnych względem przedstawionych w tabeli nr 7 o programy przedstawione na następnej stronie.

Nazwa programu	Rodzaj wsparcia	Zakres inwestycji (między innymi)
Ulga w podatku rolnym na fotowoltaikę	Rodzaj ulgi podatkowej, możliwe odliczenie od podatku rolnego 25% kosztów inwestycji	instalacje OZE, w tym montaż instalacji fotowoltaicznych oraz instalacji kolektorowych
Białe certyfikaty	Zwrot części poniesionych wydatków, wysokość wsparcia uzależniona od ilości zaoszczędzonej energii, określonej na podstawie certyfikatu energetycznego.	instalacje OZE, w tym montaż instalacji fotowoltaicznych oraz instalacji kolektorowych, tylko w przypadku zaoszczędzenia min. 116,3 MWh rocznie

Tab.8. Dodatkowe dotacje związane z montażem technologii solarnych dla gospodarstw rolnych.
(opracowanie własne)

Możliwość dofinansowania inwestycji w montaż technologii solarnych w 2024 roku miały również przedsiębiorstwa na podstawie poniższych programów:

Nazwa programu	Rodzaj wsparcia	Zakres inwestycji (między innymi)
Energia plus	Pożyczka o preferencyjnym oprocentowaniu w wysokości do 85% kosztów kwalifikowanych, od 0,5 mln zł do 500 mln zł	montaż instalacji fotowoltaicznych
Kredyt ekologiczny BGK	Dopłata do kredytu, od 25% do 80% kosztów kwalifikowanych	montaż instalacji fotowoltaicznych

Tab.9. Dotacje związane z montażem technologii solarnych dla przedsiębiorstw.
(opracowanie własne)

W dalszej części niniejszej pracy przedstawione zostaną kalkulacje finansowe związane z wykonaniem instalacji fotowoltaicznej oraz kolektorowej w budynku mieszkalnym jednorodzinnym. Skalkulowano konieczne do poniesienia nakłady inwestycyjne oraz powstałe długoterminowe oszczędności.

3.4.1 Technologia fotowoltaiczna

W celu wykonania oszacowania związanego z montażem instalacji fotowoltaicznej przyjęto następujące założenia:

• sumaryczna moc instalacji PV	6,0 kWp
• koszt wykonania instalacji PV za 1kWp	5.000,00zł
• dofinansowanie / dotacja / ulgi	0,00zł
• roczny uzysk energii z 1kWp instalacji	8500 kWh
• współczynnik degradacji modułów [%/rok] ⁵⁰	0,5%
• roczne zużycie energii	3500 kWh
• roczna auto konsumpcja ⁵¹	1000 kWh
• roczna energia oddana do sieci	2500 kWh
• cena energii kupowanej [zł/kWh] ⁵²	1,1zł
• cena energii sprzedawanej [zł/kWh] ⁵³	0,4zł
• roczny wzrost ceny energii ⁵⁴	3,5%
• analizowany okres	25 lat

Wyciąg z wyników oszacowanych w programie kalkulacyjnym⁵⁵:

• poniesione wydatki na energię elektryczną przez 25 lat bez instalacji PV	149.956,95zł
• poniesione wydatki na energię elektryczną przez 25 lat z instalacją PV	50.580,68zł
• koszt montażu instalacji PV	30.000,00zł
• szacunkowa oszczędność wynikająca z inwestycji w PV po 25 latach	69.376,27zł
• szacunkowy okres zwrotu inwestycji	10 lat

Poprzednie obliczenia, można byłoby rozszerzyć o zakup magazynu energii⁵⁶

• pojemność magazynu energii	10 [kWh]
• koszt magazynu energii	20.000,00 zł

⁵⁰ Kwestię tę zobrazowano na ilustracji nr 5 niniejszej pracy doktorskiej

⁵¹ Ilość energii wyprodukowana przez PV, która natychmiast zasilila urządzenia elektryczne w obiekcie

⁵² Według wartości przedstawionej na stronie internetowej URE <https://www.ure.gov.pl/> [dostęp 10.02.2025]

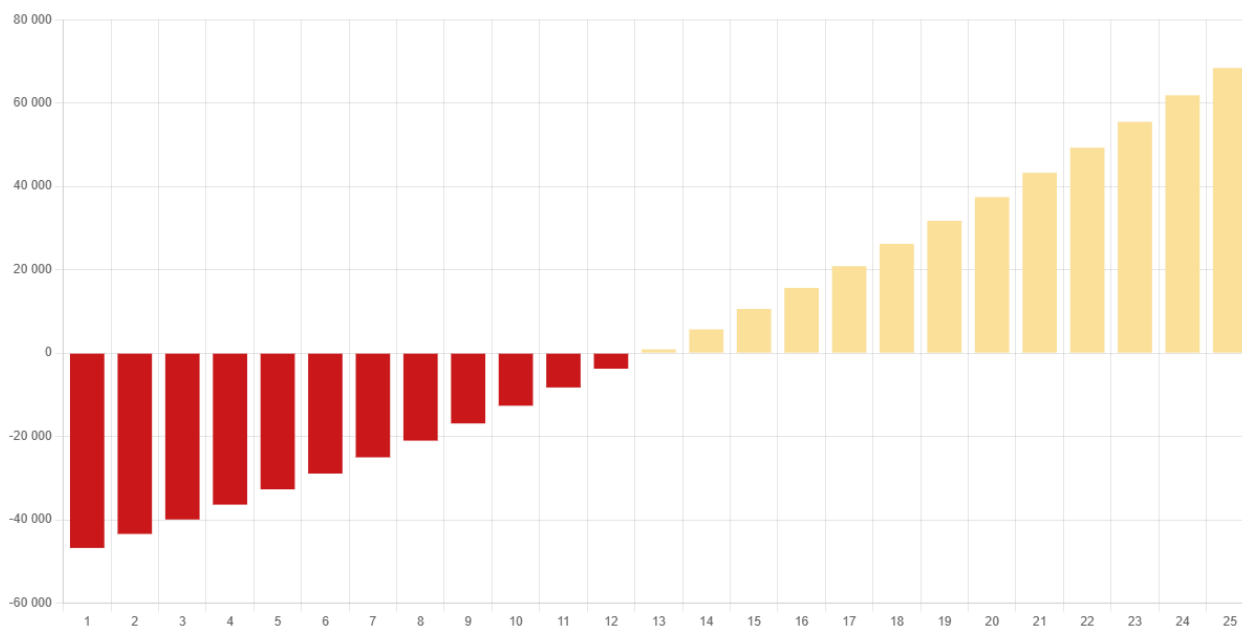
⁵³ Ibidem.

⁵⁴ Na podstawie danych Głównego Urzędu Statystycznego, <https://stat.gov.pl/> [dostęp 10.02.2025]

⁵⁵ Źródło: <https://www.solfinity.pl/kalkulator> [dostęp 10.02.2025]

⁵⁶ Magazyn energii jest urządzeniem pozwalającym na gromadzenie i magazynowanie wyprodukowanej przez panele fotowoltaiczne energii elektrycznej

- szacunkowa oszczędność wynikająca z inwestycji w PV z magazynem energii po 25 latach **68.417,34zł**
- szacunkowy okres zwrotu inwestycji **13 lat**



Il. 12. Diagram prezentujący oszczędność finansową przy wykorzystaniu PV z magazynem energii
Oś pozioma – lata kalendarzowe, oś pionowa jednostki pieniężne
(źródło ilustracji wg. przypisu⁵⁷)

3.4.2 Technologia kolektorowa

W celu wykonania oszacowania związanego z montażem instalacji kolektorowej przyjęto następujące założenia:

- cel instalacji: podgrzewanie wody **C.W.U.⁵⁸**
- województwo: małopolskie⁵⁹ **1046 W/m²**
- liczba mieszkańców **4 osoby**
- zużycie C.W.U. dobowe przez 1 osobę **50 L**
- temperatura zimnej wody **10°C**
- wymagana temperatura C.W.U. **50°C**
- liczba dni korzystania z C.W.U w roku **365**
- straty ciepła instalacji C.W.U. **20%**
- zapotrzebowanie na ciepło oszacowane

⁵⁷ Solfinity Kalkulator, <https://www.solfinity.pl/kalkulator> [dostęp 17.02.2025]

⁵⁸ C.W.U. to skrótowe określenie ciepłej wody użytkowej

⁵⁹ Przyjęto uśrednione natężenie promieniowania słonecznego

w programie kalkulacyjnym⁶⁰

4075 kWh/rok

- dodatkowe źródło grzewcze dla zasobnika C.W.U

Grzałka

elektryczna

Poniżej przedstawiono wyciąg z wyników oszacowanych w programie kalkulacyjnym, wg. którego w miesiącach IV – IX kolektory są najbardziej efektywne i tym samym pokrywają 100% zapotrzebowania na produkcję energii dla celów C.W.U.:

MIESIĄC	ZUŻYCIE C.W.U.	SPRAWNOŚĆ KOLEKTORA (%)	ENERGIA WYPRODUKOWANA (%)	ENERGIA WYPRODUKOWANA (kWh)	ZASPOKOJENIE ENERGII DO C.W.U.	POTRZEBNA MOC Z INNEGO ŹRÓDŁA (kW/h)	KOSZTY (zł brutto)
I	8,3%	50	2,9	130	NIE	210	256
II	8,3%	52	4,1	184	NIE	156	190
III	8,3%	55	6,8	305	NIE	35	42
IV	8,3%	63	11,1	498	TAK	-	0
V	8,3%	67	14,7	659	TAK	-	0
VI	8,3%	65	13,6	610	TAK	-	0
VII	8,3%	67	14,1	632	TAK	-	0
VIII	8,3%	64	12,8	574	TAK	-	0
IX	8,3%	60	9,6	430	TAK	-	0
X	8,3%	53	4,6	206	NIE	133	163
XI	8,3%	50	3,1	139	NIE	201	245
XII	8,3%	50	2,6	117	NIE	223	272
SUMA	100%	100%	100%	4483		957	1168

Tab. 10. Przedstawienie rocznych nakładów finansowych na cele C.W.U.
(źródło wg. przypisu⁶¹)

- koszt wykonania instalacji kolektorowej próżniowej (3sztuki) **10.000,00zł**
wraz z osprzętem
- koszty przygotowania C.W.U w 1 roku użytkowania **11.680,00zł**
- koszt przygotowania C.W.U w 2 roku użytkowania **1.168,00zł**
- czas zwrotu z inwestycji **26 lat**

3.4.3 Podsumowanie wyników

W obu przypadkach nie ujęto w kalkulacji form dofinansowania, które mogą znacząco wpłynąć na finalny okres zwrotu z inwestycji. Zarówno w przypadku technologii fotowoltaicznej jak i technologii kolektorowej modele obliczeniowe są wrażliwe na zmiany związane z:

- rocznym wzrostem cen energii,
- bilansu energii produkowanej oraz kupowanej,

⁶⁰ Źródło: <https://symulatorogrzewania.pl/symulacje/kolektory> [dostęp 10.02.2025]

⁶¹ Ibidem.

Szacunkowy czas zwrotu z inwestycji w technologię fotowoltaiczną jest krótszy niż okres trwałości komponentów, z których się składa. Sytuacja natomiast komplikuje się w przypadku technologii kolektorowej, gdzie przy wprowadzonych założeniach okres trwałości kolektorów deklarowany w kartach katalogowych przez producentów jest krótszy niż czas zwrotu z inwestycji. Wynik mógłby ulec zmianie w momencie obniżenia liczby mieszkańców do 3 osób włącznie, wtedy czas zwrotu z inwestycji w kolektory słoneczne został oszacowany przez kalkulator na 13 lat.

Tym samym ponownie należy podkreślić znaczną wrażliwość modelu obliczeniowego na zmiany założeń.

3.5 *Certyfikaty ekologiczne w budownictwie a technologie solarne*

Certyfikat ekologiczny jest formalnym dokumentem, który przyznawany jest budynkom spełniającym określone kryteria związane ze zrównoważonym rozwojem oraz ochroną klimatu i środowiska. Rozwój certyfikowania obiektów należy łączyć z panującym w Unii Europejskiej trendem polegającym na dekarbonizacji środowiska, któremu poświęcona została poprzednia część niniejszego rozdziału. Według raportu European Climate Neutrality Observatory pomiędzy latami 2005 – 2021 bezpośrednia emisja gazów cieplarnianych emitowanych przez budynki zmniejszyła się w UE o 20%.⁶²

Wydany certyfikat stanowi potwierdzenie, że dany obiekt został zaprojektowany oraz zbudowany w sposób minimalizujący negatywny wpływ na środowisko przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu oraz zdrowia użytkowników. Dodatkowo poprzez wymogi dotyczące efektywności energetycznej, ograniczenia związane z zużyciem wody, zastosowaniem materiałów o niskim poziomie energii wbudowanej budynki certyfikowane przyczyniają się do ochrony zasobów naturalnych oraz emisji gazów cieplarnianych. Na następnych stronach przedstawiono najbardziej popularne programy certyfikujące budownictwo ekologiczne.⁶³

⁶² M.M. Sesana, G. Salvalai, N.D. Valle, G. Melica, *Towards harmonising Energy Performance Certificate Indicators in Europe*, „Journal of Building Engineering” 2024, vol. 95, nr 1

⁶³ <https://technologieibudownictwo.pl/arttykul/certyfikacja-ekologiczna-w-budownictwie/> [dostęp 10.02.2025]

- **LEED** (Leadership in Energy and Environmental Design)

LEED to jeden z najbardziej rozpoznawalnych systemów oceny budynków ekologicznych na świecie, opracowany przez U.S. Green Building Council (USGBC). Certyfikat ten ocenia spełnienie przez budynki szeregu kryteriów, takich jak efektywność energetyczna, zużycie wody, wybór materiałów, jakość środowiska wewnętrznego oraz innowacyjność w projektowaniu.

- **BREEAM** (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

BREEAM to jeden z najstarszych i najbardziej uznanych systemów oceny zrównoważonego budownictwa, opracowany przez Building Research Establishment (BRE) w Wielkiej Brytanii. Ocena BREEAM obejmuje m.in. zarządzanie projektem, zużycie energii i wody, transport, materiały, odpady, zdrowie i dobre samopoczucie użytkowników oraz ekologię.

- **WELL Building Standard**

WELL to certyfikat koncentrujący się na zdrowiu i komforcie użytkowników budynków, opracowany przez International WELL Building Institute (IWBI). Ocena WELL obejmuje dziedziny takie jak jakość powietrza, woda, odżywianie, światło, aktywność fizyczna, komfort termiczny, akustyczny oraz mentalny. Nie posiada on bezpośredniej kategorii certyfikowania pod względem źródeł energii w obiekcie.

- **DGNB** (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)

DGNB to niemiecki system certyfikacji zrównoważonego budownictwa, który ocenia budynki pod kątem ekologii, ekonomii, społecznych aspektów, techniki, procesów oraz lokalizacji. DGNB zwraca szczególną uwagę na zrównoważone zarządzanie budynkiem przez cały jego cykl życia.

- **ZIELONY DOM**

Certyfikat ZIELONY DOM jest pierwszym polskim wielokryterialnym systemem oceniającym inwestycje mieszkaniowe pod kątem budownictwa zrównoważonego i może zostać przyznany na trzech poziomach: standard, premium i prestige budynkom o funkcji mieszkalnej jedno i wielorodzinnej. W ślad za corocznie publikowanym raportem przez PLGBC⁶⁴, obecnie w Polsce znajduje się 2035 certyfikowanych

⁶⁴ PLGBC – Polskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego

obiektów⁶⁵co stanowi roczny przyrost o 24% (okres marzec 2023-marzec 2024). Poniżej przedstawiono tabele z kategoriami ocen dla poszczególnych certyfikacji w odniesieniu do punktowania rozwiązań promujących technologie solarne.

Nazwa certyfikatu	Nazwa kryterium / podkategorii odnoszącej się do systemów solarnych
LEED v5 ⁶⁶	- Energia i atmosfera / elektryczność: Obsługa podgrzewania wody - Energia i atmosfera / odnawialne źródła energii: Dostarczenie energii z odnawialnych źródeł
BREAAM ⁶⁷	- Zrównoważona lokalizacja / Redukcja efektu wyspy ciepła - Energia i atmosfera / Optymalizacja wydajności energetycznej - Energia i atmosfera / Samowystarczalność w zakresie energii odnawialnej
DGNB ⁶⁸	- Jakość ekologiczna / Energia - Jakość procesów / Uwzględnienie aspektów rozwoju zrównoważonego
ZIELONY DOM ⁶⁹	- Optymalizacja zużycia energii / ENE 1 źródła energii: Wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową EU_{co} - Optymalizacja zużycia energii / ENE 3 źródła energii: Ogniwa fotowoltaiczne lub turbina wiatrowa

Tab. 11. Podkategorie certyfikacje w odniesieniu do systemów solarnych
(opracowanie własne na podstawie przypisów)

⁶⁵ D. Franke, A. Kuczera, *Raport: zrównoważone certyfikowane budynki 2024*, PLGBC, Warszawa 2024

⁶⁶ Źródło: <https://www.usgbc.org/resources/second-public-comment-draft-leed-v5-bdc-new-construction-clean> [dostęp 10.02.2025]

⁶⁷ Źródło: <https://breeam.com/standards/technical-manuals-form> [dostęp 10.02.2025]

⁶⁸ Źródło: <https://ecosquad.pl/dgnb-certyfikacja-dgnb-w-pigu-ce.html> [dostęp 10.02.2025]

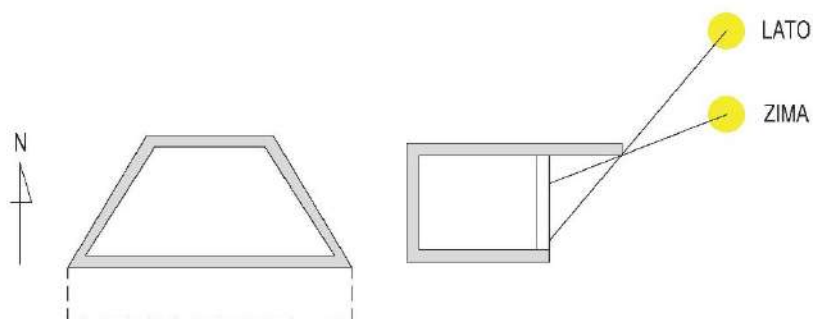
⁶⁹ Źródło: <https://zielonydom.plgbc.org.pl/przewodnik/> [dostęp 10.02.2025]

IV. SYSTEMY SOLARNE

4. SYSTEMY SOLARNE

4.1 Pasywne systemy solarne w architekturze

Historia wykorzystywania Słońca w architekturze do celów związanych z poprawą bilansu energetycznego obiektu najprawdopodobniej rozpoczyna się wraz z symbolicznym domem zaprojektowanym przez Sokratesa w IV p.n.e.⁷⁰



Il. 13. Dom Sokratesa – szkic rzutu oraz przekroju pionowego
(źródło: opracowanie własne)

Powyżej przedstawiony model budynku wielokrotnie wspomina się we współczesnej literaturze fachowej. Najprawdopodobniej posiadał on znaczne otworzenie okienne na ścianie południowej a umiejętnie dobrana długość okapu zapewniała zacienienie latem. Idea ta w następnych wiekach rozwijana była przez Rzymian. Przy wykorzystaniu szkła oraz efektu cieplarnianego przyozdabiano południowe fasady przeszklonymi ogrodami zimowymi. XIX wiek odrodził w Europie ten model architektury słonecznej, który po I Wojnie Światowej uległ zapomnieniu.⁷¹

W większości współczesne projekty implikujące kwestię wykorzystywania energii słonecznej w architekturze są ciekawymi wariacjami rozwijającymi wcześniej poznane i skutecznie stosowane w budownictwie procesy. Architektura słoneczna (solarna) zdefiniowana jako sposób projektowania budynków pod kątem maksymalnego wykorzystania przez nie energii promieniowania słonecznego łączy w sobie zarówno elementy pozyskiwania energii w sposób pasywny jak i aktywny.

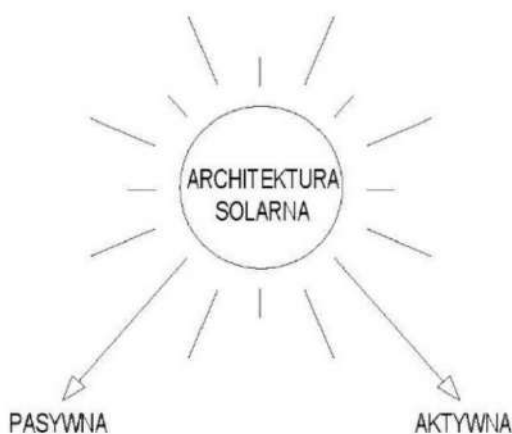
Rozróżnienie to należy rozumieć jako sposób wykorzystania energii słonecznej. Systemy pasywne pozbawione są dodatkowych elementów technologicznych

⁷⁰ D. Kolokotsa, M. Santamouris, A. Synnefa, T. Karlessi, *Passive Solar Architecture* [w:] Sayigh A. (red.), *Comprehensive Renewable Energy*, Elsevier 2012, s.727

⁷¹ S. Wehle-Strzelecka, *Wykorzystanie odnawialnej energii słonecznej w architekturze – geneza i rozwój*, „Czasopismo Techniczne Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej” 2007, nr 3, s.287-297.

przetwarzających energię pochodzącą z promieniowania słonecznego. Literatura wyróżnia dwie fale rozwoju architektury słonecznej w XX wieku. Pierwsza fala rozwoju nastąpiła w latach 1930-1960, natomiast druga na przełomie lat 1970 i 1980.

Współczesne zrównoważone budynki łączą w sobie elementy architektury solarnej aktywnej jak i pasywnej, czerpiąc w dużej mierze z rozwoju technologicznego. Zarówno w zakresie nowoczesnych materiałów budowlanych, możliwości optymalizacji procesu projektowego przy użyciu oprogramowania komputerowego oraz stosunkowo łatwego dostępu do profesjonalnej wiedzy.



Il. 14. Podział architektury solarnej
(źródło: opracowanie własne)

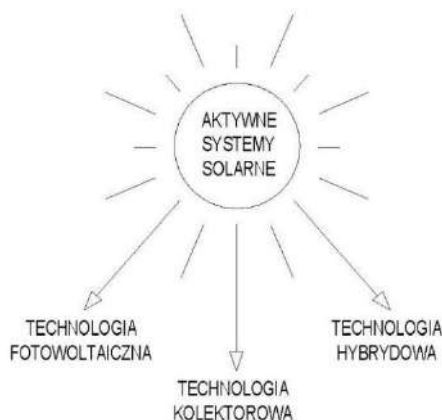
Poniżej przedstawiono oraz omówiono podstawowe cechy charakterystyczne dla pasywnej architektury solarnej:

- Obiekty są najczęściej wydłużone w kierunku wschód – zachód przy maksymalizacji powierzchni ściany południowej;
- Wnętrze obiektu jest odpowiednio podzielone na strefy, tj. przestrzenie wymagające największej ilości światła oraz ciepła zaprojektowane są w pobliżu południowej fasady;
- Przestrzenie nieużytkowe zlokalizowane są w północnej części obiektu;
- Design pasywny wykorzystuje otwarte przestrzenie optymalizujące całościowe działanie systemu pasywnego;
- Obiekt chroniony jest przed przegrzewaniem w miesiącach letnich poprzez odpowiednie zadaszenia;
- Funkcje energetyczne obiektu optymalizowane są lokalizacją nasadzeń zieleni;
- Analizowane są straty ciepłe związane z kierunkiem wiatrów;

- W obiektach pojawiają się elementy o wysokiej gęstości materiałowej, umożliwiające akumulację ciepła;
- Budynki projektowane są jako szczelne o podwyższonych parametrach izolacyjności;
- Architekturę solarną w wersji pasywnej charakteryzuje możliwość ogrzewania obiektu przy pomocy elementu magazynującego ciepło oraz procesu jego dystrybucji (np. ściana Trombe'a)⁷²;
- Istnieją również systemy pasywnego chłodzenia obiektu poprzez wentylację (komin słoneczny) oraz radiację.

4.2 Aktywne systemy solarne w architekturze

W architekturze solarnie aktywnej pojawiają się w niej dodatkowe elementy produkujące energię. Na aktywne systemy solarne składają się urządzenia służące do przemiany (konwersji) energii promieniowania w energię użyteczną. Zasadniczo w architekturze, która podlega szczególnej analizie w niniejszej pracy doktorskiej, stosuje się współcześnie następujące rodzaje technologii.



Il. 15. Aktywne systemy solarne w architekturze
(źródło: opracowanie własne)

- Technologia fotowoltaiczna nazywana również w skrócie PV (photovoltaics) przetwarza promieniowanie słoneczne na energię elektryczną,
- Technologia kolektorowa przetwarza promieniowanie słoneczne na energię cieplną nośnika, którym najczęściej jest ciecz lub gaz,

⁷² Ściana Trombe'a – rodzaj pasywnego sposobu pozyskiwania energii opierający się na systemie zysków pośrednich z wykorzystaniem warstwy akumulującej

- Technologia hybrydowa bazuje na połączeniu walorów obu powyższych technologii.

Następne rozdziały poświęcono szczegółowemu omówieniu technologii fotowoltaicznej oraz technologii kolektorowej.

Wspomniane powyżej możliwości konwersji energii wykorzystuje się w różnych skalach. Jako elementy niezwiązane z niniejszą pracą, nie zostaną rozwinięte w dalszej jej części, natomiast ciekawe w swojej istocie warte są krótkiego omówienia. Imponującymi ze względu na swoje rozmiary są elektrownie słoneczne. Największa europejska „farma słoneczna” bazująca na technologii fotowoltaicznej znajduje się na terenach przemysłowych w Niemczech niedaleko Lipska. Zlokalizowana na terenie dawnej kopalni węgla „Witznitz II” inwestycja stoi w kontraście do minionej epoki eksploatacji tego rodzaju paliwa kopalnianego. Sumaryczna moc elektrowni to 605MW i zajmuje powierzchnię 500 ha.⁷³

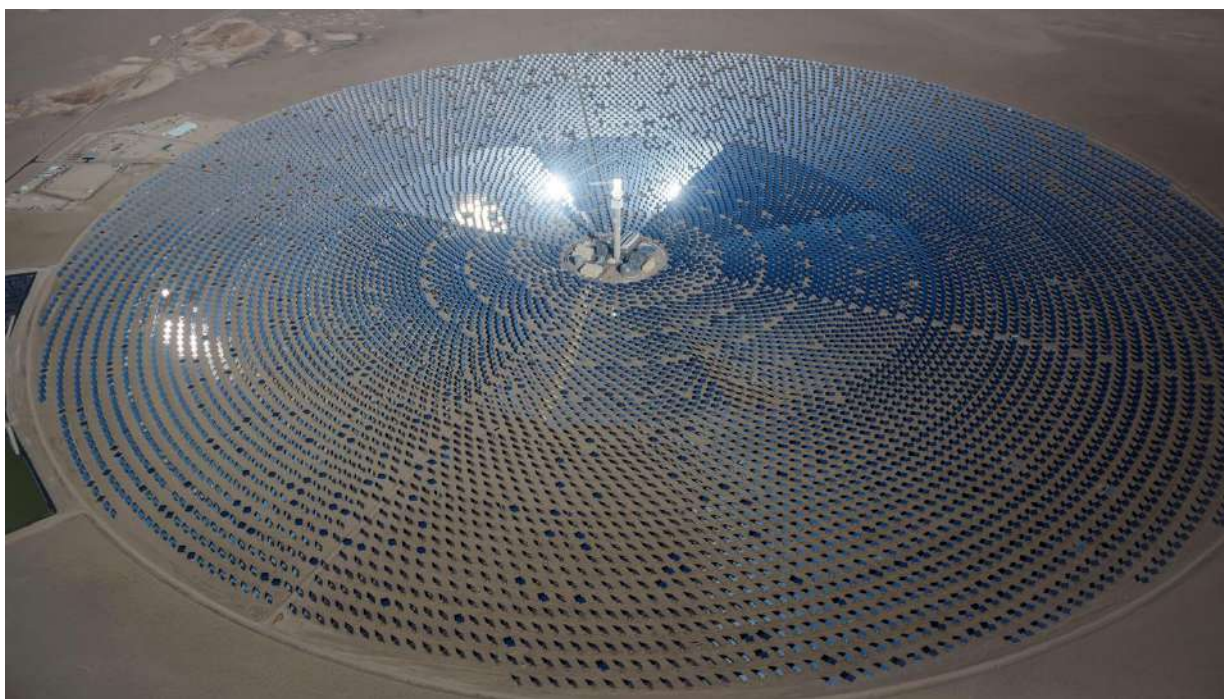


Il. 16. Widok na elektrownię Witznitz II Solar
(źródło zdjęcia wg. przypisu⁷⁴)

⁷³ Źródło: <https://globenergia.pl/605-mw-i-500-ha-najwieksza-farma-sloneczna-europy-juz-pracuje/> [dostęp 10.02.2025]

⁷⁴ Renewable Market Watch, <https://renewablemarketwatch.com/news-analysis/543-the-largest-european-solar-photovoltaic-power-plant-witznitz-near-leipzig-in-germany-with-650-mw-capacity-is-launched-into-commercial-operation> [dostęp 17.02.2025]

Do produkcji energii na dużą skalę wykorzystuje się również technologię CSP – Concentrated Solar Power⁷⁵. Bazuje na lustrach lub soczewkach o parabolicznym kształcie ułożonych w rzędach. Poprzez odbicie promieni słonecznych skupiają je one w jednym punkcie celem obracania turbin parowych i produkcji energii elektrycznej oraz ciepła. Paraboliczny kształt luster pozwala na „śledzenie” ruchu słońca przez cały dzień.⁷⁶ W 2021 roku elektrownie słoneczne zapewniały energię odpowiadającą 3,5% światowego zapotrzebowania wobec 1% w roku 2015.



Il. 17. Widok na elektrownię Crescent Dunes, Nevada USA
(źródło zdjęcia wg. przypisu⁷⁷)

⁷⁵ Technologia Concentrated Solar Power jest rodzajem systemu heliologicznego

⁷⁶ A. P. Gonzalo, A. P. Marugan, F.P.G. Marquez, *A review of the application performances of concentrated solar power systems*, „Applied Energy” 2019, vol. 255, s. 3

⁷⁷ Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Crescent_Dunes_Solar_Energy_Project [dostęp 17.02.2025]

V. SYSTEMY FOTOWOLTAICZNE

5. SYSTEMY FOTOWOLTAICZNE

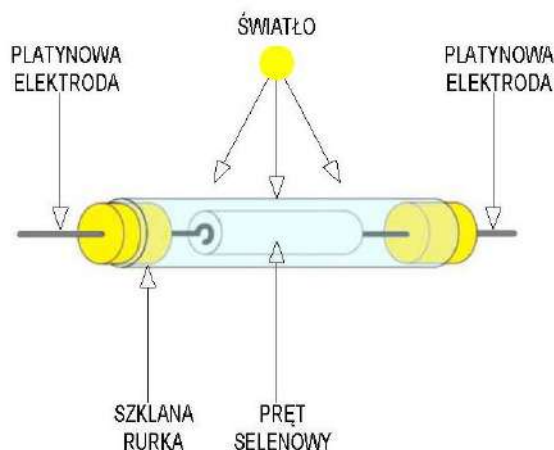
5.1 Historia oraz rozwój idei

Efekt fotowoltaiczny został odkryty w 1839 roku przez francuskiego fizyka Aleksandra Edmunda Becquerel'a. Zauważył on, że elektroda oświetlona promieniowaniem słonecznym zanurzona w roztworze o wysokich właściwościach przewodzących wytwarza prąd elektryczny⁷⁸.

Podczas przeprowadzanych doświadczeń zauważył, że przewodność roztworu (elektrolitu) rośnie wraz ze wzrostem natężenia promieniowania słonecznego.

W 1873 roku podążając śladem Becquerela, Willoughby Smith angielski inżynier elektryk, zaobserwował efekt fotoelektryczny w ciele stałym. Podczas badania prętów selenu odkrył, że ich zdolność przewodnictwa elektrycznego znacznie wzrasta gdy są one oświetlone. Doświadczenie to opisał w artykule naukowym pt. Wpływ światła na selen podczas przepływu prądu. Chociaż to odkrycie z 1873 r. miało większe znaczenie dla rozwoju telekomunikacji, jego półprzewodnik selenowy uTORował drogę do dalszego rozwoju technologii fotowoltaicznej.

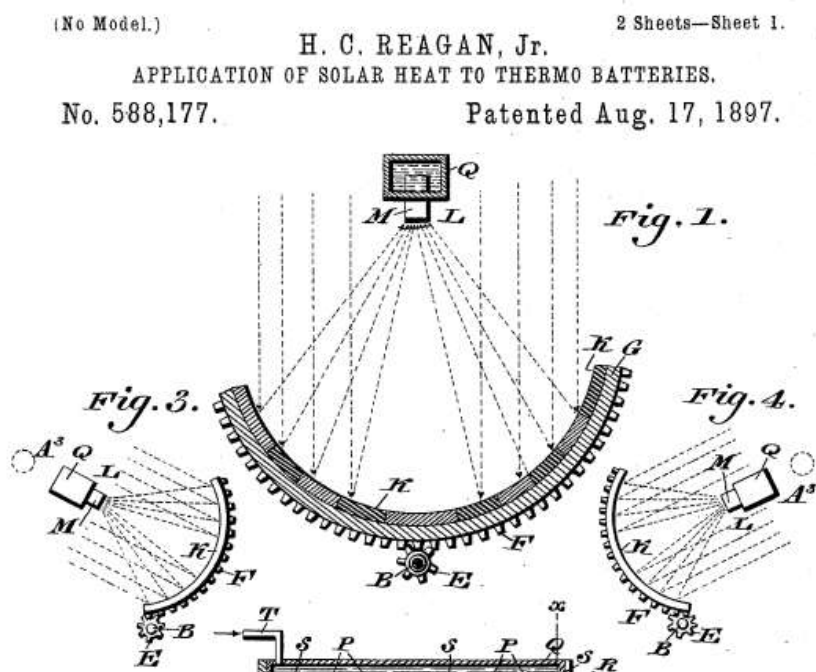
W 1877 roku William Gryls Adams i Richard Evans Day zaobserwowali zjawisko fotowoltaiczne w wyżej wspomnianym selenie. W rurce szklanej umieścili pręt selenu, na którego końcach zamontowali platynowe elektrody. Celem eksperymentu było sprawdzenie czy pod wpływem światła w selenie będzie wytwarzany prąd. Pozytywny wynik doświadczenia, oznaczał powstanie uproszczonego modelu ogniwa fotowoltaicznego



Il. 18. Model pierwszego ogniwa fotowoltaicznego
(źródło: opracowanie własne)

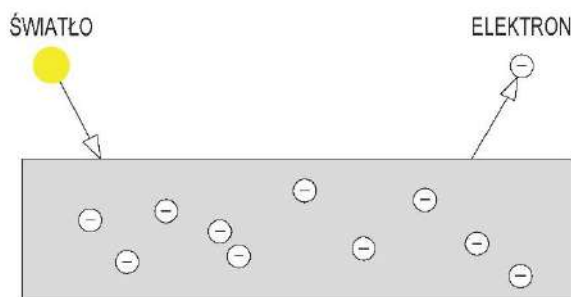
⁷⁸ Źródło: <https://www.solarenergyworld.com/solar-history-alexandre-edmond-becquerellar/> [dostęp 10.02.2025]

W 1883 roku Charless Fritts opatentował pierwsze ogniwo fotowoltaiczne, składające się z metalowej płytki, cienkiej warstwy selenu pokrytego warstwą złota. Od lat 1888 do 1897 w USA zarejestrowano trzy patenty na ogniwa słoneczne.



Il. 19. Fragment dokumentacji patentowej, H.C. Reagan JR, 1897r
(źródło zdjęcia wg. przypisu⁷⁹)

W 1921 roku Albert Einstein otrzymał nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki za teoretyczne wyjaśnienie zjawiska fotoelektrycznego zewnętrznego⁸⁰, które nazywa się zamiennie fotoefektem lub fotoemisją. Jest to zjawisko fizyczne polegające na emisji elektronów z powierzchni danego metalu, która jest możliwa pod wpływem światła – strumienia fotonów.



Il. 20. Model prezentujący zjawisko fotoelektryczne
(źródło: opracowanie własne)

⁷⁹ Patent Images Storage, <https://patents.google.com/patent/US20150204618A1/en> [dostęp 17.02.2025]

⁸⁰ W. van Sark, *Introduction to Photovoltaic Technology* [w:] Sayigh A. (red.), *Comprehensive Renewable Energy*, Elsevier 2012, s.5

Warunkiem występowania zjawiska jest posiadanie przez fotony określonej częstotliwości, zmiana natężenia światła nie ma wpływu na zachodzenie ani intensyfikowanie zjawiska fotoelektrycznego. Zasadę zachowania energii dla powyższego zjawiska opisuje następujący wzór matematyczny⁸¹:

$$h\nu = W + E_k$$

gdzie : h to stała Plancka wynosząca $6,626 \cdot 10^{-34} [J \cdot s]$

ν to częstotliwość drgań fotonu $\left[H_z = \frac{1}{s}\right]$

W to praca wyjścia elektronu z powierzchni przedmiotu (metal) $[eV]$

E_k to energia kinetyczna uwolnionego(swobodnego) elektronu $[J]$

założenia : $h\nu \geq W$

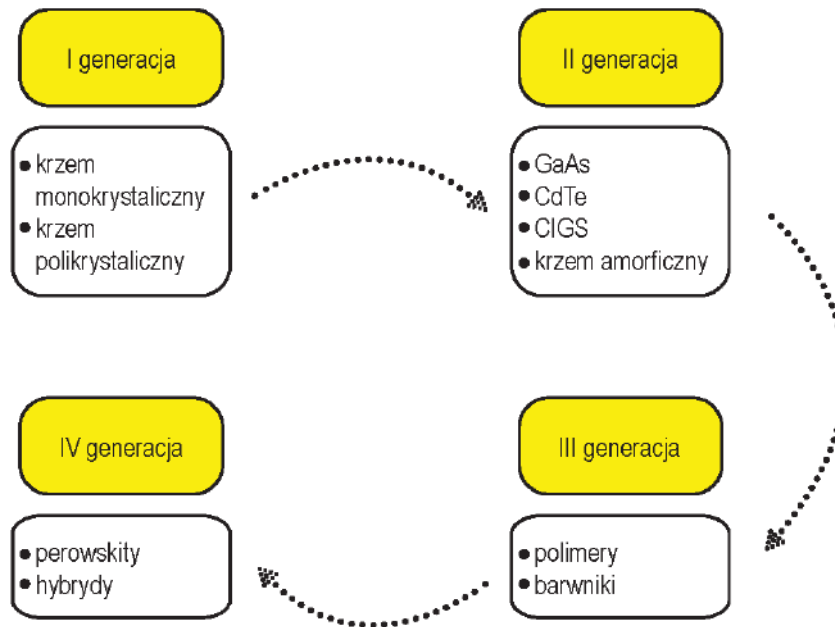
Przedstawiony wzór informuje, że elektron zostaje uwolniony z powierzchni metalu przy założeniu, że częstotliwość padającego na przedmiot fotonu zwielokrotniona o stałą Plancka jest większa lub równa pracy wyjścia elektronu z danego metalu. Poszczególne metale różnią się między sobą wartością W . Opisanie zjawiska fotoelektrycznego zewnętrznego przyczyniło się do szerszego zrozumienia efektu fotowoltaicznego i umożliwiło dalszy rozwój technologii ogniw słonecznych.

Pierwsze ogniwo krzemowe, przekształcające promieniowanie słoneczne na prąd stały, zostało opracowane w 1954 roku przez Daryla Chapin'a, Calvina Fuller'a oraz Geralda Pearson'a w laboratorium badawczym Bell Labs. Pomimo słabej wydajności (na poziomie około 6%) komórka ta stała się pionierem w dalszym rozwoju paneli fotowoltaicznych. W czasach współczesnych ogniwa fotowoltaiczne osiągają w warunkach laboratoryjnych nawet około 40% wydajności – natomiast średnia efektywność ogólnodostępnych ogniw wynosi około 17%.

5.2 Współczesne rodzaje ogniw fotowoltaicznych

W niniejszym podrozdziale zostaną przedstawione oraz omówione obecnie produkowane ogniwa fotowoltaiczne. Następną ilustracją obrazuje systematykę dalszej części pracy. Technologia fotowoltaiczna na podstawie typów ogniw dzieli się na generacje.

⁸¹ Źródło: Zintegrowana Platforma Edukacyjna Ministerstwa Edukacji Narodowej, <https://zpe.gov.pl/b/efekt-fotoelektryczny-zewnetrzny/PelohY2xo> [dostęp 10.02.2025]



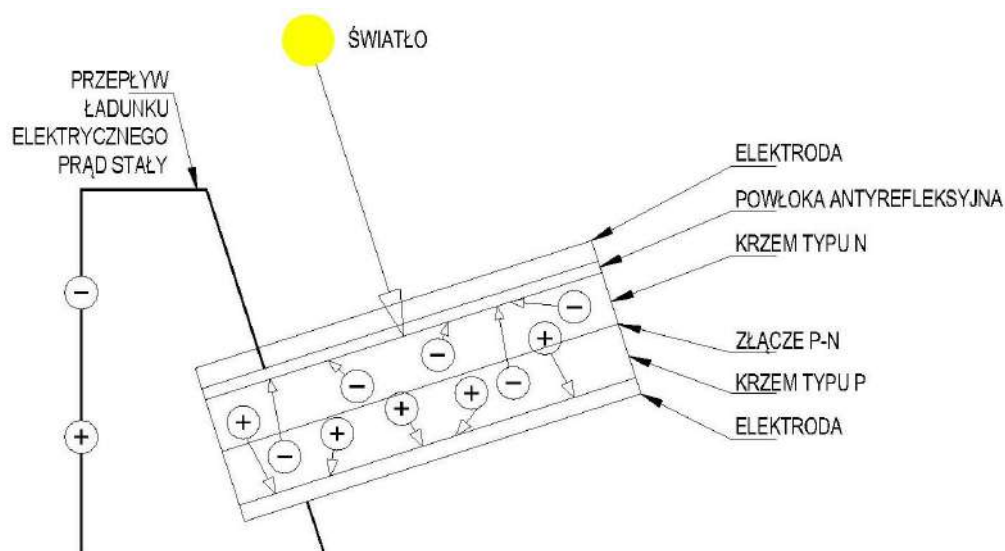
II. 21. Rodzaje ogniw fotowoltaicznych
(źródło: opracowanie własne)

5.2.1 Ogniwa pierwszej generacji

Technologia fotowoltaiczna polega na konwersji promieniowania słonecznego w energię elektryczną wykorzystując poprzednio omówione zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne. Standardowe ogniwa fotowoltaiczne (*pierwszej generacji*) składają się z dwóch warstw półprzewodników typu P (positive) i N (negative). Częstki fotonu padające na ogniwa wymuszają rozdzielanie ładunków w nośniku powodując powstawanie prądu stałego. Ogniwa muszą posiadać właściwości półprzewodników, dlatego najczęściej wykonuje się je z takich materiałów jak:

- krzem,
- german,
- selen.

Najczęściej do produkcji ogniw pierwszej generacji używa się krzemu, ponieważ na ostatniej powłoce elektronowej posiada on aż 4 elektrony. Dzięki temu zjawisko fotoemisji zachodzi w krzemie szybciej niż w przypadku dwóch pozostałych pierwiastków.



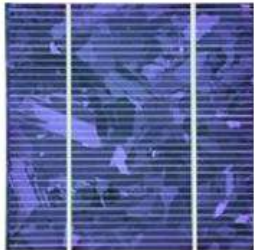
II. 22. Schemat działania ogniwa fotowoltaicznego pierwszej generacji
(źródło wg. przypisu⁸²)

Połączone ze sobą ogniwa fotowoltaiczne tworzą moduły, np. w formie paneli fotowoltaicznych. Ogniwa składają się z:

- elektrody dodatniej oraz ujemnej, których zadaniem jest gromadzenie przemieszczających się elektronów z półprzewodnika,
- powłoki antyrefleksyjnej zwiększającej absorpcję promieniowania słonecznego i poprawiającą parametry elektryczne ogniwa,
- półmetal, najczęściej krzemu typu N oraz typu P⁸³,
 - krzem typu N powstaje w wyniku chemicznego połączenia (domieszkowania) gazem fosforowym co powoduje powstanie nadmiaru elektronów, które mogą swobodnie przemieszczać się w materiale, zwiększając jego przewodnictwo, warstwa o grubości do 2 μm ,
 - krzem typu P tworzy się poprzez domieszkowanie pierwiastkami o mniejszej liczbie elektronów co powoduje powstanie dziur elektronowych zachowujących się jak dodatnie nośniki ładunku przyczyniając się do poprawy przewodnictwa materiału poprzez dziury elektronowe warstwa o grubości od 100 do 300 μm ,
- złącza typu P-N powstałego na granicy połączenia półprzewodników typu p i typu n, mająca na celu rozdzielenie ładunków (-) i (+)

⁸² Opracowanie własne na podstawie: H.L. Zhang, T. van Gerven, J. Baeyens, J. Degreve, *Photovoltaics: Reviewing the European Feed-in-Tariffs and Changing PV Efficiencies and Costs*, „The Scientific World Journal” 2014, vol. 2014, s. 2

⁸³ Źródło: <https://epodreczniki.open.agh.edu.pl/handbook/35/module/773/reader>, dostęp 02.01.202

Ogniwa monokrystaliczne	
Zdjęcie	 Il. 23. Ogniwo monokrystaliczne (źródło zdjęcia: https://www.planergia.pl/)
Deklarowana sprawność ⁸⁴	16-22%
Kolorystyka	Czarne, ciemne
Ogniwa polikrystaliczne	
Zdjęcie	 Il. 24. Ogniwo polikrystaliczne (źródło zdjęcia: https://www.planergia.pl/)
Deklarowana sprawność	14-16%
Kolorystyka	Z widocznymi kryształami krzemu

Tab. 12. Zbiorcza tabela przedstawiająca ogniwa pierwszej generacji
(źródło: opracowanie własne)

5.2.2 Ogniwa drugiej generacji

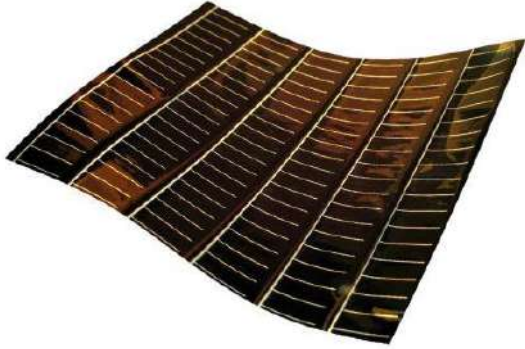
Technologia ogniw bazujących na krzemie amorficznym, materiału który w przeciwieństwie do krzemu stosowanego w ogniwach pierwszej generacji nie jest wykryształizowany wobec czego nie występuje w formie kryształu. Proces powstawania krzemu amorficznego jest szybszy i tańszy co przekłada się na finalną cenę gotowego produktu.

⁸⁴ Podano sprawność ogniw powszechnie dostępnych na rynku towarów

Zasada działania ogniw drugiej generacji jest zbliżona do zasady działania ogniw mono i polikrystalicznych. Natomiast ze względu na technologiczne ograniczenia oraz koszty produkcji ogniw naukowcy poszukiwali alternatywnych materiałów oraz sposób wytworzenia ogniw fotowoltaicznych. Około 50% kosztów produkcji ogniw słonecznych z krzemu krystalicznego przypada na przygotowanie krzemu, natomiast obróbka ogniw i paneli stanowi odpowiednio 20% i 30%. W latach siedemdziesiątych udało się wytworzyć pierwsze cienkowarstwowe ogniwa na bazie krzemu amorficznego, a następnie innych materiałów.

Ogniwa drugiej generacji	
Ogniwa z krzemu amorficznego	
Zdjęcie	 Il. 25. Ogniwo z krzemu amorficznego (źródło zdjęcia: https://sunsol.pl/)
Deklarowana sprawność	6-10%
Kolorystyka	Ogniwa mogą być wielobarwne
Materiał ogniwa	Silikon amorficzny (a-Si)
Opis	Produkowane moduły z tych ogniw najczęściej są bez charakterystycznej ramki, ogniwa te cechują się niskim spadkiem wydajności przy wzroście temperatury pracy

kontynuacja tabeli na następnej stronie

Ogniwa GaAs	
Zdjęcie	 Il. 26. Ogniwo typu GaAs (źródło zdjęcia: https://www.openpr.com)
Deklarowana sprawność	29%
Kolorystyka	Czarne, ciemne
Materiał ogniwa	Arsenek galu (GaAs)
Opis	Rodzaj ogniwa cienkowarstwowego, elastycznego, wykorzystywanego w modułach typu thin film, bezramkowe, cechują się niskim spadkiem wydajności przy wzroście temperatury
Ogniwa CdTe	
Zdjęcie	 Il. 27. Ogniwo typu CdTe (źródło zdjęcia: https://phys.org/)
Deklarowana sprawność	11-13%
Kolorystyka	Brązowe, miedziane
Materiał ogniwa	Tellurek kadmu (CdTe)
Opis	Rodzaj ogniwa cienkowarstwowego, elastycznego, wykorzystywanego również w modułach typu thin film, możliwe w opcji bezramkowej, cechują się niskim spadkiem wydajności przy wzroście temperatury

kontynuacja tabeli na następnej stronie

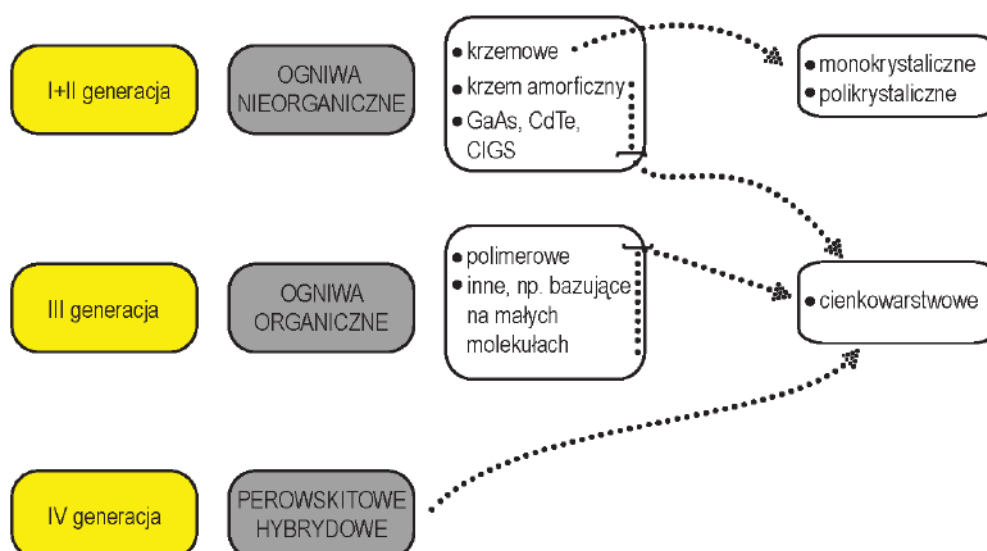
Ogniwa CIGS	
Zdjęcie	 Il. 28. Ogniwo typu CIGS (źródło zdjęcia: https://phys.org/)
Deklarowana sprawność	12-14%
Kolorystyka	Ciemne, czarne z wyraźnie widocznymi elektrodami
Materiał ogniwa	Mieszanina miedzi, indu, galu, selenu (CIGS)
Opis	Rodzaj ogniwa cienkowarstwowego, elastycznego, wykorzystywanego również w modułach typu thin film, możliwe w opcji bez ramkowej, cechują się niskim spadkiem wydajności przy wzroście temperatury

Tab. 13. Zbiorcza tabela przedstawiająca ogniwa drugiej generacji
(źródło: opracowanie własne)

5.2.3 Ogniwa trzeciej generacji

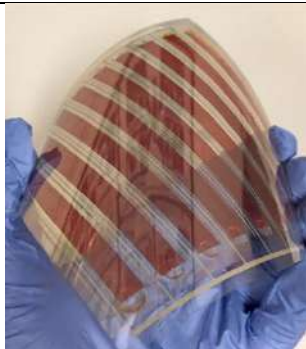
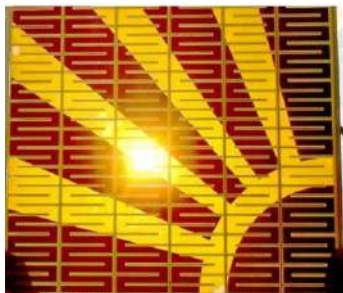
Do ogniw trzeciej generacji literatura zalicza ogniwa bazujące na materiałach organicznych najczęściej polimerowych.. Ogniwa trzeciej generacji są pozbawione charakterystycznego złącza P-N, występującego w poprzednich generacjach. W generacji III wykorzystuje się związki polimerowe.⁸⁵ Tym samym technologia fotowoltaiczna może dodatkowo zostać sklasyfikowana w sposób przedstawiony na kolejnej ilustracji.

⁸⁵ P. Gnida, F.M. Amin, A.K. Pająk, B. Jarząbek, *Polymers in High-Efficiency Solar Cells: The Latest Reports*, „Polymers” 2022, vol. 14 nr 1946



II. 29. Rodzaje ogniw fotowoltaicznych ze względu na skład chemiczny
(źródło: opracowanie własne)

W niektórych artykułach naukowych do trzeciej generacji zaliczane są również ogniwa perowskitowe. Dla porządku chronologicznego omówione zostaną one w następnym podpunkcie. W architekturze wykorzystywane są ogniwa III generacji typu DSSC⁸⁶ nazywane również ogniwami uczulanymi barwnikiem. Wytworzone one zostały przez Briana O'Regana i Michaela Grätzela w 1991r.⁸⁷

Ogniwa polimerowe	
Zdjęcie	 II. 30. Ogniwo typu polimerowego DSSC (źródło zdjęcia wg. przypisu⁸⁸)  II. 30a. Ogniwo DSSC z wzorem (źródło zdjęcia wg. przypisu⁸⁹)

kontynuacja tabeli na następnej stronie

⁸⁶ DSSC - dye-sensitized solar cell

⁸⁷ B. O'Regan, M. Grätzel, *A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films*, „Nature” vol. 353, s. 737-740

⁸⁸ W. Congcong, B. Chen, X. Zheng, S. Priya, *Scaling of the flexible dye sensitized solar cell module*, “Solar Energy Materials and Solar Cells” 2016, vol. 157, s. 438-446

⁸⁹ Źródło: <https://www.borderstep.org/> [dostęp 10.02.2025]

Deklarowana sprawność	10-15% w zależności od kolorystyki
Kolorystyka	Ogniwa mogą być wielobarwne, o pewnym stopniu transparentności, możliwe wykonanie wzorów
Materiał ogniwa	Polimery
Opis	Wykorzystanie barwnikowych ogniw w modułach fotowoltaicznych umożliwia nadawanie fasadom budynków interesujących walorów architektonicznych. Niestety posiadają one mniejszą sprawność niż ogniwa 1 generacji. W literaturze naukowej ⁹⁰ na podstawie przeprowadzonych badań omówiono zależność pomiędzy kolorem barwnika a sprawnością modułów. Wyniki przeprowadzonych badań jednoznacznie wskazują, że stopień jasności – natężenie barwy wyjściowej jest najważniejszym parametrem wpływającym na efektywność pozyskiwanej energii. Ciekawą kwestią staje się fakt, że w przypadku paneli barwnikowych opartych na konstrukcji różnej od grubowarstwowych PV do kolorów najbardziej atrakcyjnych z punktu widzenia energetycznego należą kolory zielone następnie kolory szare natomiast kolory niebieskie oraz czerwone są mniej efektywne. Szacuje się, że przeciętna trwałość w warunkach eksploatacyjnych wynosi jedynie 10 lat.

Tab. 14. Tabela przedstawiająca ogniwa trzeciej generacji
(źródło: opracowanie własne)

5.2.4 Ogniwa czwartej generacji

Perowskity są materiałem nieorganicznymi natomiast przy wytwarzaniu ogniw perowskitowych używane są związki organiczne, np. rozpuszczalniki. Nazwa perowskitu pochodzi od nazwiska rosyjskiego naukowca Lwa Perowskiego, który zajmował się badaniem tych materiałów. Do wykorzystywania perowskitów w fotowoltaice

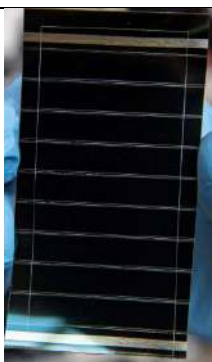
⁹⁰ A. Røyset, T. Kolås, B.P. Jelle, *Coloured building integrated photovoltaics: Influence on energy efficiency*, „Energy & Buildings 2020, vol. 208

doprowadził rozwój technologii oraz poszukiwanie coraz to nowych materiałów i metod otrzymywania ogniw. Wysoka efektywność konwersji energii słonecznej na energię elektryczną jest spowodowana właściwościami optycznymi i elektrycznymi materiałów perowskitowych. Przede wszystkim perowskity charakteryzują się wysokim współczynnikiem absorpcji, dużo wyższym niż współczynnik absorpcji krzemu czy GaAs (najlepszego dotychczas absorbera). Fenomen ogniw perowskitowych polega na tym, że posiadają one pożądane właściwości fizyczne a jednocześnie mogą być wytwarzane z materiałów, które stosunkowo łatwo można otrzymywać z powszechnie dostępnych surowców przy użyciu nieskomplikowanych, dobrze opanowanych technologii cienkowarstwowych. Wysoki potencjał ogniw perowskitowych spowodował, że na świecie bardzo wiele ośrodków badawczo – rozwojowych podjęło badania w powyższym zakresie.⁹¹

Ogniwa hybrydowe można zdefiniować w dwojaki sposób:

- Ogniwa łączące w sobie ogniwa różnych generacji, lub ogniwa łączące w sobie warstwę perowskitów i np. kropek kwantowych ;
- Ogniwa będące połączeniem systemu fotowoltaicznego i systemu kolektorowego.

Kropki kwantowe to cząstki wielkości nanometrów, działające jak półprzewodniki zdolne do pochłaniania i emitowania promieniowania elektromagnetycznego⁹². Zastosowania ogniw, wykorzystujących tę technologię, umożliwia wykonanie modułów w pełni transparentnych.

Ogniwa perowskitowe	
Zdjęcie	 Il. 31. Ogniwo perowskitowe (źródło zdjęcia https://www.energy.gov/)

kontynuacja tabeli na następnej stronie

⁹¹ K. Marszałek, K. Dyndał, G. Lewińska, *Fotowoltaika*, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Kraków 2021, s. 80

⁹² D.Zonglin, M. Dongling, *Recent progress in I-III-VI colloidal quantum dots-integrated solar cells*, „Current Opinion in Colloid and Interface Science” 2025, vol. 75

Deklarowana sprawność	21%
Kolorystyka	Ogniwa mogą być wielobarwne, o pewnym stopniu transparentności
Materiał ogniwa	Perowskity
Opis	Ostatnie rekordy sprawności perowskitowych ogniw słonecznych (20,1%) pochodzą z Koreańskiego Instytutu Badań Technologii Chemicznych (KRICT). Jest to technologia wciąż rozwijająca się, niewykorzystywana na masową skalę.
Ogniwa hybrydowe	
Zdjęcie	 Il. 31a. Moduł hybrydowy (źródło zdjęcia https://www.solarguide.co.uk/)
Deklarowana sprawność	około 20% wyższa niż w przypadku ogniw monokrystalicznych
Kolorystyka	Czarne, ciemne
Opis	Moduł hybrydowy będący połączeniem ogniwa monokrystalicznego oraz kolektora słonecznego. Kolektor słoneczny działający jako wymiennik ciepła ma za zadanie chłodzić ogniwo monokrystaliczne, zachowując jego maksymalny poziom wydajności i równolegle umożliwiać podgrzewanie wody

Tab. 15. Tabela przedstawiająca ogniwa czwartej generacji
(źródło: opracowanie własne)

5.3 Kierunki rozwoju technologii fotowoltaicznej

Obecnie trwają prace badawcze nad dalszym rozwojem technologii fotowoltaicznej. Nadrzędnym celem prac badawczych jest osiągnięcie jak największej sprawności ogniw przy jak najmniejszym koszcie finansowym oraz negatywnym wpływie na środowisko. Duże nadzieje są pokładane w ogniwach perowskitowych, których produkcja względem ogniw krzemowych jest znacznie prostsza i efektywniejsza. Uwagę architektów szczególnie przykuwają transparentne ogniwa słoneczne, a także pojawiające się teoretyczne doniesienia o powłokach fotowoltaicznych, których aplikacja będzie zbliżona do malowania farbą.⁹³

5.4 Systemy fotowoltaiczne

Systemy fotowoltaiczne nazywane również instalacjami fotowoltaicznymi można podzielić na cztery sposoby. Podstawowy podział uzależniony jest od generowanej przez instalację mocy, tym samym wyróżnia się następujące typy wymienione w ustawie z dnia 7 czerwca 2018 r. o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2018 poz. 1276):

- mikroinstalacje – o łącznej zainstalowanej mocy nie większej niż 50kW, przyłączone do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110kV;
- małe instalacje – posiadające moc większą niż 50kW a mniejszą niż 500kW, przyłączone do sieci o napięciu znamionowym niższym niż 110kV;
- średnie instalacje – 500kW a 1MW;
- duże instalacje – moc powyżej 1MW.

Drugi podział systematyzuje instalacje ze względu na sposób współpracy z siecią elektroenergetyczną⁹⁴

- instalacje fotowoltaiczne wyspowe typu off-grid, które nie są podłączone do sieci;
- instalacje fotowoltaiczne typu on-grid, podłączone do sieci.

Trzeci podział rozróżnia systemy ze względu na ich możliwość ruchu względem lokalizacji Słońca:

⁹³ Źródło: <https://solaractionalliance.org/solar-paint/> [dostęp 10.02.2025]

⁹⁴ Z. Hanzelka, A. Firlit, *Elektrownie ze źródłami odnawialnymi: zagadnienia wybrane*, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Kraków 2023, s. 45

- instalacje stacjonarne, które nie przemieszczają się,
- instalacje nadążne, które podążają dostosowując swoją pozycję.

Czwarty podział będący najbardziej interesujący z punktu widzenia architektonicznego wyróżnia metody instalacji systemów w budynku:

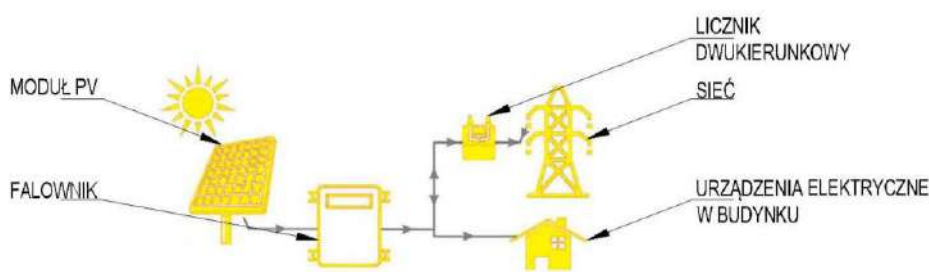
- instalacje BAPV – building added/attached/applied⁹⁵ photovoltaics, czyli struktury addytywne, które nie pełnią dodatkowej funkcji poza konwersją energii,
- instalacje BIPV – building integrated photovoltaics, czyli struktury zintegrowane z budynkiem, które poza przemianą energii odgrywają dodatkową rolę w formie struktury obiektu budowlanego.

W architekturze najczęściej spotykamy się z mikroinstalacjami oraz małymi instalacjami typu on-grid w formie stacjonarnej. Na podstawie metody obserwacyjnej można stwierdzić, że w Polsce najbardziej rozpowszechniona jest forma instalacji systemów metodą BAPV.

5.4.1 Instalacja PV typu on-grid

System fotowoltaiczny typu on-grid składa się z następujących elementów⁹⁶:

- modułów, zbudowanych z ogniw fotowoltaicznych;
- inwertera, nazywanego również falownikiem zamieniającego wyprodukowany prąd stały na prąd zmienny;
- rozdzielnicę elektryczną,
- licznika dwukierunkowego oraz okablowania



II. 32. Schemat instalacji typu on-grid (źródło: opracowanie własne)

W instalacji typu on-grid tymczasowy nadmiar wyprodukowanej energii elektrycznej jest odprowadzany do sieci (odpłatnie). Niestety bilans finansowy tego

⁹⁵ Określenia te dotyczące struktur dodanych są stosowane zamiennie w języku angielskim

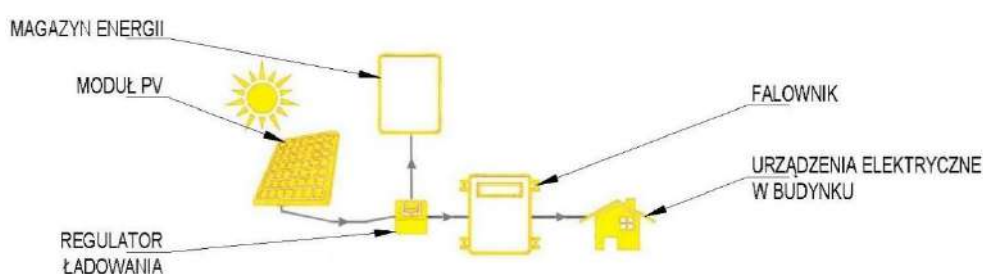
⁹⁶ N. M. Kumar, M.S.P. Subathra, J. E. Moses, *On-Grid Solar Photovoltaic System: Components, Design Considerations, and Case Study*, „Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc” 2018, s.616-619

rozwiązania jest ujemny dla użytkownika (prosumenta) ze względu na różnicę w cenie energii sprzedawanej i energii kupowanej.

5.4.2 Instalacja PV typu off-grid

Instalacja PV typu off-grid nazywana jest również zamiennie instalacją wyspową, ponieważ pracuje niezależnie. Składa się ona z ⁹⁷:

- modułów, zbudowanych z ogniw fotowoltaicznych;
- regulatora ładowania połączonego z zasobnikiem energii (akumulatory);
- inwertera, który również może posiadać w sobie wbudowaną funkcję magazynową;
- okablowania



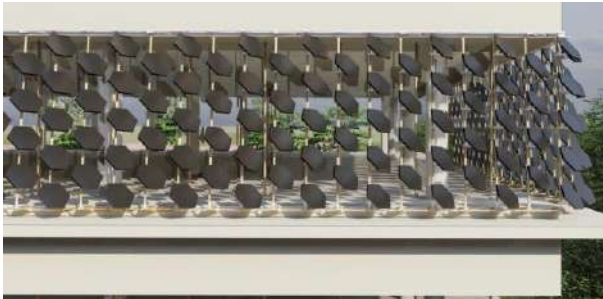
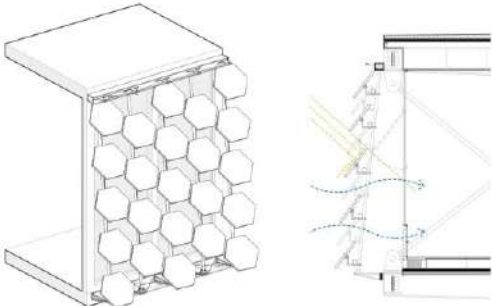
II. 33. Schemat instalacji typu off-grid
(źródło: opracowanie własne)

W instalacji typu off - grid obiekt budowlany oczywiście może być niezależnie przyłączony do sieci, tak aby zapewnić stabilność dostaw energii elektrycznej, natomiast wszelkie nadwyżki energetyczne wyprodukowane przez instalację PV są magazynowane w akumulatorach. Instalacja ta cechuje się pewnym rodzajem niezależności i można ją zastosować w miejscach, w których dostęp do sieci elektroenergetycznej jest z jakiegoś powodu utrudniony bądź niemożliwy, np. w domku letniskowym.

⁹⁷ S. K. Saha, *Empowering Rural South Asia: Off-Grid Solar PV, Electricity Accessibility, and Sustainable Agriculture*, "Applied Energy" 2025, vol. 377

5.4.3 Instalacje PV stacjonarne i instalacje nadążne

Jak już wcześniej zostało wspomniane jest to podział instalacji ze względu na ich możliwość „śledzenia ruchu Słońca”. Określenie to jest pewnym słownym uproszczeniem, ze względu na charakter teorii heliocentrycznej⁹⁸.

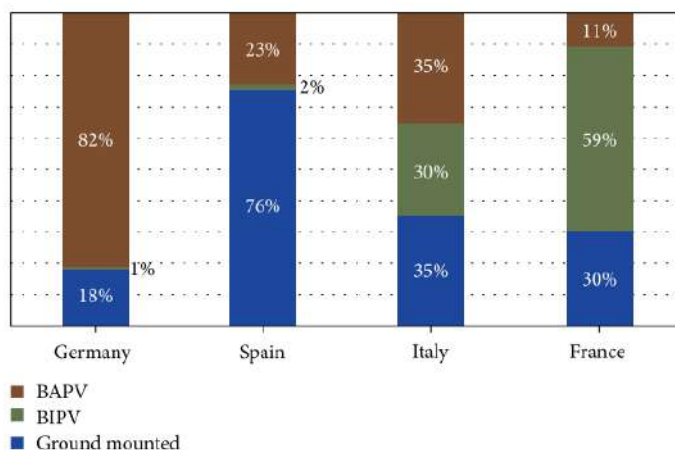
Instalacja PV stacjonarna	Instalacja PV nadążna
 Il. 34. Instalacja PV stacjonarna wolnostojąca (źródło zdjęcia https://www.4sun.eu)	 Il. 35. Instalacja PV nadążna na elewacji obiektu (źródło renderu: https://www.gw-news.eu/)
 Il. 34a. Instalacja PV stacjonarna na płaskim dachu (źródło zdjęcia https://www.spiritenergy.co.uk/)	 Il. 35a. Instalacja PV nadążna na elewacji obiektu (źródło schematu: https://www.gw-news.eu/)
Na powyższych zdjęciach przedstawiono instalację PV stacjonarną, w większości przypadków w architekturze pojawia się właśnie ten rodzaj PV	Powyższa ilustracja jest renderingiem koncepcji montażu nadążnej instalacji PV (trackerów) na fasadzie obiektu w formie BIPV. Istnieje również możliwość zamontowania standardowych trackerów np. na dachach płaskich.

Tab. 16. Instalacje stacjonarne oraz nadążne
(źródło: opracowanie własne)

⁹⁸ Ugruntowana teoria budowy Układu Słonecznego, w której Słońce jest jego środkiem a wszystkie planety – łącznie z Ziemią – je obiegają

5.4.4 BAPV, BIPV

Według informacji zawartych w niektórych artykułach naukowych⁹⁹ podział rynku instalacji fotowoltaicznych zintegrowanych oraz dodanych w wybranych krajach europejskich przedstawia się następująco:



Il. 36. Udział instalacji PV w rynku fotowoltaicznym w wybranych krajach europejskich ze względu na sposób montażu (źródło wykresu wg. przypisu ⁹⁹)

BAPV	BIPV
 Il. 37. Instalacja BIPV na elewacji (źródło zdjęcia https://ags.org.pl/)	 Il. 38. Instalacja BAPV na elewacji (źródło zdjęcia: https://www.gw-news.eu/)
Instalacja PV dodana do struktury budynku. Moduły PV wyraźnie wystają poza obrys elewacji co może sugerować, że produkcja energii to ich jedyna funkcja.	Instalacja PV zintegrowana ze strukturą budynku (warstwa okładzinowa). Pomimo produkcji energii, moduły stanowią warstwę wykończeniową fasady.

Tab. 17. Instalacje fotowoltaiczne dodane oraz instalacje zintegrowane (źródło: opracowanie własne)

⁹⁹ B. Joseph, T. Pogrebnaya, B. Kichonge, *Semitransparent Building-Integrated Photovoltaic: Review on Energy Performance, Challenges, and Future Potential*, International Journal of Photoenergy 2019, vol. 2019

Dodatkowo niektóre artykuły naukowe¹⁰⁰ wprowadzają bardzo rozbudowany system podziału instalacji fotowoltaicznych, zdaje się że jedynie w formie ciekawostki oraz na poczet prowadzonych badań.



Il. 39. Podział instalacji PV ze względu na sposób montażu
(źródło ilustracji wg. przypisu ¹⁰⁰)

Na powyższej ilustracji między innymi przedstawiono:

- SPVT – solar photovoltaic tree – drzewo fotowoltaiczne,
- OMPV – open-mount photovoltaics – PV wolnostojąca,
- RMPV – roof-mounted photovoltaics – PV montowana na dachu,
- CMSPV – canopy-mounted solar pv – PV na zadaszeniach wolnostojących,
- RIPV – roof integrated pv – PV zintegrowana z dachami,
- FIPV – facade integrated pv – PV zintegrowana z fasadami,
- ROaPV – road attached pv – PV dodana do systemów drogowych,

Ze względu na szczególne znaczenie technologii dodanych oraz zintegrowanych ze strukturą budynku w projektowaniu architektoniczno-budowlanym, zostały one szczegółowo przedstawione wraz z analizą rozwiązań przestrzenno-technicznych w rozdziale 8 niniejszej pracy.

¹⁰⁰ N.M. Kumar, S.S. Chopra, M. Malvoni, R.M. Elavarasan, N.Das, *Solar Cell Technology Selection for a PV Leaf Based on Energy and Sustainability Indicators—A Case of a Multilayered Solar Photovoltaic Tree*, „Energies” 2020, vol. 13, nr 6349

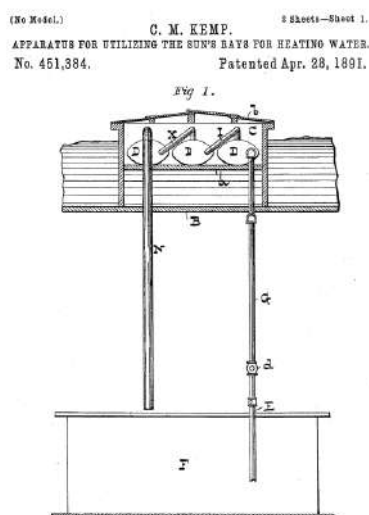
VI. SYSTEMY KOLEKTOROWE

6. SYSTEMY KOLEKTOROWE

6.1 Historia oraz rozwój idei

Horace-Benedict de Saussure w 1767, będący szwajcarskim fizykiem oraz pasjonatem alpinizmu, zbudował tzw. gorące pudełko uważane za pierwszy kolektor słoneczny¹⁰¹. XVIII-wieczny kolektor był drewnianą skrzynką izolowaną czarnym korkiem i przykrytą szkłem. Wewnątrz skrzynki znajdowało się mniejsze szklane naczynie. Po umieszczeniu skrzynki na słońcu jego promienie doprowadzały wodę znajdującą się w wewnętrznym naczyniu do wrzenia.

Pierwszy komercyjny produkt opatentował w 1891 roku Clarence Kemp. Przywołany produkt wykorzystywał promienie słoneczne do podgrzewania wody do „kąpieli oraz innych celów domowych”. Wynalazek składał się z połączonych zbiorników (oznaczonych na poniższym rysunku literką D), przekrytych przeszkleniem. Przekrój zbiorników miał kształt elipsy tak aby zmaksymalizować powierzchnię wystawioną na działanie promieni słonecznych. Zbiorniki uzupełniane były systemem rurek po prawej stronie niniejszego widoku, rura oznaczona literą N była doprowadzona do punktu poboru ciepłej wody (na rysunku pokazano wannę)¹⁰². C. Kemp swój wynalazek nazwał Climax Solar Water Heater, który rzekomo był bardzo popularny na zachodnim wybrzeżu Ameryki Północnej.



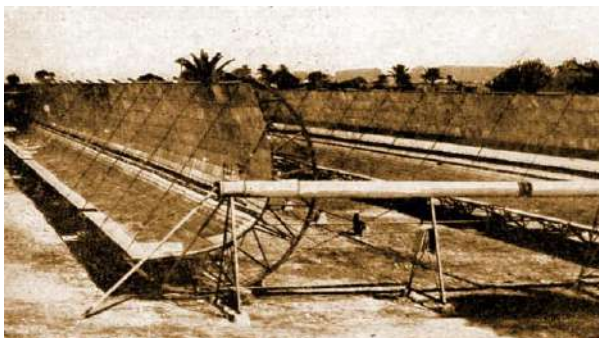
Il. 40. Fragment dokumentacji patentowej, Clarence Kemp, 1891r
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁰³)

¹⁰¹ Źródło: <https://paleo-energetique.org/en> [dostęp 10.02.2025]

¹⁰² Zawarto informacje przedstawione w dokumentacji patentowej

¹⁰³ Patent Images Storage, <https://patentimages.storage.googleapis.com/52/39/5d/3a4e3076910d6f/US451384.pdf> [dostęp 17.02.2025]

Pierwsza zasilana energią słoneczną stacja pomp do nawadniania roślin powstała w Egipcie w 1912 roku. Jej konstruktorem był amerykański pionier energii solarnej – Frank Shuman. System składał się z 62-metrowej linii cylindrów o powierzchni 1200 m². Wytwarzał 37-45 kW energii przez 5 godzin, co pozwalało przepompować 20 tys. wody z Nilu w ciągu minuty.



Il. 41. Solarny system nawadniający Shuman'a
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁰⁴)

Pierwszym „aktywnym słonecznie” domem był MIT Solar House I, powstały w Cambridge, Massachusetts w roku 1939¹⁰⁵. Ten parterowy dom wykorzystywał promieniowanie słoneczne jako źródło ogrzewania w zimie. Zaproponowano w nim również wytwarzanie energii elektrycznej, którą wykorzystywano w okresie letnim do chłodzenia domu. Pod parterowym budynkiem znajdował się zbiornik z cieczą o pojemności prawie 66.000 litrów. Woda nieustannie płynąca w miedzianych rurkach została ogrzewana i wracała do podziemnego zbiornika. Wentylatory tłoczyły powietrze z parteru domu do piwnicy, powietrze ogrzewało się od zbiornika i z powrotem wracało do części nadziemnej. Na przestrzeni lat idea ta była wciąż rozwijana w MIT oraz dotarła do Europy.



Il. 42. Mit Solar House (źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁰⁶)

¹⁰⁴ BBC, <https://www.bbc.com/future/article/20230420-the-forgotten-20th-century-sun-engine> [dostęp 17.02.2025]

¹⁰⁵ R. Krippner (red.), *Building-Integrated Solar Technology: Architectural Design with Photovoltaics and Solar Thermal Energy*, Detail Business Information GmbH, Monachium 2017, s.73

¹⁰⁶ Technology Review, <https://www.technologyreview.com/2017/04/25/152254/the-first-us-house-to-go-solar/> [dostęp 17.02.2025]

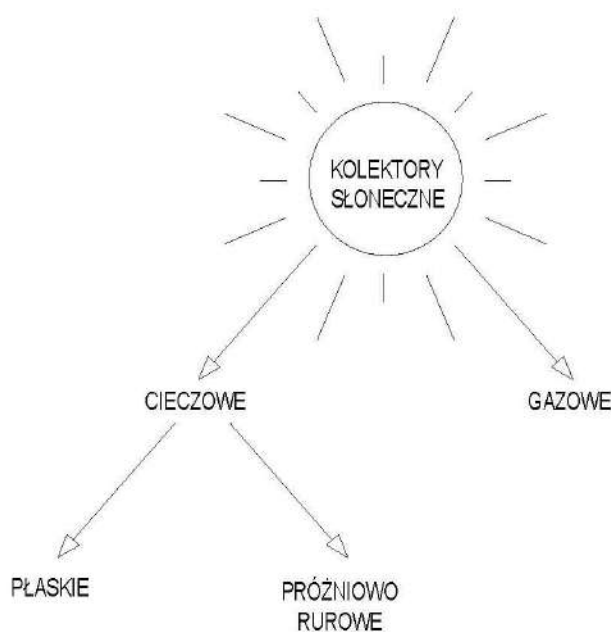
6.2 Współczesne rodzaje kolektorów słonecznych

Nośnikiem energii cieplnej w kolektorze słonecznym może być ciecz (glikol, woda) lub gaz (powietrze). Wymagania określające temperaturę czynnika roboczego na wyjściu z urządzenia determinują jego konstrukcję. Pod tym względem wyróżnić można kolektory:

- niskotemperaturowe (temperatura czynnika roboczego do 100°C);
- średniotemperaturowe (100-200°C);
- wysokotemperaturowe (200-3000°C).

W budynkach najczęściej wykorzystuje się kolektory niskotemperaturowe. Ich zadaniem jest podgrzanie czynnika roboczego (wody, mieszaniny wody i czynników zabezpieczających przed zamarznięciem lub powietrza) dla realizacji celów użytkowych: podgrzania ciepłej wody użytkowej i/lub wody w basenach kąpielowych oraz dodatkowo do wspomagania systemu grzewczego.

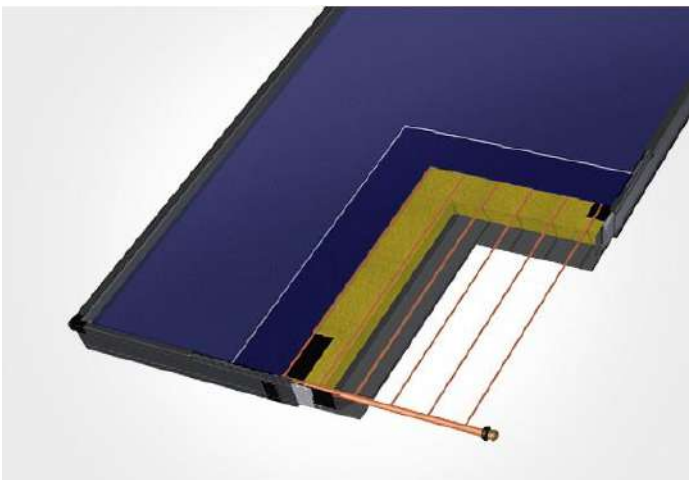
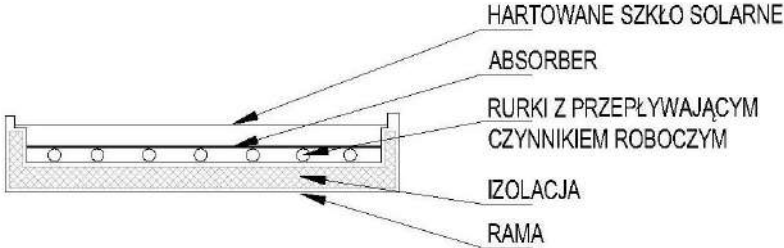
Na poniższej ilustracji przedstawiono ogólny podział kolektorów słonecznych wykorzystywanych w architekturze ze względu na rodzaj nośnika ciepła.



Il. 43. Ogólny podział kolektorów ze względu na nośnik ciepła
(źródło: opracowanie własne)

6.2.1 Kolektory cieczowe

Podstawowym elementem kolektora słonecznego jest absorber, będący pewnego rodzaju płytą główną, do której przytwierdzone są kanały przepływowe czynnika. Zarówno geometria absorbera jak i kanałów przepływowych może być różna. Kolorystyka absorberów jest ciemna –ze względu na właściwości fizyczne ciemnych barw, tj. wysoką zdolność do pochłaniania promieniowania cieplnego we wszystkich pasmach. Absorbery cechują się również niskim współczynnikiem emisji promieniowania cieplnego (są selektywne). Od strony czołowej pokryte są cienką warstwą materiału (np. czarny nikiel, czarna miedź lub inne związki chemiczne). Elementem transportującym ciepło jest ciecz, najczęściej glikol.

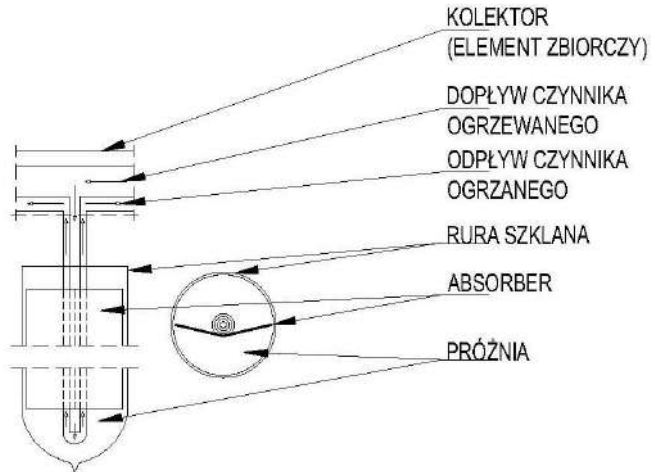
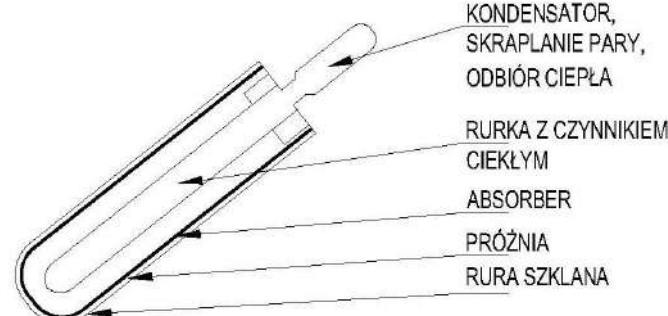
Kolektor cieczowy płaski	
Zdjęcie	 II. 44. Kolektor cieczowy płaski (źródło zdjęcia https://www.hevalex.pl)
Schemat przekroju	 II. 45. Kolektor cieczowy płaski przekrój (opracowanie własne)

kontynuacja tabeli na następnej stronie

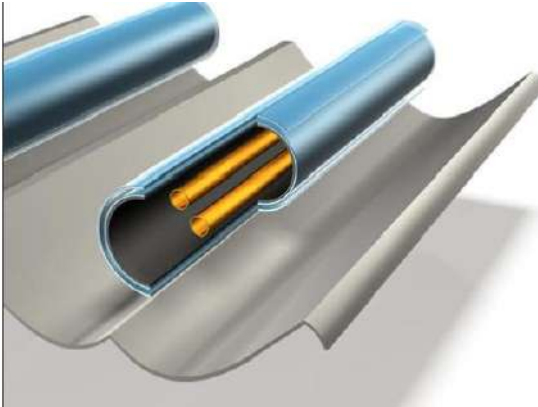
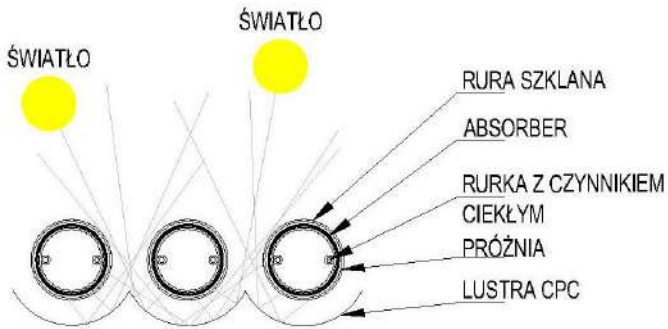
Sprawność optyczna (η_0) ¹⁰⁷	~80%
Forma kolektorów	Płaska, prostokątna, ciemne barwy, z ramką
Opis	Wytworzona na absorberze energia cieplna przekazywana jest do przylutowanych do jego powierzchni miedzianych rurek. Krążąca w rurach ciecz (woda lub niezamarzający płyn) odbiera ciepło i schładza absorber, który jest w sposób ciągle ogrzewany przez słońce. Ogrzane medium przepływa dalej do zasobnika, gdzie oddaje ciepło magazynowanej w zasobniku wodzie użytkowej i trafia z powrotem do kolektora. Wysoka sprawność optyczna umożliwia efektywne korzystanie z kolektorów w trakcie lata, natomiast są mniej efektywne w okresie jesienno-zimowym względem kolektorów próżniowych
Kolektor cieczowy próżniowo-rurowy	
Zdjęcie	 Il. 46. Kolektor cieczowy próżniowo-rurowy typu rura w rurze (źródło zdjęcia https://www.hevalex.pl)

kontynuacja tabeli na następnej stronie

¹⁰⁷ Podano sprawność kolektorów powszechnie dostępnych na rynku towarów

Schemat przekroju	 II. 47. Kolektor cieczowy płaski próżniowo-rurowy typu rura w rurze przekrój (źródło: opracowanie własne)  II. 48. Kolektor cieczowy próżniowy typ heat-pipe przekrój (źródło: opracowanie własne)
Sprawność optyczna (η_o)	50-70%
Opis	Kolektory rurowo-próżniowe posiadają swoje podtypy, różniące się budową cylindrycznych bloków. Ilustracje powyżej przedstawiają kolektor typu rura w rurze oraz kolektor typu heat pipe. Istnieją również inne rozwiązania transferowania czynnika grzejjego (kolektor typu rurka U) gdzie zamiast dwóch rurek (tak jak w przypadku kolektora typu rura w rurze) pojawia się jedna wyprofilowana w kształcie U prowadzona po krawędzi rury szklanej. Kolektor typu rura-rura a heat-pipe różni się metodą odbioru ciepła, gdzie czynnik odbierający ciepło nie wpływa bezpośrednio do dwóchściennych rurek, lecz odbiera je od skraplacza zlokalizowanego w kolektorze.

kontynuacja tabeli na następnej stronie

Kolektor cieczowy próżniowo-rurowy CPC	
Zdjęcie	 II. 49. Kolektor cieczowy próżniowo-rurowy typu CPC (źródło zdjęcia https://www.instsani.pl)  II. 50. Kolektor cieczowy próżniowo-rurowy typu CPC przekrój (źródło: opracowanie własne)
Sprawność optyczna (η_0)	65%
Opis	Kolektor rurowo-próżniowy typu CPC z rurkami typu U, występuje z dodatkowym zwierciadłem odbłaskowym, zwiększającym wielkość promieniowania słonecznego, które dociera do bloków cylindrycznych.

kontynuacja tabeli na następnej stronie

Kolektor cieczowy nieosłonięty zakrzywiony	
Zdjęcie	 Il. 51. Kolektor cieczowy zakrzywiony (źródło zdjęcia https://www.steinbach-group.com/)
Sprawność optyczna (η_0)	brak danych
Opis	Kolektor przedstawiony w formie ciekawostki, złożony z giętkich rur PVC, bez absorbera, może funkcjonować jako wspomaganie ogrzewania np. wody w basenie.

Tab. 18. Kolektory cieczowe
(źródło: opracowanie własne)

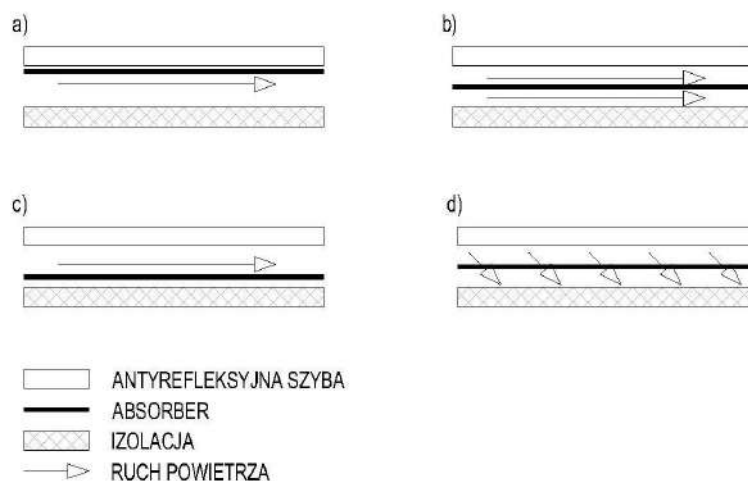
6.2.2 Kolektory gazowe

W kolektorach gazowych energia solarna zostaje konwertowana na energię cieplną, której nośnikiem jest gaz (np. powietrze). Literatura naukowa¹⁰⁸ jako przewagę kolektorów gazowych nad kolektorami słonecznymi na ciecz wymienia: brak problemów z korozją, przegrzewaniem czynnika, zamarzaniem czynnika oraz przeciekami. Powietrze dzięki mniejszej pojemności cieplnej nagrzewa się szybciej niż woda, w związku z tym w kolektorach gazowych można osiągnąć wyższe temperatury medium przy niskich poziomach nasłonecznienia względem kolektorów cieczowych. Magazynowanie energii powstających w systemach powietrznych można przeprowadzić jedynie pośrednio (zamieniając je np. na ciecz). Niższa pojemność i gorsza

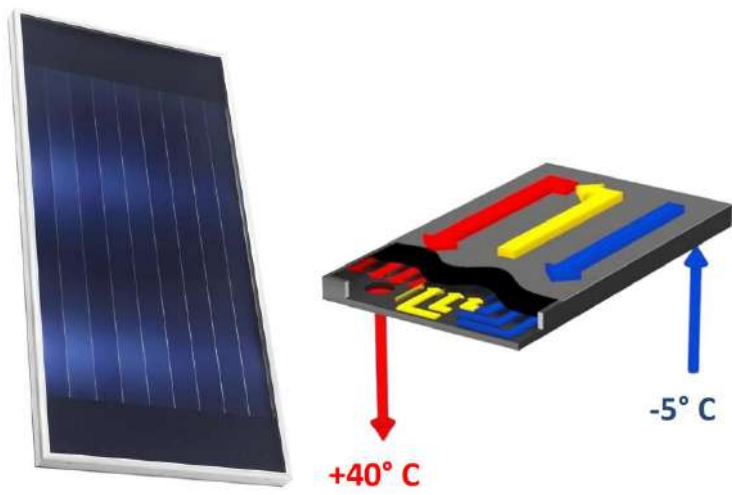
¹⁰⁸ S. Aboul-Enein, A.A. El-Sebaei, M.R.I. Ramadan, H.G. El-Gohary, Parametric study of a solar air heater with and without thermal storage for solar drying applications, „Renewable Energy” 2000, vol. 21, s.505-522.

przewodność cieplna powietrza w porównaniu z cieczami, wymaga większych średnic kanałów oraz powierzchni wymiennika. Wyróżnia się następujące typy kolektorów gazowych ze względu na sposób przepływu powietrza.

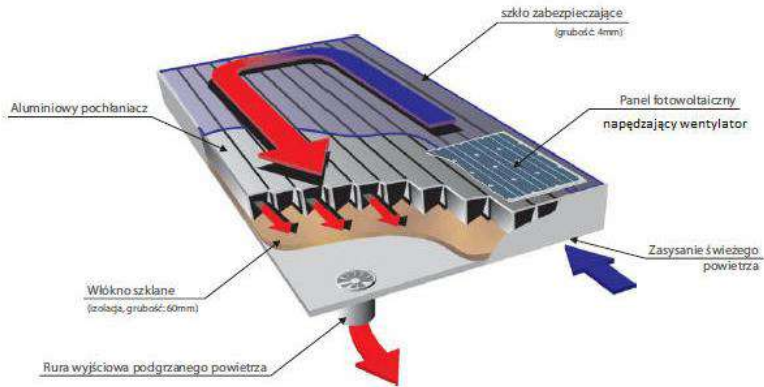
- a) – kolektor z przepływem powietrza pod absorberem,
- b) – kolektor z przepływem powietrza nad i pod absorberem,
- c) – kolektor z przepływem powietrza nad absorberem,
- d) – kolektor z przepływem powietrza przez absorber
-



II. 52. Podział kolektorów gazowych ze względu na sposób przepływu powietrza
(źródło: opracowanie własne)

Kolektor gazowy klasyczny	
Zdjęcie	 II. 53. Kolektor gazowy klasyczny II. 54. Kolektor gazowy klasyczny zasada działania (źródło ilustracji: https://www.spektrum.tech)

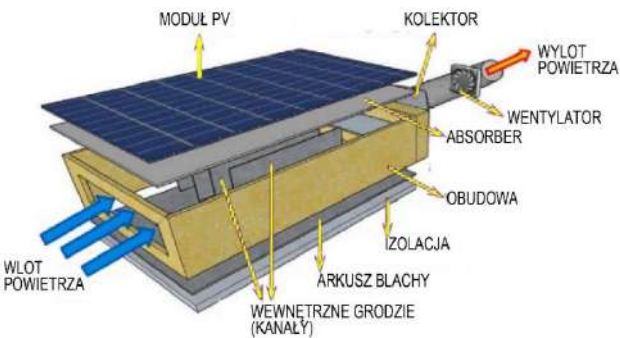
kontynuacja tabeli na następnej stronie

Sprawność	20-80% na podstawie ¹⁰⁹ w zależności od pory dnia
Opis	Wchodzące do kolektora powietrze (wprowadzone w ruch przy pomocy wentylatora) kierowane jest do kanałów powietrznych. Górna powierzchnia kanałów powietrznych powleczone jest warstwą selektywną absorbującą promieniowanie słoneczne. Na całej drodze kanałów powietrznych następuje przyrost temperatury powietrza.
Kolektor gazowy z ogniwami PV	
Zdjęcie	 II. 55. Kolektor gazowy z ogniwami fotowoltaicznymi (źródło ilustracji https://www.instsani.pl)
Sprawność	20-80% na podstawie ¹¹⁰ w zależności od pory dnia
Opis	Zasada działania jak i sprawność powyższego kolektora jest zbliżona do kolektora klasycznego, wprowadzony w tym przypadku moduł fotowoltaiczny ma za zadanie generować prąd stały, którego przeznaczeniem jest zasilanie wentylatora wprowadzającego krążącego wewnątrz kolektora powietrze w ruch

kontynuacja tabeli na następnej stronie

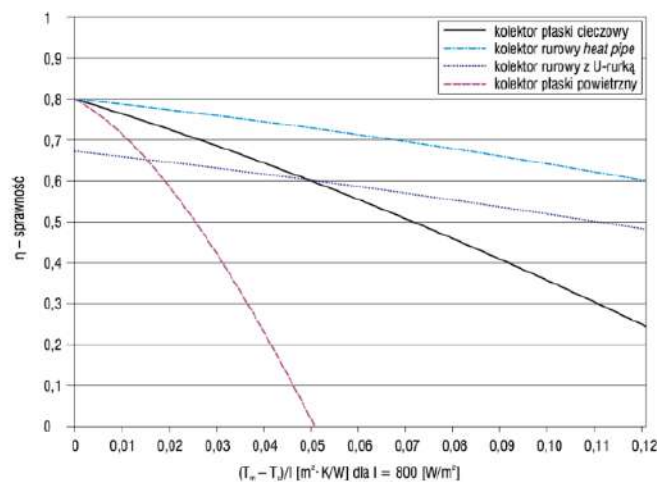
¹⁰⁹ S. Aboul-Enein, A.A. El-Sebaei, M.R.I. Ramadan, H.G. El-Gohary, Parametric study of a solar air heater with and without thermal storage for solar drying applications, „Renewable Energy” 2000, vol. 21, s.505-522.

¹¹⁰ Ibidem.

Kolektor gazowy hybrydowy	
Zdjęcie	 Il. 56. Kolektor gazowy z ogniwami fotowoltaicznymi (opracowanie własne na podstawie ¹¹¹)
Sprawność	30-57% na podstawie bibliografii ¹¹²
Opis	Moduł hybrydowy równolegle generujący prąd oraz ciepłe powietrze. Sprawność zależy od wielu czynników, tzn. generacji zastosowanego ogniwa, lokalizacji, geometrii wewnętrznych grodzi.

Tab. 19. Kolektory gazowe
(źródło: opracowanie własne)

Poniżej przedstawiono wykres prezentujący sprawności poszczególnych typów kolektorów słonecznych.



Il. 57. Sprawność różnych typów kolektorów
(źródło wykresu wg. przypisu¹¹³)

¹¹¹ C. Sirin, J. Goggins, M. Hajdukiewicz, A review on building-integrated photovoltaic/thermal systems for green buildings, „Applied Thermal Engineering” 2023, vol. 229

¹¹² Ibidem.

¹¹³ J.M.K. Neupauer, Analiza sprawności kolektorów słonecznych różnych typów, „Czasopismo Techniczne Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej” 2009, nr 4, s.57-65

Istnieją również inne typy kolektorów słonecznych, znacznie mniej popularnych w architekturze, do których zaliczyć możemy: kolektory słoneczne typu ICS (internal collector storage) posiadające wbudowaną opcję magazynowania ciepła (cieczy), paraboliczne kolektory bifacialne, czy też kolektory koncentryczne.¹¹⁴

6.3 Kierunki rozwoju kolektorów słonecznych

Obecnie literatura naukowa prezentuje badania efektywności kolektorów słonecznych ze względu na rodzaj nośnika ciepła, sposobu jego przepływu przez moduł¹¹⁵. Część artykułów naukowych zwraca uwagę na benefity szerszego wykorzystywania technologii BIPV/T¹¹⁶, tj. modułów hybrydowych w architekturze¹¹⁷. Warto zaznaczyć, że literatura coraz częściej przedstawia badania na temat efektywności wykorzystywania w kolektorach słonecznych nośnika ciepła będącego nanofluidami¹¹⁸. Ich zastosowanie umożliwia podniesienie sprawności kolektorów słonecznych, ze względu na właściwości fizyczne nanocząsteczek¹¹⁹. Obecnie rozwijają się również obecnie systemy kolektorów słonecznych współpracujących z pompami ciepła, co przekłada się na sumaryczne obniżenie zużycia prądu niezbędnego do pracy układu pompy ciepła¹²⁰.

Trudno natomiast odpowiedzialnie stwierdzić, czy obecnie podjęte badania naukowe podejmujące tematykę kolektorów słonecznych wprowadzą istotne zmiany w architekturze obiektów.

6.4 Systemy kolektorowe

Systemy kolektorowe można usystematyzować mając na względzie sposób wymiany ciepła, tj. w zależności od używanego czynnika, jako systemy ciekłe oraz systemy powietrzne.

¹¹⁴ D. Chwieduk, *Solar Energy in Buildings*, Elsevier 2014, s. 289

¹¹⁵ F. Ascione, S. Nizetic, F. Wang, Future technologies for building sector to accelerate energy transition, „Energy and Buildings” 2025, vol. 326

¹¹⁶ BIPV/T - building integrated photovoltaic / thermal

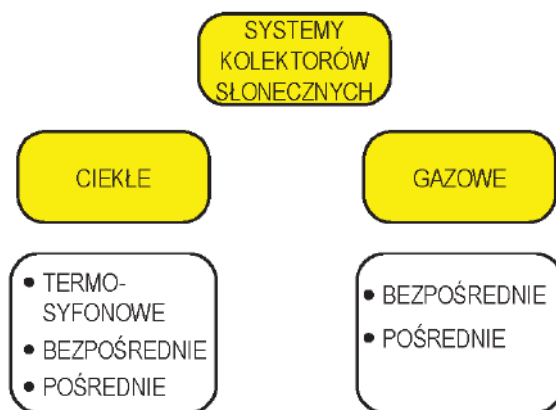
¹¹⁷ E.D. Rounis, A.K. Athientis, T. Stathopoulos, BIPV/T curtain wall systems: Design, development and testing, „Journal of Building Engineering” 2021, vol. 42

¹¹⁸ D. Dewanjee, B. Kundu, A review of applications of green nanofluids for performance improvement of solar collectors, „Renewable Energy” 2025, vol. 240

¹¹⁹ J. Bakalarz, J. Thullie, Ł. Kurowski, T. Wiśniowski, M. Palica, Charakterystyka przewodnictwa cieplnego nanopłynów zawierających cząstki Al_2O_3 , „Inżyniera i Aparatura Chemiczna” 2010, vol. 49 nr 6, s.21-23

¹²⁰ X. Li, Q. Wu, J. Li, J. Zhu, V. Novakovic, Performance study of solar air collector-air source heat pump system inside the greenhouse, „Case Studies in Thermal Engineering” 2024, vol. 63

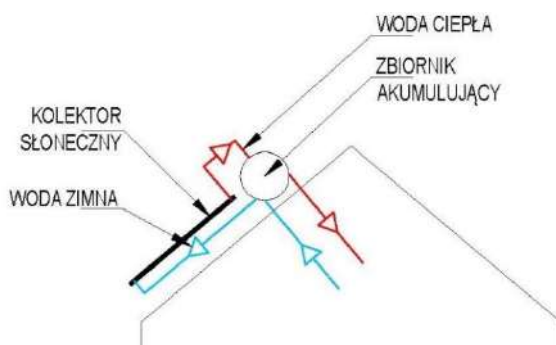
Bezpośrednio z tym podziałem, można wprowadzić podrozdział, wynikający z funkcji systemu kolektorowego, tj. wspomaganie systemu C.W.U., wspomaganie systemu C.O., wspomaganie odbiorników kąpielowych (np. basenów). Z kolei systemy gazowe (powietrzne) mogą służyć jako elementy bezpośredniego ogrzewania powietrza w rozbudowanej formie jako hypokaustyczne oraz pośredniego przy użyciu wymiennika ciepła. W dalszej części niniejszego rozdziału przedstawiono oraz scharakteryzowano poszczególne systemy, wg. poniższej ilustracji.



Il. 58. Podział systemów kolektorowych (źródło: opracowanie własne)

6.4.1 System termosyfonowy

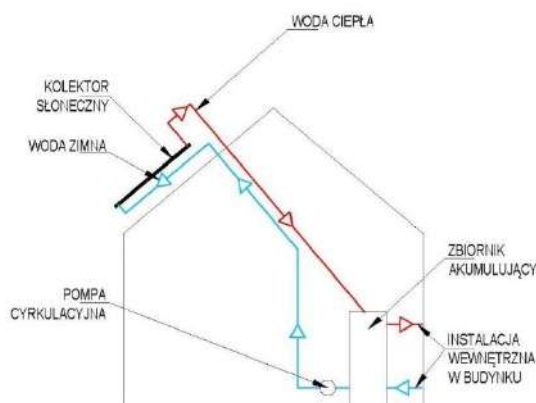
System termosyfonowy jest stosunkowo prostym systemem umożliwiającym podgrzewanie cieczy. Składa się z kolektora słonecznego, zbiornika akumulującego oraz orurowania. Podgrzana energią słoneczną woda dopływa do górnej części zbiornika a woda zimna znajdująca się w jego dolnej części, na skutek konwekcji zostaje wtłoczona do kolektora tworząc obieg zamknięty. Zbiornik akumulacyjny musi zostać zainstalowany powyżej górnej krawędzi kolektora słonecznego (jest to system bez pompowy). Nadaje się on do zastosowania w prostych budynkach o niskim stopniu zużycia ciepłej wody.



Il. 59. Schemat działania systemu termosyfonowego (źródło: opracowanie własne)

6.4.2 System ciekły bezpośredni

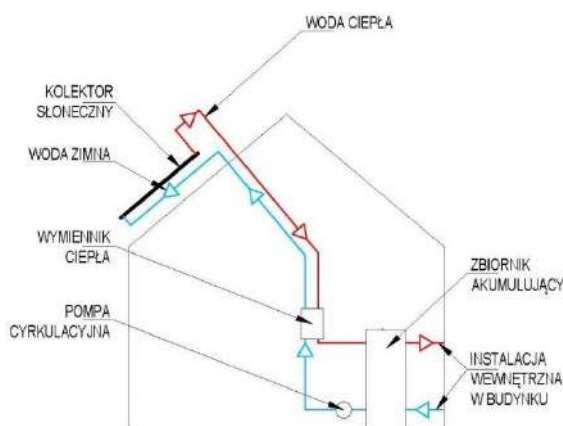
System ciekły bezpośredni jest rodzajem aktywnego systemu ze względu na użycie pompy, wprowadzającej w ruch wodę. Tym samym instalacja składa się z kolektora słonecznego, zbiornika akumulującego, układu automatycznego sterowania, orurowania i zaworów. Ze względu na brak dodatkowego wymiennika ciepła system ten nazywa się bezpośrednim. To znaczy, że podgrzana ciecz trafia do zbiornika akumulacyjnego i stamtąd dalej do instalacji wewnętrznej w budynku. W przypadku zastosowania instalacji na cele związane z C.W.U. czynnikiem może być jedynie woda, co uniemożliwia korzystanie z systemu w miesiącach zimowych.



Il. 60. Schemat działania systemu ciekłego bezpośredniego (źródło: opracowanie własne)

6.4.3 System ciekły pośredni

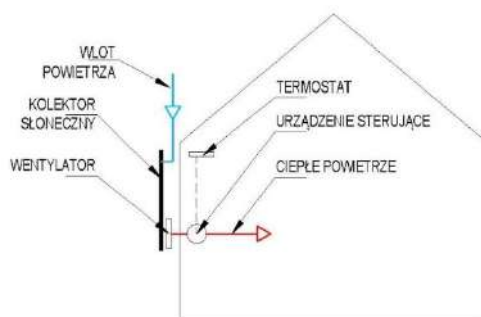
System ciekły pośredni różni się od systemu bezpośredniego sposobem wymiany ciepła w instalacji wewnętrznej. Do tego celu stosuje się wymiennik ciepła. Zastosowanie tego komponentu umożliwia wprowadzenie jako medium cyrkulowanego w obiegu instalacji kolektorowej np. roztworu glikolu, który nie zamarza oraz cechuje się lepszym parametrem pojemności cieplnej.



Il. 61. Schemat działania systemu ciekłego pośredniego (źródło: opracowanie własne)

6.4.4 System powietrzny bezpośredni

W systemie powietrznym bezpośrednim nie następuje zamiana czynnika grzewczego. Prosta instalacja wykorzystująca kolektory słoneczne powietrzne składa się dodatkowo z wentylatora wprowadzającego powietrze w ruch oraz systemu sterowania wentylatorem, tj. regulatora sterowania oraz termostatu.

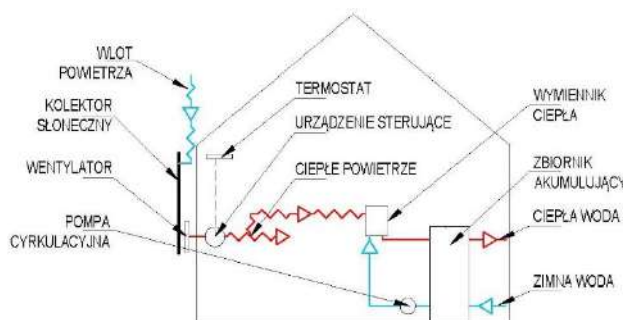


Il. 62. Schemat działania systemu powietrznego bezpośredniego (źródło: opracowanie własne)

System może zostać rozszerzony o kanały prowadzone wewnątrz obiektu i tym samym stając się czymś w rodzaju ogrzewania hypokaustycznego, stosowanego już przed naszą erą. Rozwiązanie to cechuje się mało popularnością związaną z ograniczeniem jego stosowania w nasłonecznione dni, w porze nocnej nie możemy mówić o jakimkolwiek uzysku energetycznym.

6.4.5 System powietrzny pośredni

Wymiennik ciepła typu powietrze-woda, zastosowany w systemie powietrznym umożliwia zmianę rodzaju nośnika ciepła. Instalacja tego typu pozwala na równoległe podgrzewanie C.W.U. jak i powietrza wentylacyjnego.



Il. 63. Schemat działania systemu powietrznego pośredniego (opracowanie własne)

System ma tożsame minusy z systemem bezpośrednim. Może on działać jedynie jako element wspomagający przy użyciu innego źródła ciepła (np. pompy ciepła)

VII. PROJEKTOWANIE URBANISTYCZNE A TECHNOLOGIA SOLARNA

7. PROJEKTOWANIE URBANISTYCZNE A TECHNOLOGIA SOLARNA

7.1 Charakterystyka badań

W niniejszym rozdziale przedstawiono badania poruszające tematykę projektowania urbanistycznego w kontekście zastosowanych technologii solarnych. Poniższe porównawcze studium przypadków stanowi zwięzłą charakterystykę założeń urbanistycznych wyróżniających się zastosowaniem technologii solarnych. Omawiane przykłady dotyczą zarówno założeń, w których wykorzystanie technologii solarnych było myślą przewodnią, to znaczy ideą projektową jak i założeń rewitalizowanych, gdzie technologia solarna oprócz produkcji energii pełni równolegle rodzaj funkcji wizerunkowej, podkreślając tym samym „unowocześnienie” istniejącego już założenia. Badania zostały przeprowadzone w oparciu o:

- materiały ogólnie udostępniane przez jednostki projektowe oraz inwestorów,
- internetowe bazy danych,
- oprogramowanie komputerowe,
- komputerowe symulacje nasłonecznienia.

7.2 Kryteria doboru przykładów

Zastosowano następujące kryteria doboru przykładów:

- kryterium czasowe: obejmujące realizacje współczesne.

Idea wykorzystywania technologii solarnych w skali urbanistycznej jest pojęciem stosunkowo młodym, stąd pojawia się problem w doborze przykładów przed rokiem 1980.

- kryterium terytorialne: wybrane europejskie kraje.

Wykorzystywanie technologii solarnej w skali urbanistycznej zaczęło pojawiać się w gospodarkach państw dobrze rozwiniętych zarówno na starym kontynencie jak i Ameryce Północnej czy też Australii. Wprowadzone ograniczenia w kryterium terytorialnym powstały w wyniku ograniczenia się do półkuli północnej oraz strefy czasowej (UTC 0 oraz UTC +1). W Polsce brakuje przykładów urbanistycznych wykorzystujących technologię solarną z wyjątkiem gęsto powstających farm fotowoltaicznych poza terytoriami miast, których analiza z punktu widzenia urbanistycznego jest bezprzedmiotowa.

- kryterium funkcjonalne: brak ograniczeń.

Wybrane przykłady przedstawiają założenia pełniące funkcje zarówno mieszkalne, usługowe, przemysłowe jak i infrastrukturalne.

7.3 Problematyka studium przypadku

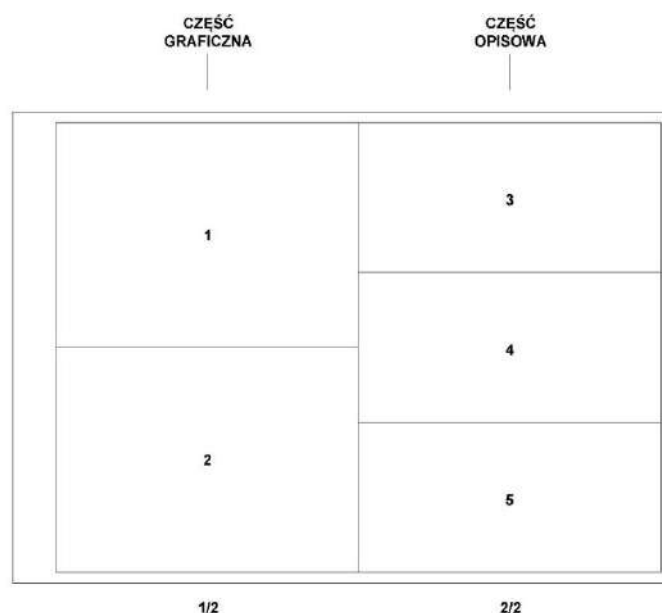
Analiza wybranych przypadków została przedstawiona w formie tabelarycznej. Założenia zbadano pod kątem wzajemnych relacji przestrzenno-technicznych pomiędzy budynkami oraz ich otoczeniem. Aspekty te przedstawiono na schematach graficznych. W celu kompleksowego zbadania problemu podjęto próbę analizy części przypadków pod kątem układu cieni generowanych przez obiekty:

- w różnych godzinach tego samego dnia,
- w różnych porach roku o tej samej godzinie.

Na przykładzie Gleisdorf przeanalizowano ilość oraz rozmieszczenie obiektów aktywnych energetycznie w skali całego miasta. Osiedle w Saint-Paris prezentuje problem na styku planowania przestrzennego a efektywnego aktywnego wykorzystania energetycznego obiektów.

Studium przypadku zaprezentowano na planszach formatu A3, wg. poniższego schematu, gdzie:

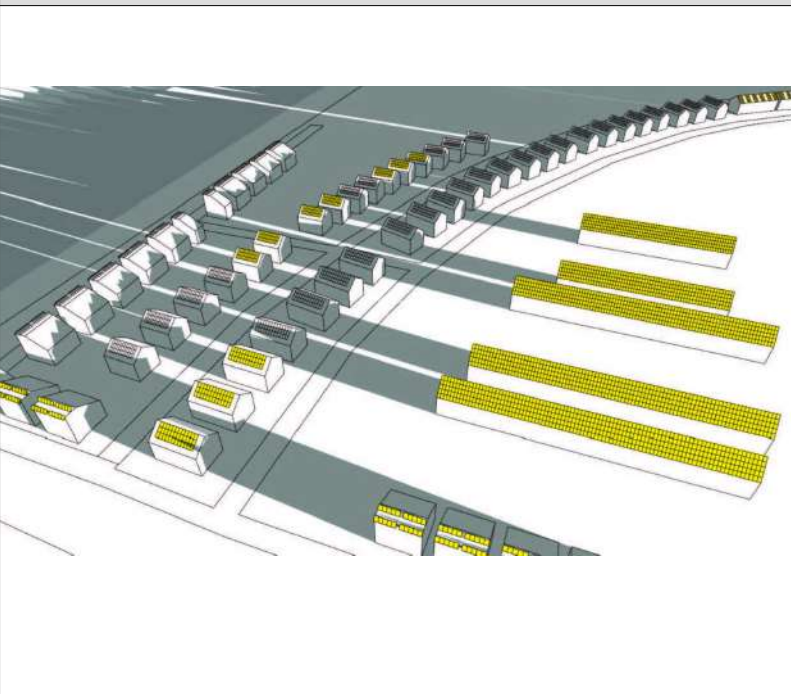
- 1- fotografia założenia lub jego fragmentu (wg. podanego źródła);
- 2- schematy (opracowanie własne);
- 3- charakterystyka założenia;
- 4- komentarz;
- 5- wnioski płynące z analizy przykładu.



Il. 64. Schemat kart przedstawiających studium przypadku
(opracowanie własne)



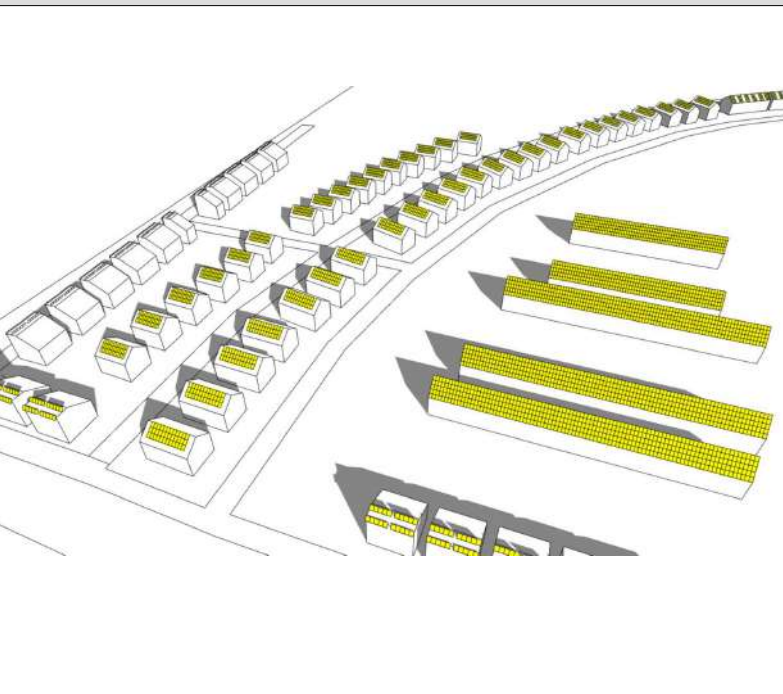
II. 66. SYMULACJA UKŁADU CIENIA - 20 MARCA G. 7-00 (źródło: opracowanie własne)



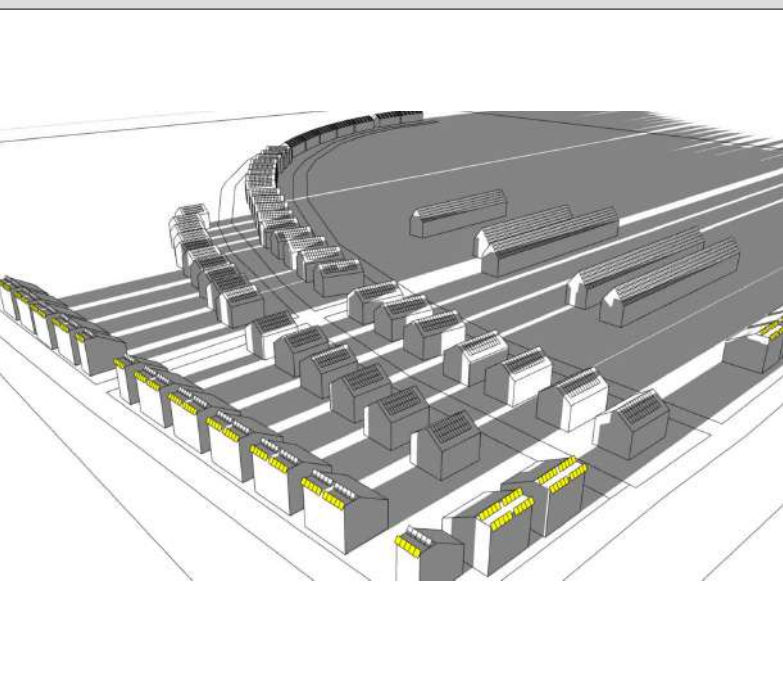
II. 68. SYMULACJA UKŁADU CIENIA - 20 MARCA G. 13-00 (źródło: opracowanie własne)



II. 67. SYMULACJA UKŁADU CIENIA - 20 MARCA G. 10-30 (źródło: opracowanie własne)



II. 69. SYMULACJA UKŁADU CIENIA - 20 MARCA G. 18-00 (źródło: opracowanie własne)



CHARAKTERYSTYKA ZAŁOŻENIA					
DANE OGÓLNE					
NAZWA	STAD VAN DE ZON - "MIASTO SŁOŃCA"				
LOKALIZACJA	EUROPA, HOLANDIA				
MIASTO / DZIELNICA	HEERHUGOWAARD				
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	52°38'42.4" N				
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	4°48'32.4" E				
DATA ZAKOŃCZENIA PROJEKTU	2009				
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA	
	+	+			
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING		
	+				
WYKORZYSTYWANE TECHNOLOGIE SOLARNE	FOTOWOLTAIKA		KOLEKTORY SŁONECZNE		
	+		+		
GENEROWANA ROCZNA MOC PV	około 3.750.000 kWh				
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	ELEWACJE	INNE	
	+	+	+	+	
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	ADDYTYWNA		ZINTEGROWANA		
	+		+		
RODZAJ WYKORZYSTYWANEJ TECHNOLOGII	MONOKRYSTALICZNE	POLIKRYSTALICZNE	CIENKOWARSTWOWE	KOLEKTORY PRÓŻNIOWE	KOLEKTORY PŁASKIE
	+	+			+
FUNKCJA TECHNOLOGII SOLARNEJ	PRODUKCJA ENERGII				
KOMENTARZ					
BRIEF	Pionierskie założenie urbanistyczne w Holandii. Powstało z myślą o stworzeniu osiedla o zerowej emisyjności CO2. W związku ze wzrastającą liczbą ludności Holandii. Efekt proekologiczny osiągany jest za pomocą instalacji OZE, której generowaną moc zakłada się na poziomie 3,75MW, około 100ha terenu zostało przeznaczone pod zalesienia, wprowadzono również 3 turbiny wiatrowe każdą o mocy 2,3MW.				
PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA ARCHITEKTONICZNO-URBANISTYCZNE	Pionierskie założenie urbanistyczne w Holandii. Powstało z myślą o stworzeniu osiedla o zerowej emisyjności CO2. W związku ze wzrastającą liczbą ludności Holandii. Efekt proekologiczny osiągany jest za pomocą instalacji OZE, której generowaną moc zakłada się na poziomie 3,75MW, około 100ha terenu zostało przeznaczone pod zalesienia, wprowadzono również 3 turbiny wiatrowe każdą o mocy 2,3MW. Pozyskiwanie energii słonecznej stanowiło paradygmat dla założenia urbanistycznego oraz projektowego; Projekt jest częścią szerszego założenia o nazwie „HAL-Lokaties” pokrywającego obszar pomiędzy trzema miastami. Wraz z pozostałymi projektami w miejscowości Alkamar oraz Langedijk instalacje proenergetyczne posiadają sumaryczną moc 5MWp. Wędrówka założenia za Słońcem uwidocznia się w centralnie zlokalizowanej krzywej oraz budynkom "równoległym" do niej.				
WNIOSKI					
	- Pełna optymalizacja układu urbanistycznego pod kątem pozyskiwania energii poskutkowała maksymalizacją uzysków energetycznych. Układ urbanistyczny nie jest monotony i przewiduje szerokie spektrum możliwości pozyskiwania energii - mowa w tym miejscu o uzyskach wytwarzanych w różnych porach dnia. Układ formujących się cieni (np. dnia 20 marca o godz. 18-00) wskazuje, że część budynków z zainstalowaną technologią solarną ukierunkowaną na południe przestaje wytwarzać energię. Możliwości produkcyjne przejmują w tym samym czasie obiekty z instalacjami ukierunkowanymi na zachód.				

99



II. 70.
instalacja o mocy 100kWp
pełniąca rolę izolatora
akustycznego wzdłuż
autostrady A2, ciąg PV o
długości 1,3km
(źródło: google images)



II. 71.
instalacja promująca
pozyskiwanie energii z
odnawialnych źródeł o mocy
10,4kWp, znajdująca się na
terenie elektrowni
Feistritzwerke-Steweag GmbH
(źródło: google images)



II. 72.
ulica solarna - ciąg ulic o
sumarycznej długości 3,5km,
wytworzona energia zasila
infrastrukturę miejską
(źródło: google images)



II. 73.
instalacja PV w formie drzewa o
mocy 7kWp znajdująca się w
centrum miasta oraz będąca
jego symbolem, wytworzona moc
jest w stanie rocznie zasilić około
70 miejskich słupów
oświetleniowych
(źródło: google images)

II. 74. GLEISDORF - SCHWARZPLAN (źródło: opracowanie własne na podstawie danych OpenStreetMap)



II. 75. GLEISDORF - SCHEMAT EKSPONUJĄCY OBIEKTY AKTYWNE ENERGETYCZNIE (źródło: opracowanie własne)



CHARAKTERYSTYKA ZAŁOŻENIA					
DANE OGÓLNE					
NAZWA	THE SOLAR CITY OF GLEISDORF				
LOKALIZACJA	EUROPA, AUSTRIA				
MIASTO / DZIELNICA	GLEISDORF				
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	47°06'20" N				
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	15°42'37" E				
DATA ROZPOCZĘCIA PROJEKTU	1980				
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA	
	+	+	+	+	
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING		
	+		+		
WYKORZYSTYWANE TECHNOLOGIE SOLARNE	FOTOWOLTAIKA		KOLEKTORY SŁONECZNE		
	+		+		
GENEROWANA ROCZNA MOC PV	około 315.000 kWh				
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	ELEWACJE	INNE	
	+	+	+	+	
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	ADDYTYWNA		ZINTEGROWANA		
	+		+		
RODZAJ WYKORZYSTYWANEJ TECHNOLOGII	MONOKRYSTALICZNE	POLIKRYSTALICZNE	CIENKOWARSTWOWE	KOLEKTORY PRÓŻNIOWE	KOLEKTORY PŁASKIE
	+	+		+	+
FUNKCJA TECHNOLOGII SOLARNEJ	PRODUKCJA ENERGII, WIZERUNKOWA (INSTALACJE ARTYSTYCZNE), IZOLATORY AKUSTYCZNE				
KOMENTARZ					
BRIEF	Gleisdorf posiada ok. 5.550 mieszkańców, obszarowo zajmuje ok. 478 ha. Inicjatywa związana z pozyskiwaniem energii za pośrednictwem technologii solarnych rozpoczęła się w tym mieście już w początkach lat 80 ub. stulecia, prywatni inwestorzy na budynkach jednorodzinnych rozpoczęli wykorzystywanie kolektorów słonecznych do ogrzewania C.W.U. W latach .90 w mieście zaczęły pojawiać się pierwsze instalacje fotowoltaiczne.				
PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA ARCHITEKTONICZNO-URBANISTYCZNE	Wśród głównych założeń przyświecających Gminie należy wymienić ciągle doposażanie istniejących budynków w elementy technologii solarnych. Dodatkowo władze miejskie wymagają, aby wszystkie nowopowstające obiekty użyteczności publicznej w tym mieście umożliwiały pozyskiwanie energii słonecznej. Dobrany przykład zasługuje na wyjątkowe uznanie ze względu na pierwotną datę zainicjowania wykorzystywania energii pochodzącej z odnawialnych źródeł. W mieście co dwa lata odbywa się międzynarodowe sympozjum poruszające tematykę technologii solarnych, partycypują w nim goście z około dwudziestu różnych krajów. Częściowe refinansowanie nstalacji solarnych zostało uruchomione na poziomie samorządowym.				
WNIOSKI					
	- Zastosowanie technologii solarnych wypromowało oraz dalej promuje miejscowość na szeroką skalę, przyciągając tym samym do miasta różnych Inwestorów. Elementy technologii solarnych umieszczone na obiektach infrastrukturalnych generują darmową energię, która służy lokalnej społeczności ograniczając tym samych nakłady finansowe ponoszone przez mieszkańców na rzecz gminy.				

100



II. 78. SYMULACJA UKŁADU CIENIA - 20 CZERWCA G. 4-00 (źródło: opracowanie własne)



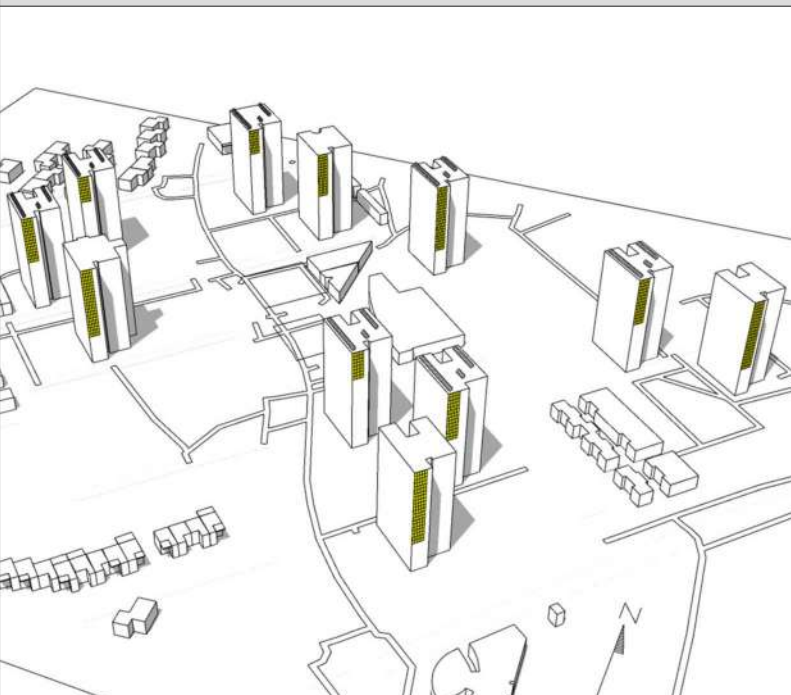
II. 79. SYMULACJA UKŁADU CIENIA - 20 CZERWCA G. 7-00 (źródło: opracowanie własne)



II. 80. SYMULACJA UKŁADU CIENIA - 20 CZERWCA G. 12-00 (źródło: opracowanie własne)



II.81. SYMULACJA UKŁADU CIENIA - 20 CZERWCA G. 17-00 (źródło: opracowanie własne)



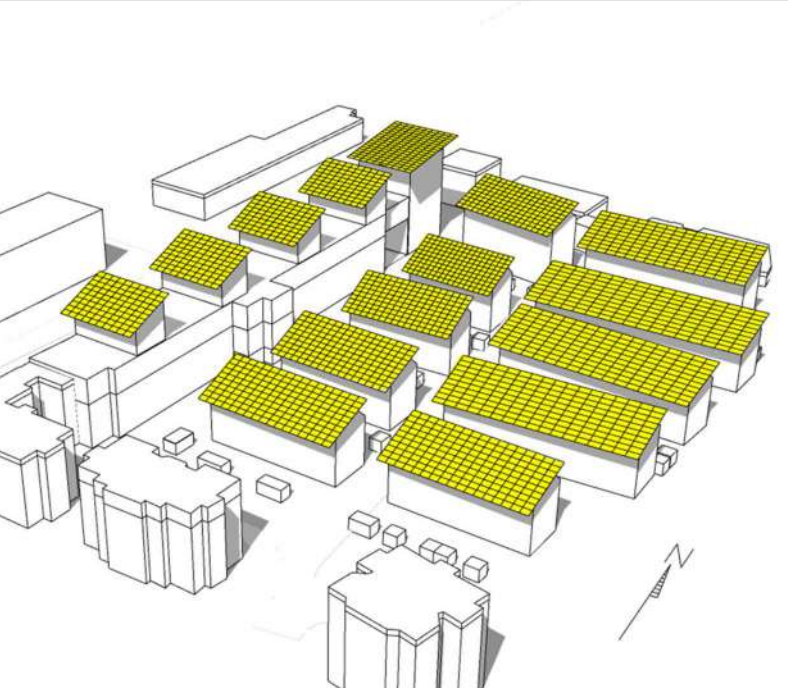
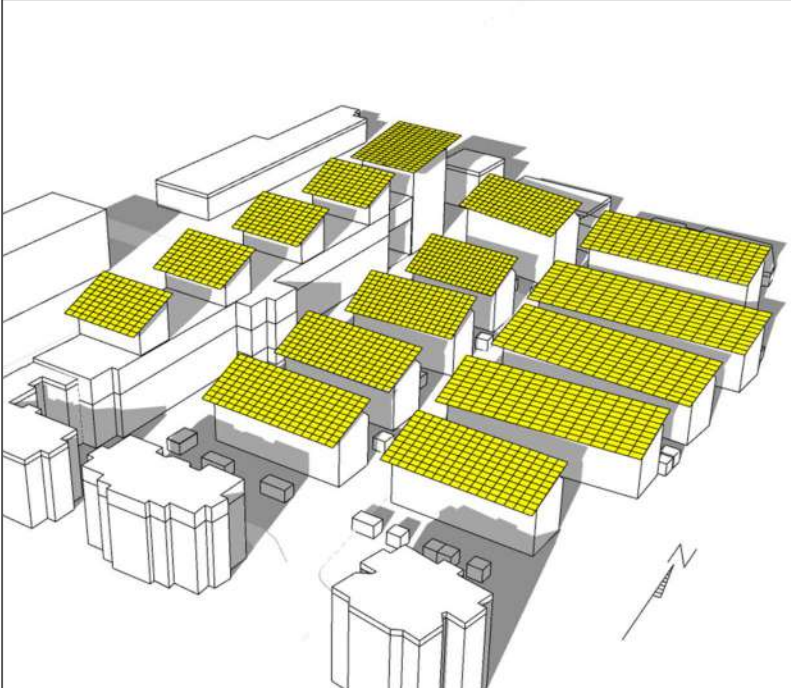
CHARAKTERYSTYKA ZAŁOŻENIA					
DANE OGÓLNE					
NAZWA	LA DARNAISE				
LOKALIZACJA	EUROPA, FRANCJA				
MIASTO / DZIELNICA	VENISSIEUX, GRAND-LYON				
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	45°41'33.4" N				
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	4°51'46.1" E				
DATA	ZAŁOŻENIE Z ROKU 1960, MODERNIZOWANE W LATACH 1996-2006				
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA	
	+				
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING		
			+		
WYKORZYSTYWANE TECHNOLOGIE SOLARNE	FOTOWOLTAIKA		KOLEKTORY SŁONECZNE		
	+		+		
MOC PV	około 640 kWp				
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	ELEWACJE	INNE	
		+	+		
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	ADDYTYWNA		ZINTEGROWANA		
	+				
RODZAJ WYKORZYSTYWANEJ TECHNOLOGII	MONOKRYSTALICZNE	POLIKRYSTALICZNE	CIENKOWARSTWOWE	KOLEKTORY PRÓŻNIOWE	KOLEKTORY PŁASKIE
		+			+
FUNKCJA TECHNOLOGII SOLARNEJ	PRODUKCJA ENERGII, WIZERUNKOWA, RODZAJ POMOCY SPOŁECZNEJ DLA MIESZKAŃCÓW (OBNIŻENIE KOSZTÓW)				
KOMENTARZ					
BRIEF	Miasto leżące w konurbacji Grand-Lyonu, z przeważającą ilością budynków socjalnych/komunalnych. Nazwa miasta wciąż kojarzy się społeczeństwu z zamieszkami z lat 60. ubiegłego stulecia. Założenie istniejące, stąd brak projektowej optymalizacji układu urbanistycznego, tym samym - podczas remontu (1998r-2006r) obiektów powstałych w latach 1960, do pozyskiwania energii wykorzystano fasady oraz dachy obiektów (płaskie). Energia generowana przez zaimplementowane technologie solarne została "podarowana" mieszkańcom pochodzącym z mniej zamożnych warstw społecznych, ograniczając tym samym ich comiesięczne wydatki związane z miejscem zamieszkania. Założenie pionierskie we Francji z punktu widzenia doposażania obiektów socjalnych w technologie solarne.				
PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA ARCHITEKTONICZNO-URBANISTYCZNE	Założenie typu retrofitting, PV zainstalowano na południowych fasadach 11-piętrowych obiektów, zapewniając energię elektryczną pochodzącą z odnawialnych źródeł dla 727 mieszkań. Przyjętą lokalizację oraz rozmiar PV zoptymalizowano pod kątem wzajemnego zacieniania.Kolektory słoneczne zlokalizowano na płaskich dachach obiektów zachowując optymalne kąty co prowadzi wzrostu efektywności wymiany ciepła względem lokalizacji kolektorów na fasadach.				
WNIOSKI					
	- Umieszczenie PV w miejscu widocznym (fasady) może wpłynąć pozytywnie na odbiór dzieła (pod kątem wizerunkowym) zmieniając negatywny stereotyp danej lokalizacji. - Budynki wysokie o niskiej powierzchni zabudowy w kontraście z budynkami niskimi o bardziej wertykalnej zabudowie posiadają znacznie ograniczoną pow. dachu, która umożliwia pozyskiwanie energii, stąd część instalacji solarnych zaczyna pojawiać się na fasadach. Wykorzystanie technologii solarnej stało się częścią strategii transformującej przestrzeń miejską o złej reputacji (przeszłe zamieszki miejskie) we współczesne założenie urbanistyczne.				

101



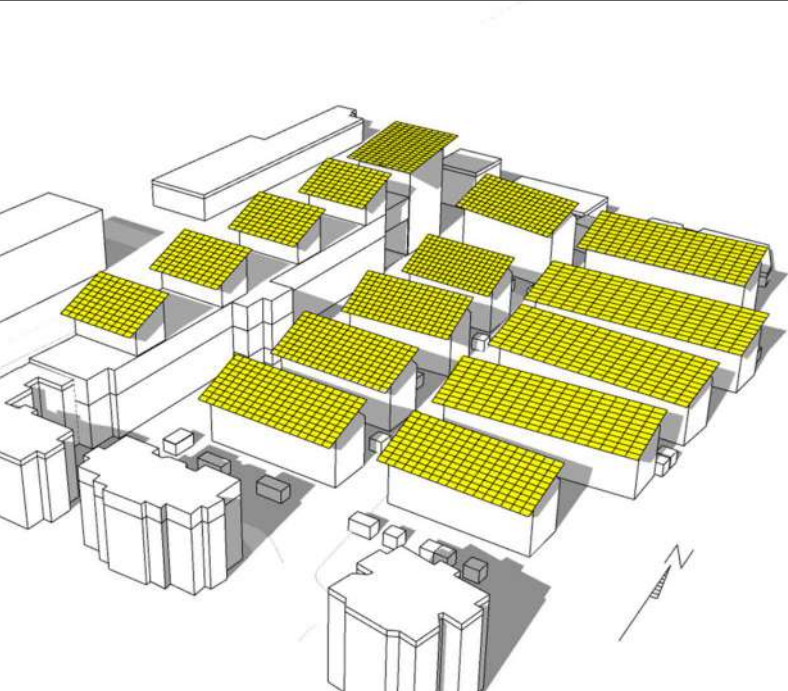
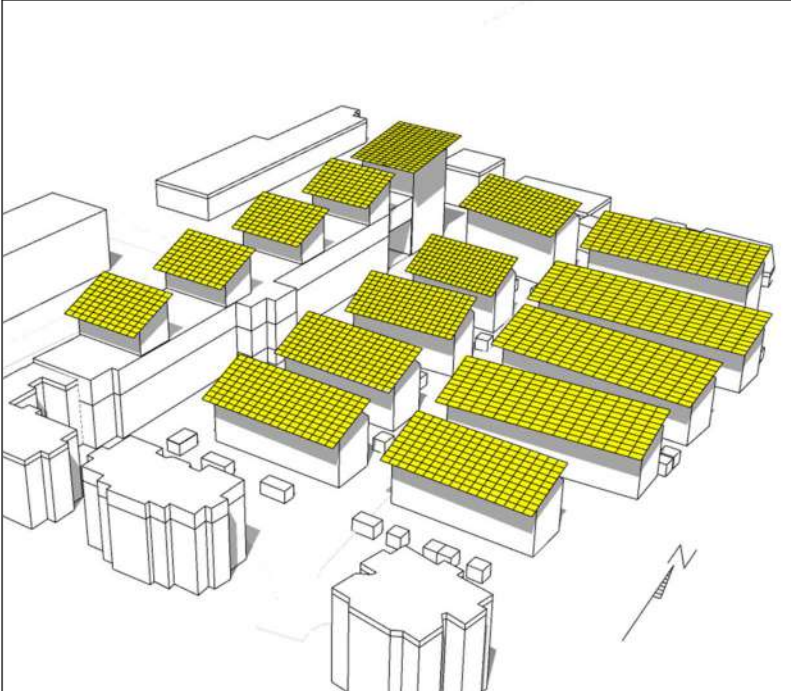
II.84. SYMULACJA UKŁADU CIENIA - 20 STYCZNIA G. 12-00 (źródło: opracowanie własne)

II.85. SYMULACJA UKŁADU CIENIA - 20 KWIETNIA G. 12-00 (źródło: opracowanie własne)



II.86. SYMULACJA UKŁADU CIENIA - 20 LIPCA G. 12-00 (źródło: opracowanie własne)

II.87. SYMULACJA UKŁADU CIENIA - 20 PAŹDZIERNIKA G. 12-00 (źródło: opracowanie własne)



CHARAKTERYSTYKA ZAŁOŻENIA					
DANE OGÓLNE					
NAZWA	SOLARSIEDLUNG AM SCHLIERBERG				
LOKALIZACJA	EUROPA, NIEMCY				
MIASTO / DZIELNICA	FRYBURG				
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	47°58'29.1" N				
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	7°49'46.8" E				
DATA	2006				
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA	
	+	+			
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING		
	+				
WYKORZYSTYWANE TECHNOLOGIE SOLARNE	FOTOWOLTAIKA		KOLEKTORY SŁONECZNE		
	+				
GENEROWANA ROCZNA MOC PV	około 420000 kWh				
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	ELEWACJE	INNE	
	+				
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	ADDYTYWNA		ZINTEGROWANA		
	+				
RODZAJ WYKORZYSTYWANEJ TECHNOLOGII	MONOKRYSTALICZNE	POLIKRYSTALICZNE	CIENKOWARSTWOWE	KOLEKTORY PRÓŻNIOWE	KOLEKTORY PŁASKIE
		+			
FUNKCJA TECHNOLOGII SOLARNEJ	PRODUKCJA ENERGII, OCHRONA PRZED PRZEGRZEWANIEM OBIEKTÓW				

KOMENTARZ	
BRIEF	Freiburg jest uważany za niemiecką stolicę ekologiczną, w którym wdrażane jest wiele proekologicznych rozwiązań od przeszło 20 lat. Składa się na to wysokie zainteresowanie władz miejskich w energii pochodzącej z odnawialnych źródeł, świadomość oraz entuzjazm lokalnej społeczności w pozyskiwaniu energii. Dzięki długoterminowemu zorientowaniu na pozyskiwanie energii, Fryburg wykształcił sobie opinię miasta nowoczesnego przez co lokuje się w nim wiele nowych istotnych instytucji.
PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA ARCHITEKTONICZNO-URBANISTYCZNE	Kalenice obiektów zorientowano na osi wschód-zachód, warstwy fotowoltaiczne umieszczono ponad strukturą przekrycia dachowego, zapewniając prześwit na poziomie 15cm, umożliwiający przepływ powietrza. Zmaksymalizowano powierzchnie południowych połaci dachowych,"wysunięty" okap południowy utworzony z elementów PV stanowi fragment pasywnego designu słonecznego, który ogranicza przegrzewanie obiektów w sezonie letnim. Część biurowo komercyjna stanowi rodzaj izolatora akustycznego pomiędzy ulicą Merzhäuser Strasse a częścią mieszkaniową

WNIOSKI	
	• Założenie urbanistyczne zorientowane jest na efektywne pozyskiwanie energii o określonej porze dnia (godziny południowe) w każdym miesiącu roku. • Zachowana odległość pomiędzy budynkami oprócz względów funkcjonalnych oraz prawnych zdeterminowana jest ograniczeniem wzajemnego zaciniania się połaci dachowych do godzin około południowych.



II.89. STAN ISTNIEJĄCY - NIEOPTYMALNY (źródło: opracowanie własne)



Nieoptymalny układ urbanistyczny powstał w wyniku pominięcia paradygmatu pozyskiwania energii słonecznej na etapie sporządzania planu zagospodarowania przestrzennego (gminnego).

Schemat po lewej stronie przedstawia względnie skomplikowany układ kalenic w relacji do kierunku północy oraz dróg dojazdowych. Zaprezentowany podział działek jest efektem prac projektowych.

Na żółto wyeksponowano elementy aktywne słonecznie.

II.90. SYMULACJA OPTYMALNA (źródło: opracowanie własne)



Schemat prezentuje próbę optymalizacji układu kalenic przy założeniu minimalnej ingerencji w architekturę obiektu. W czerwonej obwiedni wyróżniono budynki, których nie da się zoptymalizować bez całościowej zmiany architektury obiektu.

Na żółto wyeksponowano elementy aktywne słonecznie.

CHARAKTERYSTYKA ZAŁOŻENIA					
DANE OGÓLNE					
NAZWA	LES HAUTS DE FEUILLY				
LOKALIZACJA	EUROPA, FRANCJA				
MIASTO / DZIELNICA	SAINT-PRIEST				
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	45°42'23.3" N				
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	4°56'16.1" E				
DATA	2006				
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA	
	+				
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING		
	+				
WYKORZYSTYWANE TECHNOLOGIE SOLARNE	FOTOWOLTAIKA		KOLEKTORY SŁONECZNE		
	+		+		
SUMARYCZNA MOC PV	około 877 kWp				
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	ELEWACJE	INNE	
	+				
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	ADDYTYWNA		ZINTEGROWANA		
	+		+		
RODZAJ WYKORZYSTYWANEJ TECHNOLOGII	MONOKRYSTALICZNE	POLIKRYSTALICZNE	CIENKOWARSTWOWE	KOLEKTORY PRÓŻNIOWE	KOLEKTORY PŁASKIE
	+	+		+	+
FUNKCJA TECHNOLOGII SOLARNEJ	PRODUKCJA ENERGII				
KOMENTARZ					
BRIEF	Jeden z pierwszych projektów we Francji, zrealizowany przez prywatne przedsiębiorstwa inwestycyjne, które położyły nacisk na zrównoważone budownictwo ograniczające zużycie energii nieodnawialnej. Inwestycja odniosła znaczący sukces komercyjny oraz wizerunkowy. Założenie składa się z budynków mieszkalnych jednorodzinnych w ilości 117 sztuk oraz 6 budynków wielorodzinnych, w których zaprojektowano 81 mieszkań. Wykorzystanie technologii solarnych umożliwiło sprawny przebieg komercjalizacji budynków.				
PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA ARCHITEKTONICZNO-URBANISTYCZNE	Plan zagospodarowania przestrzennego (na poziomie gminnym) nie uwzględniał paradygmatu pozyskiwania energii, stąd część obiektów zagospodarowano orientując kalenice na osi północ-południe (nieoptymalnie). Proces projektowy od początku zakładał wykorzystanie technologii solarnej stąd podjęto próbę maksymalizacji uzysków energetycznych zarówno czynnych jak i biernych przy zastosowaniu designu pasywnego. Technologię solarną wykorzystano na większości połaci dachowych, również tych niemalże pionowych. W założeniu pojawiają się elementy zintegrowane (BIPV) w formie dachówek.				
WNIOSKI					
	Optymalizacja pozyskiwania energii (maksymalizacja uzysku energetycznego) nie powinna być nieświadomie blokowana podczas opracowywania miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego.				

103

7.4 *Określenie zależności pomiędzy efektywnym wykorzystaniem technologii solarnej a układem urbanistycznym*

Zaprezentowane w poprzedniej części niniejszego rozdziału studium przypadków pozwala na wyeksponowanie poszczególnych zależności, które powinny być zachowane aby w pełni wykorzystać walory zastosowanej technologii solarnej. Problematykę zależności można podzielić na dwa przypadki:

- pierwszy - dotyczący założeń nowoprojektowanych,
- drugi - skupiający się wokół założeń istniejących, gdzie zmiana układu urbanistycznego zasadniczo jest utrudniona lub wręcz niemożliwa.

Poprzednio przebadane układy urbanistyczne udowadniają, że optymalizacja uzysków energetycznych pozwala na stworzenie interesujących założeń, gdzie funkcja produkcji energii może być transferowana pomiędzy poszczególnymi budynkami lub unowocześnia założenia istniejące.

W dalszej części tego rozdziału poddano analizie następujące składowe układu urbanistycznego, tj.: orientację obiektów oraz odległości między obiektami względem możliwych uzysków energetycznych. Dodatkowo należy zauważyć, że podstawowymi elementami układów urbanistycznych są układy komunikacyjne, dominanty (w postaci np. obiektów przewyższających pozostałe) oraz układy zieleni. Nie zostają one poddane osobnej analizie, ponieważ są bezpośrednio połączone z orientacją obiektów (generatorów) względem kierunku północnego a określenie odległości pomiędzy kubaturami uwzględniające zabezpieczenie przed wzajemnym ograniczeniem dostępu do bezpośredniego nasłonecznienia, zawiera w sobie poszczególne elementy przesłaniające (obiekt poddany analizie może zostać zastąpiony innym obiektem, np. drzewem)

Zachowanie właściwych zależności przeanalizowano na przykładzie struktur umieszczonych zarówno na dachach jak i elewacjach obiektów a rozdział zakończono przedstawianiem zbiorczego podsumowania.

W tym miejscu chciałbym wyrazić uwagę dotyczącą przyjętych założeń. Niewątpliwie są one niezbędne do sformułowania konkretnych zależności. Niestety ich zmiana prowadzi do uzyskania innych wyników, co w pewien sposób ogranicza uniwersalność przedstawionych wniosków. Najbardziej znaczącą składową założeń jest geolokalizacja, która została przyjęta do przeprowadzonych badań.

7.4.1 Technologia solarna a orientacja obiektów

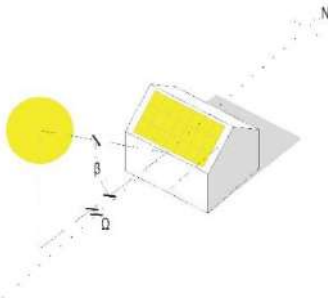
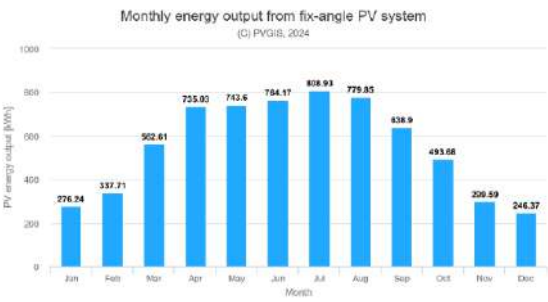
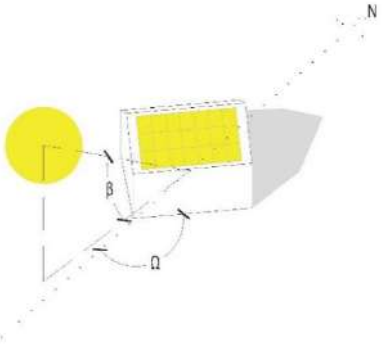
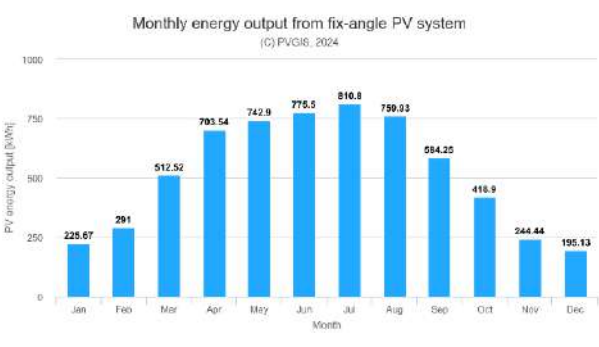
7.4.1.1 Instalacja fotowoltaiczna na dachach obiektów

Przyjęte założenia:

- geolokalizacja: **50.04N**, 19.89E – Kraków ; kąt padania promieni słonecznych (β) uśredniony przez kalkulator dla danego miesiąca;
- zakładana moc instalacji fotowoltaicznej: 6,3kWp;

Zmienne:

- kąt azymutalny (Ω) (lokalizacja generatorów względem kierunku północnego);
- optymalny kąt pochylenia instalacji oraz uzysk energetyczny określono w ogólnodostępnym kalkulatorze internetowym PVGIS ¹²¹

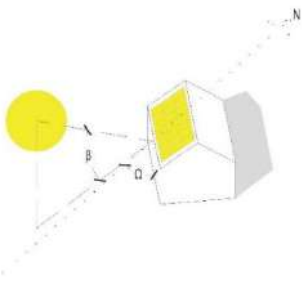
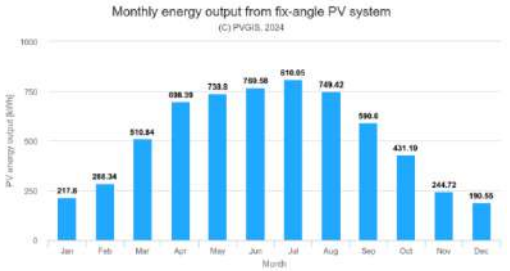
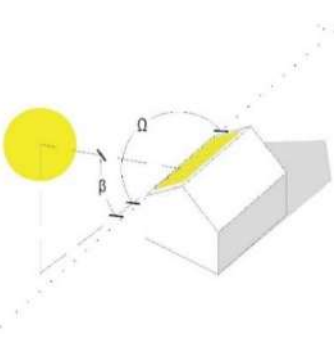
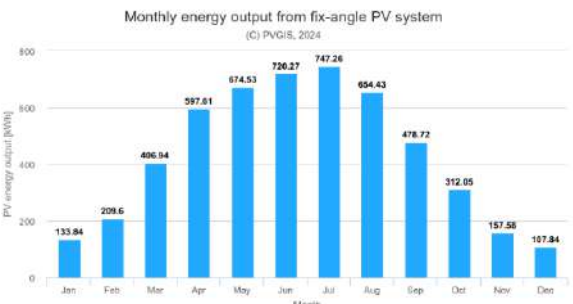
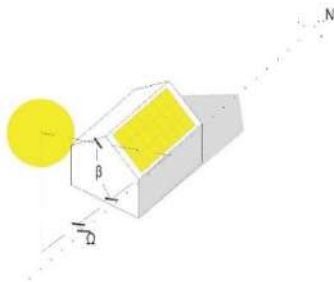
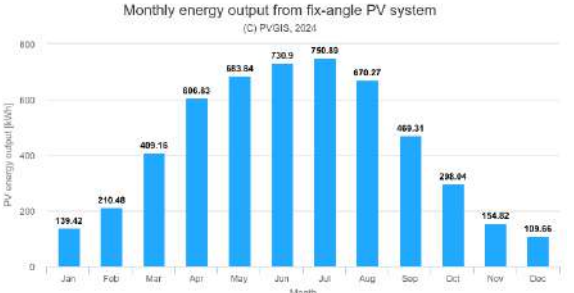
$\Omega = \pm 0^\circ$	(generatory na połaci S)	
 II.91. Schemat układu PV dach $\Omega=\pm 0^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.91a. Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=\pm 0^\circ$ (źródło wg. przypisu¹²²)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	39 – optymalny	
Produkcja energii [kW/rok]	6837,76	
$\Omega = -45^\circ$	(generatory na połaci S-E)	
 II.92. Schemat układu PV dach $\Omega=-45^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.92a. Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=-45^\circ$ (źródło wg. przypisu¹²³)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	35 – optymalny	
Produkcja energii [kW/rok]	6404,91	

kontynuacja tabeli na następnej stronie

¹²¹ Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025]

¹²² Ibidem.

¹²³ Ibidem.

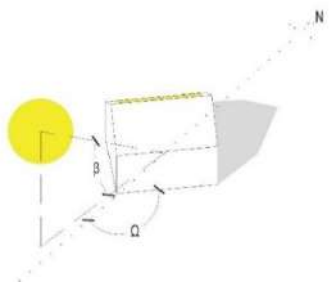
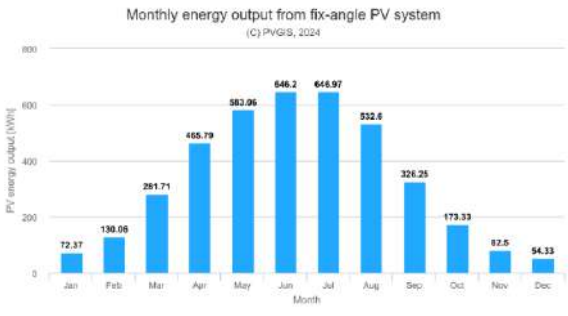
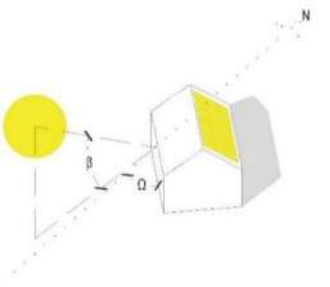
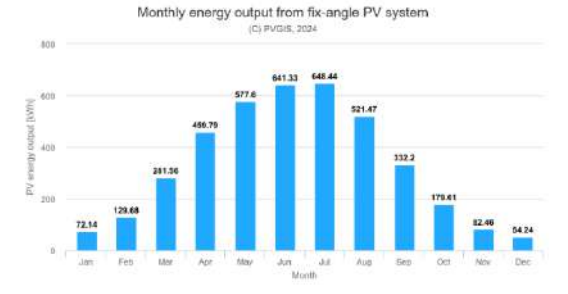
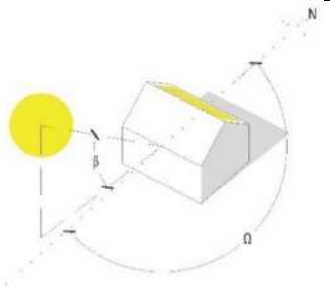
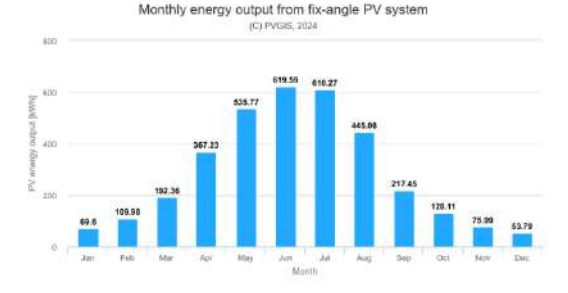
$\Omega = +45^\circ$	(generatory na połaci S-W)	
 II.93. Schemat układu PV dach $\Omega=+45^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.93a. Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=+45^\circ$ (źródło wg. przypisu¹²⁴)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	34 – optymalny	
Produkcja energii [kW/rok]	6371,37	
$\Omega = +90^\circ$	(generatory na połaci W)	
 II.94. Schemat układu PV dach $\Omega=+90^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.94a. Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=+90^\circ$ (źródło wg. przypisu¹²⁵)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	1 – optymalny	34 - nieoptymalny
Produkcja energii [kW/rok]	5669,39	5318,11
$\Omega = -90^\circ$	(generatory na połaci E)	
 II.95. Schemat układu PV dach $\Omega=-90^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.95a. Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=-90^\circ$ (źródło wg. przypisu¹²⁶)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	34 – optymalny	
Produkcja energii [kW/rok]	5366,52	

kontynuacja tabeli na następnej stronie

¹²⁴ Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025]

¹²⁵ Ibidem.

¹²⁶ Ibidem.

$\Omega = +135^\circ$	(generatory na połaci N-W)	
 II.96. Schemat układu PV dach $\Omega=+135^\circ$ (opracowanie własne)	 II.96a. Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=+135^\circ$ (źródło wg. przypisu¹²⁷)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	1 – optymalny	35 - nieoptymalny
Produkcja energii [kW/rok]	5635,11	4045,43
$\Omega = -135^\circ$	(generatory na połaci N-E)	
 II.97. Schemat układu PV dach $\Omega=-135^\circ$ (opracowanie własne)	 II.97a. Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=-135^\circ$ (źródło wg. przypisu¹²⁸)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	1 – optymalny	34 - nieoptymalny
Produkcja energii [kW/rok]	5635,10	4113,50
$\Omega = \pm 180^\circ$	(generatory na połaci N)	
 II.98. Schemat układu PV dach $\Omega=\pm 180^\circ$ (opracowanie własne)	 II.98a. Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=\pm 180^\circ$ (źródło wg. przypisu¹²⁹)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	1 – optymalny	39 - nieoptymalny
Produkcja energii [kW/rok]	5621,08	3238,40

Tab. 20. Badanie zależności układu PV dach – kąt azymutalny – uzysk energetyczny
(źródło: opracowanie własne)

¹²⁷ Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025]

¹²⁸ Ibidem.

¹²⁹ Ibidem.

Najbardziej korzystnym wariantem konfiguracji budynków wobec stron świata ze względu na ilość generowanej energii jest umożliwienie zachowania kąta azymutalnego dla generatorów wynoszącego $\Omega = \pm 0^\circ$ oraz kąta pochylenia instalacji 39° lub równoczesne wykorzystanie dwóch przeciwstawnych połaci przy $\Omega = +90^\circ$ oraz $\Omega = -90^\circ$ i kącie pochylenia instalacji 34° .

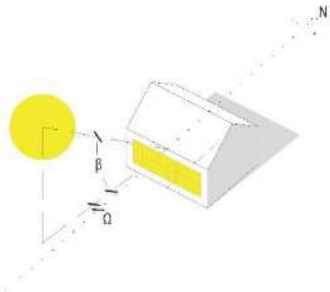
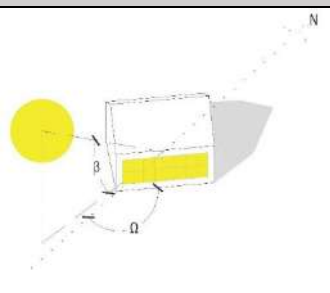
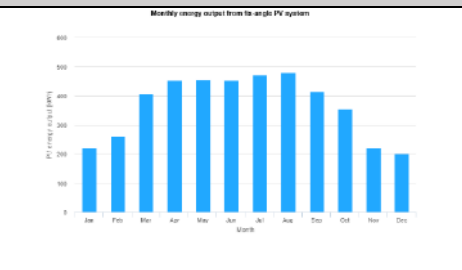
7.4.1.2 Instalacja fotowoltaiczna na fasadach obiektów

Przyjęte założenia:

- geolokalizacja: **50.04N**, 19.89E – Kraków;
- zakładana moc instalacji fotowoltaicznej: 6,3kWp;
- kąt pochylenia instalacji fotowoltaicznej wynoszący 90° (generatory pionowe).

Zmienne:

- kąt azymutalny (Ω) (lokalizacja generatorów względem kierunku północnego)
- uzysk energetyczny określono w kalkulatorze internetowym PVGIS¹³⁰

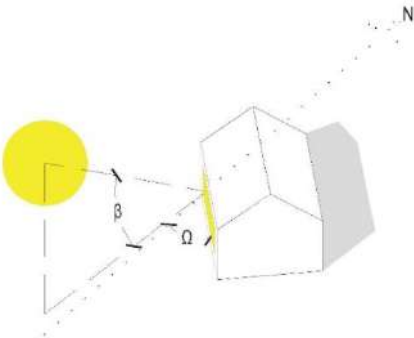
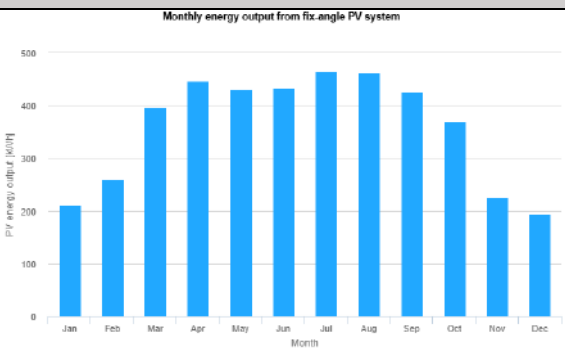
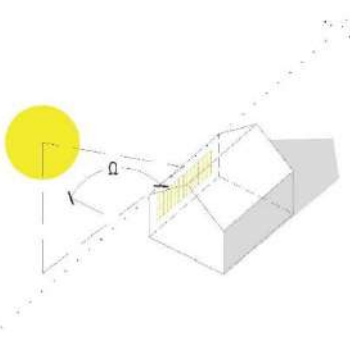
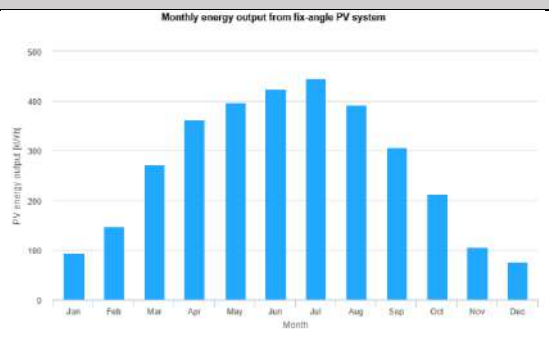
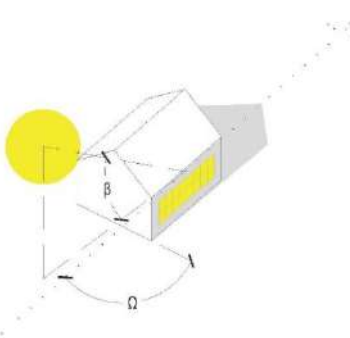
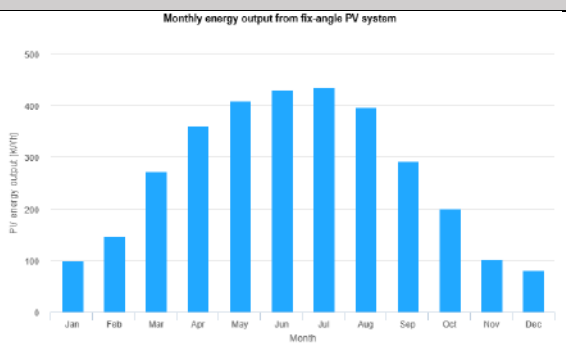
$\Omega = \pm 0^\circ$	(generatory na fasadzie S)
 II.99. Schemat układu PV fasada $\Omega = \pm 0^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.99a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega = \pm 0^\circ$ (źródło wg. przypisu¹³¹)
Roczna produkcja energii	4749,53kWh
$\Omega = -45^\circ$	(generatory na fasadzie S-E)
 II.100. Schemat układu PV fasada $\Omega = -45^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.100a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega = -45^\circ$ (źródło wg. przypisu¹³²)
Roczna produkcja energii	4387,88kWh

kontynuacja tabeli na następnej stronie

¹³⁰ Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025]

¹³¹ Ibidem.

¹³² Ibidem.

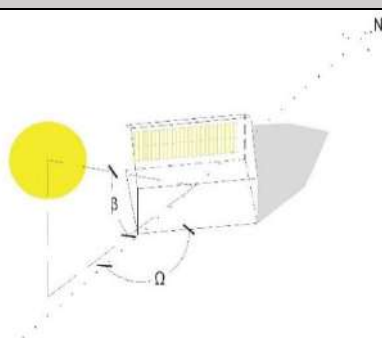
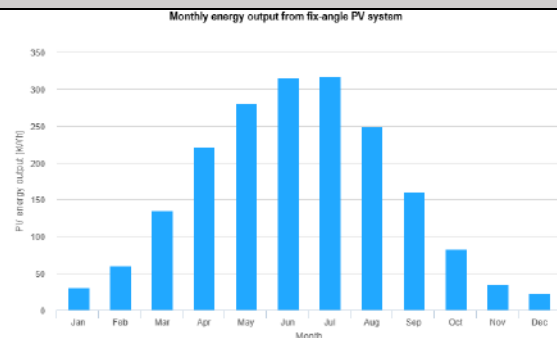
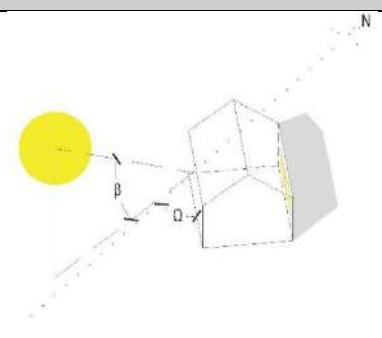
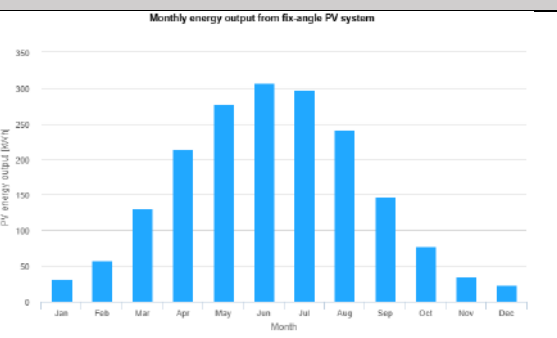
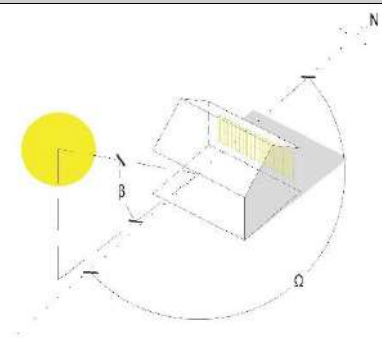
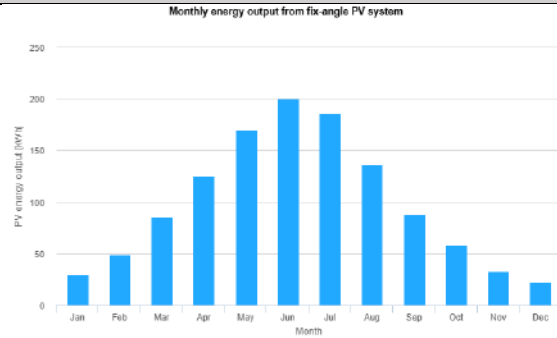
$\Omega = +45^\circ$	(generatory na fasadzie S-W)
 II.101. Schemat układu PV fasada $\Omega=+45^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.101a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega=+45^\circ$ (źródło wg. przypisu¹³³)
Roczna produkcja energii	4328,11kWh
$\Omega = +90^\circ$	(generatory na fasadzie W)
 II.102. Schemat układu PV fasada $\Omega=+90^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.102a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega=+90^\circ$ (źródło wg. przypisu¹³⁴)
Roczna produkcja energii	3233,02kWh
$\Omega = -90^\circ$	(generatory na fasadzie E)
 II.103. Schemat układu PV fasada $\Omega=-90^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.103a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega=-90^\circ$ (źródło wg. przypisu¹³⁵)
Roczna produkcja energii	3230,24kWh

kontynuacja tabeli na następnej stronie

¹³³ Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025]

¹³⁴ Ibidem.

¹³⁵ Ibidem.

$\Omega = +135^\circ$	(generatory na fasadzie N-W)
 II.104. Schemat układu PV fasada $\Omega=+135^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.104a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega=+135^\circ$ (źródło wg. przypisu¹³⁶)
Roczna produkcja energii	1910,17kWh
$\Omega = -135^\circ$	(generatory na fasadzie N-E)
 II.105. Schemat układu PV fasada $\Omega=-135^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.105a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega=-135^\circ$ (źródło wg. przypisu¹³⁷)
Roczna produkcja energii	1839,49kWh
$\Omega = \pm 180^\circ$	(generatory na fasadzie N)
 II.106. Schemat układu PV fasada $\Omega=\pm 180^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.106a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega=\pm 180^\circ$ (źródło wg. przypisu¹³⁸)
Roczna produkcja energii	1183,01kWh

Tab. 21. Badanie zależności układu PV fasada – kąt azymutalny – uzysk energetyczny
(źródło: opracowanie własne)

¹³⁶ Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025]

¹³⁷ Ibidem.

¹³⁸ Ibidem.

Najbardziej korzystnym wariantem konfiguracji budynków wobec stron świata ze względu na ilość generowanej energii jest umożliwienie zachowania kąta azymutalnego dla generatorów wynoszącego $\Omega = \pm 0^\circ$ przy kącie pochylenia instalacji 90° lub równoczesne wykorzystanie dwóch przeciwstawnych połaci przy $\Omega = +90^\circ$ oraz $\Omega = -90^\circ$.

7.4.1.3 Instalacja kolektorowa na dachach obiektów

Przyjęte założenia:

- geolokalizacja: **50.04N, 19.89E** – Kraków

Typ SP3B		1,51 m ²	3,03 m ²
Powierzchnia czynna absorbera	m ²	1,60	3,19
Poniższe wartości odnoszą się do powierzchni czynnej absorbera:			
– Sprawność kolektora η_{col} przy różnicy temperatur wynoszącej 40 K	%	70,1	72,3
– Sprawność optyczna	%	77,4	77,2
– Współczynnik strat ciepła k_1	W/(m ² · K)	1,384	0,948
– Współczynnik strat ciepła k_2	W/(m ² · K ²)	0,011	0,007

Il.107. Wycinek karty katalogowej kolektora Vitosol 300-T, typ SP3B
(źródło: karta katalogowa produktu firmy Viessmann sp. z o.o.)

- kolektor cieczowy próżniowo-rurowy typu heat-pipe;
- powierzchnia czynna absorbera a_{cz} : 3,19m²;
- sprawność *optyczna* $\eta_0 = 77,2\%$;
- współczynnik strat ciepła liniowych $a_1 = 0,948$;
- współczynnik strat ciepła nieliniowych $a_2 = 0,007$;
- obliczeniowa różnica temperatur $t_a - t_e = \Delta T = 30K$;

Zmienne:

- kąt azymutalny (Ω) (lokalizacja generatorów względem kierunku północnego), wpływająca na wartość natężenia promieniowania słonecznego G
- optymalny kąt pochylenia instalacji oraz roczną wartość natężenia promieniowania słonecznego G określono w kalkulatorze internetowym PVGIS¹³⁹
- Szukane pośrednie: *obliczeniowa sprawność kolektora słonecznego η [%]*;

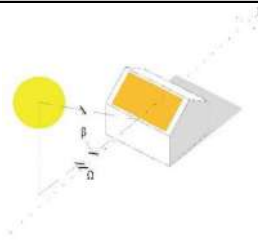
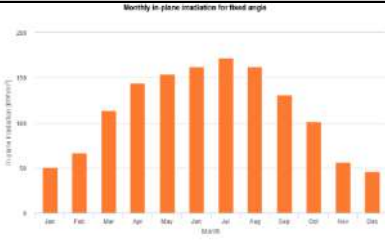
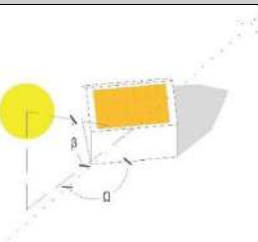
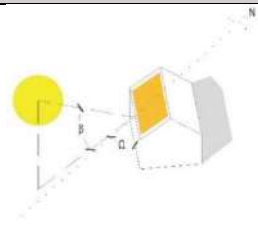
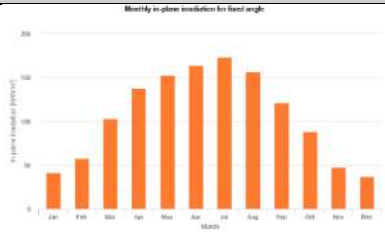
$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_a - t_e}{G} - a_2 G \left(\frac{t_a - t_e}{G} \right)^2 \quad 140$$

- Szukane bezpośrednie: *wartość wyprodukowanej energii E [kW/rok]*

$$E = \eta \times G \times a_{cz}$$

¹³⁹ Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025]

¹⁴⁰ wzór przedstawiono oraz omówiono w drugim rozdziale niniejszej pracy

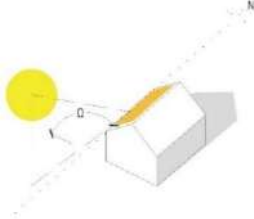
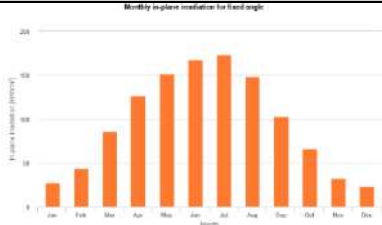
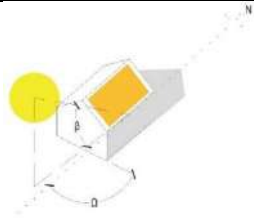
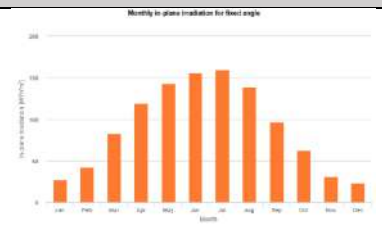
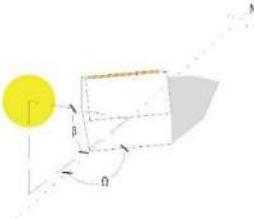
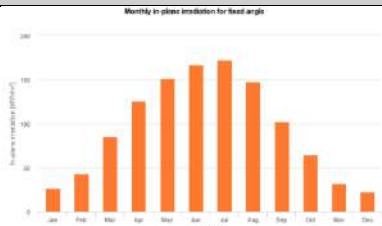
$\Omega = \pm 0^\circ$	(generatory na połaci S)	
 II.108. Schemat układu HPETC dach $\Omega = \pm 0^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.108a. Wykres G, HPETC dach $\Omega = \pm 0^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁴¹)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	39 - optymalny	
G [kWh/m²/rok]	1357,88	
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	74,64	
Produkcja energii [kW/rok]	3233,20	
$\Omega = -45^\circ$	(generatory na połaci S-E)	
 II.109. Schemat układu HPETC dach $\Omega = -45^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.109a. Wykres G, HPETC dach $\Omega = -45^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁴²)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	35 - optymalny	
G [kWh/m²/rok]	1276,15	
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	74,47	
Produkcja energii [kW/rok]	3031,93	
$\Omega = +45^\circ$	(generatory na połaci S-W)	
 II.110. Schemat układu HPETC dach $\Omega = +45^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.110a. Wykres G, HPETC dach $\Omega = +45^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁴³)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	34 - optymalny	
G [kWh/m²/rok]	1273,94	
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	74,44	
Produkcja energii [kW/rok]	3026,48	

kontynuacja tabeli na następnej stronie

¹⁴¹ Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025]

¹⁴² Ibidem.

¹⁴³ Ibidem.

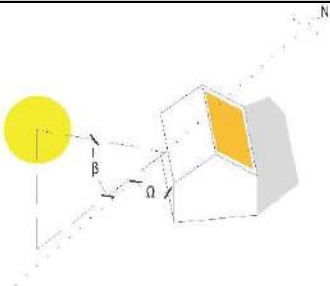
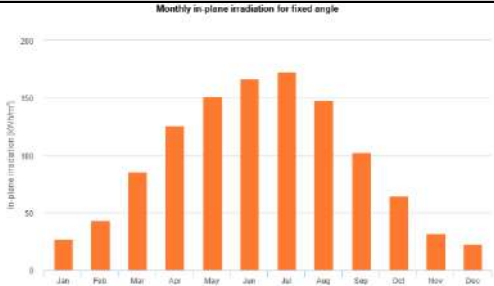
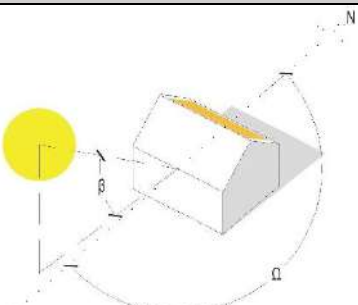
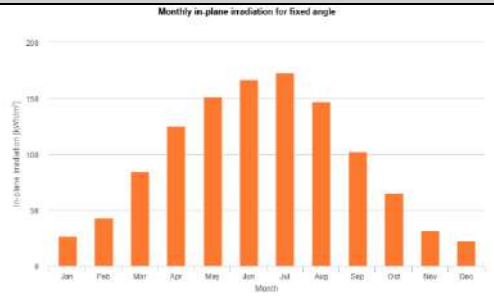
$\Omega = +90^\circ$	(generatory na połaci W)	
 II.111. Schemat układu HPETC dach $\Omega=+90^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.111a. Wykres G, HPETC dach $\Omega=+90^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁴⁴)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	1 - optymalny	34 - nieoptymalny
G [kWh/m²/rok]	1147,09	1077,91
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	74,17	73,98
Produkcja energii [kW/rok]	2714,10	2543,87
$\Omega = -90^\circ$	(generatory na połaci E)	
 II.112. Schemat układu HPETC dach $\Omega=-90^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.112a. Wykres G, HPETC dach $\Omega=-90^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁴⁵)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	34 - optymalny	
G [kWh/m²/rok]	1081,71	
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	73,98	
Produkcja energii [kW/rok]	2553,08	
$\Omega = +135^\circ$	(generatory na połaci N-W)	
 II.113. Schemat układu HPETC dach $\Omega=+135^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.113a. Wykres G, HPETC dach $\Omega=+135^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁴⁶)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	1 - optymalny	35 - nieoptymalny
G [kWh/m²/rok]	1140,96	843,47
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	74,15	73,08
Produkcja energii [kW/rok]	2698,99	1966,37

kontynuacja tabeli na następnej stronie

¹⁴⁴ Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025]

¹⁴⁵ Ibidem.

¹⁴⁶ Ibidem.

$\Omega = -135^\circ$	(generatory na połaci N-E)	
 II.114. Schemat układu HPETC dach $\Omega=-135^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.114a. Wykres G, HPETC dach $\Omega=-135^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁴⁷)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	1 - optymalny	34 - nieoptymalny
G [kWh/m ² /rok]	1140,80	851,95
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	74,15	73,12
Produkcja energii [kW/rok]	2698,60	1987,26
$\Omega = \pm 180^\circ$	(generatory na połaci N)	
 II.115. Schemat układu HPETC dach $\Omega=\pm 180$ (źródło: opracowanie własne)	 II.115a. Wykres G, HPETC dach $\Omega=\pm 180$ (źródło wg. przypisu¹⁴⁸)	
Kąt pochylenia instalacji [°]	1 - optymalny	39 - nieoptymalny
G [kWh/m ² /rok]	1138,35	696,51
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	74,14	72,21
Produkcja energii [kW/rok]	2692,57	1604,46

Tab. 22. Badanie zależności układu HPETC dach – kąt azymutalny – uzysk energetyczny
(opracowanie własne)

Najbardziej korzystnym wariantem konfiguracji budynków wobec stron świata ze względu na ilość generowanej energii jest umożliwienie zachowania kąta azymutalnego dla generatorów wynoszącego $\Omega = \pm 0^\circ$ oraz kąta pochylenia instalacji 39° lub równoczesne wykorzystanie dwóch przeciwstawnych połaci przy $\Omega = +90^\circ$ oraz $\Omega = -90^\circ$ i kącie pochylenia instalacji 34° .

¹⁴⁷ Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025]

¹⁴⁸ Ibidem.

7.4.1.4 Instalacja kolektorowa na fasadach obiektów

Przyjęte założenia:

- geolokalizacja: **50.04N**, 19.89E – Kraków
- kolektor cieczowy próżniowo-rurowy typu heat-pipe;
- powierzchnia czynna absorbera a_{cz} : 3,19m²;
- sprawność optyczna $\eta_0 = 77,2\%$;
- współczynnik strat ciepła liniowych $a_1 = 0,948$;
- współczynnik strat ciepła nieliniowych $a_2 = 0,007$;
- obliczeniowa różnica temperatur $t_a - t_e = \Delta T = 30K$;
- kąt pochylenia instalacji wynoszący 90° (generatory pionowe).

Zmienne:

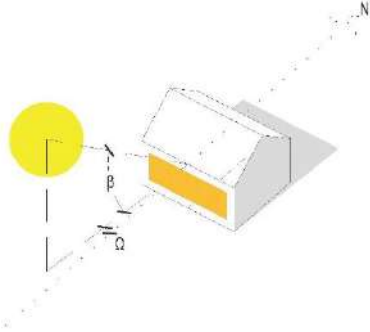
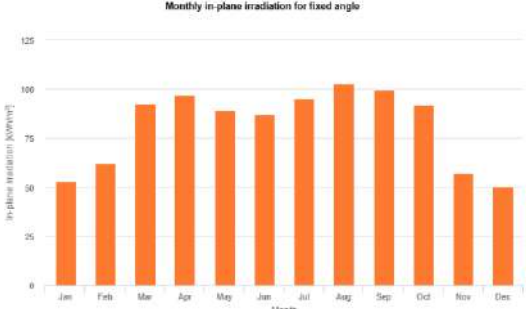
- kąt azymutalny (Ω) (lokalizacja generatorów względem kierunku północnego)
- uzysk energetyczny określono w kalkulatorze internetowym PVGIS ¹⁴⁹

Szukane pośrednie: obliczeniowa sprawność kolektora słonecznego η [%];

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_a - t_e}{G} - a_2 G \left(\frac{t_a - t_e}{G} \right)^2$$

Szukane bezpośrednie: wartość wyprodukowanej energii E [kW/rok]

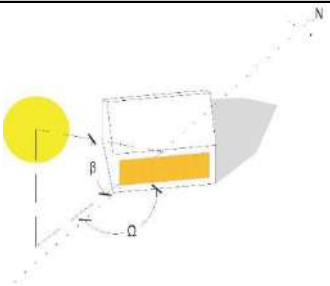
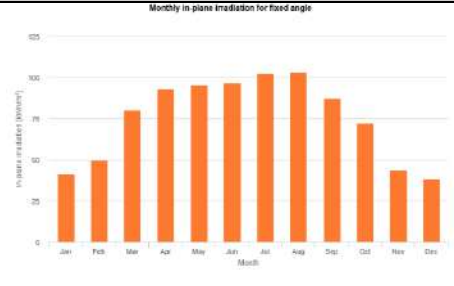
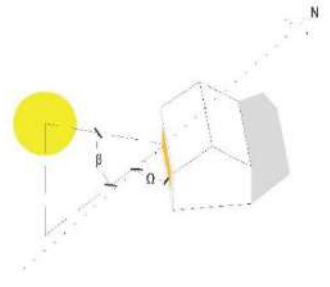
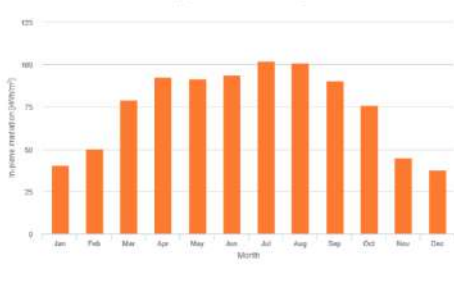
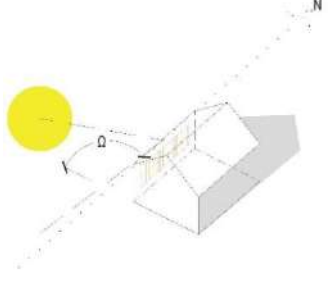
$$E = \eta \times G \times a_{cz}$$

$\Omega = \pm 0^\circ$	(generatory na fasadzie S)
 Il.116. Schemat układu HPETC fasada $\Omega = \pm 0^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 Il.116a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega = \pm 0^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁵⁰)
G [kWh/m ² /rok]	977,82
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	73,65
Produkcja energii [kW/rok]	2297,24

kontynuacja tabeli na następnej stronie

¹⁴⁹ Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025]

¹⁵⁰ Ibidem.

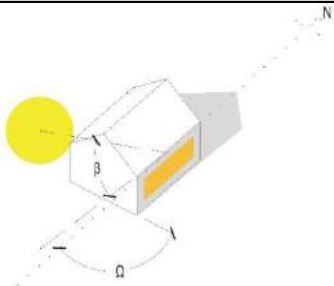
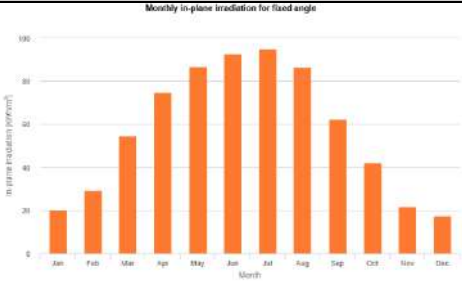
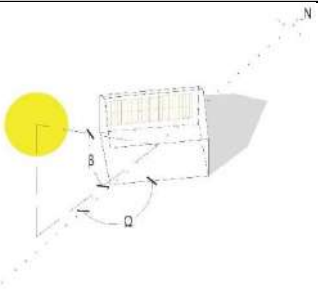
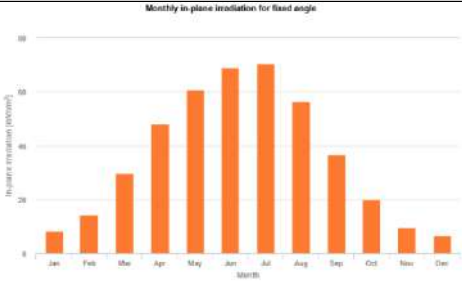
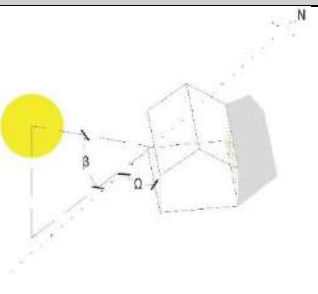
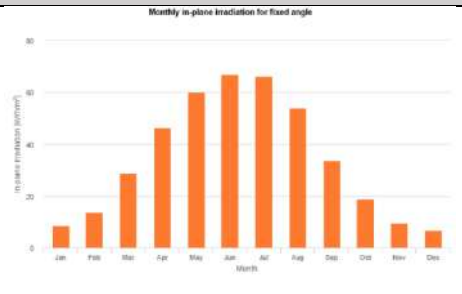
$\Omega = -45^\circ$	(generatory na fasadzie S-E)
 II.117. Schemat układu HPETC fasada $\Omega = -45^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.117a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega = -45^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁵¹)
G [kWh/m²/rok]	904,30
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	73,36
Produkcja energii [kW/rok]	2116,18
$\Omega = +45^\circ$	(generatory na fasadzie S-W)
 II.118. Schemat układu HPETC fasada $\Omega = +45^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.118a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega = +45^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁵²)
G [kWh/m²/rok]	899,52
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	73,34
Produkcja energii [kW/rok]	2101,41
$\Omega = +90^\circ$	(generatory na fasadzie W)
 II.119. Schemat układu HPETC fasada $\Omega = +90^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 II.119a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega = +90^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁵³)
G [kWh/m²/rok]	689,94
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	72,16
Produkcja energii [kW/rok]	1588,28

kontynuacja tabeli na następnej stronie

¹⁵¹ Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025]

¹⁵² Ibidem.

¹⁵³ Ibidem.

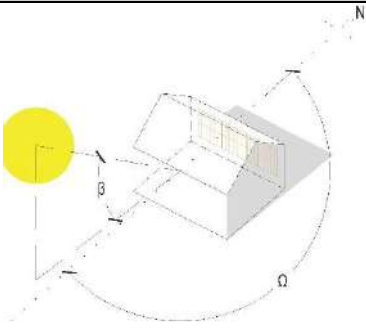
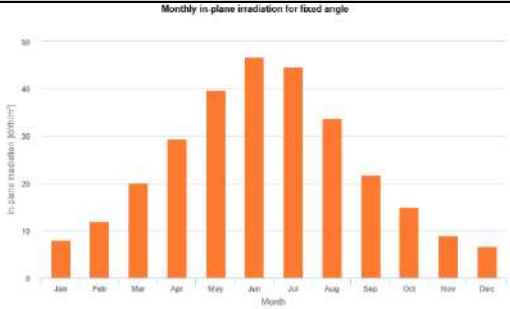
$\Omega = -90^\circ$	(generatory na fasadzie E)
 Il.120. Schemat układu HPETC fasada $\Omega = -90^\circ$ (opracowanie własne)	 Il.120a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega = -90^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁵⁴)
G [kWh/m²/rok]	682,90
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	72,11
Produkcja energii [kW/rok]	1570,94
$\Omega = +135^\circ$	(generatory na fasadzie N-W)
 Il.121. Schemat układu HPETC fasada $\Omega = +135^\circ$ (opracowanie własne)	 Il.121a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega = +135^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁵⁵)
G [kWh/m²/rok]	430,29
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	69,13
Produkcja energii [kW/rok]	948,85
$\Omega = -135^\circ$	(generatory na fasadzie N-E)
 Il.122. Schemat układu HPETC fasada $\Omega = -135^\circ$ (opracowanie własne)	 Il.122a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega = -135^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁵⁶)
G [kWh/m²/rok]	413,64
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	68,80
Produkcja energii [kW/rok]	907,84

kontynuacja tabeli na następnej stronie

¹⁵⁴ Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025]

¹⁵⁵ Ibidem.

¹⁵⁶ Ibidem.

$\Omega = \pm 180^\circ$	(generatory na fasadzie N)
 Il.123. Schemat układu HPETC fasada $\Omega = \pm 180^\circ$ (źródło: opracowanie własne)	 Il.123a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega = \pm 180^\circ$ (źródło wg. przypisu¹⁵⁷)
G [kWh/m²/rok]	286,27
Sprawność kolektora słonecznego η [%]	65,06
Produkcja energii [kW/rok]	594,17

Tab. 23. Badanie zależności układu HPETC fasada – kąt azymutalny – uzysk energetyczny
(opracowanie własne)

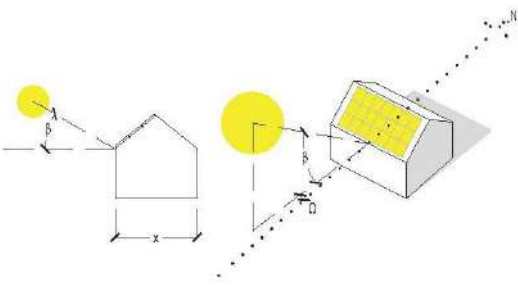
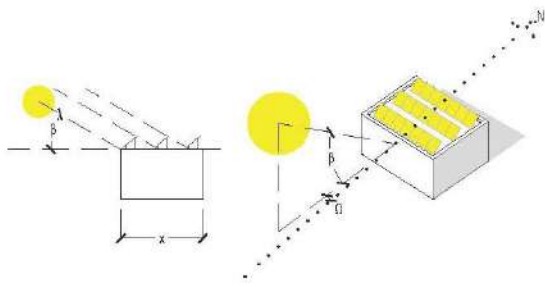
Najbardziej korzystnym wariantem konfiguracji budynków wobec stron świata ze względu na ilość generowanej energii jest umożliwienie zachowania kąta azymutalnego dla generatorów wynoszącego $\Omega = \pm 0^\circ$ przy kącie pochylenia instalacji 90° lub równoczesne wykorzystanie dwóch przeciwstawnych połaci przy $\Omega = +90^\circ$ oraz $\Omega = -90^\circ$.

7.4.1.5 Instalacja na dachu płaskim i na dachu stromym

W tej części pracy przedstawiono analizę najbardziej optymalnej sytuacji, tj. kąta azymutalnego Ω wynoszącego $\pm 0^\circ$ i zestawiono ze sobą dach płaski obiektu oraz dach stromy¹⁵⁸. Jak określono we wcześniejszych podrozdziałach niniejszej pracy, najbardziej optymalnym kątem pochylenia instalacji dla $\Omega = \pm 0^\circ$ jest kąt 39° . W dalszej części podrozdziału przedstawione zostały badania dotyczące powierzchni dachu, którą można wykorzystać pod instalację.

¹⁵⁷ Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025]

¹⁵⁸ Przyjęto uznaniowy podział dachów ze względu na kąt nachylenia połaci dachowej ze względu na brak jednoznacznej definicji prawnej

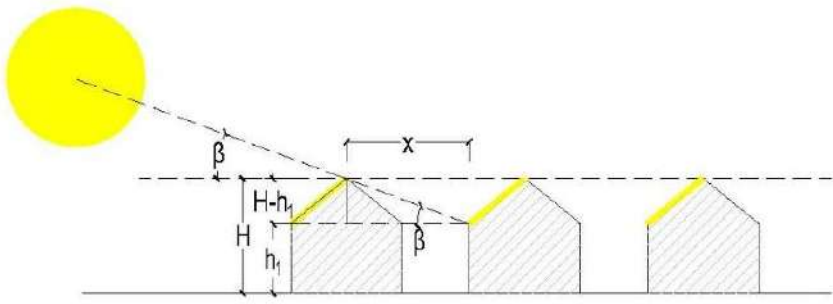
$\Omega = \pm 0^\circ$	Kąt pochylenia instalacji 39°
 II.124. Schemat układu dach stromy (źródło: opracowanie własne)	 II.124a. Schemat układu dach płaski (źródło: opracowanie własne)
Przy założonym kącie padania promieni słonecznych $\beta = 30^\circ$, na obu rodzajach dachów zmieści się tożsama ilość modułów. Zmiana kąta padania promieni słonecznych (na mniejszy) doprowadzi do konieczności zwiększenia odległości pomiędzy modułami na dachu płaskim. Sytuacja ta nie ma miejsca w przypadku dachu stromego, gdzie moduły umieszczone są piętrowo. Należy zwrócić uwagę na konieczność wprowadzenia dodatkowych stelaży w przypadku dachu płaskiego, co uniemożliwia pełne zintegrowanie ze sobą struktury instalacji oraz obiektu. Prowadzi to do sytuacji, w której walory estetyczne i architektoniczne nie mogą współgrać z funkcją wytwarzania energii. Problem wynikający ze zmniejszenia ilości modułów można zbilansować za pomocą zastosowania ogniw o większej sprawności. W tej sytuacji dach płaski rysuje się jako neutralny względem możliwości usytuowania generatorów.	

Tab. 24. Badanie porównawcze układu dach stromy – dach płaski
(źródło: opracowanie własne)

7.4.2 Technologia solarna a odległości między obiektami

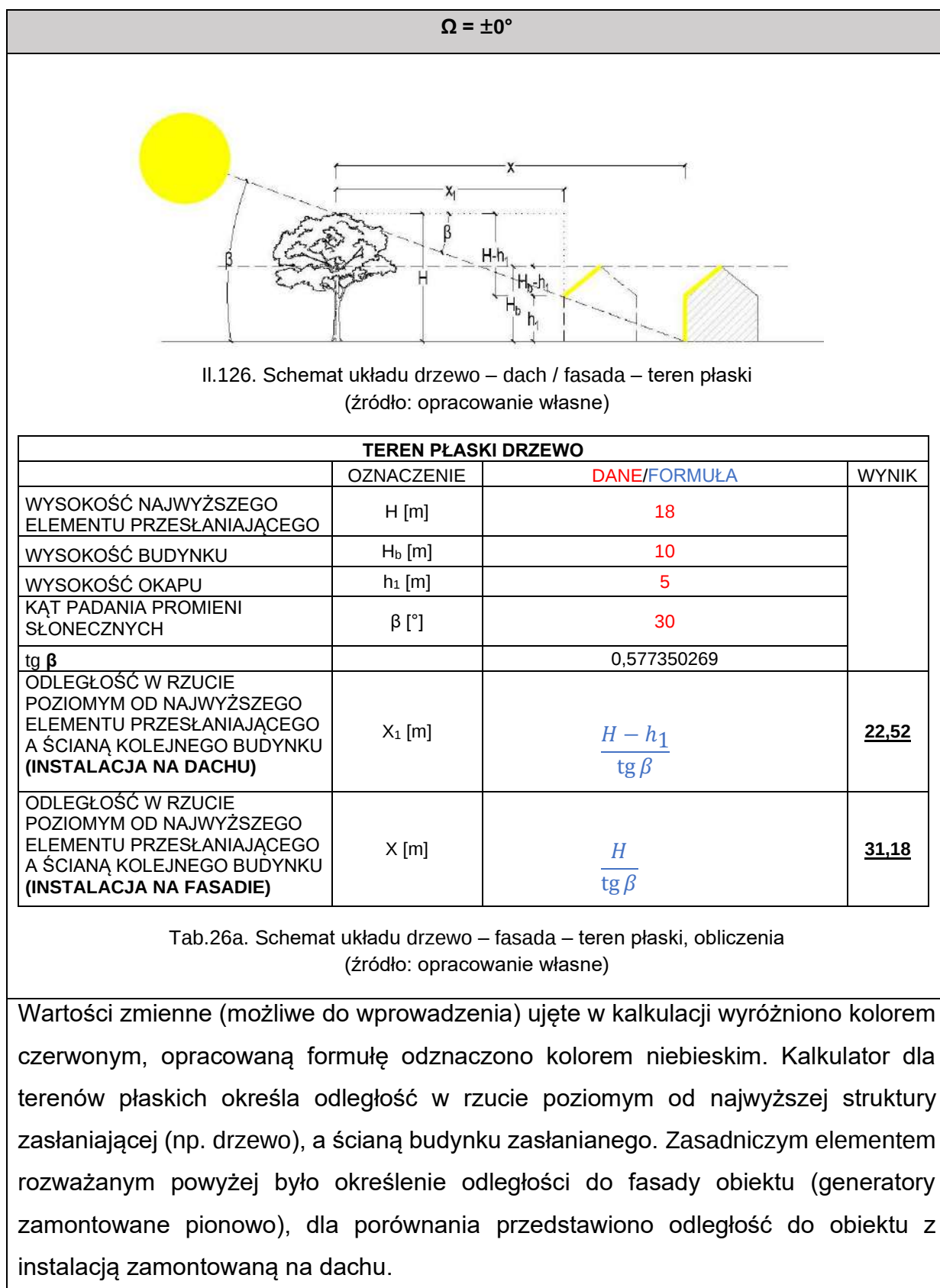
W następującej części tego rozdziału przeprowadzono badania, określające optymalną odległości pomiędzy elementami potencjalnie ograniczającymi bezpośrednie nasłonecznienie instalacji solarnych. Analizę ograniczono do wzajemnych relacji pomiędzy budynkami, natomiast z punktu widzenia geometrycznego nie ma przeciwwskazań aby budynek zasłaniający zastąpić innym obiektem, np. drzewem.

7.4.2.1 Teren płaski – instalacja solarna na dachach

$\Omega = \pm 0^\circ$			
			
II.125. Schemat układu dachy – teren płaski (źródło: opracowanie własne)			
TEREN PŁASKI			
	OZNACZENIE	DANE/FORMUŁA	WYNIK
WYSOKOŚĆ NAJWYŻSZEGO ELEMENTU PRZESŁANIAJĄCEGO	H [m]	10	
WYSOKOŚĆ OKAPU	h_1 [m]	5	
KĄT PADANIA PROMIENI SŁONECZNYCH	β [°]	30	
$\text{tg } \beta$		0,577350269	
ODLEGŁOŚĆ W RZUCIE POZIOMYM OD NAJWYŻSZEGO ELEMENTU PRZESŁANIAJĄCEGO A ŚCIANĄ KOLEJNEGO BUDYNKU	x [m]	$\frac{H - h_1}{\text{tg } \beta}$	8,66
Tab.25a. Schemat układu dachy – teren płaski, obliczenia (źródło: opracowanie własne)			
Wartości zmienne (możliwe do wprowadzenia) ujęte w kalkulacji wyróżniono kolorem czerwonym, opracowaną formułę odznaczono kolorem niebieskim. Kalkulator dla terenów płaskich określa odległość w rzucie poziomym od najwyższego elementu budynku zasłaniającego (np. kalenica), a ścianą budynku zasłanianego. Wartość wynikowa nie jest uzależniona od odległości pomiędzy zrzutowaną kalenicą na powierzchnię terenu i ścianą budynku, tym samym w przypadku terenu płaskiego szerokość kubatury jest elementem drugorzędym, umożliwiającym ewentualne określenie odległości pomiędzy ścianami obiektów zasłaniającego i zasłanianego.			

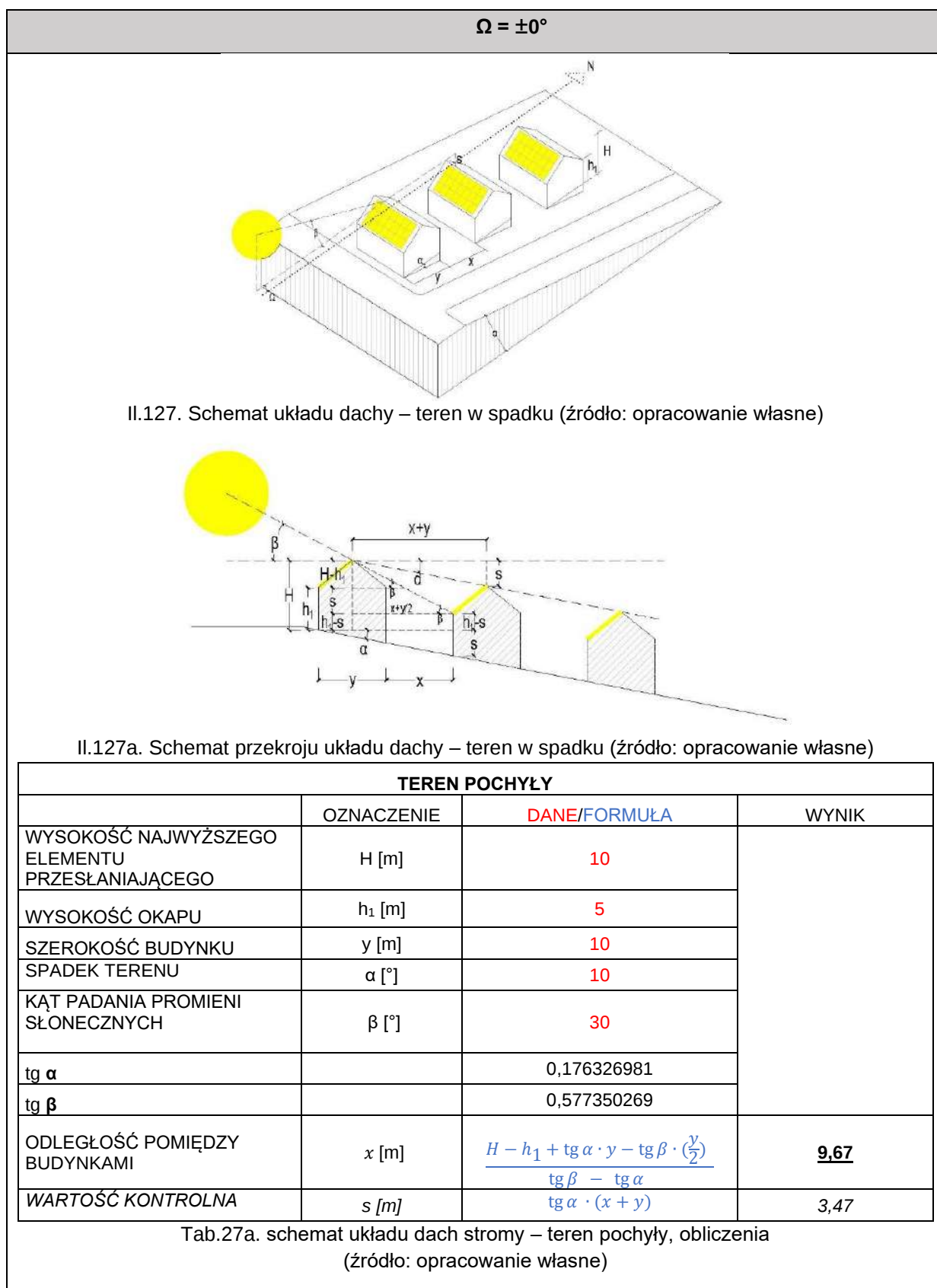
Tab. 25. Badanie odległości kubatur w układzie dach stromy – teren płaski
(źródło: opracowanie własne)

7.4.2.2 Teren płaski – instalacja solarna na fasadach



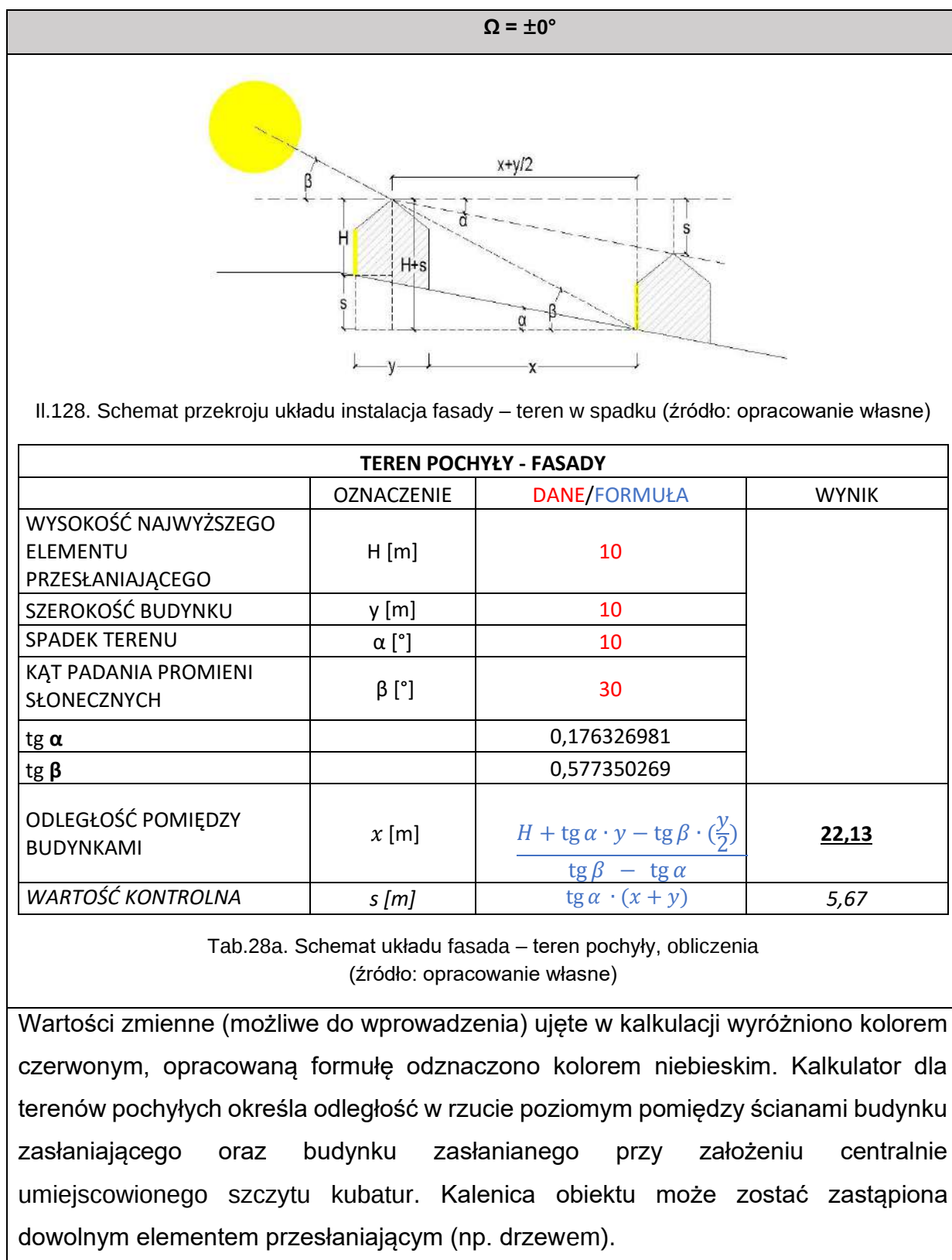
Tab. 26. Badanie odległości kubatur w układzie drzewo - fasada – teren płaski
(źródło: opracowanie własne)

7.4.2.3 Teren w spadku – instalacja solarna na dachach



Tab. 27. Badanie odległości kubatur w układzie dach stromy – teren pochyły (źródło: opracowanie własne)

7.4.2.4 Teren w spadku – instalacja solarna na fasadach



Tab. 28. Badanie odległości kubatur w układzie fasada – teren pochyły
(opracowanie własne)

7.5 Zbiornicze zestawienie i wnioski

W poniższych tabelach zaprezentowano zbiornicze zestawienie wyników dla układów przedstawionych w poprzedniej części. Punktem odniesienia dla wartości % jest maksymalny możliwy uzysk energetyczny, osiągnięty dla kąta azymutalnego $\Omega = 0^\circ$, przy założonym kącie pochylenia instalacji względem sytuacji najbardziej optymalnej.

D – dach

F – fasada

O – kąt pochylenia instalacji optymalny

NO – kąt pochylenia instalacji nieoptymalny

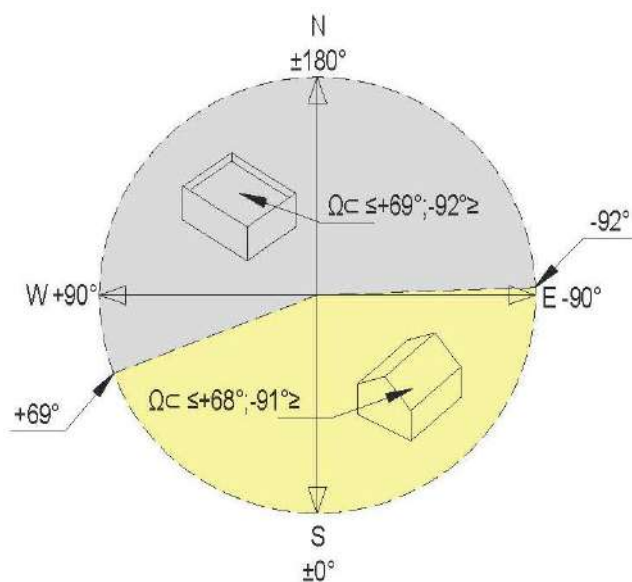
TECHNOLOGIA FOTOWOLTAICZNA							
Ω°	kWh D ∠ O	kWh D ∠ NO	% D ∠ O	% D ∠ NO	kWh F	% F	F/D% ∠ O
±0	6837,76		100		4749,53	100	69,46
-45	6404,91		93,67		4387,88	92,39	68,51
+45	6371,37		93,18		4328,11	91,13	67,93
+90	5669,39	5318,11	82,91	77,78	3233,02	68,07	60,79
-90	5366,52		78,48		3230,24	68,01	60,19
+135	5635,11	4045,43	82,41	59,16	1910,17	40,22	47,22
-135	5635,10	4113,50	82,41	60,16	1839,49	38,73	44,72
±180	5621,08	3238,40	82,41	47,36	1183,01	24,91	36,53

Tab. 29. Zbiornicze zestawienie wyników zależności kąta azymutalnego, pochylenia instalacji fotowoltaicznej od możliwego uzysku energetycznego (źródło: opracowanie własne)

TECHNOLOGIA KOLEKTOROWA							
Ω°	kW D ∠ O	kW D ∠ NO	% D ∠ O	% D ∠ NO	kW F	% F	F/D% ∠ O
±0	3233,20		100		2297,24	100	71,05
-45	3031,93		93,77		2116,18	92,12	69,80
+45	3026,48		93,61		2101,41	91,48	69,43
+90	2714,10	2543,87	83,94	78,68	1588,28	69,14	58,52
-90	2553,08		78,96		1570,94	68,38	61,53
+135	2698,99	1966,37	83,48	60,82	948,85	41,30	35,16
-135	2698,60	1987,26	83,47	61,46	907,84	39,52	33,64
±180	2692,57	1604,46	83,28	49,62	594,17	25,86	22,07

Tab. 30. Zbiornicze zestawienie wyników zależności kąta azymutalnego, pochylenia instalacji kolektorowej od możliwego uzysku energetycznego (źródło: opracowanie własne)

- Optymalny kąt pochylenia instalacji wynoszący 1° ¹⁵⁹:
 - jest niemożliwy / nieracjonalny do zastosowania w przypadku dachów skośnych,
 - w pewnym stopniu determinuje zastosowanie dachu płaskiego,
 - w momencie zastosowania dachu płaskiego nie ma przeciwwskazań do zachowania optymalnego kąta pochylenia instalacji oraz kąta azymutalnego.
- Analiza potencjalnych uzysków energetycznych prowadzi do sformułowania wniosku mówiącego, że istnieje zakres kątów azymutalnych w zakresie których optymalną formą przekrycia budynku jest dach stromy ($>34^{\circ}$) przy założeniu, że nie ma możliwości montażu instalacji na symetrycznej połaci dachowej. W zakresie pozostałych kątów dach płaski ($<10^{\circ}$), na którym można zastosować stelaże pod instalacje. Geometria dachów skośnych $\leq 10^{\circ}; 25^{\circ} \geq$ ¹⁶⁰ jest z punktu widzenia uzysków energetycznych najmniej optymalną formą.



II.129. Optymalna forma przekrycia budynku względem kąta azymutalnego
(opracowanie własne)

- Z punktu widzenia uzysków energetycznych, lokalizacja generatorów na połaci zachodniej lub połaci wschodniej jest do siebie zbliżona. Można tym samym wywnioskować, że generatory równie efektywnie będą pracować na obu

¹⁵⁹ Kąt pochylenia instalacji wynoszący minimalnie 1° umożliwia prowadzenie rozważań w zakresie kątów azymutalnych Ω

¹⁶⁰ Przyjęto uznaniowy podział dachów ze względu na kąt nachylenia połaci dachowej ze względu na brak jednoznacznej definicji prawnej.

połaciach jednocześnie, prowadząc do produkcji ponad nadmiarowej ilości energii (która nie zostanie skonsumowana przez użytkowników obiektów).

- Na wykresach zauważalne są znaczące różnice w produkcji energii przez generatory zainstalowane na dachach i fasadach obiektów przy zachowaniu tego samego kąta azymutalnego.
- Porównanie ilustracji 91a i 99a pozwala zauważyć, że w miesiącach grudzień oraz styczeń generatory zamontowane pionowo wygenerują trochę więcej energii niż pochylone optymalnie (ze względu na kąt β – padania promieni słonecznych), tj. 264,81kWh vs 246,37kWh (grudzień) oraz 286,34kWh vs 276,24kWh (styczeń).
- Podczas wstępnych prac projektowych rozważyć należałoby wszystkie ograniczenia w kształtowaniu architektury oraz układu urbanistycznego narzucone przez:
 - miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego lub uzyskane warunki zabudowy;
 - dostęp do drogi publicznej warunkujący układ funkcjonalny założenia;
 - zastaną sytuację przyrodniczą na działce.
- Ostateczna decyzja pozostaje w gestii architekta, który świadomie rozważy plusy i minusy przyjętego układu oraz lokalizacji generatorów słonecznych.

VIII. PROJEKTOWANIE ARCHITEKTONICZNE A TECHNOLOGIA SOLARNA

8. PROJEKTOWANIE ARCHITEKTONICZNE A TECHNOLOGIA SOLARNA

8.1 *Charakterystyka badań*

W niniejszym rozdziale przedstawiono badania prowadzone metodą porównawczą, których celem jest przedstawienie technologii solarnych wykorzystywanych w architekturze. Opracowane karty mają na celu zobrazować, w jaki sposób poszczególne rodzaje dostępnych technologii solarnych wpływają na estetykę obiektu oraz jak za ich pomocą można kształtować architekturę. Ten rozdział jest rozwinięciem zagadnień dotyczących systemów, o których wspomniano w rozdziale 5. oraz 6. tj. BAPV, BIPV, BIPV/T.

Badania zostały przeprowadzone w oparciu o:

- materiały ogólnie udostępniane przez jednostki projektowe oraz inwestorów;
- internetowe bazy danych;
- oprogramowanie komputerowe.

8.2 *Kryteria doboru przykładów*

Zastosowano następujące kryteria doboru przykładów:

- kryterium czasowe: obejmujące głównie realizacje współczesne

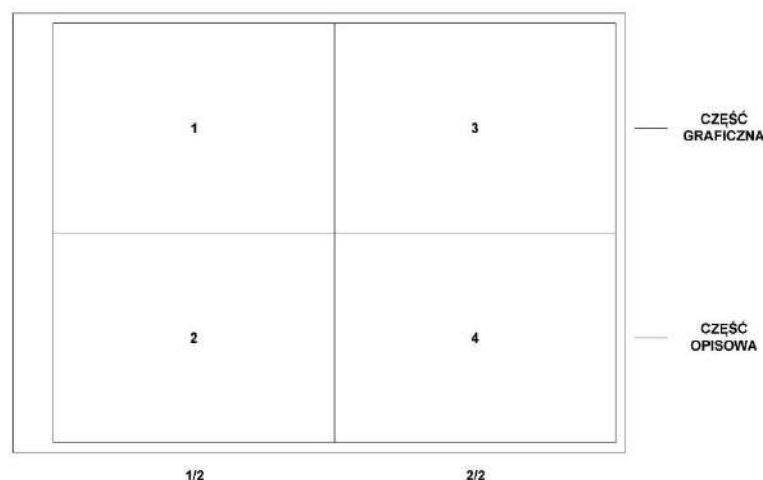
Ograniczenie w kryterium czasowym powstaje na skutek ciągłej ewolucji systemów solarnych, których powszechnie wykorzystywanie w budownictwie pojawiło się stosunkowo niedawno (od około 1980r.)

- kryterium terytorialne: realizacje europejskie
- kryterium funkcjonalne: brak ograniczeń

8.3 *Problematyka studium przypadku*

Analiza wybranych przypadków została przedstawiona w formie tabelarycznej. Założenia zbadano pod kątem wykorzystywanego systemu fotowoltaicznego. Istotne aspekty związane z danym systemem oraz jego możliwe warianty zobrazowano w formie ilustracji. Studium przypadku zaprezentowano na planszach A3 wg. schematu przedstawionego na następnej stronie, gdzie:

- 1- fotografia obiektu (wg. podanego źródła),
- 2- charakterystyka obiektu,
- 3- charakterystyka systemu,
- 4- opis systemu.



II.130. Schemat kart przedstawiających technologie solarne w architekturze
(źródło: opracowanie własne)

8.4 Studium porównawcze przypadków

Zaprezentowane w dalszej części rozdziału karty zostały przedstawione w następującej kolejności:

- Rozwiązania w zakresie kształtowania dachów:

Karta 1 – Budynek biurowy, PUR+ ARCHITEKTEN, Kasel, Niemcy;

Karta 2 – Dom jednorodzinny, Yonder Architektur und Design, Stuttgart, Niemcy

Karta 3 – Hospicjum „De Liefde”, De Kovel Architecten, Rotterdam, Holandia

Karta 4 – Bejar Market, Bejar, Hiszpania

Karta 5 – Budynek biurowy, MVRDV, Paryż, Francja

Karta 6 – Dom jednorodzinny, Jean-Pierre Bourgerie, Ossau, Francja

- Rozwiązania w zakresie kształtowania fasad:

Karta 7 – Budynek biurowy, jessenvollenweider architektur, Bazylea, Szwajcaria

Karta 8 – Budynek Kampusu WUM, Warszawa, Polska

Karta 9 – Budynek usługowo-przemysłowy Aliplast, Lublin, Polska

Karta 10 – La Seine Musicale, Shigeru Ban Architects, Paryż, Francja

Karta 11 – Budynek mieszkalno-usługowy, Architekturburo Reinberg, Gleisdorf, Austria

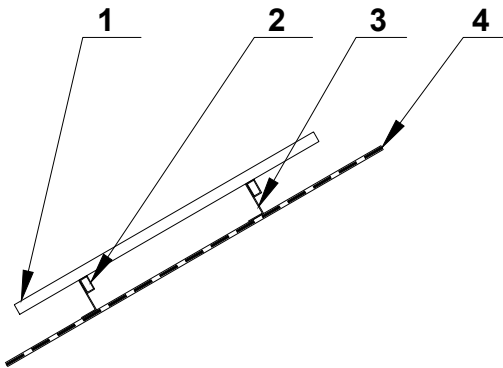


CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU				
DANE OGÓLNE				
NAZWA	SIEDZIBA BIURA ARCHITEKTONICZNEGO, PUR+ ARCHITEKTEN			
LOKALIZACJA	KASEL, NIEMCY			
BADANY ELEMENT	PANELE FOTOWOLTAICZNE			
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	49°45'38.7"N			
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	6°43'40.7"E			
DATA ZAKOŃCZENIA PROJEKTU	2009			
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA
		+		
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING	
	+			
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	FASADY	INNE
	+			
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	FOTOWOLTAICZNA		KOLEKTOROWA	
	+			
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	DODANA (A)		ZINTEGROWANA (I)	
			+	
OPIS	PANELE FOTOWOLTAICZNE, SKŁADAJĄCE SIĘ Z OGNIW MONOKRYSTALICZNYCH PEŁNIĄFUNKCJĘ WYKOŃCZENIOWĄ DACHU STROMEGO ORAZ PRODUKUJĄ ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ. TEGO TYPU INSTALACJE MOŻNA UZNAĆ W PEWIEN SPOSÓB ZA TYPOWE, ŻRÓŻNICOWANE POMIĘDZY SOBĄ SYSTEMEM MONTAŻOWYM			
FUNKCJA TECHNOLOGII	- PRODUKCJA ENERGII - OKŁADZINA (WYKOŃCZENIE) DACHU			

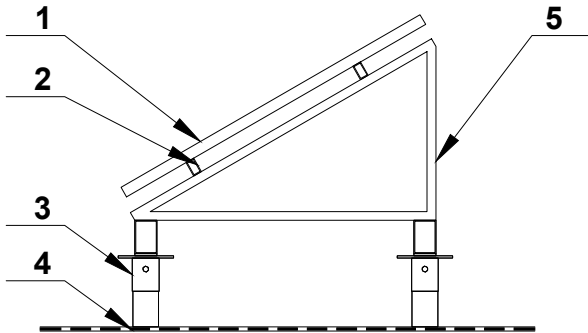
CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU

SCHEMATY MONTAŻU PANELI FOTOWOLTAICZNYCH

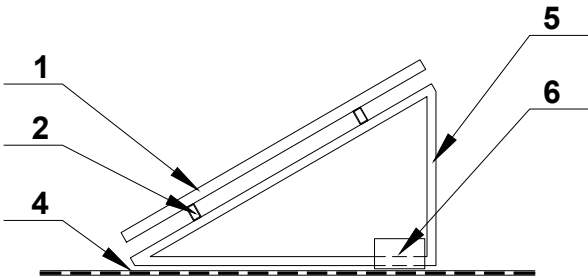
- 1 - PANEL PV
- 2 - PROFIL ALUMINIOWY
- 3 - KONSOLA MONTAŻOWA
- 4 - ZEWNĘTRZNA WARSTWA PRZEKRYCIA
- 5 - STELAŻ
- 6 - BALAST



Il.131a. Schemat montażu paneli PV do dachów stromych, zastosowany w badanym przykładzie (opracowanie własne)



Il.131b. Schemat montażu paneli PV do dachów płaskich (opracowanie własne)



Il.131c. Schemat montażu paneli PV balastowy (opracowanie własne)

OPIS SYSTEMU	
KONSTRUKCJA	ELEMENTY SAMONOŚNE, W MINIMALNEJ WERSJI SKŁADAJĄCE SIĘ Z PODKONSTRUKCJI Z PROFILI ALUMINIOWYCH, ZAKOTWICZONYCH DO ZEWNĘTRZNEJ WARSTWY PRZEKRYCIA DACHU (W PRZYPADKU DACHÓW STROMYCH), NA DACHACH PŁASKICH ORAZ DACHACH POCHYŁYCH O NIEOPTIMALNYM KĄCIE POCHYLENIA INSTALACJI WYKORZYSTUJE SIĘ DODATKOWE STELAŻE, KTÓRE MOŻNA ZAMONTOWAĆ BEZPOŚREDNIO DO DACHU LUB BALASTOWO
	- KOLORYSTYKA ELEMENTÓW JEST UZALEŻNIONA OD ZASTOSOWANYCH OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH - MODUŁY MOGĄ BYĆ Z RAMKĄ (NP. MONOKRYSTALICZNE) LUB BEZ RAMKI (NP. CIENKOWARSTWOWE) - TYPOWE INSTALACJE WYKONANE W FORMIE DODANEJ CZĘŚTO KONTRASTUJĄ Z CAŁOŚCIOWĄ FORMĄ OBIEKTU
WPŁYW NA ARCHITEKTURĘ OBIEKTU	



CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU				
DANE OGÓLNE				
NAZWA	DOM JEDNORODZINNY, YONDER ARCHITEKTUR UND DESIGN			
LOKALIZACJA	STUTTGART, NIEMCY			
BADANY ELEMENT	DACHÓWKI FOTOWOLTAICZNE			
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	48°46'04.1"N			
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	9°09'51.6"E			
DATA ZAKOŃCZENIA PROJEKTU	2016			
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA
	+			
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING	
			+	
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	FASADY	INNE
	+			
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	FOTOWOLTAICZNA		KOLEKTOROWA	
	+			
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	DODANA (A)		ZINTEGROWANA (I)	
			+	
OPIS	W BADANYM PRZYKŁADZIE ZASTOSOWANO SYSTEM DACHÓWEK FOTOWOLTAICZNYCH, ZASTĘPUJĄCYCH TRADYCYJNE FORMY POKRYĆ DACHOWYCH			
FUNKCJA TECHNOLOGII	- PRODUKCJA ENERGII - POKRYCIE DACHU			

WARIANTY DACHÓWEK FOTOWOLTAICZNYCH



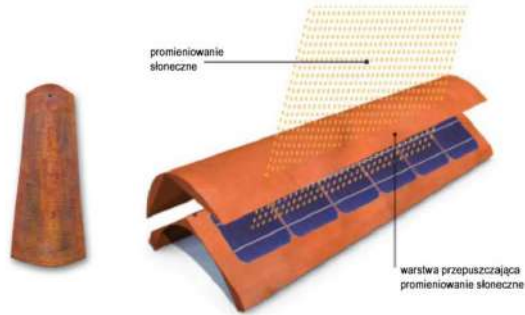
Il.132a. Kolorowa dachówka (źródło zdjęcia: GruppoSTG Srl)



Il.132b. Dachówka monokrystaliczna (źródło zdjęcia: Sottile Solar)



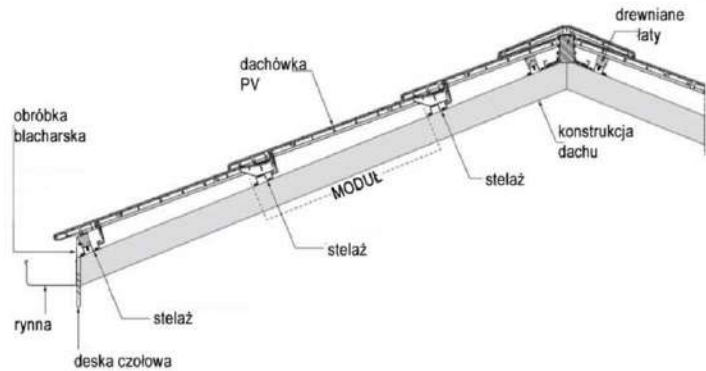
Il.132c. Dachówka płaska (źródło zdjęcia: Industrie Cotto)



Il.132d. Dachówka typu mnich z ukrytymi ogniwami (źródło zdjęcia: Dyaqua)



Il.132e. Dachówka płaska BiSolar (źródło zdjęcia: Roof Tiles Technology)



Il.132f. Schemat montażu dachówki fotowoltaicznej (opracowanie własne na podstawie materiału producenta)

OPIS SYSTEMU

KONSTRUKCJA	ELEMENTY ZASTĘPUJĄCE TRADYCYJNE POKRYCIA DACHOWE, OPATENTOWANE PRZEZ RÓŻNYCH ŚWIATOWYCH PRODUCENTÓW, NA SCHEMAT KONSTRUKCYJNY SYSTEMU SKŁADAJĄ SIĘ WARSTWY PODKONSTRUKCJI Z PROFILI ALUMINIOWYCH, DREWNIANYCH I MODUŁY FOTOWOLTAICZNE.
	- KOLORYSTYKA ELEMENTÓW MOŻE BYĆ DOWOLNA - FORMA ELEMENTÓW MOŻE BYĆ DOWOLNA, PRODUCENCI NAJCZĘŚCIEJ OPRACOWUJĄ PROJEKTY WARSZTATOWE ROZWIĄZAŃ DO DANEGO PROJEKTU - ZASTOSOWANIE PRZEDSTAWIONYCH ELEMENTÓW UMOŻLIWIA ESTETYCZNE WKOMPONOWANIE TECHNOLOGII W FORMĘ BUDYNKU
WPŁYW NA ARCHITEKTURĘ OBIEKTU	



CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU				
DANE OGÓLNE				
NAZWA	HOSPICJUM "DE LIEFDE", de KOVEL ARCHITECTEN, STUDIO AAAN			
LOKALIZACJA	ROTTERDAM, HOLANDIA			
BADANY ELEMENT	MEMBRANY THIN FILM			
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	51°52'09.9"N			
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	4°29'45.4"E			
DATA ZAKOŃCZENIA PROJEKTU	2019			
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA
		+		
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING	
			+	
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	FASADY	INNE
	+			
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	FOTOWOLTAICZNA		KOLEKTOROWA	
	+			
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	DODANA (A)		ZINTEGROWANA (I)	
			+	
OPIS	W BADANYM PRZYKŁADZIE POJAWIA SIĘ SYSTEM MEMBRAN THIN FILM ZINTEGROWANY Z BLACHĄ PŁASKĄ			
FUNKCJA TECHNOLOGII	- PRODUKCJA ENERGII - POKRYCIE DACHU			

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU

WARIANTY MEMBRAN THIN FILM



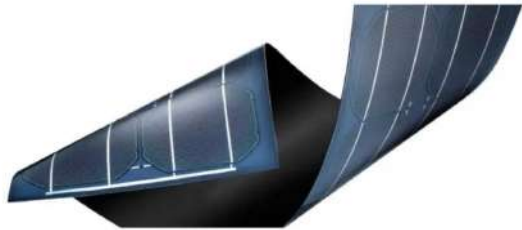
Il.133a. Membrana thin film na dachu parabolicznym (źródło zdjęcia: Merlin Solar)



Il.133b. Blacha płaska na rąbek, hybryda membrany thin film i arkusza blachy (źródło zdjęcia: Solroof)



Il.133c. Membrana thin film na dachu płaskim (źródło zdjęcia: Sunflare)



Il.133d. Membrana thin film z ogniwami CIGS (źródło zdjęcia: Mibet Energy)

OPIS SYSTEMU

KONSTRUKCJA	ELEMENTY WSPÓŁWYSTĘPUJĄCE Z TRADYCYJNYMI POKRYCIAMI DACHOWYMI, MODUŁY FOTOWOLTAICZNE UMIESZCZONE SĄ NA ELASTYCZNYCH MEMBRANACH, KLEJONYCH LUB ZGRZEWANYCH DO PODŁOŻA. ISTNIEJE RÓWNIEŻ MOŻLIWOŚĆ MONTAŻU BALASTOWEGO (il. 133c)
	- KOLORYSTYKA ELEMENTÓW JEST OGRANICZONA ZE WZGLĘDU NA OGNIWA CIGS, SYTUACJA TA SIĘ NAJPRAWDOPODBNIEJ ZMIENI PO WPROWADZENIU DO PRODUKCJI MEMBRAN OGNIW PEROWSKITOWYCH - FORMA ELEMENTÓW NAJCZĘŚCIEJ JEST PROSTOKĄTNA, PODŁUŻNA, POŁĄCZENIE MODUŁÓW Z TRADYCYJNYM POKRYCIEM UMOŻLIWIA PRAWIE PEŁNĄ INTEGRACJĄ Z FORMĄ OBIEKTU



CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

DANE OGÓLNE				
NAZWA	BEJAR MARKET			
LOKALIZACJA	BÉJAR, HISZPANIA			
BADANY ELEMENT	ŚWIETLIKI FOTOWOLTAICZNE			
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	40°23'08.2"N			
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	5°45'50.3"W			
DATA ZAKOŃCZENIA PROJEKTU	2012			
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA
		+		
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING	
			+	
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	FASADY	INNE
	+			
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	FOTOWOLTAICZNA		KOLEKTOROWA	
	+			
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	DODANA (A)		ZINTEGROWANA (I)	
			+	
OPIS	ELEMENTY FOTOWOLTAICZNE W FORMIE ŚWIETLIKÓW, W BADANYM OBIECKEI WYKORZYSTUJĄCE KRZEM AMORFICZNY (NIEKRYSZTALIZOWANY) STĄD BRAK WIDOCZNEJ TRADYCYJNEJ STRUKTURY KRYSTAŁU			
FUNKCJA TECHNOLOGII	- PRODUKCJA ENERGII - SZKLENIE OBIEKTU			

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU

WARIANTY ŚWIETLIKÓW FOTOWOLTAICZNYCH

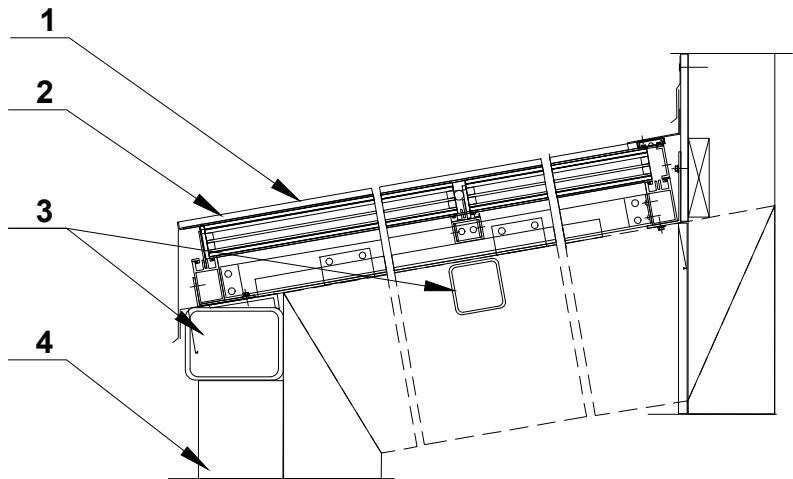


Il.134a. Świetlik dachowy z ogniwami monokrystalicznymi (źródło zdjęcia: Metsolar)



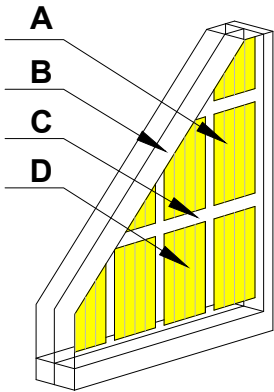
Il.134b. Świetlik dachowy z kropkami kwantowymi (źródło zdjęcia: Skyco Skylights)

- 1 - SZYBY ZESPOLONE PV
- 2 - ALUMINIOWA KONSTRUKCJA ŚWIETLIKA
- 3 - KONSTRUKCJA OBIEKTU
- 4 - ŚCIANA OSŁONOWA



Il.134c. Schemat montażu świetlików dachowych (opracowanie własne na podstawie materiału producenta OnyxSolar)

- A - SZKŁO TYPU FLOAT BEZ POWŁOKI NISKOEMISYJNEJ
B - KOMORA
C - OGNIWO FOTOWOLTAICZNE MONO/POLIKRYSTALICZNE
D - ŚCIEŻKI ELEKTROD



Il.134d. Schemat zespolonej szyby fotowoltaicznej (opracowanie własne na podstawie broszur producenckich)

OPIS SYSTEMU

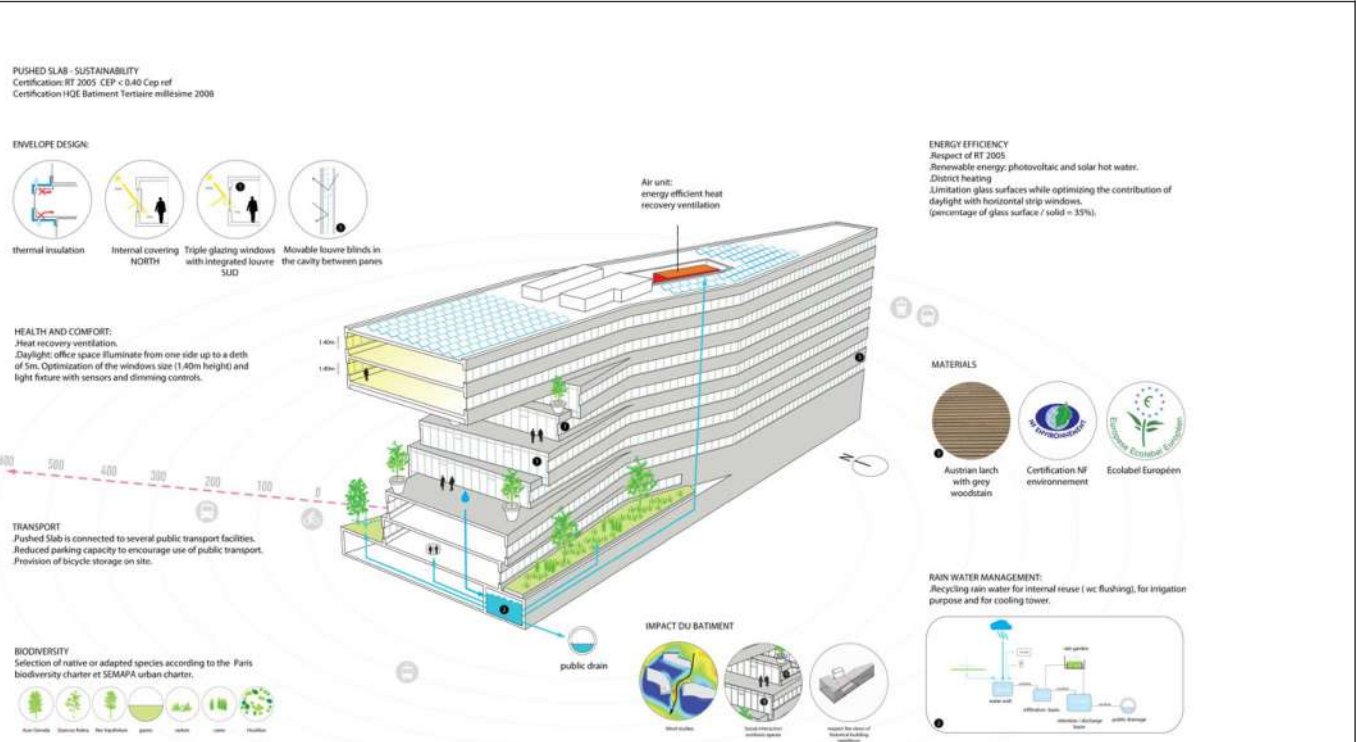
KONSTRUKCJA	ELEMENTY SKŁADAJĄ SIĘ Z SZYB ZESPOLONYCH Z OGNIWAMI FOTOWOLTAICZNYMI, PODKONSTRUKCJI ŚWIETLIKA W WYBRANYM SYSTEMIE (W POLSCE WIODĄCĄ MARKĄ ZAJMUJĄCĄ SIĘ KONSTRUKCJAMI ALUMINIOWYMI JEST NP. ALUPROF), PODKONSTRUKCJA ŚWIETLIKA MOCOWANA JEST DO ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH OBIEKTU. OGNIWA FOTOWOLTAICZNE MONTOWANE SĄ W ZEWNĘTRZNEJ KOMORZE ZESTAWU SZYBOWEGO, NA ZEWNĘTRZNEJ SZYBIE, KTÓRA W ODRÓŻNIENIU OD TRADYCYJNYCH OKIEN ZESPOLONYCH NIE MOŻE BYĆ POKRYTA POWŁOKĄ NISKOEMISYJNĄ BLOKUJĄCĄ PROMIENIOWANIE ZAKRESU ULTRAFIOLETOWEGO. POWŁOKĄ NISKOEMISYJNĄ POKRYWANA JEST SZYBA ZA OGNIWAMI FOTOWOLTAICZNYMI,
	- POSZCZEGÓLNE SKŁADOWE SYSTEMU CECHUJĄ SIĘ DOWOLNOŚCIĄ WYBORU KOLORU (PALETA RAL - OGNIWA CIENKOWARSTWOWE) ORAZ STOPNIEM PRZEPUSZCZALNOŚCI ŚWIATŁA (OGNIWA CIENKOWARSTWOWE) - ELEMENTY KAŻDORAZOWO PROJEKTOWANE INDYWIDUALNIE W OPARCIU O BAZOWY SYSTEM - ELEMENTY PRZEZIERNE, W KOLORYSTYCZNYCH WERSJACH ODPOWIADAJĄ ZA WYRAZ ESTETYCZNY OBIEKTU
WPŁYW NA ARCHITEKTURĘ OBIEKTU	



CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

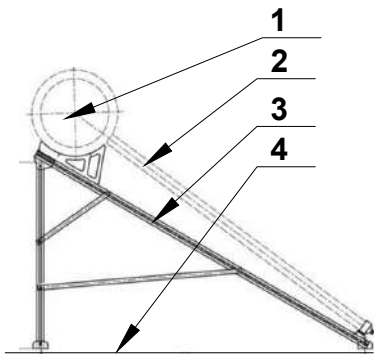
DANE OGÓLNE				
NAZWA	BUDYNEK BIUROWY			
LOKALIZACJA	PARYŻ, FRANCJA			
BADANY ELEMENT	KOLEKTORY SŁONECZNE			
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	48°50'52.5"N			
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	2°20'27.6"E			
DATA ZAKOŃCZENIA PROJEKTU	2015			
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA
		+		
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING	
	+			
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	FASADY	INNE
		+		
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	FOTOWOLTAICZNA		KOLEKTOROWA	
			+	
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	DODANA (A)		ZINTEGROWANA (I)	
	+			
OPIS	TYPOWE ELEMENTY W FORMIE KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH UMIESZCZONO NA DACHU PŁASKIM OBIEKTU Z ZACHOWANIEM OPTYMALNEJ ORIENTACJI WZGLĘDEM PADAJĄCYCH PROMIENI SŁONECZNYCH. LOKALIZACJA KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH JEST NIEWIDOCZNA Z POZIOMU OTACZAJĄCEGO TERENU			
FUNKCJA TECHNOLOGII	• PRODUKCJA ENERGII CIEPLNEJ			

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU



II.135a. Schemat ideologiczny założenia architektonicznego (źródło zdjęcia: MVRDV)

- 1 - OPCJA MONTAŻU ZBIORNIKA AKUMULACYJNEGO
- 2 - KOLEKTOR SŁONECZNY
- 3 - STELAŻ KONSTRUKCYJNY
- 4 - PODŁOŻE (DACH LUB TEREN)



II.135b. Schemat stelaża wsporczo, umożliwiającego również montaż kolektorów termosyfonowych (źródło zdjęcia: Sunbank)



II.135c. Kolektory płaskie na dachu skośnym (źródło zdjęcia: Hewalex)



II.135d. Kolektory próżniowo-rurowe na dachu płaskim (źródło zdjęcia: Schweizer)

OPIS SYSTEMU

KONSTRUKCJA	W CELU ZACHOWANIA OPTYMALNEGO POCHYLENIA ORAZ ORIENTACJI INSTALACJI CZĘSTO WYKORZYSTUJE SIĘ PODKONSTRUKCJĘ WSPORCZĄ NA KTÓREJ MONTUJE SIĘ KOLEKTOR SŁONECZNY. SĄ TO TYPOWE INSTALACJE, SKŁADAJĄCE SIĘ Z KOLEKTORÓW PŁASKICH LUB PRÓŻNIOWYCH.
	• ELEMENTY SĄ PREFABRYKOWANE, Z OGRANICZONĄ MOŻLIWOŚCIĄ ZMIANY FORMY • TYPOWE INSTALACJE WYKONANE W FORMIE DODANEJ CZĘSTO KONTRASTUJĄ Z CAŁOŚCIOWĄ FORMĄ OBIEKTU WPLYWAJĄC NA FINALNY ODBIÓR FORMY OBIEKTU
WPLYW NA ARCHITEKTURĘ OBIEKTU	



CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

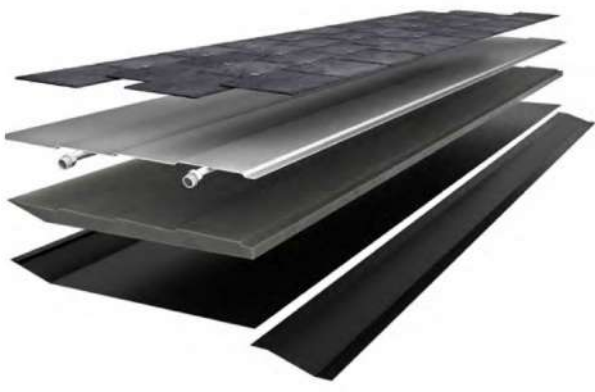
DANE OGÓLNE

NAZWA	DOM JEDNORODZINNY W PIRENEJACH, ARCHITECT JEAN-PIERRE BOURGERIE			
LOKALIZACJA	OSSAU, FRANCJA			
BADANY ELEMENT	UKRYTE KOLEKTORY SŁONECZNE			
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	42°57'40.0"N			
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	0°26'08.7"W			
DATA ZAKOŃCZENIA PROJEKTU	2016			
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA
	+			
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING	
	+			
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	FASADY	INNE
	+			
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	FOTOWOLTAICZNA		KOLEKTOROWA	
			+	
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	DODANA (A)		ZINTEGROWANA (I)	
			+	
OPIS	ELEMENTY KOLEKTOROWE ZINTEGROWANO Z DACHEM W FORMIE PREFABRYKOWANYCH PANELI, IMITUJĄCYCH DACHÓWKĘ CHARAKTERYSTYCZNĄ DLA REGIONU			
FUNKCJA TECHNOLOGII	- PRODUKCJA ENERGII CIEPLNEJ - POKRYCIE DACHU			

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU



Il.136a. Moduł kolektorowy ukryty
(źródło zdjęcia: Thermoslate CupaPizzaras)



Il.136b. Budowa modułu kolektorowego ukrytego
(źródło zdjęcia: Thermoslate CupaPizzaras)



Il.136c. Montaż modułu kolektorowego
(źródło zdjęcia: Thermoslate CupaPizzaras)

OPIS SYSTEMU

KONSTRUKCJA

ELEMENTY SKŁADAJĄ SIĘ Z BLASZANEJ PODKONSTRUKCJI, TERMOIZOLACJI, PŁASKIEGO MODUŁU KOLEKTOROWEGO ORAZ ZEWNĘTRZNEJ WARSTWY OKŁADZINOWEJ PRZEPUSZCZAJĄCEJ PROMIENIOWANIE SŁONECZNE (IMITUJĄCEJ DACHÓWKĘ ŁUPKOWĄ)

WPŁYW NA ARCHITEKTURĘ OBIEKTU

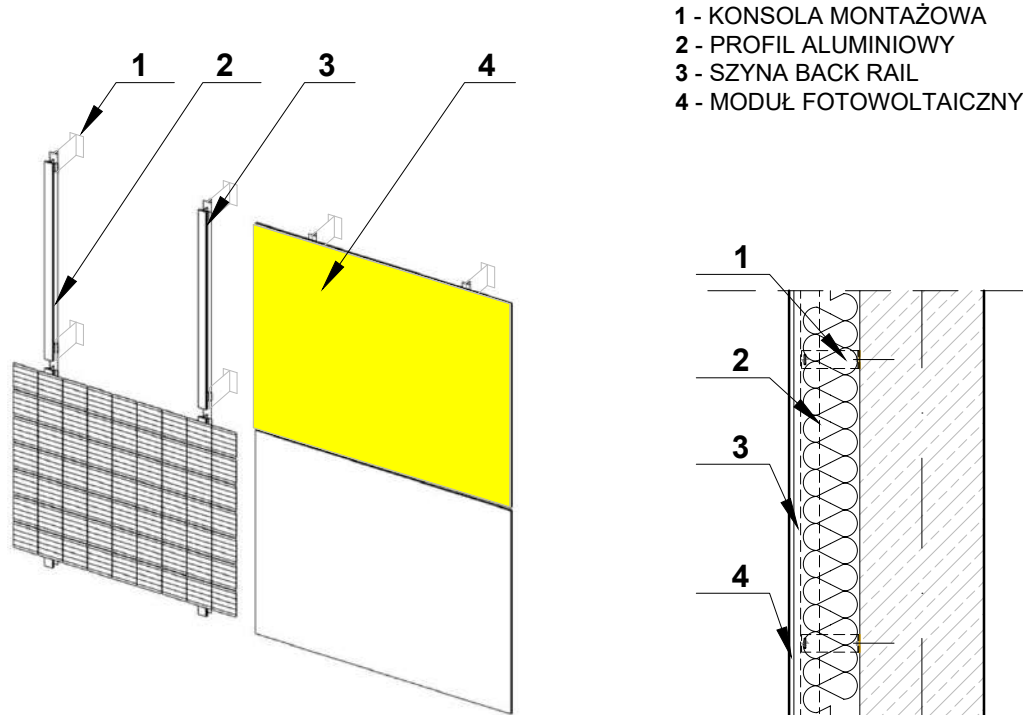
- CAŁKOWITA INTEGRACJA TECHNOLOGII SOLARNEJ Z FORMĄ OBIEKTU
- ELEMENTY KAŻDORAZOWO PROJEKTOWANE INDYWIDUALNIE W OPACIU O BAZOWY SYSTEM
- ESTETYCZNIE WKOMPONOWANE KOLEKTORY SŁONECZNE W BAZOWĄ FORMĘ OBIEKTU



CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

DANE OGÓLNE				
NAZWA	BASEL'S OFFICE FOR ENVIRONMENT AND ENERGY IN SWITZERLAND			
LOKALIZACJA	BAZYLEA, SZWAJCARIA			
BADANY ELEMENT	FASADA WENTYLOWANA			
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	47°33'07.2"N			
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	7°35'30.3"E			
DATA ZAKOŃCZENIA PROJEKTU	2021			
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA
		+		
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING	
	+			
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	FASADY	INNE
			+	
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	FOTOWOLTAICZNA		KOLEKTOROWA	
	+			
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	DODANA (A)		ZINTEGROWANA (I)	
			+	
OPIS	ELEMENTY FOTOWOLTAICZNE W FORMIE PANELI CIENKOWARSTWOWYCH PEŁNIĄCYCH FUNKCJĘ WYKOŃCZENIOWĄ FASADY WENTYLOWANEJ. WIZERUNKOWA IDEA PRODUKCJI ENERGII JEST SPÓJNA Z GŁÓWNYM PRZEZNACZENIEM OBIEKTU (SIEDZIBA MIEJSKIEGO DEPARTAMENTU ZAJMUJĄCEGO SIĘ SPRAWAMI ŚRODOWISKOWO-ENERGETYCZNYMI).			
FUNKCJA TECHNOLOGII	- PRODUKCJA ENERGII - WIZERUNKOWA - OKŁADZINA (WYKOŃCZENIE) FASADY			

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU



Il.137a. Schemat montażu wentylowanej fasady fotowoltaicznej (opracowanie własne na podstawie broszur producenckich)

Il.137b. Schematyczny przekrój wentylowanej fasady fotowoltaicznej (opracowanie własne na podstawie broszur producenckich)



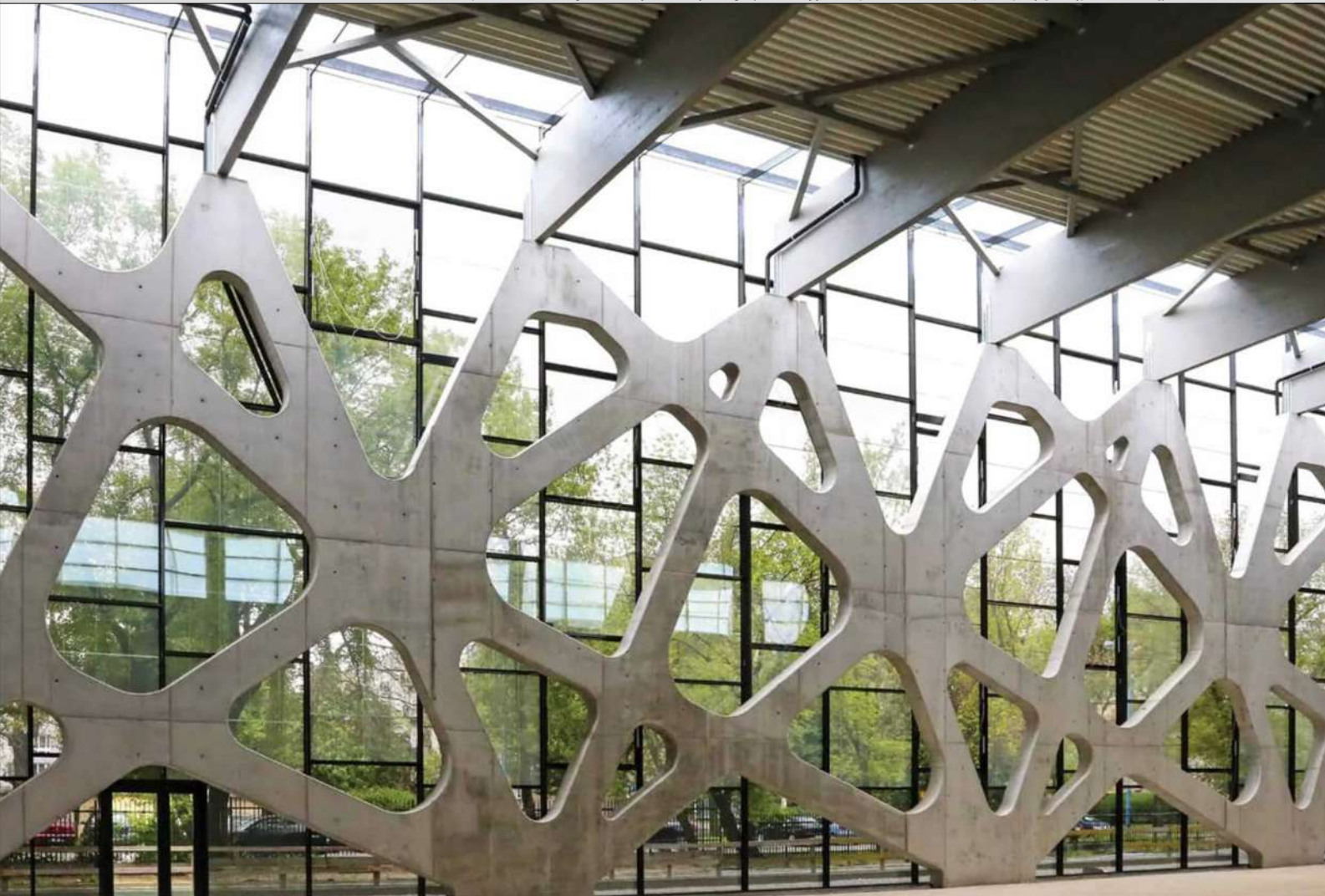
Il.137c. Przykładowe fasadowe moduły fotowoltaiczne (źródło zdjęcia: FuturaSun)



Il.137d. Przykładowe faktury oraz kolorystyka modułów (źródło zdjęcia: Sunage)

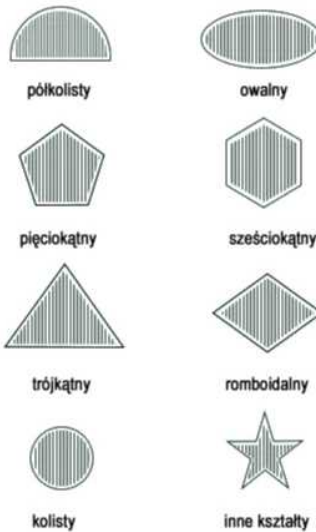
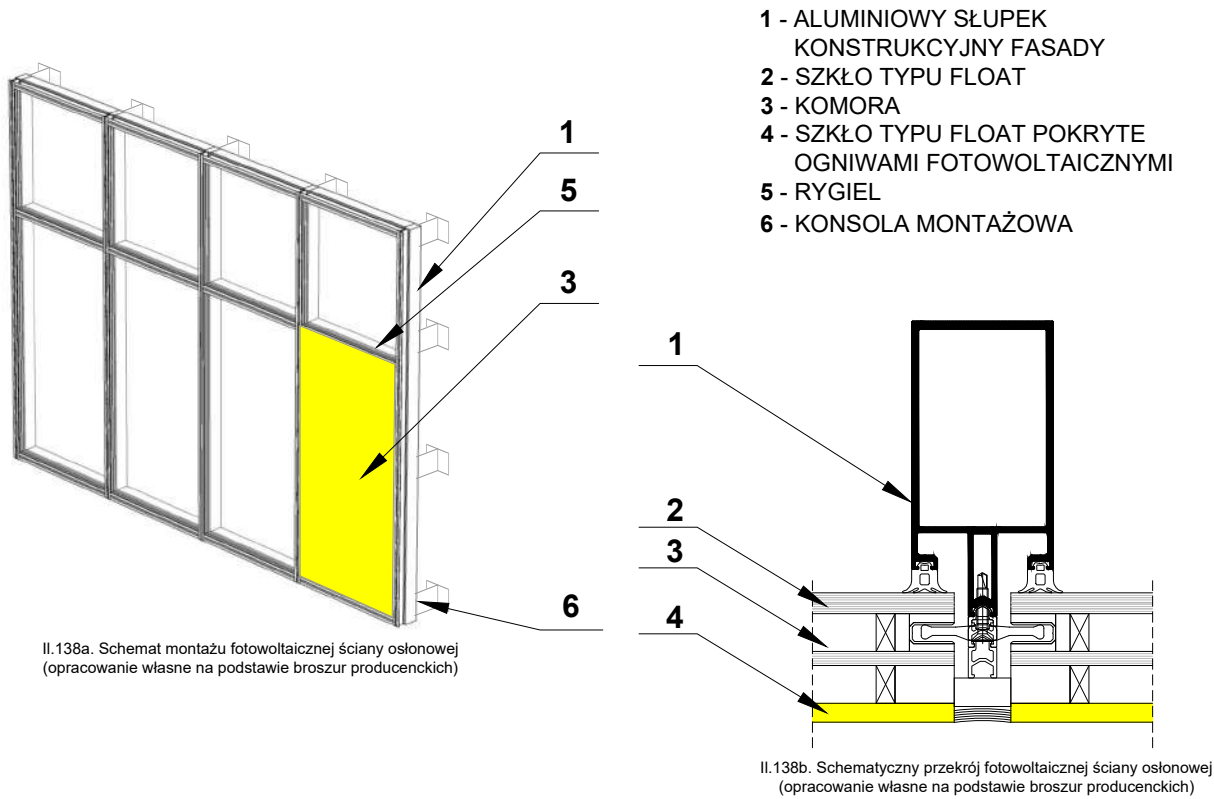
OPIS SYSTEMU

KONSTRUKCJA	ELEMENTY SAMONOŚNE, PODKONSTRUKCJA Z PROFILI ALUMINIOWYCH DYBLOWANYCH ZA POMOCĄ KONSÓL DO WARSTWY NOŚNEJ PRZEGRODY ZEWNĘTRZNEJ, WARSTWA TERMOIZOLACJI, PRZESTRZEŃ WENTYLOWANA, OKŁADZINA Z MODUŁÓW FOTOWOLTAICZNYCH. SYSTEM PEŁNIĄCY RÓWNOLEGLE FUNKCJĘ WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ ORAZ ZEWNĘTRZNĄ WARSTWĘ WYKOŃCZENIOWĄ ELEWACJI.
WPŁYW NA ARCHITEKTURĘ OBIEKTU	- CAŁKOWITA INTEGRACJA TECHNOLOGII SOLARNEJ Z FORMĄ OBIEKTU - ELEMENTY FOTOWOLATICZNE MOGĄ BYĆ MONOCHROMATYCZNE (W PRZYPADKU OGNIW MONOKRYSTALICZNYCH) JAK I KOLOROWE (OGNIWA CIENKOWARSTWOWE) - ELEMENTY KAŻDORAZOWO PROJEKTOWANE INDYWIDUALNIE W OPARCIU O BAZOWY SYSTEM - ZASTOSOWANE GENERATORY SOLARNE ODPOWIADAJĄ ZA CAŁOŚCIOWY ODBIÓR OBIEKTU (STANOWIĄ O JEGO NARRACJI)



CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU				
DANE OGÓLNE				
NAZWA	WARSZAWSKI UNIWERSYTET MEDYCZNY			
LOKALIZACJA	WARSZAWA, POLSKA			
BADANY ELEMENT	FOTOWOLTAICZNA ŚCIANA OSŁONOWA			
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	52°12'26.8"N			
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	20°58'57.4"E			
DATA ZAKOŃCZENIA PROJEKTU	2018			
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA
		+		
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING	
	+			
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	FASADY	INNE
			+	
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	FOTOWOLTAICZNA		KOLEKTOROWA	
	+			
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	DODANA (A)		ZINTEGROWANA (I)	
			+	
OPIS	ELEMENTY FOTOWOLTAICZNE W FORMIE ŚCIANY OSŁONOWEJ Z TRANSPARENTNYMI OGNIWAMI FOTOWOLTAICZNYMI			
FUNKCJA TECHNOLOGII	- PRODUKCJA ENERGII - ŚCIANA OSŁONOWA - FASADA SŁUPOWO-RYGŁOWA			

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU



II.138c. Schemat dostępnych kształtów modułów szklanych PV dla ścian osłonowych (opracowanie własne na podstawie broszur producenckich)

II.138d. Ściana osłonowa SwissTech Convention Center Richter Dahl Rocha & Associés (źródło zdjęcia: https://rdrrchitectes.com/en/home [dostęp 02.01.2025])

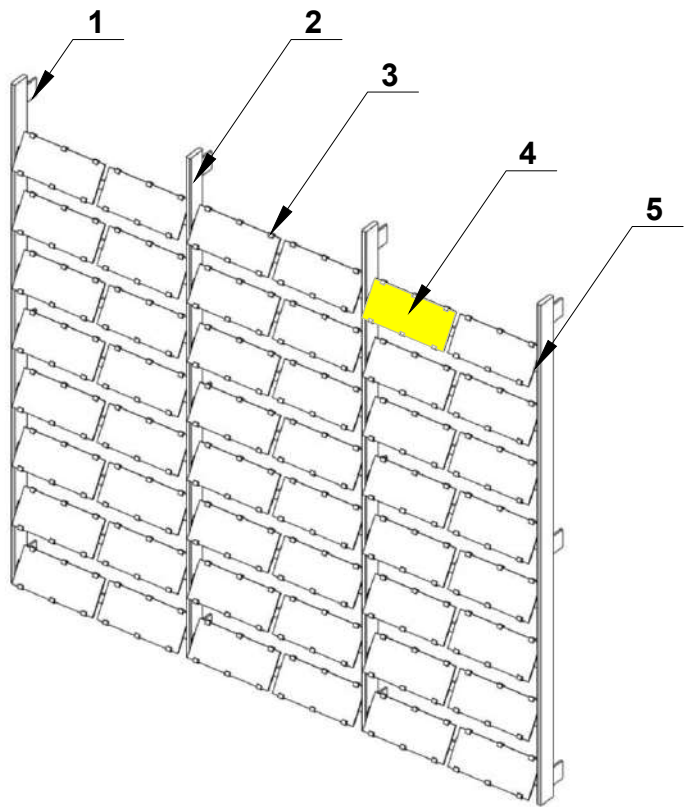
OPIS SYSTEMU	
KONSTRUKCJA	STRUKTURALNA FASADA SŁUPOWO-RYGŁOWA O KONSTRUKCJI ALUMINIOWEJ Z ZESTAWAMI SZYB ZESPOLONYCH, W KTÓRYCH ZEWNĘTRZNE SZKŁO W PRZESTRZENI KOMOROWEJ POKRYTE JEST OGNIWAMI FOTOWOLTAICZNYMI. PRODUCENCI FOTOWOLTAICZNYCH SZYB ZESPOLONYCH "DOPROJEKTOWUJĄ" MODUŁY DO WYBRANEGO SYSTEMU FASADY. SYSTEM PEŁNIĄCY RÓWNOLEGLE FUNKCJĘ WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ ORAZ OSŁONY OBIEKTU OD CZYNNIKÓW ATMOSFERYCZNYCH. MOŻE BYĆ MONTOWANY JAKO SUBSTYTUT TRADYCYJNYCH ZESTAWÓW SZKLANYCH LUB INNYCH PRZESZKLEŃ W OBIEKCIE
	- POSZCZEGÓLNE SKŁADOWE SYSTEMU CECHUJĄ SIĘ DOWOLNOŚCIĄ WYBORU KOLORU (PALETA RAL - OGNIWA CIENKOWARSTWOWE) ORAZ STOPNIEM PRZEPUSZCZALNOŚCI ŚWIATŁA (OGNIWA CIENKOWARSTWOWE) - ELEMENTY KAŻDORAZOWO PROJEKTOWANE INDYWIDUALNIE W OPARCIU O BAZOWY SYSTEM - DOWOLNOŚĆ FORMY GENERATORÓW SOLARNYCH MA ZASADNICZY WPŁYW NA ESTETYKĘ OBIEKTU
WPŁYW NA ARCHITEKTURĘ OBIEKTU	



CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

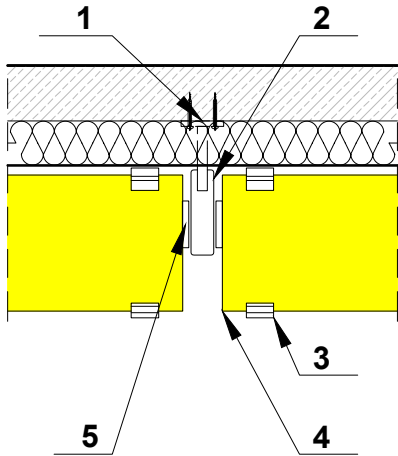
DANE OGÓLNE				
NAZWA	BUDYNEK BIUROWY PRZY ZAKŁADZIE PRODUKCYJNYM FIRMY ALIPLAST			
LOKALIZACJA	LUBLIN, POLSKA			
BADANY ELEMENT	ŻALUZJE FOTOWOLTAICZNE			
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	51°13'09.4"N			
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	22°38'38.4"E			
DATA ZAKOŃCZENIA PROJEKTU	2021			
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA
		+	+	
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING	
	+			
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	FASADY	INNE
			+	
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	FOTOWOLTAICZNA		KOLEKTOROWA	
	+			
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	DODANA (A)		ZINTEGROWANA (I)	
			+	
OPIS	ELEMENTY FOTOWOLTAICZNE UMIESZCZONO NA FASADZIE WSCHODNIEJ, OBIEKT BIUROWY WCHODZI W SKŁAD KOMPLEKSU BIUROWO-PRODUKCYJNO-MAGAZYNOWEGO PRZEDSIĘBIORSTWA ZAJMUJĄCEGO SIĘ PRODUKCJĄ SYSTEMÓW ALUMINIOWYCH DLA BUDOWNICTWA			
FUNKCJA TECHNOLOGII	- PRODUKCJA ENERGII - OCHRONA OBIEKTU PRZED PRZEGRZEWANIEM - WIZERUNKOWA			

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU



Il.139a. Schemat montażu żaluzji fotowoltaicznych (opracowanie własne na podstawie broszur producenckich)

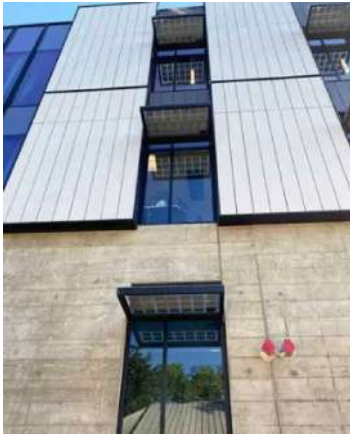
- 1 - KONSOLA MONTAŻOWA
- 2 - PROFIL ALUMINIOWY
- 3 - ALUMINIOWY UCHWYT
- 4 - MODUŁ FOTOWOLTAICZNY
- 5 - UCHWYTY OBROTOWE, UMOŻLIWIAJĄCE ZMIANĘ KĄTA NACHYLENIA INSTALACJI



Il.139b. Schematyczny przekrój montażu żaluzji fotowoltaicznych (opracowanie własne na podstawie broszur producenckich)



Il.139c. Perowskitowe żaluzje fotowoltaiczne (źródło zdjęcia: PV Magazine)



Il.139d. Żaluzje fotowoltaiczne (źródło zdjęcia: Onyx Solar)

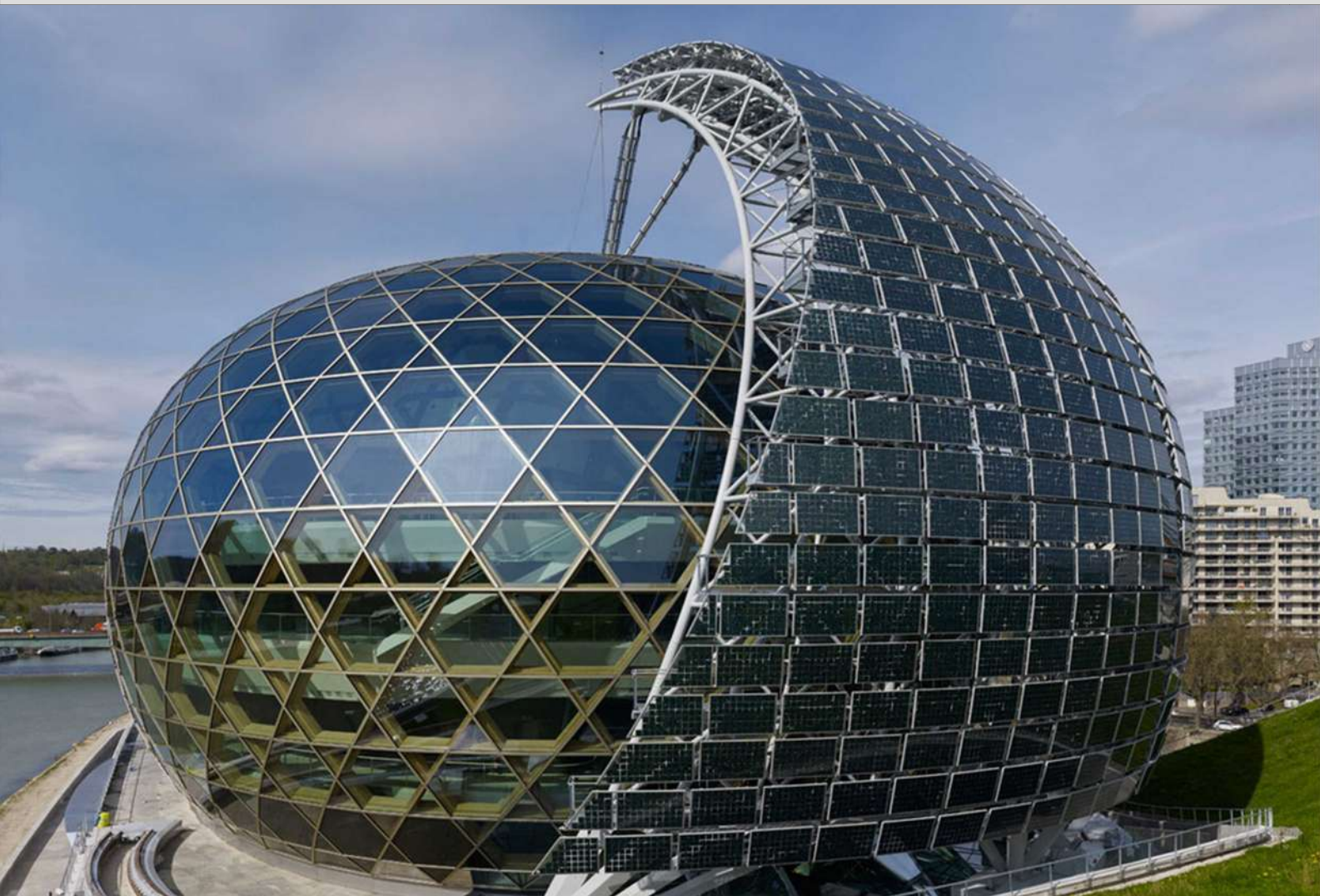
OPIS SYSTEMU

KONSTRUKCJA

ELEMENTY SAMONOŚNE, PODKONSTRUKCJA Z PROFILI ALUMINIOWYCH DYBLOWANYCH ZA POMOCĄ KONSOL DO WARSTWY NOŚNEJ PRZEGRODY ZEWNĘTRZNEJ. OGNIWA FOTOWOLTAICZNE MOCOWANE DO SŁUPKÓW PRZY UŻYCIU UCHYTÓW STAŁYCH LUB RUCHOMYCH. SYSTEM PEŁNIĄCY RÓWNOLEGLE FUNKCJĘ WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ ORAZ CHRONIĄCY WNĘTRZE OBIEKTU PRZED NADMIERNYM PRZEGRZEWANIEM (OGRANICZENIE NAKŁADÓW ENERGETYCZNYCH NA KLIMATYZOWANIE OBIEKTU). MOŻE BYĆ MONTOWANY ZARÓWNO DO PEŁNEJ ŚCIANY JAK I ŚCIAN OSŁONOWYCH (SŁUPOWO-RYGŁOWYCH). OPCJONALNA AUTOMATYCZNA REGULACJA KĄTA NACHYLENIA ŻALUZJI ZINTEGROWANA Z CZUJNIKAMI NASŁONECZNIENIA.

WPŁYW NA ARCHITEKTURĘ OBIEKTU

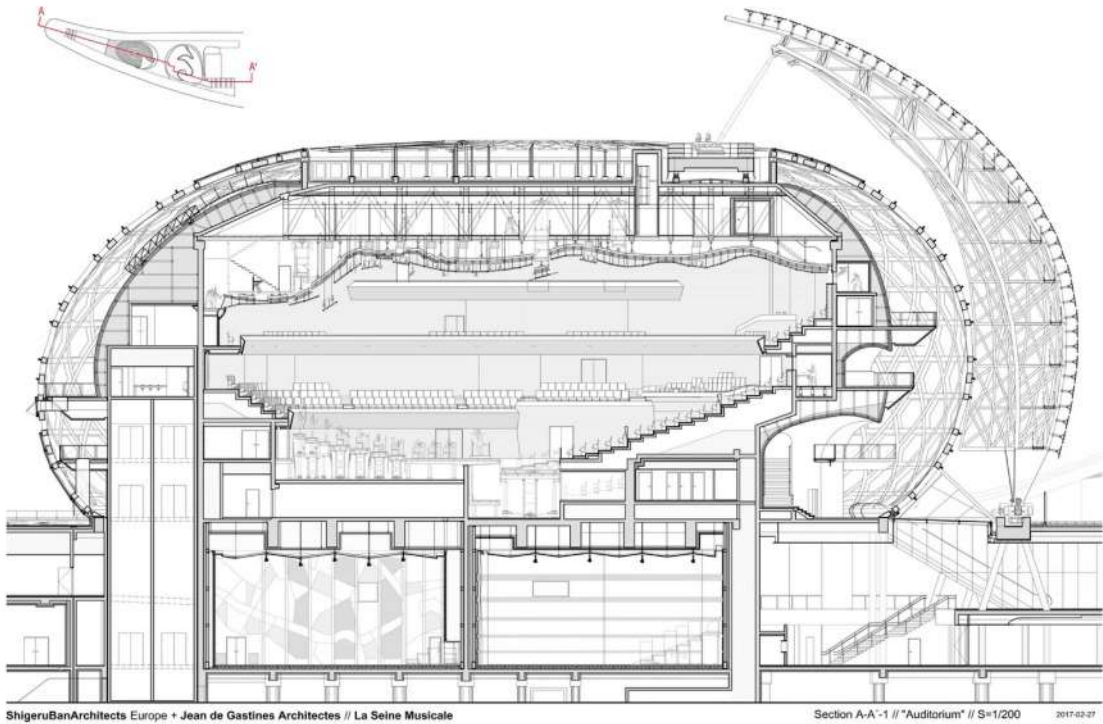
- POSZCZEGÓLNE SKŁADOWE SYSTEMU CECHUJĄ SIĘ DOWOLNOŚCIĄ WYBORU KOLORU (PALETA RAL) ORAZ STOPNIEM PRZEPUSZCZALNOŚCI ŚWIATŁA (MODUŁY PV)
- ELEMENTY KAŻDORAZOWO PROJEKTOWANE INDYWIDUALNIE W OPARCIU O BAZOWY SYSTEM
- ELEMENTY ZACIENIAJĄCE STANOWIĄ MOCNE AKCENTY NA FASADACH OBIEKTÓW



CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

DANE OGÓLNE				
NAZWA	CENTRUM MUZYKI I SZTUK PERFORMATYWNYCH, SHIGERU BAN ARCHITECTS			
LOKALIZACJA	PARYŻ, FRANCJA			
BADANY ELEMENT	SKIN FOTOWOLTAICZNY			
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	48°49'31.5"N			
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	2°13'55.6"E			
DATA ZAKOŃCZENIA PROJEKTU	2017			
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA
		+		
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING	
	+			
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	FASADY	INNE
			+	
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	FOTOWOLTAICZNA		KOLEKTOROWA	
	+			
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	DODANA (A)		ZINTEGROWANA (I)	
			+	
OPIS	ELEMENTY FOTOWOLTAICZNE ZAPROJEKTOWANO JAKO DETAL ARCHITEKTONICZNY W FORMIE ZAOKRĄGLONEJ STRUKTURY			
FUNKCJA TECHNOLOGII	- PRODUKCJA ENERGII - OCHRONA OBIEKTU PRZED PRZEGRZEWANIEM - WIZERUNKOWA			

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU



Il.140a. Przekrój pionowy obiektu (źródło ilustracji: Shigeru Ban Architects)



Il.140b. Widok na strukturę fotowoltaiczną (źródło zdjęcia: Shigeru Ban Architects)

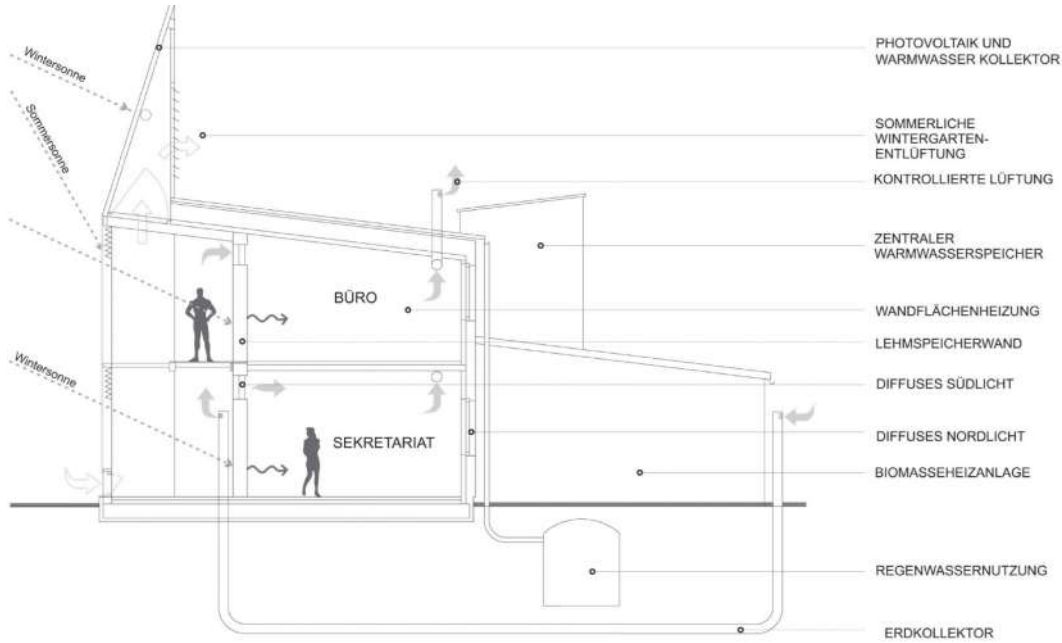
OPIS SYSTEMU

KONSTRUKCJA	ELEMENTY SAMONOŚNY, NA PODKONSTRUKCJI ZE STALOWYCH KRATOWNIC, WARSTWĘ OKŁADZINOWĄ PODKONSTRUKCJI WYKONANO Z MODUŁÓW FOTOWOLTAICZNYCH, O RÓŻNYM KĄCIE POCHYLENIA. CAŁOŚĆ STRUKTURY USYTUOWANO W KIERUNKU POŁUDNIOWYM
WPŁYW NA ARCHITEKTURĘ OBIEKTU	- BADANY ELEMENT PEŁNI FUNKCJĘ DETALU ARCHITEKTONICZNEGO - POSZCZEGÓLNE SKŁADOWE SYSTEMU CECHUJĄ SIĘ DOWOLNOŚCIĄ WYBORU KOLORU (PALETA RAL) - W ZALEŻNOŚCI OD DOBRANYCH OGNIW ISTNIEJE MOŻLIWOŚĆ UZYSKANIA INNEGO WYRAZU ESTETYCZNEGO

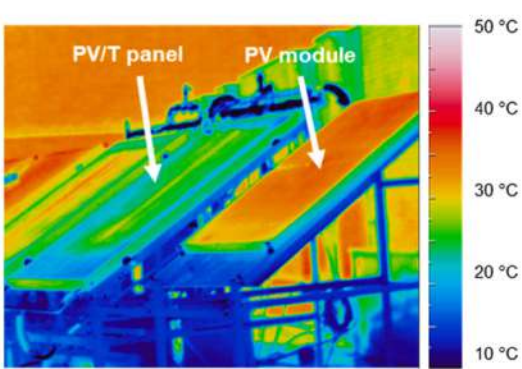


CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

DANE OGÓLNE				
NAZWA	KOMPLEKS MIESZKANIOWO-USŁUGOWY, ARCHITEKTURBURO REINBERG			
LOKALIZACJA	GLEISDORF, AUSTRIA			
BADANY ELEMENT	BIPV-T			
DŁUGOŚĆ GEOGRAFICZNA	47°06'59.4"N			
SZEROKOŚĆ GEOGRAFICZNA	15°42'55.3"E			
DATA ZAKOŃCZENIA PROJEKTU	1998			
FUNKCJA ZAŁOŻENIA	MIESZKANIOWA	USŁUGOWA	PRZEMYSŁOWA	INFRASTRUKTURALNA
	+	+		
RODZAJ ZAŁOŻENIA	OD PODSTAW		RETROFITTING	
	+			
PRZYJĘTA LOKALIZACJA TECHNOLOGII	DACHY SKOŚNE	DACHY PŁASKIE	FASADY	INNE
			+	
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	FOTOWOLTAICZNA		KOLEKTOROWA	
			+	
WYKORZYSTYWANA TECHNOLOGIA	DODANA (A)		ZINTEGROWANA (I)	
			+	
OPIS	TECHNOLOGIA HYBRYDOWA (BIPV-T) W BADANYM PRZYKŁADZIE ZOSTAŁA WKOMPONOWANA JAKO ZWIĘCZENIE FASADY			
FUNKCJA TECHNOLOGII	- PRODUKCJA ENERGII CIEPLNEJ ORAZ ELEKTRYCZNEJ - ELEMENT UZUPEŁNIAJĄCY SOLARNY DESIGN OBIEKTU - WIZERUNKOWA			



Il.141a. Schematyczny przekrój pionowy obiektu (źródło ilustracji: Architekturburo Reinberg)



Il.141b. Termowizyjne porównanie temperatur roboczych modułów PV oraz PV/T (źródło ilustracji: T.Kohei, S. Haruki, I. Toshiharu, *Development of an environmentally friendly PV/T solar panel*, "Solar Energy" 2020, vol. 199, s. 515)



Il.141c. Fasada BIPV-T budynku mieszkalnego w Oslo (źródło zdjęcia: Dahle Breitenstein Architects)

OPIS SYSTEMU

KONSTRUKCJA	HYBRYDOWE MODUŁY, STANOWIĄCE POŁĄCZENIE TECHNOLOGII FOTOWOLTAIKOWEJ ORAZ KOLEKTOROWEJ WYKONYWANE W SYSTEMIE FASAD WENTYLOWANYCH (NA ALUMINIOWEJ PODKONSTRUKCJI MONTOWANEJ ZA POMOCĄ KONSÓŁ DO WARSTWY NOŚNEJ)
WPŁYW NA ARCHITEKTURĘ OBIEKTU	- BADANE ELEMENTY STANOWIĄ MOCNY AKCENT NA FASADZIE - OGRANICZONA KOLORYSTYKA MODUŁÓW - CIEMNE KOLORY - HYBRYDOWE MODUŁY ODPOWIADAJĄ ZA WYKOŃCZENIE ELEWACJI, STANOWIĄC O WYRAZIE ARCHITEKTONICZNYM OBIEKTU

8.5 Technologia solarna w architekturze – wyniki analizy

Przedstawione karty w poprzedniej części niniejszego rozdziału, obrazujące możliwości wykorzystania generatorów solarnych w architekturze umożliwiają wprowadzenie następującego, generalnego podziału technologii solarnych na: struktury dodane (BAPV) oraz struktury zintegrowane (BIPV, BIPV-T). W ślad oraz zarówno w kontraście do literatury naukowej¹⁶¹ zgodnie twierdzącej, że efektywne wykorzystanie technologii solarnych w budownictwie musi zostać poprzedzone znalezieniem optymalnego miejsca dla lokalizacji systemu, przeanalizowane przykłady udowadniają, że to miejsce można wyznaczyć na wczesnym etapie projektowym, co finalnie prowadzi do estetycznego uformowania architektury obiektu. Co więcej, umiejętne wykorzystanie technologii solarnych podczas projektowania może prowadzić do stworzenia wyjątkowej architektury. W dalszej części rozdziału uporządkowano oraz omówiono technologie solarne wykorzystywane w architekturze według miejsca lokalizacji w strukturze obiektu.

8.5.1 Dachy

Dachy ze względu na kąt pochylenia oraz znaczną ilość niewykorzystanej powierzchni, wydają się być rozsądnym miejscem umożliwiającym montaż systemu solarnego. Typowe instalacje będące strukturami dodanymi w większości przypadków są sprzeczne z zasadami spójnego kształtowania architektury obiektu.



Il.142. Typowa instalacja solarna
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁶²)



Il.142a. Instalacja solarna bezramkowa
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁶³)

¹⁶¹ S.B. Riffat, E. Cuce, A review on hybrid photovoltaic/thermal collectors and systems, „International Journal of Low-Carbon Technologies” 2011, vol. 6, nr 3, s. 214

¹⁶² Brak danych co do nazwy i lokalizacji obiektu, <https://www.windandsolar.com> [dostęp 11.02.2025]

¹⁶³ Brak danych co do nazwy i lokalizacji obiektu, <https://www.totnesenergy.co.uk> [dostęp 11.02.2025]

Mnogość dostępnych rozwiązań na rynku towarów i usług w zakresie technologii solarnych umożliwia zachowanie estetycznych walorów obiektu pod względem formy oraz jego kolorystyki. Na poprzednich ilustracjach przedstawiono porównawczo monokrystaliczne moduły fotowoltaiczne (po lewo) oraz moduły bazujące na cienkowarstwowych ogniwach CIGS bezramkowych (po prawo). Jest to rozwiązanie „połowicznie” integrujące, ponieważ generatory te nie tworzą warstwy hydroizolacyjnej, lecz dzięki właściwej obróbce blacharskiej (na wzór obróbki komina), zastosowaniu fartuchów oraz membrany hydroizolacyjnej są wtopione w strukturę dachu.



Il.143a. Canmet Material Technology, Ottawa
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁶⁴)



Il.143b. Komputerowy retusz fotografii
(źródło: opracowanie własne)



Il.143c. Membrany thin-film na dachu płaskim
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁶⁵)

Powyższe ilustracje przedstawiają technologię solarną na dachach płaskich. Z lewej strony obrazują wprowadzenie struktur dodanych oraz możliwą korektę założenia architektonicznego (po prawej) przy wykorzystaniu ogniw cienkowarstwowych

¹⁶⁴ Diamond Schmitt Architects, <https://dsai.ca/projects/> [dostęp 11.02.2025]

¹⁶⁵ Brak danych co do nazwy i lokalizacji obiektu, Kalzip, <https://www.kalzip.com/us/> [dostęp 11.02.2025]

ukazanych na ilustracji 143c. To porównawcze zestawienie ukazuje możliwość ukrycia elementów, które z punktu widzenia zewnętrznego odbiorcy sprawiają wrażenie elementów doklejonych. Można w tym miejscu podnieść kwestię związaną z relacją wykorzystywanej przestrzeni versus ilość produkowanej energii. Zachowanie optymalnej odległości pomiędzy kolejnymi generatorami, wynikająca z ich pochylenia, może zostać zbilansowana za pomocą efektywnej powierzchni generatorów płaskich, gdzie poszczególne elementy wzajemnie się nie zacieniają.

Na chwilę obecną technicznie problematyczne jest zachowanie integralnej struktury dachu w przypadku kolektorów słonecznych, co jest bezpośrednio powiązane z formą generatorów. Badane przykłady ukazują możliwości kształtowania architektonicznej estetyki przy wykorzystaniu indywidualnych patentów producenckich (karta 6), systemów hybrydowych (karta 11) oraz przy użyciu kolektorów płaskich¹⁶⁶. Można stwierdzić, że duże wyzwanie dla producentów systemów kolektorowych stanowi estetyczna integracja modułów ze strukturą obiektu, co jest związane z fizycznymi cechami wymiany ciepła pomiędzy elementami, wchodzącymi w skład modułów kolektorowych.

8.5.2 Fasady

Elewacje obiektów z punktu widzenia architektonicznego, jako elementy cechujące się najwyższym poziomem wyeksponowania odpowiadają w dużej mierze za finalny odbiór założenia projektowego. Na poprzednio przedstawionych kartach ukazano jedynie wycinek rozwiązań, powstających na całym świecie, wykorzystujących technologie solarne¹⁶⁷. Podobnie jak w przypadku instalacji powstających na dachach kwestia estetycznego wkomponowania instalacji solarnych na fasadach obiektu jest możliwa dzięki szerokiej gamie produktów dostępnych na rynku towarów. Prym w coraz to dalszym rozwoju technologii solarnych wiedziony jest przez laboratoria zakładów produkcyjnych¹⁶⁸.

¹⁶⁶ K. Farkas (red.), *DESIGNING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR ARCHITECTURAL INTEGRATION*, Solar Heating and Cooling Programme, Norwegia 2013, s. 8

¹⁶⁷ P. Heinsteins, C. Ballif, L.-E. Perret-Aebi, *Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Review, Potentials, Barriers and Myths*, „Green 2013”, vol. 3 nr 2, s.125-156

¹⁶⁸ P. Corti, P. Bonomo, F. Frontini, *Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders*, University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland 2020, s. 37



Il.144a. Kolektory próżniowo-rurowe na fasadzie obiektu
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁶⁹)



Il.144b. Moduły fotowoltaiczne dodane do fasady obiektu
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁷⁰)



Il.144c. Zintegrowane kolektory płaskie na fasadzie obiektu
(źródło renderingu wg. przypisu¹⁷¹)



Il.144d. Kolorowe moduły fotowoltaiczne na fasadzie
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁷²)

Powyższe ilustracje przedstawiają dodane technologie wykorzystywane w architekturze (il. 144a, il. 144b) w porównaniu z technologiami zintegrowanymi (il. 144c, il. 144d). Zasadniczo można stwierdzić, że jedynym ograniczeniem w przypadku kształtowania architektury obiektu przy wykorzystaniu technologii fotowoltaicznej jest kreatywność projektanta. Il. 144c przedstawia prototypowe rozwiązanie wbudowanych płaskich kolektorów słonecznych w podwójnej fasadzie. Nie jest to dotychczas skomercjalizowany produkt, natomiast jest on w zaawansowanej fazie badań.

¹⁶⁹ Brak danych co do nazwy i lokalizacji obiektu, <https://solarheateurope.eu/project/ritter-solar-solar-heat-europe-vacuum-tube-collectors/> [dostęp 11.02.2025]

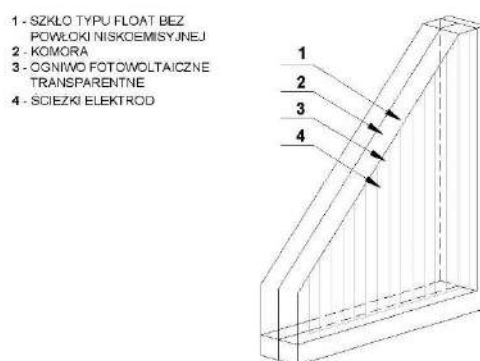
¹⁷⁰ Hala produkcyjna, Czchów, fotografia własna

¹⁷¹ Design koncepcyjny, <https://arkol.de/en/destini-stvb> [dostęp 11.02.2025]

¹⁷² Garaż nadziemny, Göteborg, <https://www.terli.net/European-BIPV-Case-Sharing-Sweden-s-Colorful-Solar-Facade-for-Multi-Storey-Garage-id48319886.html> [dostęp 11.02.2025]

8.5.3 Okna

Elementem bezpośrednio związanym z kształtowaniem fasad jest doświetlenie pomieszczeń światłem naturalnym. W tym zakresie pewne możliwości stwarza technologia fotowoltaiczna, natomiast wśród systemów kolektorowych próżno szukać satysfakcjonujących rozwiązań. Precyzyjnie w tym temacie należałoby się posługiwać informacjami dotyczącymi szyb zespolonych¹⁷³, które mogą stanowić część wypełniającą ramy okienne, jak i wszelkie konstrukcje aluminiowe (świetliki, ściany osłonowe, etc.). W zależności od użytych ogniw przy produkcji szyb zespolonych, można uzyskać inne efekty estetyczne jak i te związane z przepuszczalnością promieni świetlnych do wnętrza obiektu.



Il.145. Schemat budowy szyby zespolonej z ogniwami transparentnymi (źródło: opracowanie własne)

Ogniwa fotowoltaiczne montowane są w zewnętrznej komorze zestawu szybowego, na zewnętrznej szybie, która w odróżnieniu od tradycyjnych okien zespolonych nie może być pokryta powłoką niskoemisyjną blokującą promieniowanie zakresu ultrafioletowego. powłoką niskoemisyjną pokrywana jest szyba za ogniwami fotowoltaicznymi.



Il.146. Kolorowe, transparentne zestawy szybowe, fasada słupowo-ryglowa (źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁷⁴)

¹⁷³ S. Shi, N. Zhu, Y. Li, Y. Song, *Photo-thermal decoupling CdTe PV windows with selectively near-infrared absorbing ATO nanofluids*, „Renewable Energy” 2024, vol. 235

¹⁷⁴ Budynek Biurowy, Bazylea, <https://www.clearvuepv.com/products/solar-facade/> [dostęp 11.02.2025]

8.5.4 Elementy zacieniające

Wartymi architektonicznej uwagi są również elementy zacieniające wykorzystujące promieniowanie słoneczne. Pełnią one dwojaką funkcję w strukturze obiektu. Zarówno mogą wytwarzać energię elektryczną lub ciepłą oraz zmniejszają nakłady energetyczne konieczne do chłodzenia obiektu¹⁷⁵.



Il.147a. Fotowoltaiczne elementy zacieniające
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁷⁶)



Il.147b. Kolektorowe elementy zacieniające
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁷⁷)

8.5.5 Inne elementy budynku

Badania nad wykorzystywaniem technologii solarnych w architekturze pokazują, że implementacja generatorów jest również możliwa w takich elementach jak: obudowy balkonów, balustrady czy też posadzki.



Il.148a. Kolorowa posadzka PV
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁷⁸)



Il.148b. Balustrada PV
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁷⁹)



Il. 148c. Balustrada kolektorowa
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁸⁰)

¹⁷⁵ C. Wang, H. Yang, J. Ji, *Performance analysis of a PV/T shading device for enhancing energy saving and human comfort*, Applied Energy 2024, vol. 376, s. 3

¹⁷⁶ Brak danych co do nazwy i lokalizacji obiektu, <https://www.solarnova.de/en/> [dostęp 11.02.2025]

¹⁷⁷ L. Aelenei (red.), *Overview of Building Integrated Solar Thermal Systems State of the Art, Models and Applications*, Cost Office, 2015 s.42

¹⁷⁸ Budynek handlowy, San Francisco, Foster + Partners, <https://onyxsolar.com/building-applications/photovoltaic-walkable-floor> [dostęp 11.02.2025]

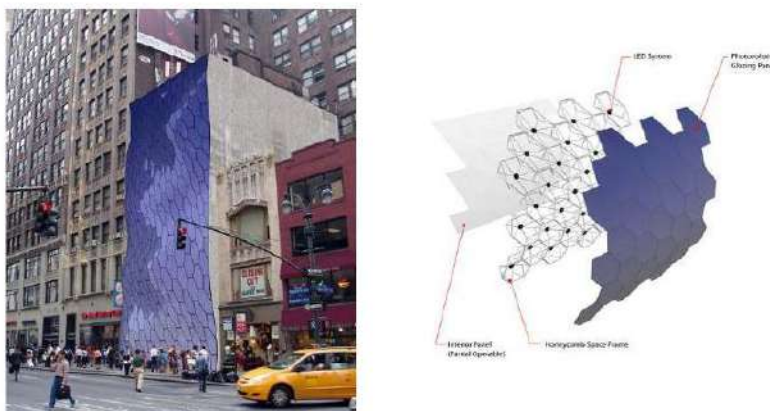
¹⁷⁹ Brak danych co do nazwy i lokalizacji obiektu, <https://a2-solar.com/en/building-integrated-pv/solar-railings/> [dostęp 11.02.2025]

¹⁸⁰ Budynek wielorodzinny Sunny-Woods, Zurych, <https://www.iea-shc.org/reports> [dostęp 11.02.2025]

8.5.6 Różne koncepcje aktywne solarnie w architekturze

Przedstawione w poprzedniej części rozwiązania, wykorzystujące technologie solarną posiadają szereg różnych wariacji. Wyrażają one możliwość różnego kreowania architektury obiektów przy wiodącej roli paradygmatu pozyskiwania energii słonecznej. Realizacje te pojawiają się na całym świecie. Japońscy architekci Daisuke Nagatomo i Minnie Jan zaprojektowali w 2008 roku w Nowym Jorku fotowoltaiczną fasadę obiektu (retrofitting), wpisując się w ideę wykorzystywania współczesnych technologii w celu poprawienia wizerunku obiektu.

Na frontowej fasadzie wykonano faliste przeszklenia z wbudowanymi ogniwami fotowoltaicznymi o regularnej sześciokątnej geometrii. Pod ogniwami fotowoltaicznymi zamontowano kolejny panel o strukturze plastra miodu skierowany do wnętrza, wyposażony w wydajny system LED o zmiennej kolorystyce do oświetlenia, wyświetlania obrazów i informacji¹⁸¹.



II.149. Fotowoltaiczna fasada o strukturze plastra miodu, Nowy Jork
(Budynek usługowy, Nowy Jork., źródło ilustracji wg. przypisu¹⁸²)

Interesującym aspektem, związanym z implementacją elementów aktywnych solarnie jest ich wykorzystanie na strukturach zielonych dachów. Wyposażone one w moduły fotowoltaiczne zachowują większość zalet konwencjonalnych zielonych dachów, w tym lepszą izolację termiczną, zdolność do obniżania temperatury powietrza w miastach i łagodzenia efektu miejskiej wyspy ciepła zapewniając jednocześnie bardziej estetyczny krajobraz miejski lub pozamiejski.¹⁸³

¹⁸¹ N. Cekić, D. Milosavljević, T. Pavlović, D. Mirjanić, *APPLICATION OF SOLAR CELLS IN CONTEMPORARY ARCHITECTURE*, „Contemporary Materials” 2015, vol. 6, nr 2, s. 109

¹⁸² Ibidem. s. 110

¹⁸³ R. Ciriminna, F. Meneguzzo, M. Pecoraino, M. Pagliaro, *Solar Green Roofs: A Unified Outlook Twenty Years On*, „Energy Technology” 2019, vol. 6, s.3

Literatura naukowa donosi o obniżeniu temperatury powietrza otoczenia o 4,2° C w tropikalnym klimacie Singapuru, przy wykorzystaniu połączenia dach zielony – technologia fotowoltaiczna¹⁸⁴.



Il.150. Zielony dach z podniesioną strukturą generatorów
(źródło zdjęcia wg. przypisu ¹⁸⁵)

Rozszerzeniem idei dachów zielonych oraz ich połączenia z technologią solarną jest tworzenie tzw. ogrodów fotowoltaicznych¹⁸⁶. Są to obszary na dachach obiektów, których założeniem jest pełnienie funkcję rekreacyjnej oraz wypoczynkowej w połączeniu z produkcją energii.



Il.151. Koncepcja ogrodów fotowoltaicznych
(źródło renderingu wg. przypisu¹⁸⁷)

W 2008 roku firma SMIT przedstawiła strukturę „liści fotowoltaicznych”, gdzie forma zainspirowana została rozrastającym się mchem. Elementy te składają się z ogniw cienkowarstwowych typu thin-film, przymocowanych do arkuszy wytworzonych z polietylenu, który został poddany recyklingowi. Elementy te są modularne a ich

¹⁸⁴ N. H. Wong, *Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment*, „Building and Environment” 2003, vol. 38, nr 2, s.4

¹⁸⁵ Brak danych co do nazwy i lokalizacji obiektu, Y. Zheng, Q. Weng, *Modeling the effect of green roof systems and photovoltaic panels for building energy savings to mitigate climate change*, „Remote Sensing” 2020, vol. 12, nr 15, s.2

¹⁸⁶ S. Sattler, I. Zluwa, D. Österreicher, *The ‘PV rooftop garden: Providing recreational green roofs and renewable energy as a multifunctional system within one surface area*, „Applied Sciences” 2020, vol. 10, nr 5

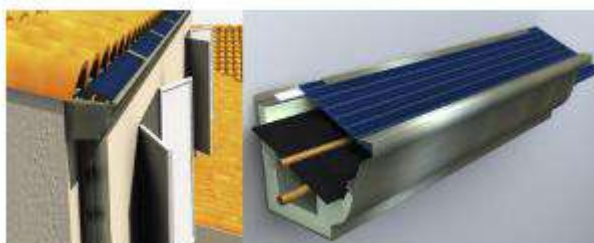
¹⁸⁷ Ibidem. s.19

zadaniem oprócz pozyskiwania energii słonecznej jest ochrona obiektu przed przegrzewaniem.¹⁸⁸



Il.152. Koncepcja liści solarnych
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁸⁹)

Co więcej w artykułach naukowych pojawiają się również propozycje wykorzystywania technologii hybrydowej w systemach rynnowych¹⁹⁰.



Il.153. Koncepcja aktywnego solarnie orynnowania
(źródło renderingu wg. przypisu¹⁹¹)

8.6 Zbiorne zestawienie

Zachowanie wysokiej jakości obiektów wykorzystujących technologie solarną jest możliwe dzięki całemu spektrum dostępnych technologii. Lokalizacja, rozmiar, forma, kolorystyka generatorów umożliwia zachowanie spójności całej kompozycji architektonicznej a nie tylko jej części. W niektórych przypadkach, zwłaszcza dotyczących założeń istniejących spełnienie podstawowych estetycznych założeń może być problematyczne.

¹⁸⁸ K. Farkas (red.), *DESIGNING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR ARCHITECTURAL INTEGRATION*, Solar Heating and Cooling Programme, Norwegia 2013, s. 71

¹⁸⁹ Ibidem. ; Brak danych co do nazwy i lokalizacji obiektu

¹⁹⁰ F. Motte, G. Notton, C. Cristofari, J.-L. Canaletti, *A building integrated solar collector: Performances characterization and first stage of numerical calculation*, „Renewable Energy” 2013, vol. 299, s. 1-5.

¹⁹¹ Ibidem.

W ślad za literaturą naukową¹⁹² wykorzystanie technologii solarnych w architekturze, wymaga rozważenia następujących kwestii:

- orientacja oraz rozmiar dostępnej powierzchni ścian oraz dachów,
- zapotrzebowanie energetyczne obiektu,
- dobór właściwego systemu solarnego,
- wymagania prawne.

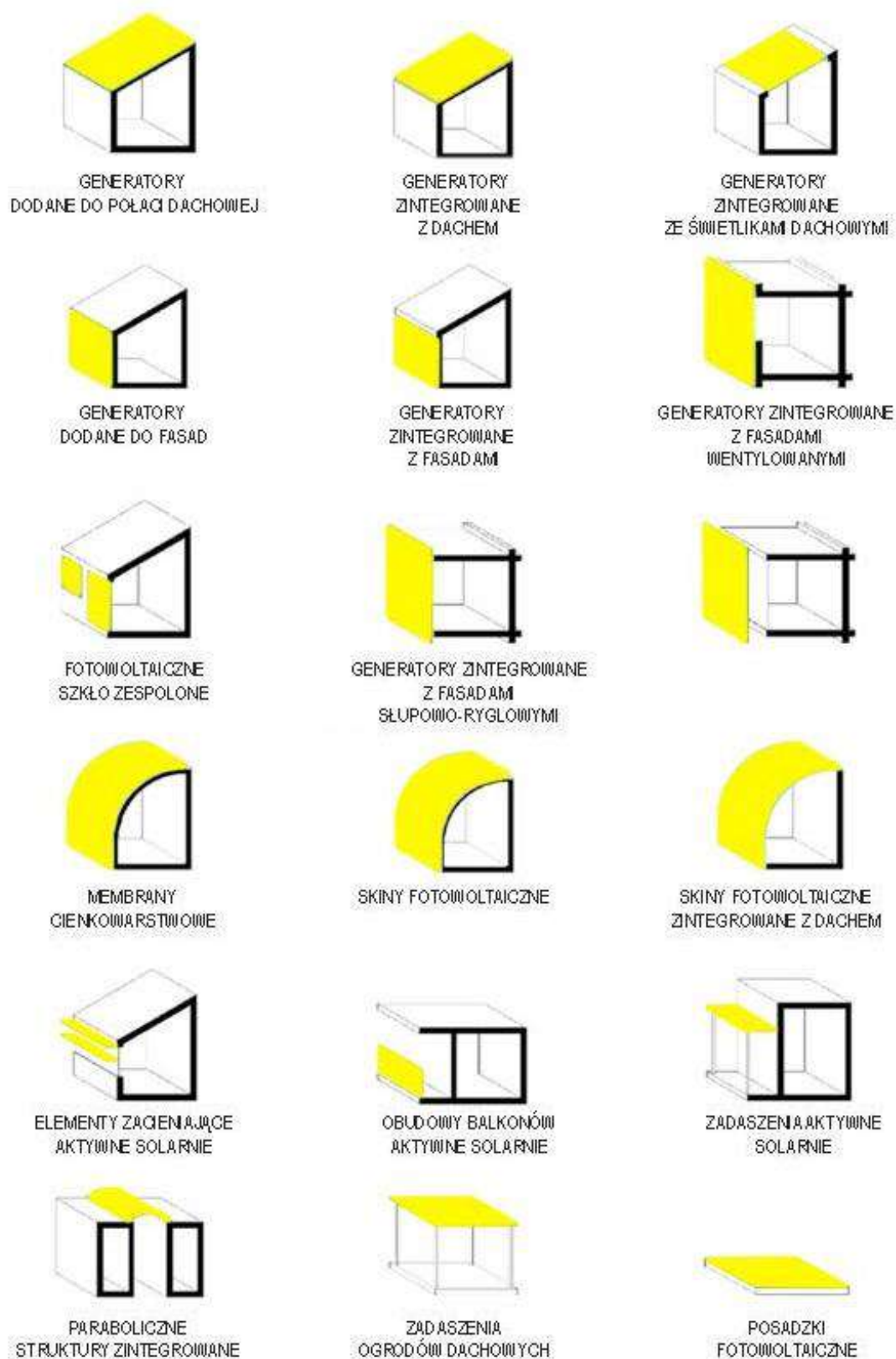
W poprzedniej części tego rozdziału przedstawiano rozwiązania umożliwiające zachowanie spójnej estetyki dla poszczególnych komponentów składających się na całość obiektu. Poniższa tabela obrazuje możliwość wykorzystania poszczególnych technologii solarnych w zależności od lokalizacji w strukturze obiektu.

	TYPOWA INSTALACJA SOLARNA	INSTALACJE SOLARNE BEZRAMKOWE	TECHNOLOGIE ZINTEGROWANE				
			DACHÓWKI PV	MODUŁY PV TYPU THIN- FILM	MODUŁY HYBRYDOWE	KOLEKTORY SŁONECZNE	MODUŁY PV SEMITRANS- PARENTNE
DACHY	+	+	+	+	+	+	+
FASADY	+	+		+	+	+	+

Tab. 31. Zbiorcze zestawienie możliwości wykorzystania poszczególnych technologii solarnych
(źródło: opracowanie własne)

Na następnej stronie przedstawiono ilustrację systematyzującą możliwości wykorzystania technologii solarnych w strukturze obiektu w zależności od lokalizacji generatorów oraz pełnionych przez nie funkcji.

¹⁹² M. Cristina Munari Probst, C.Roecker, *Architectural integration and design of solar thermal systems*, EPFL Press, Lozanna 2011, s. 58



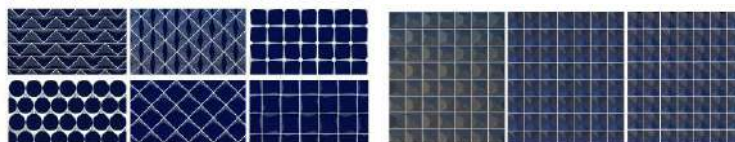
II. 154. Technologia solarna w strukturze obiektu
(opracowanie własne na podstawie¹⁹³)

¹⁹³ E. Rodriguez-Ubinas, E. Trepc, N. Alhammadi, *CLASSIFICATION OF PHOTOVOLTAICS IN BUILDINGS (BAPV AND BIPV): ILLUSTRATED WITH ZERO-ENERGY HOUSES*, „WIT Transactions on Ecology and the Environment” 2022 vol. 260 s.45

Poniżej w celu uzupełnienia do kart, znajdujących się we wcześniejszej części niniejszego rozdziału przedstawiających wariantowość dostępnych systemów solarnych, zobrazowano możliwości kolorystyczne oraz fakturowe polikrystalicznych modułów fotowoltaicznych.



II.155. Wariantowość kolorystyczna ogniw polikrystalicznych
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁹⁴)



II.156. Wariantowość faktur modułów fotowoltaicznych
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁹⁵)

Powyższe zestawienia uwiadcniają elastyczność dostępnych technologii solarnych. Potęguje ją praktycznie nieograniczona możliwość kształtowania kolorystycznego, geometrycznego, transparentności, faktur oraz wzorów. Wykorzystanie technologii solarnych oprócz podstawowej funkcji związanej z produkcją energii dodatkowo umożliwia kształtowanie kwestii wizerunkowych, pełnienie roli okładzinowej (wykończeniowej), ochrony obiektu przed przegrzewaniem, czy też stanowienie formy detalu architektonicznego.

¹⁹⁴ F. Frontini, A. Scognamiglio, G. Graditi, C. Polo Lopez, and M. Pellegrino, *FROM BIPV TO BUILDING COMPONENT*, 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition 2013

¹⁹⁵ B. van Berkel, T. Minderhoud, A. Piber, G. Gijzen, *DESIGN INNOVATION FROM PV-MODULE TO BUILDING ENVELOPE: ARCHITECTURAL LAYERING AND NON APPARENT REPETITION*, 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition 2014

IX. PODSUMOWANIE

9. PODSUMOWANIE

9.1 *Wnioski końcowe wynikające z realizacji poszczególnych celów pracy*

- Zebranie oraz analiza materiałów naukowych skupiających się wokół tematu związanego z pozyskiwaniem energii słonecznej za pośrednictwem technologii solarnych;

Badania omówione niniejszej w pracy poparto analizą źródeł naukowych. Wykazano, że zasób wiedzy na temat technologii solarnych, zarówno w formie książek, artykułów naukowych oraz czasopism jest ogromny. Mimo wszystko, w ocenie autora, istnieje pewna luka, którą próbowano wypełnić niniejszą pracą doktorską, szczególnie w aspekcie przeprowadzonych analiz, związanych z optymalizacją lokalizacji obiektu w stosunku do możliwego wykorzystania nasłonecznienia.

- Przedstawienie dysertacji doktorskiej w formie zrozumiałej w środowisku architektów, stanowiącej wytyczne umożliwiające zaktualizowanie podejścia projektowego o zbiór informacji przedstawionych w przedmiotowym opracowaniu;

Pracę doktorską urozmaicono dużą ilością ilustracji, które w ocenie autora najlepiej przemawiają do architektów, w myśl powiedzenia, że jeden obraz zastępuje tysiąc słów. Przedstawiono wytyczne, dotyczące zachowania optymalnych kątów azymutalnych, nachylenia generatorów wraz z propozycją dotyczącą geometrii dachów (il. 129)

- Zwrócenie uwagi na rozwijające się technologie umożliwiające pozyskiwanie energii;

Kwestię tę przedstawiono na przykładzie transparentnych ogniw fotowoltaicznych, ogniw perowskitowych, badanych rozwiązań dotyczących powłok fotowoltaicznych oraz wspomniano o pracach badawczych nad hybrydowymi modułami kolektorowymi.

- Określenie zakresu różnorodności technologii solarnych umożliwiających podejmowanie swobodnych decyzji projektowych;

Dostępne technologie solarne, możliwe do wykorzystania w architekturze przedstawiono w rozdziale 8 wraz z ukazaniem wariantowości poszczególnych systemów oraz spektrum form, kolorystyk i faktur dających znaczną swobodę projektową.

- Przedstawienie materiału określającego zależności pomiędzy ukształtowaniem budynku wraz z spójnym, estetycznym ulokowaniem elementów technologii solarnej a zastałą sytuacją przestrzenną;

Istotne aspekty wpływające na ukształtowanie budynku wraz z zależnościami efektywności instalacji solarnych oraz możliwej zastanej sytuacji przestrzennej omówiono w rozdziale 7. W kolejnym rozdziale przedstawiono możliwe lokalizacje technologii solarnych w budynku, posiłkując się przykładami realizacyjnymi.

- Podkreślenie roli projektowania koncepcyjnego oraz przeprowadzanie dogłębnych analiz przedprojektowych;

Badane przykłady ukazują, że projektowanie koncepcyjne mające na względzie możliwość wykorzystania technologii solarnych prowadzi do zachowania spójności całości założenia urbanistycznego oraz architektonicznego, co kontrastuje z typowymi instalacjami solarnymi dodawanymi do form budynków w sposób przypadkowy.

- Usystematyzowanie zagadnień prawnych oraz ekonomicznych związanych z pozyskiwaniem energii.

Kwestie te zostały poruszone w rozdziale 3 niniejszej pracy, uwidaczniając nadchodzącą prawną konieczność wyposażania obiektów w instalacje solarne. Długoterminowe kwestie ekonomiczne jednoznacznie przemawiają za wykorzystywaniem technologii solarnych w obiektach budowlanych.

Podsumowując, decyzja związana z wykorzystaniem technologii solarnych w obiekcie, pociąga za sobą konieczność rozważenia kwestii związanych z:

- analizą wytycznych określonych w miejscowych aktach prawnych,
- właściwym usytuowaniem obiektu(ów) w terenie, tj. optymalizacją kąta azymutalnego oraz kąta pochylenia instalacji solarnych w zależności od szerokości geograficznej,
- analizą potencjalnych zagrożeń występujących w terenie, tj. elementów ograniczających dostęp do bezpośredniego nasłonecznienia,
- znalezieniem właściwych zależności, wpływających na zachowanie optymalnej odległości pomiędzy kubaturami w kontekście lokalizacji instalacji solarnych,
- doborem technologii solarnych, spełniających wymagania narzucone przez Inwestora,
- estetycznym wkomponowaniem systemu solarnego w obiekt,
- rozważeniem kolorystyki, zbieżnej z wymaganiami miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego lub decyzją o warunkach zabudowy,
- wpływem dobranej technologii solarnej na konstrukcję obiektu, warstwy przegród,
- analizą potencjalnych uzysków energetycznych, skonstrastowaną z planowaną lokalizacją instalacji solarnej,

9.2 *Potwierdzenie tezy pracy*

Punktem wyjścia dla opracowanej pracy doktorskiej była następująca teza:

„Aplikacja technologii solarnych na elewacjach i dachach budynków ma istotny wpływ na ich ostateczną formę, estetykę oraz ład przestrzenny, a efektywność energetyczna tych rozwiązań wymaga analiz ich wzajemnych konfiguracji.”

Przeanalizowane liczne publikacje naukowe, przedstawione przykłady realizacyjne, (w których uwidoczniono jakość architektury aktywnej solarnie) oraz mnogość dostępnych, przebadanych technologii solarnych (możliwych do zaimplementowania w obiektach budowlanych), potwierdza i obrazuje swobodne i estetyczne kształtowanie architektoniczne dachów oraz elewacji obiektów, co w ocenie autora prowadzi do potwierdzenia sformułowanej tezy. Wnioski płynące z

przeprowadzonych analiz obrazują rzeczywisty zakres możliwości oferowanych przez technologie solarną, która z powodzeniem stanowić może główną oś prac projektowych, co w efekcie przekłada się na ostateczną formę zaprojektowanego budynku, zachowanie ładu przestrzennego, wyrażonego w mierze estetycznej oraz finalną efektywność energetyczną założenia.

9.3 Określenie perspektyw kontynuacji badań

Istotną kwestią, która obecnie wymaga dalszych badań jest możliwość wykorzystywania technologii solarnych w budynkach zabytkowych¹⁹⁶. Dużym wyzwaniem architektonicznym zdaje się być umiejętność pogodzenia wytycznych konserwatorskich oraz znalezienie rozwiązań, umożliwiających z jednej strony ochronę dziedzictwa kulturowego a z drugiej strony podjęcie próby wdrażania technologii solarnych¹⁹⁷.



Il.157. Kościół w Derby, Anglia
(źródło zdjęcia wg. przypisu¹⁹⁸)

Wartym rozważenia, zdaje się być również kwestia utylizacji lub recyklingu elementów solarnych, które wraz z upływem czasu tracą swoją sprawność. W niektórych artykułach naukowych¹⁹⁹ znaleźć można stwierdzenia, że najszybciej rozwijającym się źródłem elektronicznych odpadów są właśnie moduły fotowoltaiczne.

¹⁹⁶ F. Moran, S. Natarajan, *PV in historic dwellings: The potential to reduce domestic CO2 emissions*, „Journal of Building Engineering” 2015, vol. 3, s. 72

¹⁹⁷ A. Kandt, E. Hotchkiss, A. Walker, J. Buddenborg, J. Lindberg, *Implementing Solar PV Projects on Historic Buildings and in Historic Districts*, National Renewable Energy Laboratory, Golden 2010.

¹⁹⁸ <https://arcuatearchitecture.com.au/> [dostęp 11.02.2025]

¹⁹⁹ F. Ardente, C. E. L. Latunussa, G. A. Blengini, *Resource efficient recovery of critical and precious metals from waste silicon PV panel recycling*, „Waste Management” 2019, vol. 91, s. 156–167

STRESZCZENIE W JĘZYKU POLSKIM

STRESZCZENIE W JĘZYKU POLSKIM

TYTUŁ PRACY DOKTORSKIEJ:

Technologia solarna w architekturze. Analiza zagadnień przestrzenno-technicznych.

TEZA PRACY:

Instalacja technologii solarnych na elewacjach oraz dachach obiektów ma istotny wpływ na ostateczną formę budynku oraz ład przestrzenny.

STRESZCZENIE:

Energia słoneczna jest najbogatszym źródłem energii na świecie. Wykorzystywanie technologii solarnych w architekturze stale rośnie. Paradygmat pozyskiwania energii słonecznej wraz ze społecznym dążeniem do budownictwa zeroenergetycznego jest główną siłą napędową ogólnoswiatowego przemysłu fotowoltaicznego oraz kolektorowego. Tematem pracy doktorskiej jest określenie oraz przeanalizowanie dostępnych technologii solarnych wraz z określeniem ich optymalnej lokalizacji w strukturze budynku. Praca doktorska składa się z dziewięciu rozdziałów.

W rozdziale pierwszym pt. Wprowadzenie przedstawiono uzasadnienie wyboru tematu, sprecyzowano problem badawczy, zakres pracy, jej cele, tezę, metody badawcze, aktualny stan badań, literaturę i podstawową terminologię.

W rozdziale drugim pt. Potencjał energetyczny technologii solarnych omówiono zasoby helioenergetyczne oraz potencjał promieniowania słonecznego w Polsce. Podjęto próbę przedstawienia zasad konfiguracji przestrzennych instalacji solarnych oraz ich efektywność.

W rozdziale trzecim pt. Zagadnienia prawne i ekonomiczne zawarto szereg informacji dotyczących prawnych regulacji unijnych oraz krajowych. Omówiono również aspekty ekonomiczne wykorzystywania technologii solarnych w architekturze wraz z certyfikacją ekologiczną budownictwa.

Rozdział czwarty pt. Systemy solarne stanowi wprowadzenie do dalszych rozdziałów. Scharakteryzowano w nim podstawowy podział na systemy solarne pasywne oraz aktywne.

W rozdziale piątym pt. Systemy fotowoltaiczne omówiono genezę idei, współczesne rodzaje ogniw fotowoltaicznych. Wskazano możliwe kierunki rozwoju

technologii fotowoltaicznej wraz z przedstawieniem podstawowego podziału systemów fotowoltaicznych.

W rozdziale szóstym pt. Systemy kolektorowe zawarto informacje dotyczące historii oraz rozwoju idei. Omówiono rodzaje współczesnych kolektorów słonecznych, określono ich możliwe kierunki rozwoju wraz z scharakteryzowaniem popularnych rodzajów systemów kolektorowych.

W rozdziale siódmym pt. Projektowanie urbanistyczne a technologia solarna przedstawiono badania poruszające tematykę wykorzystywania technologii solarnej w układach urbanistycznych. Rozdział rozpoczyna się od studium przypadków. W dalszej części określono zależności pomiędzy efektywnym wykorzystywaniem technologii a układem urbanistycznym. Rozdział siódmy zakończono na zbiorczym zestawieniu wyników.

W rozdziale ósmym pt. Projektowania architektoniczne a technologia solarna zobrazowano w formie szeregu ilustracji dostępne współcześnie warianty instalacji fotowoltaicznych oraz kolektorowych wykorzystywanych w architekturze. Przedstawione zestawienia wraz z tabelami zbiorczymi eksponują elastyczność dostępnych technologii solarnych.

W rozdziale dziewiątym pt. Podsumowanie przedstawiono zwięzłe wnioski końcowe, potwierdzono tezę pracy oraz określono perspektywy kontynuacji badań.

SŁOWA KLUCZOWE:

technologia solarna, kolektory słoneczne, instalacja fotowoltaiczna, systemy solarne

STRESZCZENIE W JĘZYKU ANGIELSKIM

STRESZCZENIE W JĘZYKU ANGIELSKIM

TITLE OF THE WORK:

Solar technology in architecture. Analysys of spatial and technical issues.

THESIS OF THE WORK:

Installing solar technologies on facades and roofs of buildings has a significant impact on the final form of the building and spatial order.

ABSTRACT:

Solar energy is the richest source of energy in the world. The use of solar technologies in architecture is constantly growing. The paradigm of obtaining solar energy, together with the social desire for zero-energy buildings, is the main driving force of the global photovoltaic and collector industry. The topic of the doctoral thesis is to define and analyze available solar technologies and determine their optimal location in the building structure. The doctoral thesis consists of nine chapters.

In the first chapter entitled The Introduction, author presents the justification for the choice of topic, the research problem, scope of the work, its goals, thesis, research methods, current state of research, literature and basic terminology.

In the second chapter entitled The energy potential of solar technologies, helioenergetic resources and the potential of solar radiation in Poland were discussed. An attempt was made to present the principles of spatial configuration of solar installations and their effectiveness.

The third chapter entitled Legal and economic issues includes a series of information regarding EU and national legal regulations. Economic aspects of the use of solar technologies in architecture along with ecological certification of construction were also discussed.

Chapter four entitled Solar systems is the main an introduction to subsequent chapters. It describes the basic division into passive and active solar systems.

Chapter five entitled Photovoltaic systems discusses the genesis of the idea and modern types of photovoltaic cells. Possible directions of development of photovoltaic technology were indicated along with the basic division of photovoltaic systems.

The sixth chapter entitled Collector systems includea information on the history

and development of the idea. The types of modern solar collectors were discussed. Their possible directions of development were determined, along with the characterization of popular types of collector systems.

In the seventh chapter entitled Urban design and solar technology, there is presented research on the use of solar technology in urban systems. The chapter begins with a case study. Next, the relationships between the effective use of technology and the urban layout were determined. The seventh chapter ends with a summary of the results.

In chapter eight entitled Architectural design and solar technology are presented in the form of a series of illustrations, currently available variants of photovoltaic and collector installations used in architecture. The presented lists and summary tables demonstrate the flexibility of available solar technologies.

In chapter nine entitled The summary there are presented final conclusions, confirmations of the thesis of the work and the prospects for continuing of the research.

KEYWORDS:

solar technology, solar collectors, photovoltaic installation, solar systems

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

MONOGRAFIE I OPRACOWANIA, ARTYKUŁY W CZASOPISMACH I NA STRONACH INTERNETOWYCH

Aboul-Enein S., El-Sebaei A.A., Ramadan M.R.I., El-Gohary H.G., *Parametric study of a solar air heater with and without thermal storage for solar drying applications*, „Renewable Energy” 2000, vol. 21, s.505-522.

Aelenei L. (red.), *Overview of Building Integrated Solar Thermal Systems State of the Art, Models and Applications*, Cost Office, 2015 s.42

Ardente F., Latunussa C. E. L., Blengini G. A., *Resource efficient recovery of critical and precious metals from waste silicon PV panel recycling*, „Waste Management” 2019, vol. 91, s. 156–167

Attmann O., *Green Architecture Advanced Technologies and Materials*, McGraw-Hill, Nowy Jork 2010

Bakalarz J. Thullie J., Kurowski Ł., Wiśniowski T., Palica M., *Charakterystyka przewodnictwa cieplnego nanopłynów zawierających cząstki Al_2O_3* , „Inżyniera i Aparatura Chemiczna” 2010, vol. 49 nr 6, s.21-23

Cekić N., Milosavljević D., Pavlović T., Mirjanić D., *APPLICATION OF SOLAR CELLS IN CONTEMPORARY ARCHITECTURE*, „Contemporary Materials” 2015, vol. 6, nr 2, s. 109

Celadyn W., *Architektura energooszczędna w planowaniu przestrzennym*, „Czasopismo Techniczne Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej” 2010, nr 18, s.111-120.

Celadyn W., Filipek P., *Investigation of the Effective Use of Photovoltaic Modules in Architecture*, „Buildings” 2020, vol. 10, nr 9, s.145

Chwieduk D., *Solar Energy in Buildings*, Elsevier 2014, s. 289

Ciriminna R., Meneguzzo F., Pecoraino M., Pagliaro M., *Solar Green Roofs: A Unified Outlook Twenty Years On*, „Energy Technology” 2019, vol. 6, s.3

Corti P., Bonomo P., Frontini F., *Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders*, University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland 2020, s. 37

Cristina Munari Probst M., C.Roecker, *Architectural integration and design of solar thermal systems*, EPFL Press, Lozanna 2011, s. 58

Dewanjee D., Kundu B., *A review of applications of green nanofluids for performance improvement of solar collectors*, „Renewable Energy” 2025, vol. 240

Eiffert P., Kiss G.J., *Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, US 2000

El Gindi S.A.E.M., *Integration of Energy Efficiency measures and Renewable Energy technologies as an Approach to Sustainable development in Egypt*, „Journal of Urban Research” 2020, vol. 36, s.102-117.

Farkas K. (red.), *DESIGNING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR ARCHITECTURAL INTEGRATION*, Solar Heating and Cooling Programme, Norwegia 2013

Franke D., Kuczera A., *Raport: zrównoważone certyfikowane budynki 2024*, PLGBC, Warszawa 2024

Frontini F., Scognamiglio A., Graditi G., Polo Lopez C., Pellegrino M., *FROM BIPV TO BUILDING COMPONENT*, 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition 2013

Gonzalo A. P., Marugan A. P., Marquez F.P.G., *A review of the application performances of concentrated solar power systems*, „Applied Energy” 2019, vol. 255, s. 3

Hanzelka Z., Firlit A., *Elektrownie ze źródłami odnawialnymi: zagadnienia wybrane*, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Kraków 2023, s. 45

Heinstein P., Ballif C., Perret-Aebi L.-E., *Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Review, Potentials, Barriers and Myths*, „Green 2013”, vol. 3, nr 2, s.125-156

Joseph B., Pogrebnaya T., Kichonge B., Semitransparent Building-Integrated Photovoltaic: Review on Energy Performance, Challenges, and Future Potential, *International Journal of Photoenergy* 2019, vol. 2019

Kohei T., Haruki S., Toshiharu I., *Development of an environmentally friendly PV/T solar panel*, "Solar Energy" 2020 , vol. 199, s. 510–520

Kolokotsa D., Santamouris M., Synnefa A., Karlessi T., *Passive Solar Architecture* [w:] Sayigh A. (red.), *Comprehensive Renewable Energy*, Elsevier 2012, s.727

Krippner R. (red.), *Building-Integrated Solar Technology: Architectural Desing with Photovoltaics and Solar Thermal Energy*, Detail Business Information GmbH, Monachium 2017

Kumar N.M., Chopra S.S., Malvoni M., Elavarasan R.M., Das N., *Solar Cell Technology Selection for a PV Leaf Based on Energy and Sustainability Indicators—A Case of a Multilayered Solar Photovoltaic Tree*, „Energies” 2020, vol. 13, nr 6349

Kumar N. M., Subathra M.S.P., Moses J. E., *On-Grid Solar Photovoltaic System: Components, Design Considerations, and Case Study*, „Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc” 2018, s.616-619

Li X., Wu Q., Li J., Zhu J. ,Novakovic V., *Performance study of solar air collector-air source heat pump system inside the greenhouse*, „Case Studies in Thermal Engineering” 2024, vol. 63

Marszałek K., Dyndał K., Lewińska G., *Fotowoltaika*, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Kraków 2021

Moran F., Natarajan S., *PV in historic dwellings: The potential to reduce domestic CO2 emissions*, „Journal of Building Engineering” 2015, vol. 3, s. 72

Motte F., Notton G., Cristofari C., Canaletti J.-L., *A building integrated solar collector: Performances characterization and first stage of numerical calculation*, „Renewable Energy” 2013, vol. 299, s. 1-5.

Neupauer J.M.K., Analiza sprawności kolektorów słonecznych różnych typów, „Czasopismo Techniczne Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej” 2009, nr 4, s.57-65

Nieto-Diaz B.A., Crossland A.F., Groves C., *A levelized cost of energy approach to select and optimise emerging PV technologies: The relative impact of degradation, cost and initial efficiency*, „Applied Energy” 2021, vol. 299

Olczak P., Olek M., Matuszewska D., Dyczko A., Mania T., *Monofacial nad bifacial micro PV installation as element of energy transition – the case of Poland*, „Energies” 2021, vol.14, nr 2, s.499

O'Regan B., Grätzel M., *A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films*, „Nature” vol. 353, s. 737-740

Pietruszko S., *Fotowoltaika Zintegrowana z Budownictwem (BIPV)*, Materiał z Konferencji: VI Forum Operatorów Systemów i Odbiorców Energii i Paliw „Bezpieczeństwo Energetyczne a Nowe Kierunki Wytwarzania i Wykorzystania Energii w Warszawie”, Warszawa 2009

Riffat S.B., Cuce E., *A review on hybrid photovoltaic/thermal collectors and systems*, „International Journal of Low-Carbon Technologies” 2011, vol. 6, nr 3, s. 214

Rodriguez-Ubinas E., Trepç E., Alhammadi N., *CLASSIFICATION OF PHOTOVOLTAICS IN BUILDINGS (BAPV AND BIPV): ILLUSTRATED WITH ZERO-ENERGY HOUSES*, „WIT Transactions on Ecology and the Environment” 2022 vol. 260 s.45

Rounis E.D., Athientis A.K., Stathopoulus T., *BIPV/T curtain wall systems: Design, development and testing*, „Journal of Building Engineering” 2021, vol. 42

Røyset A., Kolås T., Jelle B.P., *Coloured building integrated photovoltaics: Influence on energy efficiency*, „Energy & Buildings” 2020, vol. 208

Saha S. K., *Empowering Rural South Asia: Off-Grid Solar PV, Electricity Accessibility, and Sustainable Agriculture*, „Applied Energy” 2025, vol. 377

Sattler S., Zluwa I., Österreicher D., *The 'PV rooftop garden: Providing recreational green roofs and renewable energy as a multifunctional system within one surface area*, „Applied Sciences” 2020, vol. 10, nr 5

Sesana M.M., Salvalai G., Valle N.D., Melica G., *Towards harmonising Energy Performance Certificate Indicators in Europe*, „Journal of Building Engineering” 2024, vol. 95, nr 1

Shi S., Zhu N., Li Y., Song Y., *Photo-thermal decoupling CdTe PV windows with selectively near-infrared absorbing ATO nanofluids*, „Renewable Energy” 2024, vol. 235

Sirin C., Goggins J., Hajdukiewicz M., *A review on building-integrated photovoltaic/thermal systems for green buildings*, „Applied Thermal Engineering” 2023, vol. 229

Van Berkel B., Minderhoud T., Piber A., Gijzen G., *DESIGN INNOVATION FROM PV-MODULE TO BUILDING ENVELOPE: ARCHITECTURAL LAYERING AND NON APPARENT REPETITION*, 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition 2014

Viessmann sp. z o.o., *Zeszyt fachowy - Fotowoltaika*, Wrocław 2018, s.16

Wang C., Yang H., Ji J., *Performance analysis of a PV/T shading device for enhancing energy saving and human comfort*, Applied Energy 2024, vol. 376, s. 3

Wehle-Strzelecka S., *Wykorzystanie odnawialnej energii słonecznej w architekturze – geneza i rozwój*, „Czasopismo Techniczne Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej” 2007, nr 3, s.287-297.

Witruwiusz, *O architekturze ksiąg dziesięć*, Kazimierz Kumanicki tł., Wydawnictwo Prószyński i S-ka, Warszawa 1999, s. 30.

Wolańczyk F., *Jak wykorzystać дарowaną energię*, Wydawnictwo i Handel Książkami Ka-Be, Krosno 2019, s.20

Wong N. H., *Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment*, „Building and Environment” 2003, vol. 38, nr 2, s.4

Zonglin D., Dongling M., Recent progress in I-III-VI colloidal quantum dots-integrated solar cells, „Current Opinion in Colloid and Interface Science” 2025, vol. 75

Zhang H.L., Van Gerven T., Baeyens J., Degreve J., *Photovoltaics: Reviewing the European Feed-in-Tariffs and Changing PV Efficiencies and Costs*, „The Scientific World Journal” 2014, vol. 2014, s. 2

Zheng Y., Weng Q., *Modeling the effect of green roof systems and photovoltaic panels for building energy savings to mitigate climate change*, „Remote Sensing” 2020, vol. 12, nr 15, s.2

Zluwa I., Pitha U., *The Combination of Building Greenery and Photovoltaic Energy Production-A Discussion of Challenges and Opportunities in Design*, „Sustainability” 2021, vol.13, nr 3, s.1537

STRONY INTERNETOWE

<https://www.4sun.eu>

<https://www.a2-solar.com>

<https://www.akademia-fotowoltaiki.pl>

<https://www.arkol.de>

<https://www.borderstep.org>

<https://www.breeam.com>

<https://www.clearvuepv.com>

<https://www.consilium.europa.eu>

<https://www.dincertco.de>

<https://www.dsai.ca>

<https://www.ecosquad.pl>

<https://www.ecowatch.com>

<https://www.energy.gov>

<https://www.estif.org>

<https://www.fotowoltaikaborton.pl>

<https://www.gunb.gov.pl>

<https://www.gw-news.eu>

<https://www.hevalex.pl>

<https://www.iea-shc.org>
<https://www.instsani.pl>
<https://www.izbaarchitektow.pl>
<https://www.kalzip.com/us>
<https://www.onyxsolar.com>
<https://www.openpr.com>
<https://www.pl.wikipedia.org>
<https://www.planergia.pl>
<https://www.solarenergyworld.com>
<https://www.solarguide.co.uk>
<https://www.solarnova.de/en>
<https://www.solfinity.pl>
<https://www.spektrum.tech>
<https://www.spiritenergy.co.uk>
<https://www.steinbach-group.com>
<https://www.terli.net>
<https://www.totnesenergy.co.uk>
<https://www.ure.gov.pl>
<https://www.usgbc.org>
<https://www.windandsolar.com>
<https://www.wri.or>

SPIS ILUSTRACJI

SPIS ILUSTRACJI

II.1. Promienie słoneczne padające na Ziemię.....	18
(źródło: opracowanie własne)	
II.2. Relacja przestrzenno-techniczna układu Słońce – generator.....	21
(źródło: opracowanie własne)	
II.3. Wpływ orientacji, nachylenia i zacienienia na energię promieniowaną.....	22
(źródło: Opracowanie własne na podstawie Viessmann sp. z o.o., Zeszyt fachowy - Fotowoltaika, Wrocław 2018, s.12)	
II. 4. Zmiana sprawności ogniwa fotowoltaicznego w funkcji temperatury.....	25
(źródło: opracowanie własne)	
II. 5. Zmiana sprawności ogniwa fotowoltaicznego w funkcji czasu.....	27
(źródło: opracowanie własne)	
II. 6. Obliczeniowa sprawność kolektora słonecznego.....	29
(źródło: opracowanie własne)	
II. 7. Oś czasu związana z Porozumieniem paryskim.....	33
(źródło: opracowanie własne)	
II. 8. Energia zużywana w budynkach w Unii Europejskiej.....	36
(źródło: opracowanie własne)	
II. 9. Lokalizacja generatorów względem lokalizacji drogi E-W.....	42
(źródło: W. Celadyn, P. Filipek, Investigation of the Effective Use of Photovoltaic Modules in Architecture, „Buildings” 2020, vol. 10, nr 9, s.151)	
II. 10. Lokalizacja generatorów względem lokalizacji drogi N-S.....	42
(źródło: W. Celadyn, P. Filipek, Investigation of the Effective Use of Photovoltaic Modules in Architecture, „Buildings” 2020, vol. 10, nr 9, s.151)	
II. 11. Lokalizacja generatorów względem lokalizacji drogi NE-SW.....	43
(źródło: W. Celadyn, P. Filipek, Investigation of the Effective Use of Photovoltaic Modules in Architecture, „Buildings” 2020, vol. 10, nr 9, s.151)	
II. 12. Diagram prezentujący oszczędność finansową przy wykorzystaniu PV z magazynem energii, Oś pozioma – lata kalendarzowe, oś pionowa jednostki pieniężne	49
(źródło: Solfinity Kalkulator, https://www.solfinity.pl/kalkulator [dostęp 17.02.2025])	
II. 13. Dom Sokratesa – szkic rzutu oraz przekroju pionowego.....	55
(źródło: opracowanie własne)	

II. 14. Podział architektury solarnej	56
(źródło: opracowanie własne)	
II. 15. Aktywne systemy solarne w architekturze	57
(źródło: opracowanie własne)	
II. 16. Widok na elektrownię Witznitz II Solar	58
(źródło: https://globenergia.pl/605-mw-i-500-ha-najwieksza-farma-sloneczna-europy-juz-pracuje/ [dostęp 10.02.2025])	
II. 17. Widok na elektrownię Crescent Dunes, Nevada USA	59
(źródło: Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Crescent_Dunes_Solar_Energy_Project [dostęp 17.02.2025])	
II. 18. Model pierwszego ogniwa fotowoltaicznego	61
(źródło: opracowanie własne)	
II. 19. Fragment dokumentacji patentowej, H.C. Reagen JR, 1897r	62
(źródło: https://patents.google.com/patent/US20150204618A1/en [dostęp 17.02.2025])	
II. 20. Model prezentujący zjawisko fotoelektryczne	62
(źródło: opracowanie własne)	
II. 21. Rodzaje ogniw fotowoltaicznych	64
(źródło: opracowanie własne)	
II. 22. Schemat działania ogniwa fotowoltaicznego pierwszej generacji	65
(źródło: opracowanie własne na podstawie: H.L. Zhang, T. van Gerven, J. Baeyens, J. Degreve, <i>Photovoltaics: Reviewing the European Feed-in-Tariffs and Changing PV Efficiencies and Costs</i> , „The Scientific World Journal” 2014, vol. 2014, s. 2)	
II. 23. Ogniwo monokrystaliczne	66
(źródło: https://www.planergia.pl/)	
II. 24. Ogniwo polikrystaliczne	66
(źródło: https://www.planergia.pl/)	
II. 25. Ogniwo z krzemu amorficznego	67
(źródło: https://sunsol.pl/)	
II. 26. Ogniwo typu GaAs	68
(źródło: https://www.openpr.com)	
II. 27. Ogniwo typu CdTe	68
(źródło: https://phys.org/)	
II. 28. Ogniwo typu CIGS	69
(źródło: https://phys.org/)	

II. 29. Rodzaje ogniw fotowoltaicznych ze względu na skład chemiczny	70
(źródło: opracowanie własne)	
II. 30. Ogniwo typu polimerowego DSSC	70
(źródło: W. Congcong, B. Chen, X. Zheng, S. Priya, Scaling of the flexible dye sensitized solar cell module, "Solar Energy Materials and Solar Cells" 2016, vol. 157, s. 438-446)	
II. 30a. Ogniwo DSSC z wzorem	70
(źródło: https://www.borderstep.org/ [dostęp 10.02.2025])	
II. 31. Ogniwo perowskitowe	72
(źródło: https://www.energy.gov/ [dostęp 10.02.2025])	
II. 31a. Moduł hybrydowy	73
(źródło zdjęcia https://www.solarguide.co.uk/ [dostęp 10.02.2025])	
II. 32. Schemat instalacji typu on-grid	75
(źródło: opracowanie własne)	
II. 33. Schemat instalacji typu off-grid	76
(źródło: opracowanie własne)	
II. 34. Instalacja PV stacjonarna wolnostojąca	77
(źródło zdjęcia https://www.4sun.eu [dostęp 10.02.2025])	
II. 34a Instalacja PV stacjonarna na płaskim dachu	77
(źródło zdjęcia https://www.spiritenergy.co.uk/ [dostęp 10.02.2025])	
II. 35. Instalacja PV nadążna na elewacji obiektu	77
(źródło renderu: https://www.gw-news.eu/ [dostęp 10.02.2025])	
II. 35a. Instalacja PV nadążna na elewacji obiektu	77
(źródło schematu: https://www.gw-news.eu/ [dostęp 10.02.2025])	
II. 36. Udział instalacji PV w rynku fotowoltaicznym w wybranych krajach europejskich ze względu na sposób montażu	78
(źródło: B. Joseph, T. Pogrebnaya, B. Kichonge, <i>Semitransparent Building-Integrated Photovoltaic: Review on Energy Performance, Challenges, and Future Potential</i> , International Journal of Photoenergy 2019, vol. 2019)	
II. 37. Instalacja BIPV na elewacji	78
(źródło: https://ags.org.pl/ [dostęp 10.02.2025])	
II. 38. Instalacja BAPV na elewacji	78
(źródło: https://www.gw-news.eu/ [dostęp 10.02.2025])	

II. 39. Podział instalacji PV ze względu na sposób montażu.....	79
(źródło: N.M. Kumar, S.S. Chopra, M. Malvoni, R.M. Elavarasan, N.Das, Solar Cell Technology Selection for a PV Leaf Based on Energy and Sustainability Indicators—A Case of a Multilayered Solar Photovoltaic Tree, „Energies” 2020, vol. 13, nr 6349	
II. 40. Fragment dokumentacji patentowej, Clarence Kemp, 1891r.....	81
(źródło: https://patentimages.storage.googleapis.com/52/39/5d/3a4e3076910d6f/US451384.pdf [dostęp 17.02.2025])	
II. 41. Solarny system nawadniający Shuman’a.....	82
(źródło: BBC, https://www.bbc.com/future/article/20230420-the-forgotten-20th-century-sun-engine [dostęp 17.02.2025])	
II. 42. Mit Solar House.....	82
(źródło: TechnologyReview, https://www.technologyreview.com/2017/04/25/152254/the-first-us-house-to-go-solar/ [dostęp 17.02.2025])	
II. 43. Ogólny podział kolektorów ze względu na nośnik ciepła.....	83
(źródło: opracowanie własne)	
II. 44. Kolektor cieczowy płaski.....	84
(źródło: https://www.hevalex.pl [dostęp 10.02.2025])	
II. 45. Kolektor cieczowy płaski przekrój.....	84
(źródło: opracowanie własne)	
II. 46. Kolektor cieczowy próżniowo-rurowy typu rura w rurze.....	85
(źródło: https://www.hevalex.pl [dostęp 10.02.2025])	
II. 47. Kolektor cieczowy płaski próżniowo-rurowy typu rura w rurze przekrój....	86
(źródło: opracowanie własne)	
II. 48. Kolektor cieczowy próżniowy typ heat-pipe przekrój.....	86
(źródło: opracowanie własne)	
II. 49. Kolektor cieczowy próżniowo-rurowy typu CPC.....	87
(źródło: https://www.instsani.pl [dostęp 10.02.2025])	
II. 50. Kolektor cieczowy próżniowo-rurowy typu CPC przekrój.....	87
(źródło: opracowanie własne)	
II. 51. Kolektor cieczowy zakrzywiony.....	88
(źródło zdjęcia https://www.steinbach-group.com/ [dostęp 10.02.2025])	
II. 52. Podział kolektorów gazowych ze względu na sposób przepływu powietrza.....	89
(źródło: opracowanie własne)	

II. 53. Kolektor gazowy klasyczny.....	89
(źródło: https://www.spektrum.tech [dostęp 10.02.2025])	
II. 54. Kolektor gazowy klasyczny zasada działania.....	89
(źródło: https://www.spektrum.tech [dostęp 10.02.2025])	
II. 55. Kolektor gazowy z ogniwami fotowoltaicznymi.....	90
(źródło: https://www.instsani.pl [dostęp 10.02.2025])	
II. 56. Kolektor gazowy z ogniwami fotowoltaicznymi.....	91
(opracowanie własne na podstawie: C. Sirin, J. Goggins, M. Hajdukiewicz, A review on building-integrated photovoltaic/thermal systems for green buildings, „Applied Thermal Engineering” 2023, vol. 229)	
II. 57. Sprawność różnych typów kolektorów.....	91
(źródło: J.M.K. Neupauer, Analiza sprawności kolektorów słonecznych różnych typów, „Czasopismo Techniczne Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej” 2009, nr 4, s.57-65)	
II. 58. Podział systemów kolektorowych.....	93
(źródło: opracowanie własne)	
II. 59. Schemat działania systemu termosyfonowego.....	93
(źródło: opracowanie własne)	
II. 60. Schemat działania systemu ciekłego bezpośredniego.....	94
(źródło: opracowanie własne)	
II. 61. Schemat działania systemu ciekłego pośredniego.....	94
(źródło: opracowanie własne)	
II. 62. Schemat działania systemu powietrznego bezpośredniego.....	95
(źródło: opracowanie własne)	
II. 63. Schemat działania systemu powietrznego pośredniego.....	95
(źródło: opracowanie własne)	
II. 64. Schemat kart przedstawiających studium przypadku.....	98
(źródło: opracowanie własne)	
II. 65. Miasto Słońca.....	99
(źródło: https://www.gebiedsontwikkeling.nu/artikelen/stad-van-de-zon-duurzame-wijk-was-zijn-tijd-ver-vooruit/ 3 [dostęp: 05.02.2025])	
II.66. Symulacja układu cienia - 20 marca g. 7-00.....	99
(źródło: opracowanie własne)	
II.67. Symulacja układu cienia - 20 marca g. 10-30.....	99
(źródło: opracowanie własne)	

II.68. Symulacja układu cienia - 20 marca g. 13-00	99
(źródło: opracowanie własne)	
II.69. Symulacja układu cienia - 20 marca g. 18-00	99
(źródło: opracowanie własne)	
II. 70. Instalacja o mocy 100kWp pełniąca rolę izolatora akustycznego wzdłuż autostrady A2, ciąg PV o długości 1,3km	100
(źródło: google images [dostęp 10.02.2025])	
II. 71. Instalacja promująca pozyskiwanie energii z odnawialnych źródeł o mocy 10,4kWp, znajdująca się na terenie elektrowni Feistritzwerke-Steweag GmbH...	100
(źródło: google images [dostęp 10.02.2025])	
II. 72. Ulica solarna - ciąg ulic o sumarycznej długości 3,5km, wytworzona energia zasila infrastrukturę miejską	100
(źródło: google images [dostęp 10.02.2025])	
II. 73. Instalacja PV w formie drzewa o mocy 7kWp znajdująca się w centrum miasta oraz będąca jego symbolem, wytworzona moc jest w stanie rocznie zasilić około 70 miejskich słupów oświetleniowych	100
(źródło: google images [dostęp 10.02.2025])	
II. 74. Gleisdorf – schwarzplan	100
(źródło: opracowanie własne na podstawie danych OpenStreetMap)	
II. 75 Gleisdorf - schemat eksponujący obiekty aktywne energetycznie	100
(źródło: opracowanie własne)	
II. 76. La Darnaise	101
(źródło: https://www.grandlyonhabitat.fr/residences/residence-la-darnaise/ [dostęp 05.02.2025])	
II. 77. La Darnaise	101
(źródło: Google Earth Pro)	
II. 78. Symulacja układu cienia - 20 czerwca g. 4-00	101
(źródło: opracowanie własne)	
II. 79. Symulacja układu cienia - 20 czerwca g. 7-00	101
(źródło: opracowanie własne)	
II. 80. Symulacja układu cienia - 20 czerwca g. 12-00	101
(źródło: opracowanie własne)	
II. 81. Symulacja układu cienia - 20 czerwca g. 17-00	101
(źródło: opracowanie własne)	

II. 82. Solarsiedlung	102
(źródło: heinze.de [dostęp 08.02.2025])	
II. 83. Solarsiedlung	102
(źródło: Google Earth Pro)	
II. 84. Symulacja układu cienia - 20 stycznia g. 12-00	102
(źródło: opracowanie własne)	
II. 85. Symulacja układu cienia - 20 kwietnia g. 12-00	102
(źródło: opracowanie własne)	
II. 86. Symulacja układu cienia - 20 lipca g. 12-00	102
(źródło: opracowanie własne)	
II. 87. Symulacja układu cienia - 20 października g. 12-00	102
(źródło: opracowanie własne)	
II. 88. Les Hauts de Feuilly	103
(źródło: Google Earth Pro)	
II. 89. Stan istniejący – nieoptymalny	103
(źródło: opracowanie własne)	
II. 90. Symulacja optymalna	103
(źródło: opracowanie własne)	
II. 91. Schemat układu PV dach $\Omega=\pm 0^\circ$	105
(źródło: opracowanie własne)	
II.91a. Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=\pm 0^\circ$	105
(źródło PVGIS, tj.: Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025])	
II. 92. Schemat układu PV dach $\Omega=-45^\circ$	105
(źródło: opracowanie własne)	
II. 92a. Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=-45^\circ$	105
(źródło: PVGIS)	
II. 93. Schemat układu PV dach $\Omega=+45^\circ$	106
(źródło: opracowanie własne)	
II. 93a Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=+45^\circ$	106
(źródło PVGIS)	
II. 94. Schemat układu PV dach $\Omega=+90^\circ$	106
(źródło: opracowanie własne)	

II.94a Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=+90^\circ$	106
(źródło PVGIS, tj.: Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025])	
II. 95. Schemat układu PV dach $\Omega=-90^\circ$	106
(źródło: opracowanie własne)	
II. 95a Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=-90^\circ$	106
(źródło: PVGIS)	
II. 96. Schemat układu PV dach $\Omega=+135^\circ$	107
(opracowanie własne)	
II. 96a. Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=+135^\circ$	107
(źródło: PVGIS)	
II. 97. Schemat układu PV dach $\Omega=-135^\circ$	107
(opracowanie własne)	
II. 97a. Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=-135^\circ$	107
(źródło: PVGIS)	
II. 98. Schemat układu PV dach $\Omega=\pm 180^\circ$	107
(opracowanie własne)	
II. 98a. Wykres, produkcja energii PV dach $\Omega=\pm 180^\circ$	107
(źródło: PVGIS)	
II. 99. Schemat układu PV fasada $\Omega=\pm 0^\circ$	108
(źródło: opracowanie własne)	
II. 99a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega=\pm 0^\circ$	108
(źródło: PVGIS)	
II. 100. Schemat układu PV fasada $\Omega=-45^\circ$	108
(źródło: opracowanie własne)	
II. 100a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega=-45^\circ$	108
(źródło: PVGIS)	
II. 101. Schemat układu PV fasada $\Omega=+45^\circ$	109
(źródło: opracowanie własne)	
II. 101a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega=+45^\circ$	109
(źródło PVGIS)	
II. 102. Schemat układu PV fasada $\Omega=+90^\circ$	109
(źródło: opracowanie własne)	

II. 102a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega=+90^\circ$	109
(źródło: PVGIS, tj.: Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025])	
II. 103. Schemat układu PV fasada $\Omega=-90^\circ$	109
(źródło: opracowanie własne)	
II. 103a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega=-90^\circ$	109
(źródło: PVGIS)	
II. 104. Schemat układu PV fasada $\Omega=+135^\circ$	110
(źródło: opracowanie własne)	
II. 104a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega=+135^\circ$	110
(źródło: PVGIS)	
II. 105. Schemat układu PV fasada $\Omega=-135^\circ$	110
(źródło: opracowanie własne)	
II. 105a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega=-135^\circ$	110
(źródło: PVGIS)	
II. 106. Schemat układu PV fasada $\Omega=\pm 180^\circ$	110
(źródło: opracowanie własne)	
II. 106a. Wykres, produkcja energii PV fasada $\Omega=\pm 180^\circ$	110
(źródło: PVGIS)	
II. 107. Wycinek karty katalogowej kolektora Vitosol 300-T, typ SP3B	111
(źródło: karta katalogowa produktu firmy Viessmann sp. z o.o.)	
II. 108. Schemat układu HPETC dach $\Omega=\pm 0^\circ$	112
(źródło: opracowanie własne)	
II. 108a. Wykres G, HPETC dach $\Omega=\pm 0^\circ$	112
(źródło: PVGIS)	
II. 109. Schemat układu HPETC dach $\Omega=-45^\circ$	112
(źródło: opracowanie własne)	
II. 109a. Wykres G, HPETC dach $\Omega=-45^\circ$	112
(źródło: PVGIS)	
II. 110. Schemat układu HPETC dach $\Omega=+45^\circ$	112
(źródło: opracowanie własne)	
II. 110a. Wykres G, HPETC dach $\Omega=+45^\circ$	112
(źródło: PVGIS)	

II. 111. Schemat układu HPETC dach $\Omega=+90^\circ$	113
(źródło: opracowanie własne)	
II. 111a. Wykres G, HPETC dach $\Omega=+90^\circ$	113
(źródło PVGIS, tj.: Photovoltaic Geographical Information System, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en [dostęp 02.01.2025])	
II. 112. Schemat układu HPETC dach $\Omega=-90^\circ$	113
(źródło: opracowanie własne)	
II. 112a. Wykres G, HPETC dach $\Omega=-90^\circ$	113
(źródło: PVGIS)	
II. 113. Schemat układu HPETC dach $\Omega=+135^\circ$	113
(źródło: opracowanie własne)	
II. 113a. Wykres G, HPETC dach $\Omega=+135^\circ$	113
(źródło: PVGIS)	
II. 114. Schemat układu HPETC dach $\Omega=-135^\circ$	114
(źródło: opracowanie własne)	
II. 114a. Wykres G, HPETC dach $\Omega=-135^\circ$	114
(źródło PVGIS)	
II. 115. Schemat układu HPETC dach $\Omega=\pm 180$	114
(źródło: opracowanie własne)	
II. 115a. Wykres G, HPETC dach $\Omega=\pm 180$	114
(źródło: PVGIS)	
II. 116. Schemat układu HPETC fasada $\Omega=\pm 0^\circ$	115
(źródło: opracowanie własne)	
II. 116a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega=\pm 0^\circ$	115
(źródło: PVGIS)	
II. 117. Schemat układu HPETC fasada $\Omega=-45^\circ$	116
(źródło: opracowanie własne)	
II. 117a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega=-45^\circ$	116
(źródło: PVGIS)	
II. 118. Schemat układu HPETC fasada $\Omega=+45^\circ$	116
(źródło: opracowanie własne)	
II. 118a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega=+45^\circ$	116
(źródło: PVGIS)	

II. 119. Schemat układu HPETC fasada $\Omega=+90^\circ$	116
(źródło: opracowanie własne)	
II. 119a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega=+90^\circ$	116
(źródło: PVGIS)	
II. 120. Schemat układu HPETC fasada $\Omega=-90^\circ$	117
(opracowanie własne)	
II. 120a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega=-90^\circ$	117
(źródło: PVGIS)	
II. 121. Schemat układu HPETC fasada $\Omega=+135^\circ$	117
(źródło: opracowanie własne)	
II. 121a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega=+135^\circ$	117
(źródło: PVGIS)	
II. 122. Schemat układu HPETC fasada $\Omega=-135^\circ$	117
(źródło: opracowanie własne)	
II. 122a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega=-135^\circ$	117
(źródło: PVGIS)	
II. 123. Schemat układu HPETC fasada $\Omega=\pm 180^\circ$	118
(źródło: opracowanie własne)	
II. 123a. Wykres G, HPETC fasada $\Omega=\pm 180^\circ$	118
(źródło: PVGIS)	
II. 124. Schemat układu dach stromy	119
(źródło: opracowanie własne)	
II. 124a. Schemat układu dach płaski	119
(źródło: opracowanie własne)	
II. 125. Schemat układu dachy – teren płaski	120
(źródło: opracowanie własne)	
II. 126. Schemat układu drzewo – dach / fasada – teren płaski	121
(źródło: opracowanie własne)	
II. 127. Schemat układu dachy – teren w spadku	122
(źródło: opracowanie własne)	
II. 127a. Schemat przekroju układu dachy – teren w spadku	122
(źródło: opracowanie własne)	
II. 128. Schemat przekroju układu instalacja fasady – teren w spadku	123
(źródło: opracowanie własne)	

II. 129. Optymalna forma przekrycia budynku względem kąta azymutalnego.....	125
(źródło: opracowanie własne)	
II. 130. Schemat kart przedstawiających technologie solarne w architekturze....	129
(źródło: opracowanie własne)	
II. 131. Budynek usługowy w Kasel.....	130
(źródło zdjęcia: https://www.stein-hemmes-wirtz.de/bauten/energiehaus-kasel [dostęp 02.01.2025])	
II. 131a. Schemat montażu paneli PV do dachów stromych, zastosowany w badanym przykładzie.....	130
(źródło: opracowanie własne)	
II. 131b. Schemat montażu paneli PV do dachów płaskich.....	130
(źródło: opracowanie własne)	
II. 131c. Schemat montażu paneli PV balastowy.....	130
(źródło: opracowanie własne)	
II. 132. Budynek mieszkalny jednorodzinny w Stuttgart.....	131
(źródło: https://www.studioyonder.de/ [dostęp 02.01.2025])	
II. 132a. Kolorowa dachówka.....	131
(źródło: GruppoSTG Srl)	
II. 132b. Dachówka monokrystaliczna.....	131
(źródło: Sottile Solar)	
II. 132c. Dachówka płaska.....	131
(źródło: Industrie Cotto)	
II. 132d. Dachówka typu mnich z ukrytymi ogniwami.....	131
(źródło: Dyaqua)	
II. 132e. Dachówka płaska BiSolar.....	131
(źródło: Roof Tiles Technology)	
II. 132f. Schemat montażu dachówki fotowoltaicznej.....	131
(źródło: opracowanie własne na podstawie materiału producenta)	
II. 133. Hospicjum "de Liefde" w Rotterdam.....	132
(źródło: http://www.dekovelarchitecten.nl/ [dostęp 02.01.2025])	
II. 133a. Membrana thin film na dachu parabolicznym.....	132
(źródło: Merlin Solar)	
II. 133b. Blacha płaska na rąbek, hybryda membrany thin film i arkusza blachy..	132
(źródło: Solroof)	

II. 133c. Membrana thin film na dachu płaskim	132
(źródło: Sunflare)	
II. 133d. Membrana thin film z ogniwami CIGS	132
(źródło: Mibet Energy)	
II. 134. Bejar Market, Hiszpania	133
(źródło: http://www.onyxsolar.com [dostęp 02.01.2025])	
II. 134a. Światlik dachowy z ogniwami monokrystalicznymi	133
(źródło: Metsolar)	
II. 134b. Światlik dachowy z kropkami kwantowymi	133
(źródło: Skyco Skylights)	
II. 134c. Schemat montażu świetlików dachowych	133
(źródło: opracowanie własne na podstawie materiału producenta OnyxSolar)	
II. 134d. Schemat zespolonej szyby fotowoltaicznej	133
(źródło: opracowanie własne na podstawie broszur producenckich)	
II. 135. Budynek biurowy, Paryż	134
(źródło: https://www.mvrdv.com/ [dostęp 02.01.2025])	
II. 135a. Schemat ideologiczny założenia architektonicznego	134
(źródło zdjęcia: MVRDV)	
II. 135b. Schemat stelaża wsporczego, umożliwiającego również montaż kolektorów termosyfonowych	134
(źródło: Sunbank)	
II. 135c. Kolektory płaskie na dachu skośnym	134
(źródło: Hewalex)	
II. 135d. Kolektory próżniowo-rurowe na dachu płaskim	134
(źródło: Schweizer)	
II. 136. Dom jednorodzinny w Pirenejach	135
(źródło: https://chroniques-architecture.com/une-maison-neuve-a-bilheres-en-ossau-signee/ [dostęp 02.01.2025])	
II. 136a. Moduł kolektorowy ukryty	135
(źródło: Thermoslate CupaPizzaras)	
II. 136b. Budowa modułu kolektorowego ukrytego	135
(źródło: Thermoslate CupaPizzaras)	
II. 136c. Montaż modułu kolektorowego	135
(źródło: Thermoslate CupaPizzaras)	

II. 137. Budynek biurowy, Bazylea	136
(źródło: https://www.jessenvollenweider.ch/home/ [dostęp 02.01.2025])	
II. 137a. Schemat montażu wentylowanej fasady fotowoltaicznej	136
(źródło: opracowanie własne na podstawie broszur producenckich)	
II. 137b. Schematyczny przekrój wentylowanej fasady fotowoltaicznej	136
(źródło: opracowanie własne na podstawie broszur producenckich)	
II. 137c. Przykładowe fasadowe moduły fotowoltaiczne	136
(źródło: FuturaSun)	
II. 137d. Przykładowe faktury oraz kolorystyka modułów	136
(źródło: Sunage)	
II. 138. Kampus Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego	137
(źródło: https://www.wum.edu.pl/kampusy [dostęp 02.01.2025])	
II. 138a. Schemat montażu fotowoltaicznej ściany osłonowej	137
(źródło: opracowanie własne na podstawie broszur producenckich)	
II. 138b. Schematyczny przekrój fotowoltaicznej ściany osłonowej	137
(źródło: opracowanie własne na podstawie broszur producenckich)	
II. 138c. Schemat dostępnych kształtów modułów szklanych PV dla ścian osłonowych	137
(źródło: opracowanie własne na podstawie broszur producenckich)	
II. 138d. Ściana osłonowa SwissTech Convention Center, Richter Dahl Rocha & Associés	137
(źródło: https://rdrarchitectes.com/en/home [dostęp 02.01.2025])	
II. 139. Budynek biurowy Aliplast, Lublin	138
(źródło: https://www.aliplast.pl/ [dostęp 02.01.2025])	
II. 139a. Schemat montażu żaluzji fotowoltaicznych	138
(źródło: opracowanie własne na podstawie broszur producenckich)	
II. 139b. Schematyczny przekrój montażu żaluzji fotowoltaicznych	138
(źródło: opracowanie własne na podstawie broszur producenckich)	
II. 139c. Perowskitowe żaluzje fotowoltaiczne	138
(źródło: PV Magazine)	
II. 139d. Żaluzje fotowoltaiczne	138
(źródło: Onyx Solar)	
II. 140. La Seine Musicale, Paryż	139
(źródło: https://shigerubanarchitects.com/ [dostęp 02.01.2025])	

II. 140a. Przekrój pionowy obiektu	139
(źródło: Shigeru Ban Architects)	
II. 140b. Widok na strukturę fotowoltaiczną	139
(źródło: Shigeru Ban Architects)	
II. 141. Kompleks mieszkaniowy-usługowy w Gleisdorf	140
(źródło: https://reinberg.net/ [dostęp 02.01.2025])	
II. 141a. Schematyczny przekrój pionowy obiektu	140
(źródło: Architekturburo Reinberg)	
II. 141b. Termowizyjne porównanie temperatur roboczych modułów PV oraz PV/T	140
(źródło: T.Kohei, S. Haruki, I. Toshiharu, Development of an environmentally friendly PV/T solar panel, "Solar Energy" 2020, vol. 199, s. 515)	
II. 141c. Fasada BIPV-T budynku mieszkalnego w Oslo	140
(źródło: Dahle Breitenstein Architects)	
II. 142. Typowa instalacja solarna	141
(źródło: https://www.windandsolar.com [dostęp 11.02.2025])	
II. 142a. Instalacja solarna bezramkowa	141
(źródło zdjęcia: https://www.totnesenergy.co.uk [dostęp 11.02.2025])	
II. 143a. Canmet Material Technology, Ottawa	142
(źródło: Diamond Schmitt Architects, https://dsai.ca/projects/ [dostęp 11.02.2025])	
II. 143b. Komputerowy retusz fotografii	142
(źródło: opracowanie własne)	
II. 143c. Membrany thin-film na dachu płaskim	142
(źródło: https://www.kalzip.com/us/ [dostęp 11.02.2025])	
II. 144a. Kolektory próżniowo-rurowe na fasadzie obiektu	144
(źródło: https://solarheateurope.eu/project/ritter-solar-solar-heat-europe-vacuum-tube-collectors/ [dostęp 11.02.2025])	
II. 144b. Moduły fotowoltaiczne dodane do fasady obiektu	144
(źródło: fotografia własna)	
II. 144c. Zintegrowane kolektory płaskie na fasadzie obiektu	144
(źródło: https://arkol.de/en/destini-stvb [dostęp 11.02.2025])	
II. 144d. Kolorowe moduły fotowoltaiczne na fasadzie	144
(źródło: https://www.terli.net/European-BIPV-Case-Sharing-Sweden-s-Colorful-Solar-Facade-for-Multi-Storey-Garage-id48319886.html [dostęp 11.02.2025])	

II. 145. Schemat budowy szyby zespolonej z ogniwami transparentnymi.....	145
(źródło: opracowanie własne)	
II. 146. Kolorowe, transparentne zestawy szybowe, fasada słupowo-ryglowa....	145
(źródło: https://www.clearvuepv.com/products/solar-facade/ [dostęp 11.02.2025])	
II. 147a. Fotowoltaiczne elementy zacieniające.....	146
(źródło: https://www.solarnova.de/en/ [dostęp 11.02.2025]	
II. 147b. Kolektorowe elementy zacieniające.....	146
(źródło: L. Aelenei (red.), Overview of Building Integrated Solar Thermal Systems State of the Art, Models and Applications, Cost Office, 2015 s.42)	
II. 148a. Kolorowa posadzka PV.....	146
(źródło: https://onyxsolar.com/building-applications/photovoltaic-walkable-floor [dostęp 11.02.2025]	
II. 148b. Balustrada PV.....	146
(źródło: https://a2-solar.com/en/building-integrated-pv/solar-railings/ [dostęp 11.02.2025]	
II. 148c. Balustrada kolektorowa.....	146
(źródło: https://www.iea-shc.org/reports [dostęp 11.02.2025]	
II. 149. Fotowoltaiczna fasada o strukturze plastra miodu, Nowy Jork.....	147
(źródło: N. Cekić, D. Milosavljević, T. Pavlović, D. Mirjanić, APPLICATION OF SOLAR CELLS IN CONTEMPORARY ARCHITECTURE, „Contemporary Materials” 2015, vol. 6, nr 2, s. 110)	
II. 150. Zielony dach z podniesioną strukturą generatorów.....	148
(źródło: Y. Zheng, Q. Weng, Modeling the effect of green roof systems and photovoltaic panels for building energy savings to mitigate climate change, „Remote Sensing” 2020, vol. 12, nr 15, s.2)	
II. 151. Koncepcja ogrodów fotowoltaicznych.....	148
(źródło: S. Sattler, I. Zluwa, D. Österreich, The ‘PV rooftop garden: Providing recreational green roofs and renewable energy as a multifunctional system within one surface area, „Applied Sciences” 2020, vol. 10, nr 5 s.19)	
II. 152. Koncepcja liści solarnych.....	149
(źródło: K. Farkas (red.), DESIGNING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR ARCHITECTURAL INTEGRATION, Solar Heating and Cooling Programme, Norwegia 2013, s. 71)	

II. 153. Koncepcja aktywnego solarnie orynnowania.....	149
(źródło: F. Motte, G. Notton, C. Cristofari, J.-L. Canaletti, A building integrated solar collector: Performances characterization and first stage of numerical calculation, „Renewable Energy” 2013, vol. 299, s. 1-5)	
II. 154. Technologia solarna w strukturze obiektu.....	151
(źródło: opracowanie własne na podstawie E. Rodriguez-Ubinas, E. Trepç, N. Alhammadi, CLASSIFICATION OF PHOTOVOLTAICS IN BUILDINGS (BAPV AND BIPV): ILLUSTRATED WITH ZERO-ENERGY HOUSES, „WIT Transactions on Ecology and the Environment” 2022 vol. 260 s.45)	
II. 155. Wariantowość kolorystyczna ogniw polikrystalicznych.....	152
(źródło: F. Frontini, A. Scognamiglio, G. Graditi, C. Polo Lopez, and M. Pellegrino, FROM BIPV TO BUILDING COMPONENT, 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition 2013)	
II. 156. Wariantowość faktur modułów fotowoltaicznych.....	152
(źródło: B. van Berkel, T.Minderhoud, A. Piber, G. Gijzen, DESIGN INNOVATION FROM PV-MODULE TO BUILDING ENVELOPE: ARCHITECTURAL LAYERING AND NON APPARENT REPETITION, 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition 2014)	
II. 157. Kościół w Derby, Anglia.....	157
(źródło: https://arcuatearchitecture.com.au/ [dostęp 11.02.2025])	

SPIS TABEL

SPIS TABEL

Tab.1. Porównanie natężenia promieniowania słonecznego.....	20
(źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Global Solar Atlas 2.0, https://globalsolaratlas.info/global-pv-potential-study [dostęp 17.02.2025])	
Tab.2. Porównanie wykorzystania dostępnego nasłonecznienia.....	22
(źródło: opracowanie własne)	
Tab.3. Porównanie produkcji energii w zależności od sprawności ogniw fotowoltaicznych.....	24
(źródło: opracowanie własne)	
Tab.4. Tabela prezentująca obowiązek wykonywania instalacji solarnych w zależności od funkcji obiektu.....	38
(źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów Rady Europejskiej)	
Tab.5. Normy dotyczące kolektorów słonecznych.....	44
(źródło: opracowanie własne)	
Tab.6. Normy dotyczące urządzeń fotowoltaicznych.....	45
(źródło: opracowanie własne)	
Tab.7. Dotacje związane z montażem technologii solarnych dla gospodarstw domowych.....	46
(źródło: opracowanie własne)	
Tab.8. Dodatkowe dotacje związane z montażem technologii solarnych dla gospodarstw rolnych.....	47
(źródło: opracowanie własne)	
Tab.9. Dotacje związane z montażem technologii solarnych dla przedsiębiorstw.....	47
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 10. Przedstawienie rocznych nakładów finansowych na cele C.W.U.....	50
(źródło: https://symulatorogrzewania.pl/symulacje/kolektory [dostęp 10.02.2025])	
Tab. 11. Podkategorie certyfikacje w odniesieniu do systemów solarnych.....	53
(źródło: https://www.usgbc.org/resources/second-public-comment-draft-leed-v5-bdc-new-construction-clean [dostęp 10.02.2025] https://breeam.com/standards/technical-manuals-form [dostęp 10.02.2025] https://ecosquad.pl/dgnb-certyfikacja-dgnb-w-pigu-ce.html [dostęp 10.02.2025] https://zielonydom.plgbc.org.pl/przewodnik/ [dostęp 10.02.2025])	

Tab. 12. Zbiorcza tabela przedstawiająca ogniwa pierwszej generacji.....	66
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 13. Zbiorcza tabela przedstawiająca ogniwa drugiej generacji.....	69
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 14. Tabela przedstawiająca ogniwa trzeciej generacji.....	71
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 15. Tabela przedstawiająca ogniwa czwartej generacji.....	73
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 16. Instalacje stacjonarne oraz nadążne.....	77
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 17. Instalacje fotowoltaiczne dodane oraz instalacje zintegrowane.....	78
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 18. Kolektory cieczowe.....	88
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 19. Kolektory gazowe.....	91
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 20. Badanie zależności układu PV dach – kąt azymutalny	
– uzysk energetyczny.....	107
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 21. Badanie zależności układu PV fasada – kąt azymutalny	
– uzysk energetyczny.....	110
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 22. Badanie zależności układu HPETC dach – kąt azymutalny	
– uzysk energetyczny.....	114
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 23. Badanie zależności układu HPETC fasada – kąt azymutalny	
– uzysk energetyczny.....	118
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 24. Badanie porównawcze układu dach stromy – dach płaski.....	119
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 25. Badanie odległości kubatur w układzie dach stromy – teren płaski.....	120
(źródło: opracowanie własne)	
Tab.25a. Schemat układu dachy – teren płaski, obliczenia.....	120
(źródło: opracowanie własne)	

Tab. 26. Badanie odległości kubatur w układzie drzewo – fasada.....	121
– teren płaski	
(źródło: opracowanie własne)	
Tab.26a. schemat układu drzewo – fasada	
– teren płaski, obliczenia	121
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 27. Badanie odległości kubatur w układzie dach stromy	
– teren pochyły.....	122
(źródło: opracowanie własne)	
Tab.27a. schemat układu dach stromy – teren pochyły,	
Obliczenia	122
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 28. Badanie odległości kubatur w układzie fasada – teren pochyły	123
(opracowanie własne)	
Tab.28a. schemat układu fasada – teren pochyły, obliczenia	123
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 29. Zbiorcze zestawienie wyników zależności kąta azymutalnego, pochylenia instalacji fotowoltaicznej od możliwego uzysku energetycznego.....	124
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 30. Zbiorcze zestawienie wyników zależności kąta azymutalnego, pochylenia instalacji kolektorowej od możliwego uzysku energetycznego.....	124
(źródło: opracowanie własne)	
Tab. 31. Zbiorcze zestawienie możliwości wykorzystania poszczególnych technologii solarnych.....	150
(źródło: opracowanie własne)	