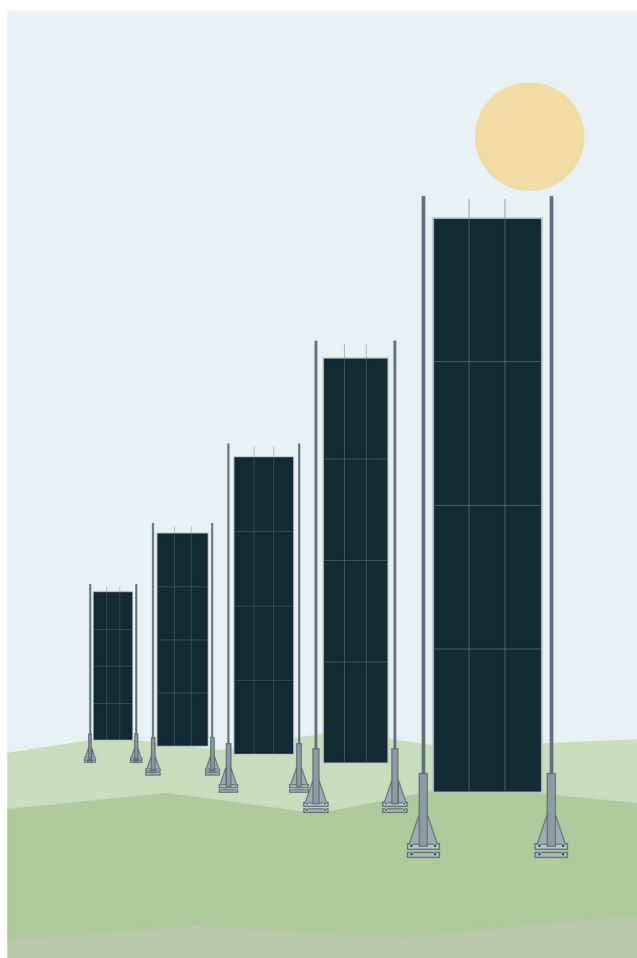


Pionowe bifacjalne systemy PV jako relokowalna infrastruktura klimatyczno-energetyczna

Symulacyjne studium porównawcze EasyVerticalPV® i klasycznej instalacji fotowoltaicznej



EasyClimate Spine® • EasyFootings® • Paszport Relacji ARW+

Twórca i autor: Henryk Zawiślak | EasyFootings® | 2026

Status danych: model scenariuszowy; wyniki nie stanowią pomiaru instalacji ani projektu wykonawczego.

Karta publikacji

Pole	Treść
Tytuł	Pionowe bifacialne systemy PV jako relokowalna infrastruktura klimatyczno-energetyczna
Podtytuł	Symulacyjne studium porównawcze EasyVerticalPV® i klasycznej instalacji fotowoltaicznej
Twórca / autor / podmiot	Henryk Zawiślak — wynalazca i twórca systemu EasyFootings® oraz koncepcji EasyVerticalPV® i EasyClimate Spine® / EasyFootings®
Koncepcja systemowa	EasyClimate Spine® — modułowy korytarz klimatyczno-energetyczny
Wersja	1.1 · wydanie autorskie · 27 lipca 2026 r.
Klasyfikacja	Studium koncepcyjno-analityczne; dane syntetyczne i założenia jawne
Zakres	Energia, autokonsumpcja, mikroklimat, relokowalność, obieg materiałów, dane

Tabela 1. Metryka dokumentu i jego status dowodowy.

O autorze i twórcy

Henryk Zawiślak jest wynalazcą, twórcą systemu EasyFootings® oraz autorem koncepcji EasyVerticalPV® i EasyClimate Spine®. Rozwija rozwiązania łączące relokowalne posadowienie, lekkie konstrukcje, pionową fotowoltaikę bifacialną i funkcje środowiskowe w jednym systemie projektowym.

W niniejszej publikacji odpowiada za koncepcję, architekturę systemową, sformułowanie problemu badawczego, model porównawczy, propozycję Paszportu Relacji ARW+ oraz kierunek rozwoju i walidacji projektu. Tekst ma charakter autorskiego studium koncepcyjno-analitycznego; nie jest tłumaczeniem ani kompilacją cudzej publikacji.

Oświadczenie o charakterze autorskim

Niniejszy tekst jest autorską syntezą problemu, modelu porównawczego i propozycji walidacji. Nie jest tłumaczeniem ani kompilacją cudzej publikacji. Wykorzystane źródła są wskazane w bibliografii i służą do osadzenia argumentacji w aktualnym stanie wiedzy. Nowym elementem opracowania jest połączenie pionowej fotowoltaiki bifacialnej, relokowalnej infrastruktury EasyFootings® oraz warstwy dowodowej nazwanej Paszportem Relacji ARW+. Opracowanie nie jest opinią patentową ani prawną oceną zdolności patentowej.

Jak czytać wyniki

- Wartości liczbowe w rozdziałach 6–11 są wynikami modelu scenariuszowego dla tej samej mocy 10 kWp i tego samego profilu popytu.
- Model ma pokazać mechanizm i zakres wrażliwości, a nie zagwarantować uzysk w dowolnej lokalizacji.
- Każda teza wymagająca pomiaru została oznaczona jako hipoteza pilotażowa lub rekomendacja walidacyjna.
- Wariant EasyVerticalPV® wymaga obliczeń lokalnych z uwzględnieniem albedo, zacinienia, wysokości, rozstawu i bifacialności modułu.

Mapa publikacji

1. Problem i teza publikacji
2. Koncepcja EasyClimate Spine® oraz architektura systemu
3. Stan wiedzy: pionowe bifacjalne PV i projektowanie pod demontaż
4. Pytania badawcze, hipotezy i metodologia
5. Dane wejściowe i wyniki porównania
6. Autokonsumpcja, mikroklimat, przestrzeń i cyrkularność
7. Niepewność, ryzyko i protokół pilotażowy
8. Paszport Relacji ARW+, wdrożenie i wnioski

Streszczenie

Publikacja przedstawia autorską koncepcję traktowania fotowoltaiki nie tylko jako źródła kilowatogodzin, lecz jako relokowalnej infrastruktury klimatyczno-energetycznej. Punktem odniesienia jest porównanie dwóch systemów o tej samej mocy 10 kWp i w tej samej lokalizacji modelowej: klasycznej instalacji ustawionej na południe pod kątem 35° oraz pionowego, bifacjalnego układu EasyVerticalPV® z orientacją E-W. W modelu bazowym klasyczny wariant wytwarza 10 090 kWh/rok, a wariant pionowy 10 300 kWh/rok. Różnica rocznej produkcji jest więc niewielka (+2,1%), natomiast wyraźniejszy efekt dotyczy czasu produkcji: autokonsumpcja rośnie z 5 466,9 do 6 773,5 kWh/rok, a wskaźnik autokonsumpcji z 54,18% do 65,76%.

Najważniejsza teza brzmi: w systemach miejskich przewaga pionowego PV może polegać przede wszystkim na lepszym dopasowaniu profilu produkcji do profilu użytkowania, ograniczeniu konfliktu z funkcją terenu oraz możliwości relokacji, a nie na uniwersalnie większym uzysku rocznym. Publikacja proponuje również warstwę danych — Paszport Relacji ARW+ — która łączy parametry fizyczne, pomiary energii, mikroklimatu, wody, bioróżnorodności i demontażu z decyzjami eksploatacyjnymi. Wnioski są sformułowane jako hipotezy do walidacji, ponieważ brak jest jeszcze pomiarów z wybranego pilotażu.

Słowa kluczowe

fotowoltaika bifacjalna; moduły pionowe; E-W; autokonsumpcja; infrastruktura relokowalna; EasyFootings®; EasyClimate Spine®; obieg zamknięty; mikroklimat; cyfrowy paszport; ARW+; walidacja pilotażowa

Abstract

This authored study proposes a shift from treating photovoltaics as a standalone energy generator to treating them as relocatable climate-energy infrastructure. It compares two equal-power 10 kWp systems at the same model location: a conventional fixed south-facing array tilted at 35°, and an east-west vertical bifacial EasyVerticalPV® configuration. In the base scenario, the conventional system produces 10,090 kWh/year while the vertical configuration produces 10,300 kWh/year. The annual yield difference is therefore modest (+2.1%), while the time profile is more consequential: annual self-consumption increases from 5,466.9 to 6,773.5 kWh, and the self-consumption ratio rises from 54.18% to 65.76%.

The central proposition is that, in urban systems, the value of vertical bifacial PV may arise primarily from improved alignment between generation and demand, reduced land-use conflict and the ability to relocate the installation, rather than from a universally higher annual yield. The study also introduces the ARW+ Relation Passport as a data layer connecting physical parameters, energy, microclimate,

water, biodiversity and disassembly measurements with operational decisions. The results are explicitly presented as hypotheses for pilot validation because no field pilot has yet been selected or measured.

1. Problem i teza publikacji

Rozwój fotowoltaiki wszedł w etap, w którym samo pytanie „ile energii wytworzy instalacja?” jest niewystarczające. W mieście równie ważne stają się: kiedy energia powstaje, czy może zostać zużyta lokalnie, ile terenu zostaje zajęte, czy konstrukcję można przenieść, jak wpływa ona na temperaturę i retencję oraz czy po zakończeniu użytkowania da się odzyskać wartość materiałową. Tę zmianę perspektywy można nazwać przejściem od aktywa energetycznego do infrastruktury relacyjnej.

W tym opracowaniu jako punkt porównania przyjęto klasyczny, stały układ PV skierowany na południe oraz wariant pionowy E-W wykorzystujący moduły bifacjalne. Oba warianty mają tę samą moc znamionową, korzystają z tego samego profilu obciążenia i są analizowane w tej samej lokalizacji modelowej. Dzięki temu różnica nie jest przypisywana większej mocy, lecz geometrii, profilowi dobowemu i założeniom przestrzennym.

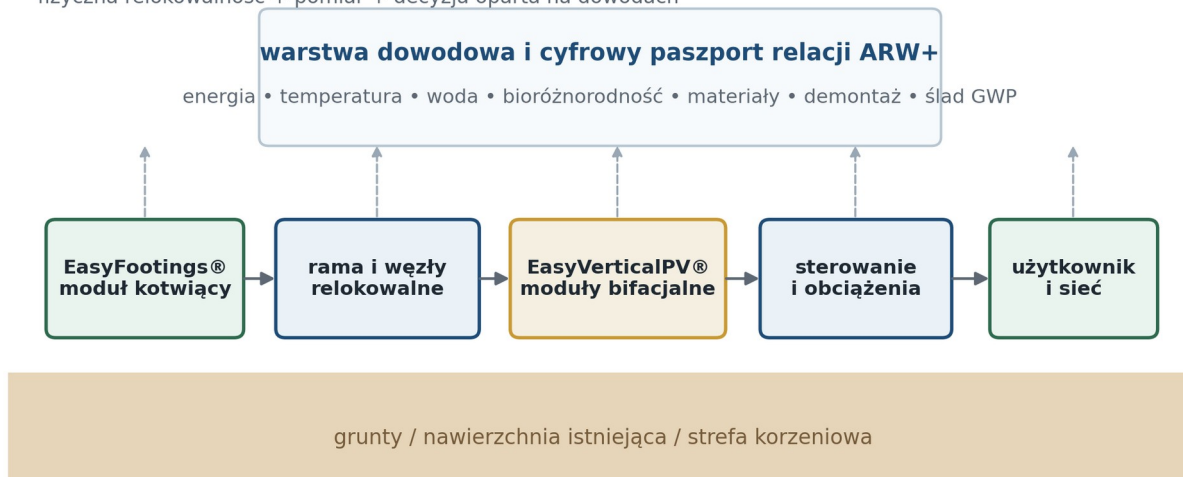
Teza publikacji jest ostrożna, ale praktyczna: wartość pionowego układu bifacjalnego należy oceniać wielokryterialnie. Najbardziej obiecującą przewagą w modelu bazowym nie jest bezwzględny uzysk roczny, lecz zmiana rozkładu produkcji w ciągu dnia, która może zwiększać autokonsumpcję w węzłach o porannym i popołudniowym profilu użytkowania.

1.1. Zakres i granice

- Zakres techniczny: pionowa bifacjalna PV, układ klasyczny, profil popytu, autokonsumpcja, oddanie do sieci.
- Zakres przestrzenny: relokowalny moduł EasyClimate Spine® z elementem EasyFootings® i funkcją korytarza klimatycznego.
- Zakres dowodowy: jawny model danych, oznaczenie hipotez, rekomendowany protokół pomiarowy i rejestr niepewności.
- Poza zakresem: projekt wykonawczy, obliczenia konstrukcyjne dla konkretnego gruntu, uzgodnienia przyłączeniowe, certyfikacja i gwarancja finansowa.

Logika systemu

fizyczna relokowalność + pomiar + decyzja oparta na dowodach



Rysunek 1. Architektura systemu: od relokowalnego posadowienia i modułów PV do pomiaru oraz decyzji eksploatacyjnej.

2. EasyClimate Spine® jako system infrastrukturalny

EasyClimate Spine® jest tu rozumiany jako modułowy korytarz miejski, w którym funkcja energetyczna jest połączona z zacienieniem, roślinnością, retencją wody, oświetleniem, czujnikami i funkcją użytkową. Nie jest to jeden produkt o stałej konfiguracji, ale rodzina scenariuszy przestrzennych. Jednostką analizy nie jest pojedynczy panel, lecz relacja pomiędzy modulem, miejscem, użytkownikiem i środowiskiem.

Taka definicja zmienia kolejność projektowania. Najpierw należy opisać problem miejsca — przegrzewanie, brak cienia, obciążenie energetyczne, deficyt retencji lub konflikt funkcji terenu — a dopiero potem dobrać geometrię PV i sposób posadowienia. Wartość rozwiązania jest sumą kilku strumieni, lecz nie powinny być one dodawane bez kontroli podwójnego liczenia.

2.1. Cztery warstwy wartości

Warstwa	Co mierzy	Przykładowe metryki
Energetyczna	produkcja, autokonsumpcja, ograniczenie eksportu, profil godzinowy	kWh, % popytu, kW/kWp
Klimatyczna	cień, temperatura powierzchni, komfort użytkownika, wilgotność	m ² cienia, °C, indeks komfortu
Przestrzenna	zajęcie terenu, ciągłość przejścia, relokacja, funkcje publiczne	m ² , czas przeniesienia, dostępność
Cyркуlarно-danych	demontaż, ponowne użycie, ślad GWP, paszport komponentu	kg CO ₂ e, %, rekordy audytowalne

Tabela 2. Warstwy wartości EasyClimate Spine®; metryki wymagają ustalenia celu pilotażu.

2.2. Rola EasyFootings®

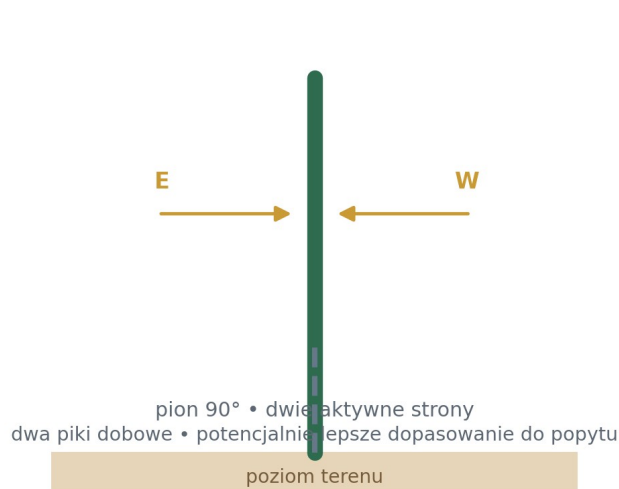
EasyFootings® pełni w koncepcji funkcję relokowalnego interfejsu pomiędzy konstrukcją a miejscem. Założenie projektowe zakłada ograniczenie ingerencji w podłoże i możliwość demontażu bez traktowania terenu jako jednorazowego placu budowy. Nie oznacza to automatycznie braku robót ziemnych ani uniwersalnej przydatności na każdym gruncie. Każdy wariant wymaga weryfikacji geotechnicznej, konstrukcyjnej, odporności na wiatr i lokalnych wymagań formalnych.

Wartość innowacyjna nie powinna być deklarowana jako sam fakt istnienia kotwy lub fundamentu demontowalnego. Takie rozwiązania mają wcześniejszy stan techniki. Oryginalność tej publikacji lokowana jest w integracji: posadowienie + pionowa bifacjalna PV + funkcja klimatyczna + pomiar + rejestr relacji i decyzji.

Na ilustracjach EasyFootings® należy rozumieć zgodnie z rzeczywistym wzorcem konstrukcyjnym: jako zwartą, stalową głowicę złożoną z dwóch blisko siebie położonych płyt, śrub narożnych, śrub łączących warstwy i żeber usztywniających, z profilem kwadratowym wychodzącym centralnie z głowicy. W widoku gotowej realizacji grunt zasłania elementy kotwiące poniżej głowicy; nie wolno zastępować jej betonową stopą, szeroką płytą ani zwykłą podstawą montażową.



Rysunek 2a. Rzeczywista fotografia referencyjna głowicy EasyFootings® — wzorec geometrii dwóch płyt, żeber, śrub i ukośnych elementów kotwiących.

A Klasyczny układ**B EasyVerticalPV®**

Rysunek 2. Geometria porównania: klasyczny stały układ południowy oraz pionowa orientacja E-W z dwiema aktywnymi stronami.

3. Stan wiedzy i aktualność problemu

Narzędzie PVGIS Komisji Europejskiej udostępnia dane promieniowania słonecznego i szacowanie wydajności instalacji PV dla dowolnego miejsca w Europie i wielu regionach świata. Interfejs oraz API pozwalają obliczać m.in. warianty stałe z określonym kątem nachylenia i azymutem, a także wyniki miesięczne i roczne [1–2]. To dobry punkt wyjścia do porównania lokalizacji, ale nie zastępuje modelu inżynierskiego dla nietypowej geometrii.

Ograniczenie istotne dla niniejszej publikacji jest jawnie opisane w dokumentacji PVGIS: narzędzie nie wykonuje obecnie dedykowanych obliczeń bifacjalnych. Dla układów E-W zaleca się podejście przybliżone, w którym osobno analizuje się stronę wschodnią i zachodnią, a następnie uwzględnia udział strony tylnej. Wariant pionowy w tej publikacji nie jest więc przedstawiany jako bezpośredni wynik PVGIS, lecz jako transparentny scenariusz wymagający późniejszej kalibracji narzędziem bifacjalnym lub pomiarem [3].

Badania symulacyjne pionowych układów bifacjalnych pokazują, że orientacja E-W może tworzyć dwa piki produkcji w ciągu dnia, lecz wynik zależy od albedo, rozstawu, wysokości, zacienienia i profilu obciążenia. Część prac wskazuje na przewagę klasycznego układu południowego przy swobodnym horyzoncie, a pionowego E-W w sytuacjach, w których liczy się rozkład czasowy lub występują ograniczenia przestrzenne. Wniosek nie jest uniwersalny; jest warunkowy i lokalny [8–11].

3.1. Kontekst regulacyjny i projektowy

Unijna polityka budynków zeroemisyjnych przesuwą uwagę z samej sprawności urządzenia na połączenie wysokiej efektywności, energii czystej, elastyczności, magazynowania i reakcji na zapotrzebowanie [4]. Równolegle rośnie znaczenie śladu całego cyklu życia budynku: produkcji, transportu, budowy, eksploatacji, wymiany, rozbiórki i ponownego użycia [5]. Dla modułowej infrastruktury miejskiej oznacza to potrzebę dokumentowania nie tylko uzysku, lecz także sposobu montażu, relokacji i końca życia.

ISO 20887 porządkuje zasady projektowania pod demontaż i adaptowalność, natomiast IEC TS 60904-1-2:2024 ustanawia istotny punkt odniesienia dla pomiaru charakterystyk I-V bifacjalnych urządzeń PV [6–7]. W obszarze danych Komisja Europejska rozwija cyfrowy paszport produktu; od lipca 2026 r. działa rejestr DPP, a rozporządzenie dotyczące wyrobów budowlanych podkreśla interoperacyjność z BIM, otwarte standardy i dane maszynowo czytelne [12–13].

Z tych kierunków wynika luka praktyczna: brakuje prostego sposobu, aby decyzja o relokacji infrastruktury opierała się na wspólnym pakiecie danych energetycznych, klimatycznych, materiałowych i przestrzennych. Paszport Relacji ARW+ jest propozycją takiej warstwy — nie zamiennikiem normy ani systemu regulacyjnego.

4. Pytania badawcze i hipotezy

Publikacja nie udaje eksperymentu, którego jeszcze nie wykonano. Zamiast tego formułuje pytania, które można rozstrzygnąć w kontrolowanym pilotażu. Taka konstrukcja pozwala oddzielić innowacyjną ideę od wyniku wymagającego dowodu.

Kod	Pytanie	Hipoteza modelowa	Dowód
P1	Czy pionowy bifacjalny układ E-W zmienia rozkład produkcji tak, aby zwiększyć autokonsumpcję przy tym samym popycie?	H1: tak; efekt bazowy +11,58 pp wskaźnika autokonsumpcji.	Pomiary 15-minutowe PV i obciążenia.
P2	Czy przy porównywalnej mocy i warunkach pionowy układ osiąga uzysk roczny zbliżony do klasycznego?	H2: w modelu bazowym tak; +2,1%, ale z szeroką niepewnością.	Rok danych; wspólna korekta warunków.
P3	Czy relokowalność zmniejsza konflikt pomiędzy energią a funkcją terenu?	H3: możliwe; -5% powierzchni planistycznej jest hipotezą, nie pomiarem.	Inwentaryzacja GIS i protokół demontażu.
P4	Czy ARW+ poprawia jakość decyzji o utrzymaniu lub przeniesieniu modułu?	H4: tak, jeśli dane mają wspólny identyfikator, czas i poziom jakości.	Audyt kompletności i decyzji.

Tabela 3. Pytania badawcze, hipotezy i warunki ich rozstrzygnięcia.

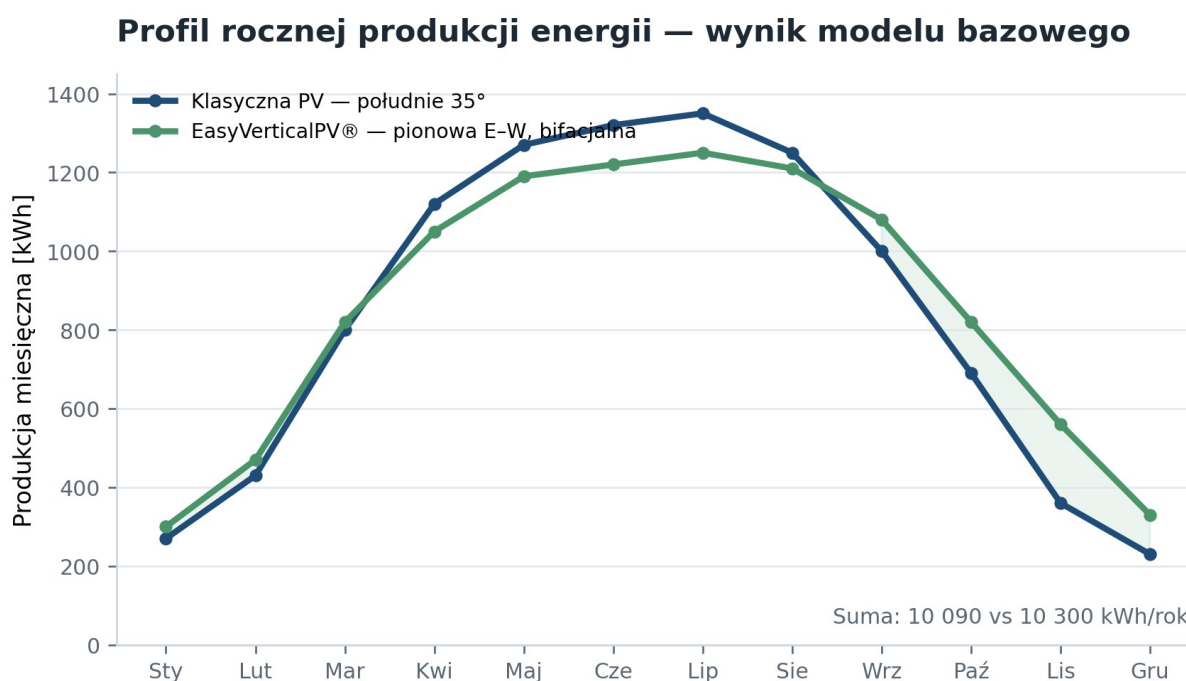
4.1. Definicja oryginalnego wkładu

Wkład publikacji składa się z czterech elementów: (1) przesunięcia celu optymalizacji z samego uzysku na wartość czasową energii, (2) traktowania relokowalnego posadowienia jako elementu odporności przestrzennej, (3) ujęcia funkcji klimatycznych jako strumieni mierzalnych, oraz (4) zaprojektowania lekkiej warstwy danych ARW+, która łączy wynik z miejscem, wersją komponentu i decyzją. Jest to

oryginalna rama projektowo-badawcza; nie jest to stwierdzenie, że każdy element składowy jest nowy w sensie patentowym.

5. Metodologia porównania

Porównanie zaprojektowano jako eksperyment modelowy z kontrolą czterech zmiennych: moc znamionowa, lokalizacja referencyjna, profil obciążenia oraz brak magazynu energii w obu wariantach. Zmiennymi objaśniającymi są geometria, bifacjalność i wynikający z nich profil czasowy. Lokalizację opisano jako proxy dla Poznania w Polsce; współrzędne i dane pogodowe należy wskazać dopiero dla konkretnej działki.



Rysunek 3. Miesięczny rozkład produkcji w scenariuszu bazowym; wykres przedstawia dane syntetyczne opisane w tabeli 6.

5.1. Warunki porównania

Zmienna	Założenie bazowe	Status / komentarz
Lokalizacja	Poznań, Polska — proxy modelowe	do zastąpienia współrzędnymi działki
Moc DC	10 kWp w obu wariantach	warunek kontrolny
Układ klasyczny	południe, kąt 35°, stały, monofacjalny	wariant odniesienia
EasyVerticalPV®	pionowy E-W, moduł bifacjalny	wariant badany; wymaga narzędzia bifacjalnego
Popyt roczny	11 650 kWh/rok	syntetyczny profil węzła publicznego
Magazyn	brak w obu wariantach	izoluje wpływ geometrii i profilu
Albedo	0,30 w scenariuszu bazowym	wartość do pomiaru; scenariusze 0,20–0,45
Straty systemowe	wspólne założenie modelowe	wymaga specyfikacji komponentów

Tabela 4. Warunki kontrolne modelu porównawczego.

5.2. Równania i wskaźniki

Dla każdego miesiąca m produkcję roczną obliczono jako: $E_v = \sum_m E_m$. Autokonsumpcję w miesiącu opisuje $E_{sc,m} = E_{PV,m} \times r_{sc,m}$, gdzie $r_{sc,m}$ jest udziałem energii PV zużytej lokalnie według syntetycznego profilu popytu. Oddanie do sieci: $E_{exp,m} = E_{PV,m} - E_{sc,m}$. Wskaźnik autokonsumpcji: $C = E_{sc} / E_{PV}$. Pokrycie popytu: $K = E_{sc} / E_{load}$. Wskaźniki nie uwzględniają taryf, cen energii, degradacji modułów, ograniczeń przyłączeniowych ani kosztów inwestycyjnych.

Porównanie przestrzenne korzysta z dwóch osobnych pojęć: powierzchni geometrycznej zajętej przez urządzenie oraz powierzchni funkcjonalnej pozostawionej w planie miejsca. Wartość -5% jest hipotezą projektową wynikającą z możliwości prowadzenia ciągłego korytarza i ograniczenia szerokości układu; nie jest wynikiem pomiaru geodezyjnego.

6. Zestaw danych i scenariusze

Zestaw danych został zaprojektowany tak, aby był możliwy do odtworzenia w arkuszu kalkulacyjnym. Każdy miesiąc ma osobno produkcję obu wariantów, popyt, autokonsumpcję i eksport. Profil dobowy jest znormalizowany do 100% produkcji; dzięki temu pozwala testować wpływ geometrii na czasową zgodność z popytem niezależnie od bezwzględnej skali instalacji.

Kod	Znaczenie	Zastosowanie
S	symulowane	wynik obliczenia na podstawie jawnych założeń
A	założone	parametr przyjęty do porównania, np. albedo 0,30
P	projektowe	hipoteza dotycząca układu lub funkcji miejsca
M	do zmierzenia	parametr, który musi zostać zebrany w pilotażu
W	zweryfikowane	wynik po kontroli jakości i audycie danych

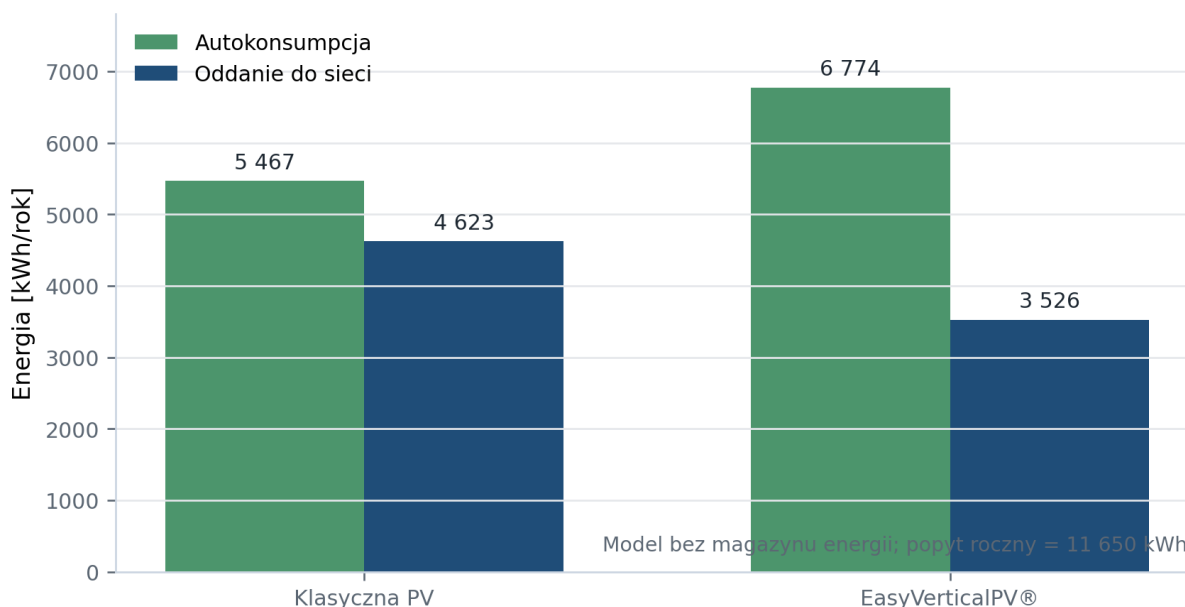
Tabela 5. Słownik statusu dowodowego danych.

6.1. Wyniki roczne modelu bazowego

Wskaźnik	Klasyczna PV	EasyVerticalPV®	Różnica
Produkcja PV	10 090	10 300	+2.1%
Autokonsumpcja	5 466,9	6 773,5	+1306.6 kWh
Oddanie do sieci	4 623,1	3 526,5	-1096.6 kWh
Wskaźnik autokonsumpcji	54,18%	65,76%	+11,58 pp
Pokrycie popytu	46,93%	58,14%	+11,22 pp
Powierzchnia planistyczna	150 m ²	142,5 m ²	-5,0% P

Tabela 6. Roczne KPI dla modelu bazowego; P = hipoteza projektowa.

Ta sama moc, inny rozkład użyteczności energii



Rysunek 4. Autokonsumpcja i energia oddana do sieci w modelu bazowym.

6.2. Odczyt modelu

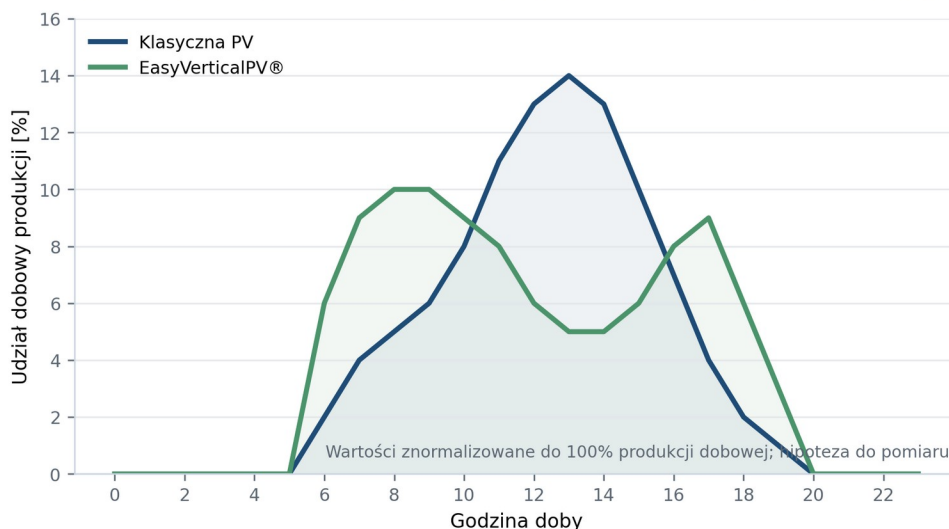
Wynik roczny nie daje podstaw do hasła „pionowe PV zawsze produkuje więcej”. W modelu różnica wynosi około 210 kWh/rok, czyli 2,1%. Jest to efekt porównywalności mocy i przyjętych parametrów, a nie gwarancja zachowania w innej lokalizacji. Wyraźniejsza zmiana dotyczy autokonsumpcji: dodatkowe 1 306,6 kWh/rok zostaje zużyte lokalnie, a energia oddana do sieci spada o 1 096,6 kWh/rok.

W praktyce ekonomiczny sens takiej różnicy zależy od taryfy, profilu odbiorców, możliwości sterowania obciążeniem i ograniczeń przyłączeniowych. Dlatego w projekcie pilotażowym należy raportować jednocześnie produkcję, popyt, autokonsumpcję, eksport i moc chwilową — nie tylko kWh/rok.

7. Profil czasowy i użyteczność energii

Pionowy układ E-W może rozłożyć produkcję na dwa piki — rano i po południu — zamiast koncentrować ją w węższym oknie południowym. W modelu syntetycznym udział produkcji w godzinach 7:00–11:00 oraz 15:00–19:00 wynosi łącznie 61% dla EasyVerticalPV® i 31% dla wariantu klasycznego. Różnica 30 punktów procentowych jest hipotezą do sprawdzenia na realnym miejscu, lecz dobrze ilustruje mechanizm stojący za wzrostem autokonsumpcji.

Syntetyczny profil dobowy — przesunięcie energii w stronę godzin użytkowania



Rysunek 5. Znormalizowany profil dobowy produkcji; dane syntetyczne pokazują mechanizm, nie pojedynczy dzień pogodowy.

7.1. Dlaczego czas może być ważniejszy od sumy

Jeżeli odbiornik działa rano i po południu — na przykład oświetlenie, ładowanie, pompy, wentylacja lub urządzenia usługowe — profil E-W zwiększa prawdopodobieństwo jednoczesności produkcji i popytu. Nie jest to jednak równoznaczne z pełną samowystarczalnością. Nocny popyt nadal wymaga sieci lub magazynu, a chwilowe zachmurzenie może zmienić przebieg profilu.

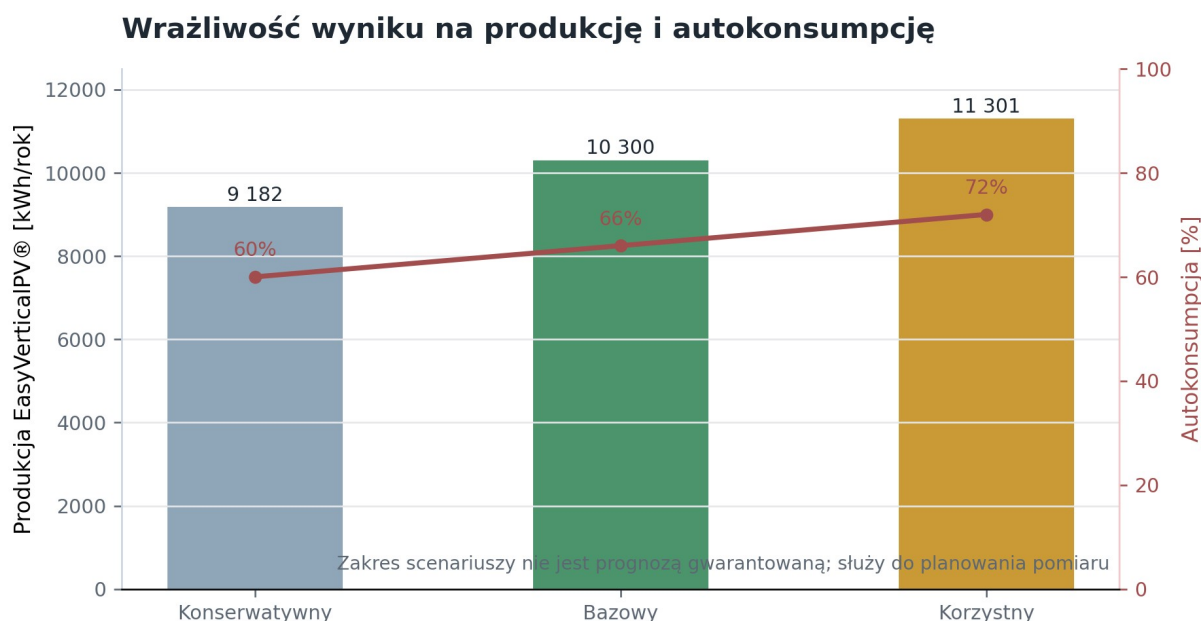
Wartość czasową można mierzyć na trzy sposoby: udziałem energii zużytej lokalnie, redukcją eksportu w godzinach nadwyżki oraz korelacją mocy PV i obciążenia. Dla publicznego pilotażu zalecany jest interwał 15-minutowy, ponieważ godzinowa agregacja może ukrywać chwilowe przeciążenia i różnice w jednoczesności.

8. Wrażliwość, niepewność i ryzyko

Wariant bazowy nie powinien być czytany jako pojedyncza prognoza. Wynik pionowej bifacialnej PV zależy między innymi od albedo, wysokości modułu, prześwitu, rozstawu, zacienienia przez roślinność i sąsiednie elementy, bifacialności, zabrudzenia oraz sposobu ograniczania mocy. Z tego powodu wprowadzono trzy scenariusze planistyczne.

Scenariusz	Albedo	Produkcja klasyczna vs	PV/rok [kWh]	Autokonsumpcja	Znaczenie
Konserwatywny	0,20	91% klasycznej	9 182	60%	test wrażliwości na niski uzysk i słabszą jednoczesność
Bazowy	0,30	102,1% klasycznej	10 300	66%	scenariusz centralny do komunikacji modelu
Korzystny	0,45	112% klasycznej	11 301	72%	górny zakres hipotezy; nie prognoza gwarantowana

Tabela 8. Scenariusze wrażliwości dla wariantu pionowego.



Rysunek 6. Scenariusze wrażliwości: produkcja roczna i wskaźnik autokonsumpcji.

8.1. Rejestr niepewności

Obszar	Niepewność	Źródło	Sposób redukcji
Geometria i zacienienie	wysoka	dane 3D działki; rozstaw; horyzont	lokalny model bifacjalny + pomiar
Albedo / odbicie tylne	wysoka	nawierzchnia zmienia się sezonowo	pomiary powierzchni i scenariusze
Profil popytu	wysoka	obciążenie syntetyczne	licznik 15-minutowy
Obciążenia konstrukcji	wysoka	brak danych działki	projekt konstrukcyjny i testy
Mikroklimat	średnia	efekt zależny od cienia i roślin	czujniki + strefa kontrolna
Relokacja	średnia	czas i koszt niezmierzone	protokół demontażu i ponownego montażu
Ekonomia	wysoka	taryfy i CAPEX zmienne	analiza kosztowa po wyborze lokalizacji

Tabela 9. Rejestr niepewności; ocena ma kierować pomiarem, nie zastępować pomiaru.

9. Środowisko, przestrzeń i cyrkularność

Wartość środowiskowa systemu nie może być wyprowadzona wyłącznie z faktu, że moduł wytwarza energię odnawialną. Należy policzyć pełny bilans cyklu życia, uwzględnić transport, stal, moduły, elektronikę, prace montażowe, wymiany i scenariusz końca życia. Dyrektywa dotycząca charakterystyki energetycznej budynków kieruje uwagę na wskaźnik globalnego ocieplenia w cyklu życia, a ISO 20887 pomaga organizować projektowanie pod demontaż [5–6].

W koncepcji EasyClimate Spine® układ PV może współdziałać z cieniem, roślinnością i retencją. Te korzyści są jednak warunkowe: cień musi być zmierzony w określonych godzinach i porach roku; wpływ na temperaturę powierzchni wymaga czujników i strefy kontrolnej; retencja wymaga bilansu opadu, odpływu i wykorzystania; bioróżnorodność wymaga powtarzalnej obserwacji, a nie pojedynczej fotografii.

9.1. Relokacja jako parametr techniczny

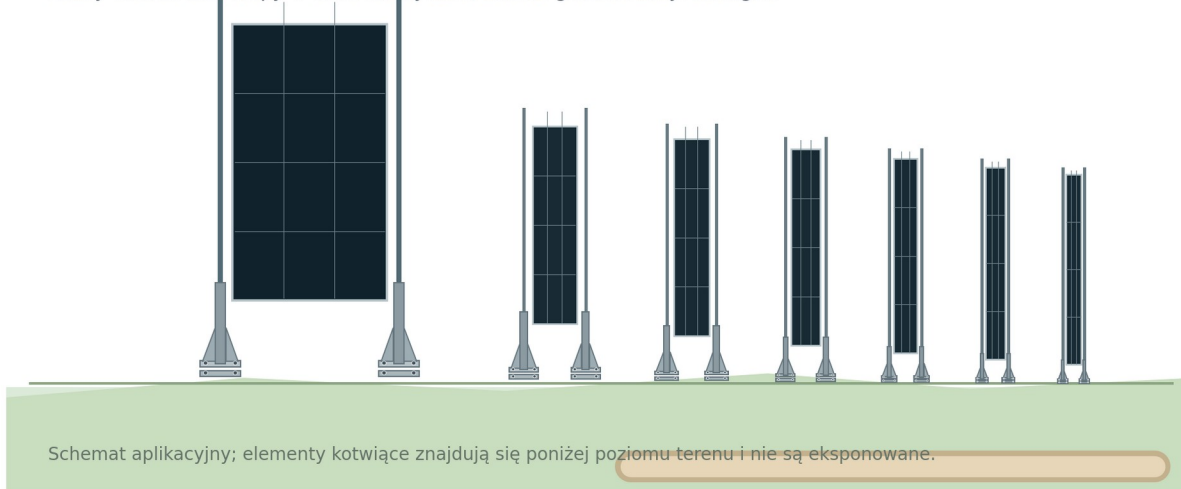
Relokowalność powinna być opisana procedurą, a nie przymiotnikiem. W tym opracowaniu proponuje się mierzyć: czas demontażu, liczbę operacji, masę elementów odzyskanych, odsetek elementów nadających się do ponownego użycia, uszkodzenia po demontażu oraz stan terenu po przywróceniu. Każda próba powinna mieć kartę bezpieczeństwa i odbiór osoby uprawnionej.

Wymiar	Co dokumentować	Metryka
Czas	montaż / demontaż / ponowny montaż	minuty na moduł lub węzeł
Materiał	masa i identyfikator komponentu	kg, numer partii, źródło
Odzysk	elementy bez uszkodzeń	% masy i liczby sztuk
Teren	stan nawierzchni i roślinności	checklista + zdjęcia geotagowane
Bezpieczeństwo	odchyłki, uszkodzenia, zdarzenia	rejestr odbiorowy

Tabela 10. Minimalny zestaw dowodów dla relokowalności.

Pionowe moduły bifacjalne na relokowalnych węzłach

Każdy moduł: dwa słupy + dwie identyczne, zwarte głowice EasyFootings®



Rysunek 7. Schemat zastosowania: pionowe moduły bifacjalne na dwóch słupach i dwóch identycznych, proporcjonalnych głowicach EasyFootings® w zielonym korytarzu.

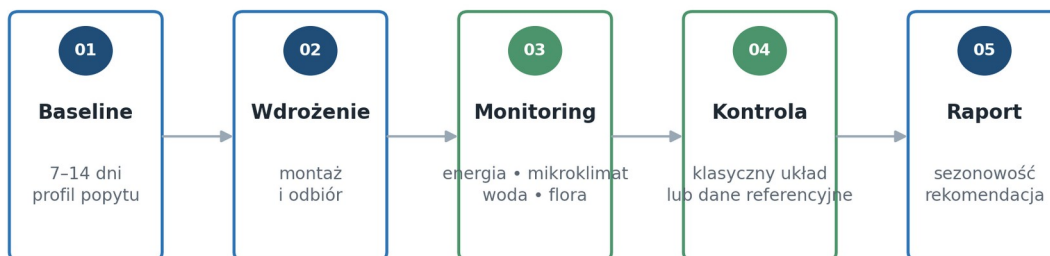


Rysunek 7a. Fotorealistyczna wizualizacja koncepcyjnego zastosowania EasyClimate Spine® z pionowymi bifacialnymi modułami PV w przestrzeni publicznej.

10. Protokół pilotażowy i walidacja

Najbardziej wiarygodnym następnym krokiem jest pilotaż porównawczy w jednej lokalizacji, z kontrolą warunków brzegowych. Jeżeli nie jest możliwe ustawienie dwóch układów obok siebie, należy zbudować model referencyjny z tego samego okresu meteorologicznego i skalibrować go na pomiarach.

Minimalny protokół pilotażowy



Zasada: żadnego wniosku o przewadze systemu bez jednoczesnego pomiaru energii, popytu i warunków brzegowych.

Rysunek 8. Minimalny przepływ pilotażu: baseline, wdrożenie, monitoring, kontrola i raport.

10.1. Plan pomiarowy

Strumień	Parametry	Interwał	Warunek jakości	Jednostki
Energia DC/AC	moc, napięcie, prąd, energia	1–15 min	licznik klasy odpowiedniej do celu; synchronizacja czasu	kWh, kW
Popyt	profil odbioru i moc chwilowa	1–15 min	osobny licznik wężła	kWh, kW

Strumień	Parametry	Interwał	Warunek jakości	Jednostki
Warunki PV	irradiancja przednia/tylna, temperatura modułu	1–5 min	czujniki skalibrowane; geometria i zacinienie	W/m ² , °C
Mikroklimat	temperatura powierzchni i powietrza, RH	5–15 min	strefa pod modulem + kontrola	°C, %
Woda	opad, odpływ, retencja, wykorzystanie	zdarzeniowo / dobowo	bilans wody dla konkretnego układu	mm, l
Flora/fauna	przeżywalność, pokrycie, obserwacje	miesięcznie / sezonowo	ta sama metoda i punkty obserwacji	% / liczba
Relokacja	czas, masa, uszkodzenia, stan terenu	po operacji	protokół odbiorowy	min, kg, %

Tabela 11. Proponowany pakiet pomiarowy pilotażu.

Dla modułów bifacjalnych jakość pomiaru wymaga kontrolowania warunków po stronie tylnej, niejednorodności irradiancji, odbicia tła i geometrii. IEC TS 60904-1-2:2024 jest właściwym punktem odniesienia dla charakterystyk I–V bifacjalnych, natomiast otwarte narzędzia modelowania bifacjalnego pozwalają uwzględnić układ modułów, albedo, przeszkody i wzajemne zacinienie [7–8].

10.2. Kryteria sukcesu pilotażu

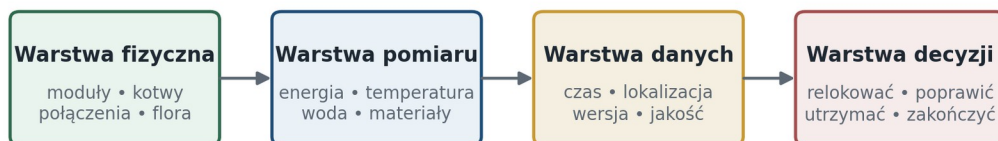
- kompletność danych energii i popytu $\geq 95\%$ w interwale 15-minutowym
- jawna kalibracja modelu do co najmniej jednego pełnego sezonu grzewczego i chłodzącego
- raportowanie mediany, kwartylów i przedziału niepewności, a nie tylko średniej rocznej
- osobne podsumowanie warstwy klimatycznej, wodnej i biologicznej z punktem kontrolnym
- udokumentowana operacja demontażu lub przynajmniej test węzła w skali 1:1
- wersjonowanie wszystkich danych i metadanych w Paszporcie Relacji ARW+

11. Paszport Relacji ARW+

Paszport Relacji ARW+ jest propozycją schematu danych, który opisuje nie tylko komponent, lecz także jego relacje: z miejscem, warunkami, użytkownikiem, pomiarem i decyzją. W odróżnieniu od zwykłej karty produktu, rekord powinien odpowiadać na pytanie „co wydarzyło się z tym modulem w tym miejscu i jakie były konsekwencje?”.

Paszport Relacji ARW+

ARW+ — Auditowalna Relacja Wartości



Każdy rekord łączy wynik z lokalizacją, okresem, metadanymi i poziomem pewności.

Rysunek 9. Koncepcyjny przepływ Paszportu Relacji ARW+: od komponentu i miejsca do decyzji eksploatacyjnej.

11.1. Minimalny rekord

Blok	Pola przykładowe	Status
identity	id komponentu, producent, model, numer seryjny, partia	M
place	lokalizacja, orientacja, wysokość, rozstaw, nawierzchnia	A/M
time	data montażu, okno pomiaru, strefa czasu, wersja danych	M
energy	DC, AC, popyt, autokonsumpcja, eksport, jakość	M
climate	temperatura, cień, RH, wiatr, opad	M
material	masa, stal, moduł, ślad GWP, naprawa, odzysk	A/M
decision	utrzymać, poprawić, relokować, zakończyć; autor i data	M
evidence	źródło, metoda, niepewność, załącznik, hash pliku	M/W

Tabela 12. Minimalna architektura rekordów ARW+ do prototypu danych.

ARW+ powinien być interoperacyjny i maszynowo czytelny. W praktyce można zacząć od CSV/JSON z jednoznacznym słownikiem, a dopiero później mapować rekordy do systemu BIM lub przyszłego cyfrowego paszportu produktu. Wersja pilotażowa powinna mieć jawne identyfikatory, metadane jakości i możliwość odtworzenia obliczeń.

12. Wdrożenie: od pojedynczego węzła do korytarza

Wdrożenie powinno przebiegać etapowo. Pierwszy węzeł ma służyć nauce, nie maksymalizacji skali. Dopiero po zebraniu danych o produkcji, popycie, mikroklimacie i operacji relokacji można określić, czy warto powielać rozwiązanie wzdłuż ulicy, ścieżki, parkingu, obiektu sportowego lub terenu przemysłowego.

Etap	Działanie	Dowód przejścia
0. Definicja miejsca	problem, funkcja, ograniczenia, zgody	karta miejsca + mapa konfliktów
1. Węzeł testowy	1-2 moduły, czujniki, kontrola	dane sezonowe i test węzła
2. Demonstrator	ciąg modułów z funkcją użytkową	wspólny protokół odbiorowy

Etap	Działanie	Dowód przejścia
3. Korytarz	integracja energii, wody, cienia i danych	ARW+ dla każdego węzła
4. Portfel miejsc	relokacja według danych	porównanie lokalizacji i decyzji

Tabela 13. Proponowana ścieżka skalowania.

12.1. Decyzje, które trzeba podjąć przed pilotażem

1. Wybór lokalizacji i punktu kontrolnego wraz z opisem horyzontu, albedo i funkcji użytkowej.
2. Wybór konkretnego modułu bifacjalnego, falownika, zabezpieczeń oraz geometrii konstrukcji.
3. Weryfikacja geotechniczna i konstrukcyjna elementu EasyFootings® dla warunków miejsca.
4. Ustalenie profilu odbioru energii, interwału pomiarowego i polityki przechowywania danych.
5. Zatwierdzenie metody obserwacji cienia, wody, roślin i wpływu na użytkowników.
6. Uzgodnienie kryteriów zakończenia, relokacji lub rozszerzenia testu przed rozpoczęciem pomiarów.

13. Dyskusja

Model potwierdza intuicję projektową, ale jednocześnie ją dyscyplinuje. Jeżeli oceniać wyłącznie produkcję roczną, przewaga wariantu pionowego jest w scenariuszu bazowym mała. Jeżeli jednak analizować energię w czasie, różnica staje się użyteczna: pionowy układ dostarcza większy udział energii w dwóch oknach dobowych, które mogą odpowiadać pracy odbiorników. To właśnie miejsce i popyt decydują, czy efekt będzie wartością, czy tylko ciekawą geometrią.

Największe ryzyko komunikacyjne polega na mieszanii wyników symulowanych z pomiarami oraz na przenoszeniu wyniku z jednej lokalizacji na wszystkie inne. Publikacja temu zapobiega przez trzy zasady: jawne założenia, scenariusze wrażliwości i protokół pomiaru. Dzięki temu nawet wynik negatywny — na przykład niższa produkcja w zacienionym korytarzu — może być wartościową informacją o granicy zastosowania.

Drugim ryzykiem jest nadmierne obiecywanie efektu środowiskowego. Cień, retencja i bioróżnorodność nie są automatycznym skutkiem ustawienia panelu pionowo. Stają się wiarygodnym rezultatem dopiero wtedy, gdy mają określoną linię bazową, okres pomiaru, punkt kontrolny i metodę analizy. W publikacji są więc zapisane jako warstwy do walidacji, nie jako certyfikowane korzyści.

13.1. Implikacje dla projektu EasyFootings®

Jeżeli relokowalność ma być realną przewagą, trzeba projektować ją razem z operacją: dostępem serwisowym, kolejnością odłączeń, identyfikacją elementów, ochroną przewodów, pakowaniem i ponownym odbiorem. W przyszłej wersji specyfikacji warto dodać do każdego węzła kartę „demontażu bez utraty wartości”, opisującą narzędzia, czas, masę, ryzyka i stan terenu po operacji.

To kieruje rozwój z pojedynczego rozwiązania konstrukcyjnego w stronę systemu, który można uczyć się z kolejnych lokalizacji. Z perspektywy rozwoju produktu jest to istotne: dane z pilotażu mogą poprawiać

nie tylko algorytm doboru PV, ale także geometrię ramy, sposób zacieniania, retencję i standard relokacji.

14. Wnioski końcowe i rekomendacje

Modelowe porównanie nie wykazuje uniwersalnej przewagi pionowej bifacialnej PV w kWh/rok. Wykazuje natomiast warunkową przewagę czasową i systemową: potencjalnie większą autokonsumpcję, mniejszą ilość energii oddawanej do sieci, mniejszy konflikt z funkcją ciągłego korytarza oraz możliwość powiązania energii z danymi klimatycznymi i materiałowymi.

- Wariant bazowy: 10 300 kWh/rok dla EasyVerticalPV® wobec 10 090 kWh/rok dla klasycznej PV; różnica +2,1% jest niewielka i nie powinna być komunikowana jako gwarantowana przewaga.
- Autokonsumpcja modelowa: 6 773,5 kWh/rok wobec 5 466,9 kWh/rok; wzrost o 1 306,6 kWh/rok i +11,58 pp wskaźnika autokonsumpcji jest najważniejszym wynikiem użytkowym.
- Profil dobowy: syntetyczne 61% produkcji w porannym i popołudniowym oknie wobec 31% w układzie klasycznym; hipoteza wymaga danych 15-minutowych.
- Przestrzeń: założenie -5% powierzchni planistycznej jest hipotezą projektową, która wymaga pomiaru GIS i testu funkcji miejsca.
- Relokowalność: należy traktować ją jako mierzalny proces obejmujący czas, bezpieczeństwo, odzysk materiałów i stan terenu, nie jako samą cechę katalogową.
- ARW+: warto utworzyć prototyp paszportu relacji już w pierwszym pilotażu, aby wynik energetyczny był trwale powiązany z miejscem i jakością dowodu.

Najbliższe 90 dni

1. Wybrać działkę i zdefiniować scenariusz użytkowania energii.
2. Zastąpić proxy lokalnym modelem PVGIS oraz osobnym modelem bifacialnym.
3. Przygotować projekt konstrukcyjny i geotechniczny węzła EasyFootings®.
4. Zamówić pomiary bazowe: popyt, temperatura, cień, opad i stan roślinności.
5. Uruchomić rejestr ARW+ i opublikować raport zerowy przed montażem.

Ostateczna wartość tej koncepcji zostanie rozstrzygnięta nie przez atrakcyjność pojedynczej wizualizacji, lecz przez jakość powtarzalnego dowodu. Najmocniejszym scenariuszem rozwoju jest mały, dobrze opomiarowany pilot, który można bezpiecznie przenieść, porównać i opisać w otwartym raporcie.

Bibliografia i źródła techniczne

[1] European Commission, Joint Research Centre, Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), strona informacyjna, dostęp 27.07.2026: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en

- [2] European Commission, JRC, Using PVGIS 5: API non-interactive service, dokumentacja API, dostęp 27.07.2026: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/using-pvgis-5/api-non-interactive-service_en
- [3] European Commission, JRC, PVGIS — data sources and calculation methods, uwagi o ograniczeniach obliczeń bifacjalnych, dostęp 27.07.2026: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/general-information/data-sources-calculation-methods_en
- [4] European Commission, Zero-emission buildings, wymagania i ramy dla budynków zeroemisyjnych, dostęp 27.07.2026: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/energy-performance-buildings-directive/zero-emission-buildings_en
- [5] European Commission, Global warming potential of buildings, cykl życia i GWP, dostęp 27.07.2026: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/energy-performance-buildings-directive/global-warming-potential-buildings_en
- [6] ISO, ISO 20887:2020, Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability, status reviewed 2025, dostęp 27.07.2026: <https://www.iso.org/standard/69370.html>
- [7] IEC, IEC TS 60904-1-2:2024, Measurement of current-voltage characteristics of bifacial photovoltaic devices, dostęp 27.07.2026: <https://webstore.iec.ch/en/publication/71709>
- [8] National Laboratory of the Rockies, PV Bifacial Irradiance and Performance Modeling Toolkit, opis bifacial_radiance, dostęp 27.07.2026: <https://www.nlr.gov/pv/pv-bifacial-irradiance-toolkit>
- [9] Deline, C. et al., Vertical bifacial photovoltaic systems: site- and geometry-dependent performance, Solar RRL, 2023, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/solr.202300505>
- [10] Appelbaum, J. et al., Vertical bifacial photovoltaic modules: orientation, albedo and self-shading effects, Energies, 2022, <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/7/2651>
- [11] Energies, 2025, Vertical east-west bifacial PV and time-distributed generation, <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/10/2630>; porównanie z badaniami zależnymi od lokalizacji: <https://www.osti.gov/biblio/1507668>
- [12] European Commission, Digital Product Passport Registry now live, komunikat z 20.07.2026, dostęp 27.07.2026: https://single-market-economy.ec.europa.eu/news/digital-product-passport-registry-now-live-2026-07-20_en
- [13] Regulation (EU) 2024/3110 laying down harmonised rules for the marketing of construction products, EUR-Lex, dostęp 27.07.2026: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/3110/oj/>
- [14] Regulation (EU) 2024/1781 establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products, EUR-Lex, dostęp 27.07.2026: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj/eng>
- [15] OJJO, modular / screw-anchor foundation prior art, US-11926981-B2, jako przykład wcześniejszego stanu techniki, dostęp 27.07.2026: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/patent/US-11926981-B2>

Aneks A. Pełne dane wejściowe modelu

Miesiąc	PV klasyczna	PV pionowa	Popyt	SC klasyczna	SC pionowa	Eksport klas.	Eksport pion.
Styczeń	270	300	1 200	215,8	235,6	54,2	64,4
Luty	430	470	1 100	322,2	360,4	107,8	109,6
Marzec	800	820	1 000	495,5	598,1	304,5	221,9
Kwiecień	1 120	1 050	900	615,3	706,9	504,7	343,1
Maj	1 270	1 190	800	634,3	767,8	635,7	422,2
Czerwiec	1 320	1 220	750	646,1	752,9	673,9	467,1
Lipiec	1 350	1 250	700	633,8	736,4	716,2	513,6
Sierpień	1 250	1 210	750	599,4	724,1	650,6	485,9
Wrzesień	1 000	1 080	900	499,5	666,5	500,5	413,5
Październik	690	820	1 050	386,0	552,1	304,0	267,9
Listopad	360	560	1 200	244,5	413,7	115,5	146,3
Grudzień	230	330	1 300	174,6	259,2	55,4	70,8
SUMA	10 090	10 300	11 650	5 466,9	6 773,5	4 623,1	3 526,5

Tabela 7. Pełny miesięczny zestaw danych modelowych [kWh]; SC = energia zużyta lokalnie.

A.1. Profil dobowy

Godzina	Klasyczna PV	EasyVerticalPV®
00:00	0,0%	0,0%
01:00	0,0%	0,0%
02:00	0,0%	0,0%
03:00	0,0%	0,0%
04:00	0,0%	0,0%
05:00	0,0%	0,0%
06:00	2,0%	6,0%
07:00	4,0%	9,0%
08:00	5,0%	10,0%
09:00	6,0%	10,0%
10:00	8,0%	9,0%
11:00	11,0%	8,0%
12:00	13,0%	6,0%
13:00	14,0%	5,0%
14:00	13,0%	5,0%
15:00	10,0%	6,0%
16:00	7,0%	8,0%
17:00	4,0%	9,0%
18:00	2,0%	6,0%
19:00	1,0%	3,0%
20:00	0,0%	0,0%
21:00	0,0%	0,0%
22:00	0,0%	0,0%
23:00	0,0%	0,0%

Tabela 14. Znormalizowany profil dobowy modelu; suma każdego wariantu = 100%.

Aneks B. Zestaw zmiennych i sposób odtworzenia

Model można odtworzyć w dowolnym arkuszu, jeśli zachowane zostaną poniższe szeregi oraz reguły. Liczby są zapisane z przecinkiem w tekście polskim, ale w implementacji CSV zalecany jest separator przecinek lub średnik i jawne kodowanie UTF-8.

```
months = [Sty, Lut, Mar, Kwi, Maj, Cze, Lip, Sie, Wrz, Paź, Lis, Gru]
classic_pv_kwh = [270, 430, 800, 1120, 1270, 1320, 1350, 1250, 1000, 690, 360, 230]
vertical_pv_kwh = [300, 470, 820, 1050, 1190, 1220, 1250, 1210, 1080, 820, 560, 330]
load_kwh = [1200, 1100, 1000, 900, 800, 750, 700, 750, 900, 1050, 1200, 1300]
classic_self_consumption_kwh = classic_pv_kwh * monthly_rate_classic, normalized to 5466.9
vertical_self_consumption_kwh = vertical_pv_kwh * monthly_rate_vertical, normalized to 6773.5
export_kwh = pv_kwh - self_consumption_kwh
self_consumption_ratio = sum(self_consumption_kwh) / sum(pv_kwh)
load_coverage = sum(self_consumption_kwh) / sum(load_kwh)
```

Tabela 15. Pseudokod / definicje zmiennych umożliwiające odtworzenie modelu.

Aneks C. Macierz dowodowa publikacji

Obszar	Status	Co to znaczy
Pomiary terenowe	brak	do wykonania w pilotażu
Model produkcji klasycznej	S/A	jawny szereg miesięczny; lokalizacja proxy
Model produkcji bifacialnej	S/A	scenariusz pochodny; wymaga modelu lokalnego
Autokonsumpcja	S/A	syntetyczny popyt i reguła udziałów
Mikroklimat / woda / flora	P	koncepcja metryk i protokołu
Relokowalność	P	lista parametrów do testu 1:1
ARW+	P	autorska propozycja schematu danych
Certyfikacja	brak	nie deklarowano certyfikacji całego systemu

Tabela 16. Macierz dowodowa: co publikacja pokazuje, a czego jeszcze nie rozstrzyga.

Aneks D. Nota do publikacji internetowej

Rekomendowany opis przy udostępnianiu: „Autorskie studium porównawcze pionowej bifacialnej PV i klasycznej instalacji fotowoltaicznej. Publikacja pokazuje model danych, hipotezy dla EasyClimate Spine® oraz protokół pilotażowy. Wyniki są scenariuszowe i wymagają walidacji lokalnej.”

Do publikacji internetowej warto dołączyć osobno: arkusz z danymi i założeniami, wersję PDF z metadanymi, numer wersji oraz datę dostępu. Ilustracje koncepcyjne powinny być opisane jako wizualizacje, a wykresy jako wyniki modelu — zapobiega to myleniu obrazu z dokumentacją powykonawczą.