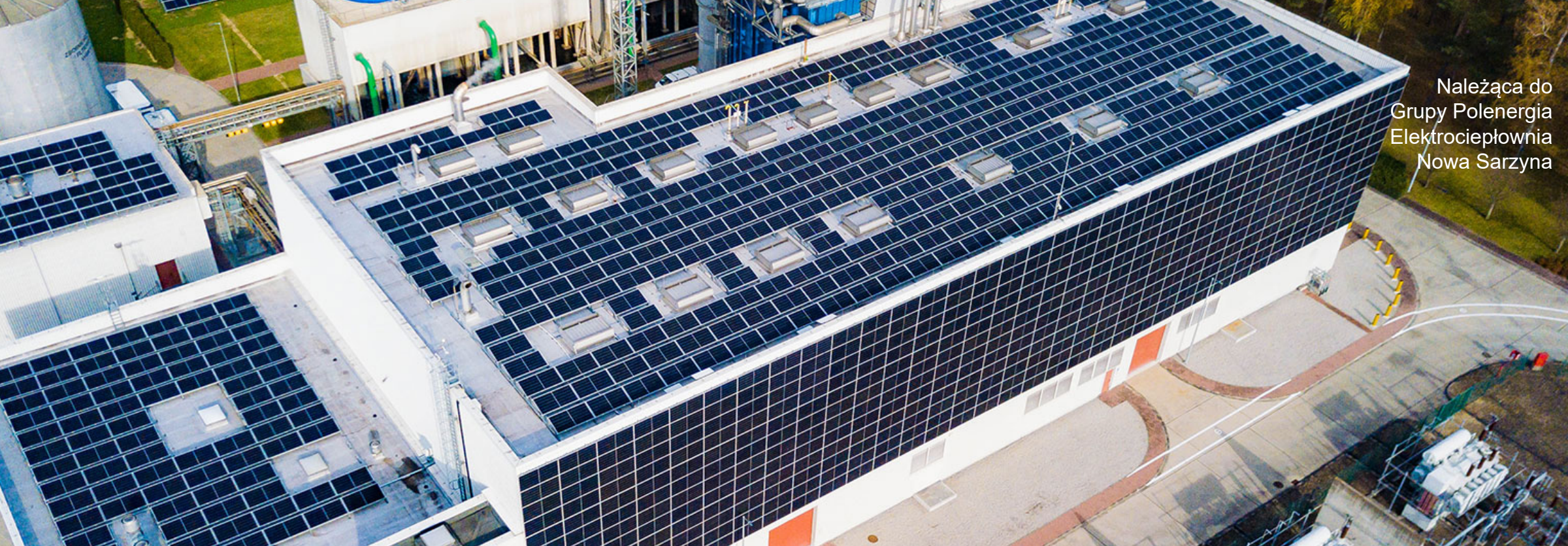




Należąca do
Grupy Polenergia
Elektrociepłownia
Nowa Sarzyna

Transformacja Energetyczna Firmy - Jak Obniżyć Koszty Energii Nawet o 70%

Niniejszy dokument przedstawia kompleksowy przewodnik transformacji energetycznej dla firm w Polsce, gdzie ceny energii elektrycznej osiągają poziom 850-1000 zC/MWh. Prezentujemy szczegółową analizę, która pokazuje jak przedsiębiorstwo zużywające 1200 MWh rocznie może zaoszczędzić nawet 800-900 tysięcy złotych poprzez wdrożenie nowoczesnych rozwiązań fotowoltaicznych, magazynów energii oraz systemów kogeneracyjnych. Obniżenie kosztów energii z poziomu około 850 zł/MWh do zaledwie 70-120 zł/MWh jest możliwe dzięki własnej produkcji, co w perspektywie 10-letniej przekłada się na oszczędności rzędu 8-9 milionów złotych. W dokumencie znajdziesz szczegółowe porównania systemów produkcji energii, analizy zwrotu z inwestycji oraz konkretne kroki wdrożeniowe dostosowane do przedsiębiorstw każdej wielkości.

Analiza obecnej sytuacji energetycznej firm w Polsce

Większość firm w Polsce funkcjonuje w oparciu o tradycyjny model zaopatrzenia w energię elektryczną - kupują energię bezpośrednio od operatorów systemu dystrybucyjnego (OSD) po cenach rynkowych, które w ostatnich latach podlegały znacznym wahaniom. Aktualne ceny energii elektrycznej dla przedsiębiorstw oscylują w granicach 850-1000 zł za MWh, co stanowi istotny element kosztów operacyjnych wielu firm.

Przedsiębiorcy często nie są świadomi, że mogą znacząco obniżyć koszty energii poprzez strategiczne inwestycje w autonomiczne systemy energetyczne. Obecny model zakupu energii z sieci stawia firmy w pozycji zależnej od dynamiki rynkowej, podczas gdy implementacja własnych rozwiązań energetycznych może zapewnić stabilność cenową na dekady oraz zwiększyć konkurencyjność.

Pierwszym krokiem w procesie optymalizacji jest przeprowadzenie kompleksowego audytu energetycznego, który pozwoli zidentyfikować rzeczywiste potrzeby energetyczne firmy, profil zużycia w ciągu doby oraz roku, a także możliwości techniczne wdrożenia autonomicznych systemów energetycznych. Analiza ta stanowi fundament dla opracowania długoterminowej strategii transformacji energetycznej przedsiębiorstwa, ukierunkowanej na systematyczne obniżanie kosztów oraz zwiększanie niezależności energetycznej.

Fundamenty transformacji energetycznej przedsiębiorstwa

Skuteczna transformacja energetyczna firmy wymaga systematycznego podejścia, które w perspektywie kilku lat pozwoli osiągnąć maksymalne korzyści ekonomiczne i środowiskowe. Proces ten składa się z kilku kluczowych etapów, które należy wdrażać w odpowiedniej kolejności:

1. Audyt energetyczny i optymalizacja obecnego zużycia - analiza profilu zużycia, zmiana grupy taryfowej, redukcja zbędnych obciążeń, implementacja prostych rozwiązań oszczędnościowych.
2. Inwestycje niskonakładowe - modernizacja oświetlenia na LED, instalacja systemów automatyki budynkowej (BMS), optymalizacja pracy urządzeń chłodniczych i grzewczych.
3. Produkcja własnej energii - instalacja systemów fotowoltaicznych w konfiguracji wschód-zachód, wykorzystujących efekt rear gain.
4. Magazynowanie energii - wdrożenie magazynów energii Scavolt dla stabilizacji dostaw i maksymalizacji autokonsumpcji.
5. Kogeneracja (CHP) - instalacja generatorów wytwarzających jednocześnie energię elektryczną i ciepłą.
6. Elektrolizery wodoru - produkcja wodoru jako paliwa do generatorów CHP w okresach nadwyżek energii z OZE.
7. Integracja w ramach spółdzielni energetycznej - współdzielenie infrastruktury i energii z innymi podmiotami w regionie.

Właściwa implementacja powyższych kroków pozwala na systematyczne obniżanie kosztów energii, przy jednoczesnym zwiększaniu niezależności energetycznej przedsiębiorstwa. Kluczowym elementem sukcesu jest holistyczne podejście, uwzględniające wszystkie aspekty funkcjonowania firmy oraz długoterminową perspektywę ekonomiczną.

Audyt energetyczny - pierwszy krok do oszczędności

Profesjonalny audyt energetyczny stanowi fundament procesu optymalizacji kosztów energii w przedsiębiorstwie. Jest to kompleksowa analiza, która powinna obejmować następujące elementy:

- Szczegółową analizę faktur za energię elektryczną z ostatnich 12-24 miesięcy, ze szczególnym uwzględnieniem struktury opłat, mocy zamówionej oraz profilu zużycia.
- Identyfikację głównych odbiorników energii w firmie oraz ich charakterystykę pracy (moc, czas pracy, sezonowość).
- Analizę profilu dobowego zużycia energii z podziałem na strefy czasowe i dni tygodnia.
- Ocenę efektywności energetycznej budynków i instalacji technologicznych.
- Identyfikację potencjału do wdrożenia rozwiązań oszczędnościowych oraz własnych źródeł energii.
- Analizę możliwości zmiany grupy taryfowej lub dostawcy energii.

Wyniki audytu energetycznego pozwalają na opracowanie konkretnych rekomendacji dotyczących optymalizacji zużycia energii. Już sama zmiana grupy taryfowej (np. z C21 na C22a lub C23) może przynieść oszczędności rzędu 5-10% bez żadnych dodatkowych inwestycji. Podobnie, dopasowanie mocy zamówionej do rzeczywistych potrzeb firmy często pozwala na redukcję stałych opłat dystrybucyjnych.

Audyt energetyczny powinien być przeprowadzony przez doświadczonych specjalistów, którzy są w stanie nie tylko zidentyfikować obszary potencjalnych oszczędności, ale również zaproponować konkretne rozwiązania techniczne i organizacyjne, dostosowane do specyfiki przedsiębiorstwa. Inwestycja w profesjonalny audyt energetyczny zwraca się zazwyczaj wielokrotnie już w pierwszym roku od jego przeprowadzenia.

Inwestycje niskonakładowe - szybki zwrot z modernizacji

Po przeprowadzeniu audytu energetycznego kolejnym krokiem powinno być wdrożenie inwestycji niskonakładowych, które charakteryzują się wysoką stopą zwrotu i krótkim okresem amortyzacji, zazwyczaj nieprzekraczającym 12-18 miesięcy. Te relatywnie proste działania mogą przynieść oszczędności rzędu 10-20% w skali roku.

Modernizacja oświetlenia

Wymiana tradycyjnych źródeł światła na systemy LED z inteligentnym sterowaniem pozwala obniżyć zużycie energii na oświetlenie nawet o 50-80%. Dodatkowo, zastosowanie czujników ruchu i natężenia światła zewnętrznego umożliwia dalszą optymalizację zużycia energii.

Systemy zarządzania budynkiem

Implementacja systemów BMS (Building Management System) umożliwia automatyczne sterowanie ogrzewaniem, wentylacją, klimatyzacją i oświetleniem w zależności od rzeczywistych potrzeb. Tego typu rozwiązania pozwalają na redukcję zużycia energii o 10-15%.

Sterowanie obciążeniem szczytowym

Wdrożenie systemów peak shaving, które optymalizują pobór energii w godzinach szczytowych, pozwala na obniżenie opłat za moc zamówioną oraz uniknięcie kar za przekroczenie mocy umownej. Efekt ekonomiczny może sięgać 5-10% całkowitych kosztów energii.

Istotnym elementem jest również edukacja pracowników w zakresie efektywnego korzystania z energii. Proste nawyki, takie jak wyłączanie nieużywanych urządzeń czy optymalne wykorzystanie światła dziennego, mogą przynieść wymierne oszczędności. Warto rozważyć wprowadzenie systemu motywacyjnego, premiującego pracowników za proponowanie i wdrażanie rozwiązań oszczędnościowych.

Inwestycje niskonakładowe stanowią doskonały pierwszy krok w transformacji energetycznej przedsiębiorstwa, pozwalając na szybkie uzyskanie wymiernych korzyści finansowych przy minimalnym ryzyku inwestycyjnym. Ponadto, sukces tych projektów buduje pozytywne nastawienie kadry zarządzającej do dalszych, bardziej zaawansowanych inwestycji w obszarze efektywności energetycznej.

Ocena potencjału energetycznego przedsiębiorstwa

Pierwszym krokiem w procesie transformacji energetycznej jest kompleksowa ocena potencjału energetycznego przedsiębiorstwa. Analiza ta powinna obejmować następujące elementy:



Analiza profilu zużycia energii

Szczegółowe badanie dobowego, tygodniowego i sezonowego zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepłą. Identyfikacja szczytów zużycia oraz okresów minimalnego zapotrzebowania.



Inwentaryzacja nieruchomości

Ocena dostępnych powierzchni dachowych i gruntowych pod kątem instalacji fotowoltaicznych. Analiza konstrukcji dachów, ich nośności, orientacji oraz potencjalnych zacięnięć.



Analiza procesów technologicznych

Identyfikacja procesów energochłonnych oraz możliwości ich optymalizacji. Ocena potencjału odzysku ciepła odpadowego z procesów produkcyjnych.



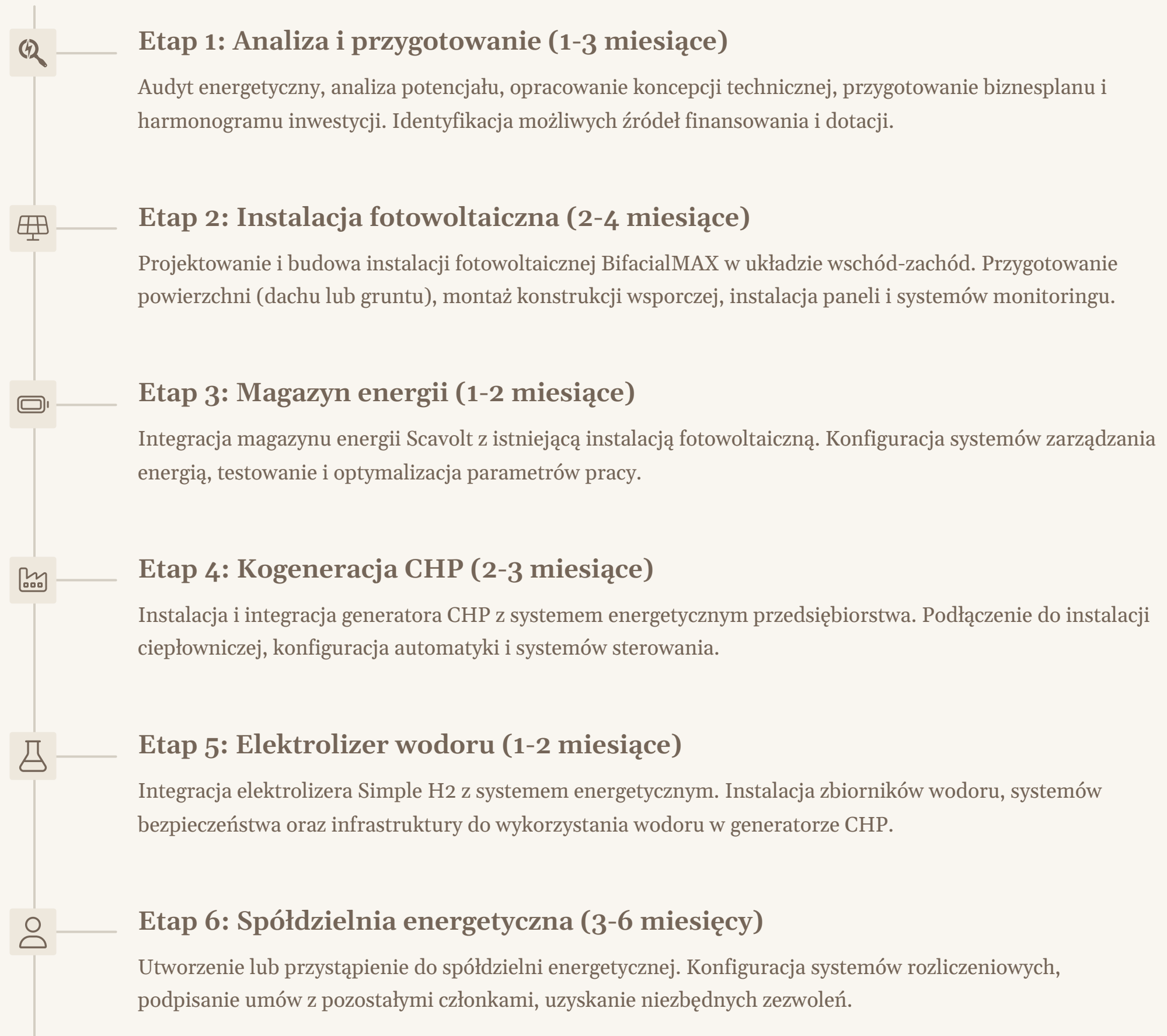
Audyt infrastruktury energetycznej

Ocena stanu przyłączy energetycznych, transformatorów, rozdzielni oraz instalacji wewnętrznych pod kątem efektywności i możliwości integracji z nowymi źródłami energii.

Na podstawie zebranych danych opracowywany jest szczegółowy raport, zawierający rekomendacje dotyczące optymalnej konfiguracji systemu energetycznego dla danego przedsiębiorstwa. Raport ten uwzględnia specyfikę działalności firmy, jej możliwości finansowe oraz długoterminowe cele biznesowe.

Warto podkreślić, że każde przedsiębiorstwo ma unikalny profil energetyczny, dlatego rozwiązania muszą być zawsze dostosowane do indywidualnych potrzeb. Nie istnieje uniwersalny model transformacji energetycznej, który byłby optymalny dla wszystkich firm. Profesjonalna ocena potencjału, przeprowadzona przez doświadczonych ekspertów, jest kluczowym elementem sukcesu całego procesu i pozwala uniknąć kosztownych błędów na etapie planowania i realizacji inwestycji.

Plan wdrożenia rozwiązań energetycznych - harmonogram działań



Całkowity czas realizacji kompleksowego projektu transformacji energetycznej przedsiębiorstwa wynosi od 10 do 20 miesięcy, w zależności od skali i złożoności inwestycji. Kluczowym elementem sukcesu jest właściwa koordynacja poszczególnych etapów oraz zapewnienie płynnego przejścia między nimi.

Warto podkreślić, że już po zakończeniu etapu 2 (instalacja fotowoltaiczna) przedsiębiorstwo zaczyna osiągać wymierne oszczędności, które mogą być reinwestowane w kolejne etapy transformacji. Takie podejście pozwala na rozłożenie nakładów inwestycyjnych w czasie i zmniejszenie obciążenia finansowego.

Źródła finansowania transformacji energetycznej

Transformacja energetyczna przedsiębiorstwa wiąże się z istotnymi nakładami inwestycyjnymi, jednak istnieje szereg mechanizmów finansowych, które mogą znacząco obniżyć koszty tej transformacji oraz przyspieszyć zwrot z inwestycji:

Dotacje z programu FEnIKS

Program Fundusze Europejskie na Infrastrukturę, Klimat, Środowisko oferuje bezzwrotne dofinansowanie do 70% kosztów kwalifikowanych dla inwestycji w odnawialne źródła energii i efektywność energetyczną przedsiębiorstw.

Krajowy Plan Odbudowy (KPO)

W ramach KPO dostępne są preferencyjne pożyczki oraz dotacje na transformację energetyczną firm, ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań innowacyjnych oraz o wysokim potencjale redukcji emisji CO₂.

Program "Energia dla Firm"

Oferuje dotacje do 50% kosztów kwalifikowanych oraz niskooprocentowane pożyczki na inwestycje w OZE, magazyny energii oraz systemy zarządzania energią.

Ulga podatkowa na innowacje

Możliwość odliczenia od podstawy opodatkowania do 150% kosztów związanych z wdrażaniem innowacyjnych rozwiązań energetycznych, w tym systemów BifacialMAX czy elektrolizerów wodoru.

Oprócz wsparcia publicznego, dostępne są również instrumenty finansowe oferowane przez instytucje komercyjne:

- Leasing operacyjny lub finansowy instalacji fotowoltaicznych i magazynów energii - pozwala na rozłożenie kosztów inwestycji w czasie oraz korzystne rozliczenia podatkowe.
- Kredyty ekologiczne oferowane przez banki komercyjne na preferencyjnych warunkach (niższe oprocentowanie, dłuższe okresy karencji).
- Model ESCO (Energy Service Company) - finansowanie inwestycji przez firmę zewnętrzną, która następnie partycypuje w uzyskanych oszczędnościach.
- Emisja zielonych obligacji - dla większych przedsiębiorstw możliwe jest pozyskanie kapitału poprzez emisję obligacji dedykowanych projektom prośrodowiskowym.

Optimalny model finansowania zależy od specyfiki przedsiębiorstwa, skali inwestycji oraz dostępnych w danym momencie programów wsparcia. Profesjonalne doradztwo w tym zakresie pozwala na maksymalizację korzyści finansowych i minimalizację kosztów całkowitych transformacji energetycznej.

Porównanie efektywności ekonomicznej różnych systemów fotowoltaicznych

Parametr	Tradycyjny PV (południe)	Tracker jednoosiowy	BifacialMAX (dach)	BifacialMAX (grunt)
Typ modułu	Monofacial	Bifacial/Monofacial	Bifacial (Glass-Glass)	Bifacial (Glass-Glass)
Orientacja	Południe, stała	Oś N-S (obracająca się)	Wschód-Zachód, stała	Wschód-Zachód, stała
Rear Gain (%)	0%	~7% (jeśli bifacial)	+18%	+25%
Roczna produkcja (Warszawa)	~1000 kWh/kWp	~1330 kWh/kWp	~1220 kWh/kWp	~1260 kWh/kWp
Wysokość montażu	30-50 cm	80-120 cm	40 cm	110 cm
LCOE (średnia 30 lat)	~280-320 PLN/MWh	~290-340 PLN/MWh	~180-200 PLN/MWh	~170-190 PLN/MWh
Potrzeby serwisowe	Niskie	Wysokie (ruchome części)	Bardzo niskie	Bardzo niskie
Żywotność systemu	25-30 lat	20-25 lat	40-50 lat (Glass-Glass)	40-50 lat (Glass-Glass)
Koszty O&M	Umiarkowane	Wysokie	Minimalne	Minimalne
Ryzyko wiatr/burza	Średnie	Wysokie (obracające się ramiona)	Niskie (stałe, niski profil)	Niskie (stałe, wzmocnione)
CapEx (PLN/kWp)	~2600-3000	~3200-3800	~2800-3100	~2900-3300

Powyższa tabela przedstawia kompleksowe porównanie różnych systemów fotowoltaicznych dostępnych na rynku. Analiza uwzględnia nie tylko początkowe koszty inwestycyjne, ale również uzysk energii, trwałość, koszty eksploatacji oraz wskaźnik LCOE (Levelized Cost of Energy), który określa rzeczywisty koszt produkcji 1 MWh energii w całym okresie życia instalacji.

Z analizy wynika, że systemy BifacialMAX w układzie wschód-zachód, zarówno w wersji dachowej jak i gruntowej, oferują najniższy LCOE, a więc najniższy koszt produkcji energii w długim okresie. Jest to efektem kombinacji wysokiego uzysku energii (dzięki efektowi rear gain), długiej żywotności modułów Glass-Glass (40-50 lat) oraz niskich kosztów eksploatacyjnych (brak ruchomych części wymagających regularnej konserwacji).

Warto zwrócić uwagę, że chociaż trackery jednoosiowe oferują najwyższą produkcję energii w ujęciu rocznym, ich wysoki koszt początkowy oraz znaczne koszty serwisowe sprawiają, że ich efektywność ekonomiczna jest niższa niż systemów BifacialMAX. Dodatkowo, trackery są bardziej podatne na awarie i uszkodzenia w ekstremalnych warunkach pogodowych.

Zarządzanie energią w przedsiębiorstwie - najlepsze praktyki

Efektywne zarządzanie energią w przedsiębiorstwie stanowi kluczowy element strategii optymalizacji kosztów. Nawet najlepiej zaprojektowany system energetyczny wymaga odpowiedniego zarządzania, aby w pełni wykorzystać jego potencjał. Poniżej przedstawiamy najlepsze praktyki w tym zakresie:

	Monitoring i analiza zużycia Wdrożenie systemów monitoringu zużycia energii w czasie rzeczywistym, z funkcją analizy trendów i alertów o anomaliach. Regularna analiza danych pozwala na identyfikację obszarów wymagających optymalizacji oraz weryfikację skuteczności wdrożonych rozwiązań.		Automatyzacja procesów Wykorzystanie systemów automatyki przemysłowej do optymalizacji procesów energochłonnych. Inteligentne algorytmy mogą dostosowywać parametry pracy urządzeń do aktualnych warunków, minimalizując zużycie energii przy zachowaniu wymaganej wydajności.		Zaangażowanie pracowników Regularne szkolenia i programy motywacyjne dla pracowników, zachęcające do oszczędzania energii i zgłaszania pomysłów optymalizacyjnych. Świadomość energetyczna na wszystkich szczeblach organizacji jest kluczowa dla sukcesu strategii energetycznej.		Zarządzanie popytem Planowanie procesów energochłonnych w okresach niższych cen energii lub wyższej produkcji z OZE. Elastyczne dostosowywanie profilu zużycia do dostępności energii z własnych źródeł oraz zmiennych taryf energetycznych.
---	--	---	--	---	--	---	--

Istotnym elementem efektywnego zarządzania energią jest również wdrożenie systemu zarządzania energią zgodnego z normą ISO 50001. Standard ten dostarcza ram dla systematycznego podejścia do zarządzania energią, obejmującego planowanie, monitorowanie, pomiary, dokumentację oraz ciągłe doskonalenie. Certyfikacja ISO 50001 nie tylko potwierdza zaangażowanie przedsiębiorstwa w efektywność energetyczną, ale również może przynieść wymierne korzyści biznesowe, takie jak dostęp do preferencyjnych warunków ubezpieczeń czy lepszą pozycję w przetargach publicznych.

Warto również rozważyć zatrudnienie lub wyszkolenie dedykowanego managera ds. energii, który będzie odpowiedzialny za kompleksowe zarządzanie strategią energetyczną przedsiębiorstwa, koordynację działań optymalizacyjnych oraz monitorowanie efektów wdrożonych rozwiązań.

Od teorii do praktyki - studium przypadku transformacji energetycznej

Przedstawiamy konkretny przykład transformacji energetycznej średniej wielkości zakładu produkcyjnego z branży metalowej, który zdecydował się na kompleksowe podejście do optymalizacji kosztów energii. Firma zatrudnia 120 pracowników i działa w trybie dwuzmianowym, zużywając rocznie około 1500 MWh energii elektrycznej oraz 2000 MWh energii cieplnej.

Stan początkowy:

- Koszt energii elektrycznej: 850 zł/MWh (1 275 000 zł rocznie)
- Koszt energii cieplnej (gaz ziemny): 280 zł/MWh (560 000 zł rocznie)
- Łączne koszty energii: 1 835 000 zł rocznie
- Moc zamówiona: 450 kW
- Powierzchnia dachu płaskiego: 4000 m²
- Teren przyległy: 1 ha

Plan transformacji energetycznej:

1. **Etap 1 (rok 1):** Audyt energetyczny, zmiana taryfy energetycznej, modernizacja oświetlenia na LED, implementacja systemu BMS.
 - Koszt inwestycji: 280 000 zł
 - Roczne oszczędności: 210 000 zł (11,4%)
2. **Etap 2 (rok 1-2):** Instalacja fotowoltaiczna BifacialMAX na dachu (600 kWp) oraz na gruncie (400 kWp).
 - Koszt inwestycji: 2 500 000 zł
 - Produkcja energii: 1200 MWh/rok
 - Dodatkowe roczne oszczędności: 840 000 zł (45,8%)
3. **Etap 3 (rok 2-3):** Magazyn energii Scavolt o pojemności 500 kWh oraz generator CHP o mocy 100 kWe/150 kWt.
 - Koszt inwestycji: 1 400 000 zł
 - Dodatkowe roczne oszczędności: 250 000 zł (13,6%)
4. **Etap 4 (rok 3-4):** Elektrolizer Simple H2 o mocy 50 kW oraz przystąpienie do spółdzielni energetycznej.
 - Koszt inwestycji: 600 000 zł
 - Dodatkowe roczne oszczędności: 140 000 zł (7,6%)

Rezultaty po 4 latach:

- Łączny koszt inwestycji: 4 780 000 zł (deklarowany zwrot z KPO i innych dotacji: 1 430 000 zł)
- Koszt netto inwestycji: 3 350 000 zł
- Roczne oszczędności: 1 440 000 zł (78,5% w stosunku do stanu początkowego)
- Prosty okres zwrotu: 2,3 roku (z uwzględnieniem dotacji)
- Redukcja emisji CO₂: 1250 ton rocznie
- Energia z OZE: >80% całkowitego zapotrzebowania

Przykład ten pokazuje, że systematyczne podejście do transformacji energetycznej, wykorzystujące synergię różnych technologii, może przynieść firmie znaczące korzyści ekonomiczne i środowiskowe w relatywnie krótkim czasie. Kluczowym czynnikiem sukcesu było holistyczne spojrzenie na system energetyczny przedsiębiorstwa oraz długofalowa strategia inwestycyjna.

Korzyści biznesowe z transformacji energetycznej

78%

Redukcja kosztów energii

Przeciętna oszczędność dla firmy po wdrożeniu kompleksowego systemu energetycznego

3.5

Lata zwrotu

Średni czas zwrotu inwestycji w pełny system hybrydowy (z uwzględnieniem dotacji)

25

Lata stabilności

Minimalny okres stabilnych, przewidywalnych kosztów energii po transformacji

85%

Redukcja emisji CO₂

Przeciętna redukcja śladu węglowego firmy po pełnej transformacji energetycznej

Transformacja energetyczna przedsiębiorstwa przynosi liczne korzyści biznesowe, wykraczające daleko poza samą redukcję kosztów energii. Inwestycja w nowoczesne, autonomiczne systemy energetyczne pozwala firmie:

- **Uzyskać przewagę konkurencyjną** - niższe koszty operacyjne przekładają się na konkurencyjność cenową produktów i usług. W niektórych branżach koszty energii stanowią istotny składnik kosztów całkowitych, a ich redukcja może bezpośrednio wpłynąć na marżę.
- **Uniezależnić się od wahań cen energii** - własny system produkcji energii zapewnia stabilność kosztową na dekady, co ułatwia długoterminowe planowanie finansowe i inwestycyjne.
- **Podnieść wartość nieruchomości** - budynki z zaawansowanymi, energooszczędnymi systemami oraz własnymi źródłami energii mają wyższą wartość rynkową i są bardziej atrakcyjne dla potencjalnych nabywców czy najemców.
- **Poprawić wizerunek marki** - zaangażowanie w zrównoważony rozwój i redukcję emisji CO₂ jest coraz częściej doceniane przez klientów, partnerów biznesowych i inwestorów. Może to przełożyć się na dostęp do nowych rynków i klientów.
- **Spełnić przyszłe wymogi regulacyjne** - polityka klimatyczna UE zakłada systematyczne zaostrzanie norm emisyjnych. Firmy, które już teraz inwestują w dekarbonizację, będą lepiej przygotowane na przyszłe regulacje.
- **Uzyskać dostęp do preferencyjnego finansowania** - banki i instytucje finansowe coraz częściej oferują lepsze warunki kredytowania dla firm zaangażowanych w zrównoważony rozwój i redukcję emisji CO₂.

Warto podkreślić, że obok bezpośrednich korzyści finansowych, transformacja energetyczna przynosi również korzyści trudne do bezpośredniej wyceny, takie jak zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego, poprawa jakości energii (mniej zakłóceń, stabilniejsze parametry) czy pozytywny wpływ na środowisko naturalne i lokalne społeczności.

Zarządzanie ryzykiem w projektach transformacji energetycznej

Realizacja kompleksowych projektów transformacji energetycznej wiąże się z różnymi kategoriami ryzyka, które należy odpowiednio zidentyfikować i zarządzać nimi, aby zapewnić sukces inwestycji. Poniżej przedstawiamy kluczowe rodzaje ryzyka oraz strategie ich mitygacji:

Ryzyko technologiczne

- Wybór niedostosowanych lub nieodpowiednich technologii
- Problemy z integracją różnych komponentów systemu
- Niedostateczna wydajność lub awarie elementów systemu

Mitygacja: Współpraca z doświadczonymi dostawcami, weryfikacja referencji, szczegółowe analizy techniczne, testy kompatybilności, odpowiednie gwarancje i serwis pogwarancyjny.

Ryzyko finansowe

- Niedoszacowanie kosztów inwestycji
- Przeszacowanie potencjalnych oszczędności
- Zmiany w systemach wsparcia i dotacjach
- Wahania kursu walut (dla importowanych komponentów)

Mitygacja: Dokładne analizy finansowe, uwzględnienie rezerw budżetowych, dywersyfikacja źródeł finansowania, zabezpieczenie kursowe, etapowe realizowanie inwestycji.

Ryzyko regulacyjne

- Zmiany w prawie energetycznym i systemie wsparcia OZE
- Opóźnienia w uzyskiwaniu pozwoleń i koncesji
- Zmiany w opłatach dystrybucyjnych i zasadach rozliczeń

Mitygacja: Bieżący monitoring zmian prawnych, współpraca z doradcami prawnymi, aktywny udział w konsultacjach społecznych, elastyczne planowanie inwestycji.

Ryzyko operacyjne

- Niedobór wykwalifikowanych kadr do obsługi nowych systemów
- Problemy z integracją nowych systemów z istniejącymi procesami
- Opór organizacyjny wobec zmian

Mitygacja: Programy szkoleniowe dla pracowników, stopniowe wdrażanie zmian, angażowanie personelu w proces transformacji, odpowiednia komunikacja wewnętrzna.

Kluczowym elementem skutecznego zarządzania ryzykiem jest kompleksowe podejście do planowania projektu, uwzględniające analizę scenariuszową (wariant bazowy, optymistyczny, pesymistyczny) oraz plan reakcji na potencjalne problemy. Warto również zapewnić odpowiedni nadzór nad realizacją projektu, regularny monitoring postępów oraz elastyczność w dostosowywaniu strategii do zmieniających się warunków.

Firmy, które skutecznie zarządzają ryzykiem w projektach transformacji energetycznej, nie tylko minimalizują potencjalne problemy, ale również maksymalizują korzyści wynikające z inwestycji, zapewniając optymalny zwrot z zaangażowanego kapitału oraz długoterminową przewagę konkurencyjną.

Praktyczne wskazówki dla firm rozpoczynających transformację energetyczną

Dla firm, które rozważają rozpoczęcie procesu transformacji energetycznej, prezentujemy zestaw praktycznych wskazówek, które pomogą uniknąć typowych błędów i maksymalizować korzyści z inwestycji:



Zacznij od profesjonalnego audytu

Przeprowadź kompleksowy audyt energetyczny, który zidentyfikuje rzeczywiste potrzeby, potencjał oszczędności oraz techniczne możliwości implementacji różnych rozwiązań. Dobry audyt stanowi fundament całego procesu transformacji.



Ustal priorytety i etapy wdrożenia

Opracuj szczegółowy, wieloletni plan transformacji, uwzględniający etapowe wdrażanie rozwiązań oraz ich synergię. Zaczynaj od inwestycji o najkrótszym okresie zwrotu, reinwestując uzyskane oszczędności w kolejne etapy.



Zidentyfikuj dostępne źródła finansowania

Analizuj na bieżąco programy dotacyjne, preferencyjne kredyty oraz inne formy wsparcia finansowego. Profesjonalnie przygotowany wniosek o dofinansowanie może znacząco obniżyć nakłady własne i przyspieszyć zwrot z inwestycji.



Wybierz doświadczonych partnerów

Współpracuj z firmami o udokumentowanym doświadczeniu w realizacji podobnych projektów. Zwracaj uwagę nie tylko na cenę, ale przede wszystkim na referencje, gwarancje oraz zakres oferowanego wsparcia posprzedażowego.



Zwróć uwagę na jakość i kompatybilność

Inwestuj w rozwiązania wysokiej jakości, oferujące długi okres gwarancji i niskie koszty eksploatacji. Upewnij się, że wszystkie elementy systemu są kompatybilne i mogą być efektywnie zintegrowane.



Inwestuj w edukację personelu

Zadbaj o odpowiednie przeszkolenie pracowników w zakresie obsługi i monitoringu nowych systemów energetycznych. Wykwalifikowany personel jest kluczowy dla maksymalizacji korzyści z wdrożonych rozwiązań.

Pamiętaj, że transformacja energetyczna to nie jednorazowa inwestycja, ale długofalowy proces, który wymaga strategicznego podejścia i systematycznych działań. Kluczem do sukcesu jest holistyczne spojrzenie na potrzeby energetyczne przedsiębiorstwa oraz elastyczność w dostosowywaniu strategii do zmieniających się warunków rynkowych i technologicznych.

Firmy, które najskuteczniej przeprowadzają transformację energetyczną, traktują ją nie jako koszt, ale jako strategiczną inwestycję w przyszłość przedsiębiorstwa, przynoszącą liczne korzyści ekonomiczne, środowiskowe i wizerunkowe.

Przyszłość energetyki firmowej - trendy i perspektywy

Transformacja energetyczna przedsiębiorstw znajduje się obecnie w fazie dynamicznego rozwoju, a przyszłość przyniesie dalsze zmiany i innowacje. Bazując na aktualnych trendach oraz prognozach ekspertów, możemy zidentyfikować kluczowe kierunki rozwoju energetyki firmowej w nadchodzących latach:

Cyfryzacja i AI w zarządzaniu energią

Rozwój zaawansowanych algorytmów sztucznej inteligencji do optymalizacji produkcji, magazynowania i zużycia energii.

Inteligentne systemy będą automatycznie dostosowywać parametry pracy urządzeń do aktualnych warunków oraz przewidywać przyszłe zapotrzebowanie.

Nowe technologie magazynowania

Pojawienie się przełomowych technologii magazynowania energii, takich jak baterie przepływowe, superkondensatory czy magazyny grawitacyjne. Umożliwi to długoterminowe, ekonomiczne magazynowanie dużych ilości energii przy niskich kosztach.



Gospodarka wodorowa

Dynamiczny rozwój technologii wodorowych, obniżenie kosztów elektrolizerów i ogniw paliwowych. Wodór stanie się kluczowym nośnikiem energii dla przemysłu, umożliwiając sezonowe magazynowanie energii oraz dekarbonizację procesów wysokotemperaturowych.

Mikrosieci i społeczności energetyczne

Rozwój lokalnych, autonomicznych systemów energetycznych, łączących różne podmioty (firmy, instytucje, gospodarstwa domowe) w ramach wspólnej infrastruktury. Technologie blockchain umożliwią bezpieczne i transparentne rozliczenia między uczestnikami takich społeczności.

Równolegle do rozwoju technologicznego, możemy spodziewać się istotnych zmian w otoczeniu regulacyjnym i biznesowym:

- **Zaostrzenie regulacji dotyczących emisji CO₂** - wprowadzenie nowych mechanizmów podatkowych i rynkowych, zwiększających koszt emisji gazów cieplarnianych i stymulujących inwestycje w niskoemisyjne technologie.
- **Rozwój rynków elastyczności** - powstanie nowych modeli biznesowych związanych z zarządzaniem popytem na energię, agregacją rozproszonej generacji oraz świadczeniem usług bilansujących dla sieci.
- **Nowe modele finansowania** - upowszechnienie innowacyjnych instrumentów finansowych dedykowanych transformacji energetycznej, takich jak zielone obligacje, kontrakty ESCO czy mechanizmy finansowania społecznościowego.
- **Standardy ESG** - rosnące znaczenie kryteriów środowiskowych, społecznych i ładu korporacyjnego w ocenie firm przez inwestorów, klientów i partnerów biznesowych.

Firmy, które już dziś inwestują w transformację energetyczną, będą lepiej przygotowane na nadchodzące zmiany i wyzwania. Budowanie kompetencji w obszarze zarządzania energią oraz doświadczenia w implementacji innowacyjnych rozwiązań stanie się kluczowym czynnikiem konkurencyjności w gospodarce przyszłości.

Podsumowanie - droga do energetycznej niezależności



Transformacja energetyczna przedsiębiorstwa to kompleksowy proces, który przy odpowiednim zaplanowaniu i realizacji może przynieść znaczące korzyści ekonomiczne, środowiskowe i wizerunkowe. Systematyczne podejście, wykorzystujące synergię różnych technologii i rozwiązań, pozwala na redukcję kosztów energii nawet o 70% w perspektywie kilku lat.

Kluczem do sukcesu jest holistyczne spojrzenie na system energetyczny firmy oraz długofalowa strategia inwestycyjna, uwzględniająca nie tylko obecne potrzeby i możliwości, ale również przyszłe trendy i regulacje. Firmy, które już dziś podejmują działania w kierunku transformacji energetycznej, zyskują przewagę konkurencyjną i budują fundamenty zrównoważonego rozwoju na kolejne dekady.

Inwestycja w nowoczesne rozwiązania energetyczne, takie jak fotowoltaika BifacialMAX w układzie wschód-zachód, magazyny energii Scavolt, generatory CHP czy elektrolizery wodoru Simple H2, to nie tylko sposób na obniżenie kosztów, ale również strategiczna decyzja biznesowa, której efekty będą odczuwalne przez wiele lat. W obliczu rosnących cen energii, zaostrzających się regulacji środowiskowych oraz rosnącej presji ze strony klientów i inwestorów na zrównoważony rozwój, transformacja energetyczna staje się nie tyle opcją, co koniecznością dla firm pragnących utrzymać konkurencyjność w dynamicznie zmieniającej się rzeczywistości gospodarczej.

Zapraszamy do kontaktu z naszymi ekspertami, którzy pomogą zaplanować i zrealizować kompleksową transformację energetyczną Twojego przedsiębiorstwa, dostosowaną do jego specyfiki, potrzeb i możliwości finansowych. Pierwszy krok to bezpłatna konsultacja, która może otworzyć drogę do znaczących oszczędności i długoterminowych korzyści biznesowych.

Fotowoltaika w układzie wschód-zachód - rewolucja w produkcji energii



Tradycyjne instalacje fotowoltaiczne, skierowane na południe, nie są optymalnym rozwiązaniem dla większości firm. Innowacyjne podejście, wykorzystujące panele bifacial w układzie wschód-zachód, oferuje szereg przewag, które przekładają się na wymierne korzyści ekonomiczne i funkcjonalne.

System BifacialMAX w układzie wschód-zachód (E-W) wykorzystuje dwustronne moduły fotowoltaiczne Glass-Glass, które generują energię zarówno z promieni padających bezpośrednio na przednią powierzchnię, jak i z promieni odbitych od podłoża, trafiających w tylną część paneli (efekt rear gain). W porównaniu do tradycyjnych instalacji skierowanych na południe, systemy E-W oferują:

- Zwiększoną produkcję energii o 20-26% dzięki efektowi rear gain i optymalnemu wykorzystaniu albedo (współczynnika odbicia światła od podłoża).
- Bardziej równomierną produkcję energii w ciągu dnia - szczyt produkcji przypada na godziny poranne i popołudniowe, co lepiej odpowiada profilowi zużycia większości przedsiębiorstw.
- Mniejsze zapotrzebowanie na magazynowanie energii dzięki lepszemu dopasowaniu krzywej produkcji do krzywej zużycia.
- Wyższą wartość produkowanej energii - energia wytwarzana rano i po południu ma zazwyczaj wyższą cenę rynkową niż energia produkowana w południe.
- Większą odporność na niekorzystne warunki atmosferyczne i zanieczyszczenia dzięki konstrukcji Glass-Glass.

Instalacje BifacialMAX montowane są na specjalnych konstrukcjach podniesionych na wysokość 30-40 cm (dachy) lub 110 cm (grunt), co maksymalizuje efekt rear gain poprzez umożliwienie odbicia światła od podłoża. Dodatkowo, podłoże pokrywane jest białą farbą z TiO_2 lub jasnym kruszywem, co zwiększa albedo do poziomu 70-80% i przekłada się na dodatkowe zwiększenie uzysku energii.

Projektowanie instalacji BifacialMAX na dachach płaskich

Dachy płaskie stanowią idealne miejsce do montażu instalacji fotowoltaicznych w systemie BifacialMAX wschód-zachód. Proces projektowania i realizacji takiej instalacji obejmuje następujące etapy:

Analiza techniczna dachu

Ocena nośności konstrukcji, identyfikacja przeszkód (klimatyzatory, wentylatory, kominy), analiza zacienienia oraz określenie dostępnej powierzchni montażowej. Na tym etapie warto również przeprowadzić analizę termowizyjną, która pozwoli wykryć ewentualne problemy z izolacją dachu.

Projekt koncepcyjny instalacji

Opracowanie optymalnego układu paneli bifacial w konfiguracji wschód-zachód, z uwzględnieniem kąta nachylenia 15° oraz zapewnieniem odpowiedniej odległości od krawędzi dachu i między rzędami paneli. Projektując układ, należy zwrócić szczególną uwagę na minimalizację wzajemnego zacieniania się paneli.

Przygotowanie podłoża

Zabezpieczenie powierzchni dachu oraz naniesienie warstwy refleksyjnej (farba z TiO_2) w celu zwiększenia albedo do poziomu 70-80%. Jest to kluczowy element systemu BifacialMAX, pozwalający na maksymalizację efektu rear gain i zwiększenie produkcji energii nawet o 25%.

Montaż konstrukcji wsporczej

Instalacja specjalnych konstrukcji wsporczych, uniesionych na wysokość 30-40 cm nad powierzchnią dachu. Konstrukcje te są zaprojektowane w sposób minimalizujący zacienienie tylnej części paneli, co jest kluczowe dla efektywnego wykorzystania efektu rear gain.

Montaż paneli i okablowania

Montaż dwustronnych paneli Glass-Glass w układzie wschód-zachód, instalacja optymalizatorów mocy (jeśli są wymagane) oraz kompleksowe okablowanie systemu, zapewniające minimalną utratę energii podczas przesyłu.

Prawidłowo zaprojektowana i wykonana instalacja BifacialMAX na dachu płaskim pozwala na uzyskanie produkcji energii na poziomie 1200 kWh/kWp rocznie, co stanowi znaczną przewagę nad tradycyjnymi rozwiązaniami skierowanymi na południe (ok. 1000 kWh/kWp) oraz zapewnia lepsze dopasowanie profilu produkcji do potrzeb przedsiębiorstwa.

Instalacje BifacialMAX na gruncie - maksymalna efektywność

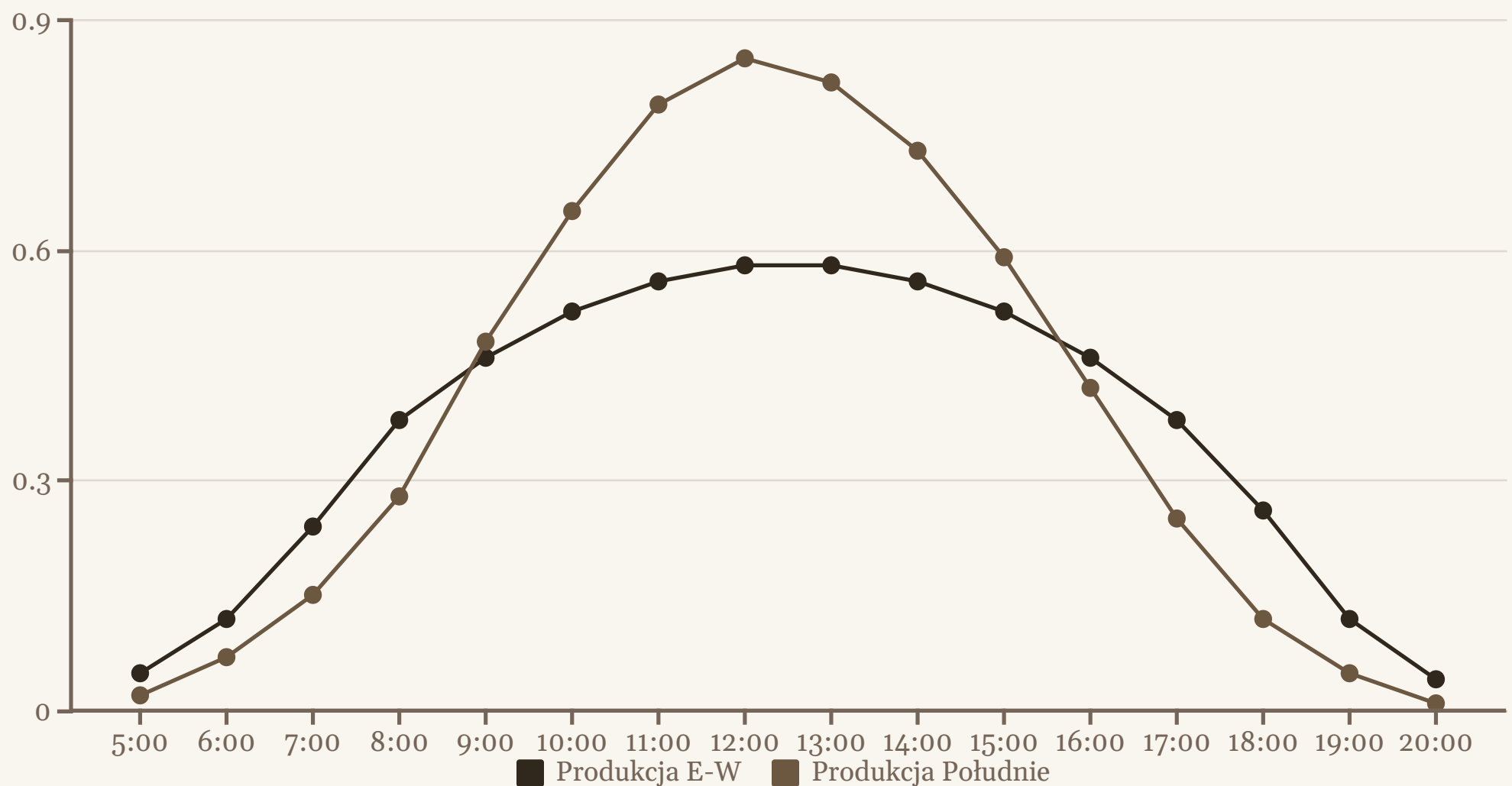
Instalacje gruntowe BifacialMAX oferują jeszcze większą efektywność dzięki możliwości optymalnego ukształtowania konstrukcji wsporczej oraz przygotowania podłoża. Proces realizacji takiej instalacji obejmuje następujące etapy:

1. **Analiza terenu** - badanie geotechniczne podłoża, określenie dostępnej powierzchni, analiza zacienień oraz warunków nasłonecznienia. Ważne jest również sprawdzenie planu zagospodarowania przestrzennego oraz uzyskanie informacji o możliwych ograniczeniach środowiskowych.
2. **Projekt koncepcyjny** - opracowanie optymalnego układu paneli w konfiguracji jednorzędowej (1P) wschód-zachód, z nachyleniem 25°. Taki układ minimalizuje wzajemne zacienienia i maksymalizuje efekt rear gain.
3. **Przygotowanie podłoża** - wyrównanie terenu, usunięcie przeszkód oraz naniesienie warstwy refleksyjnej (jasne kruszywo lub farba z TiO_2) dla zwiększenia albedo do poziomu 70-80%.
4. **Montaż konstrukcji wsporczej** - instalacja specjalnych konstrukcji podniesionych na wysokość około 110 cm nad podłożem, co pozwala na maksymalne wykorzystanie efektu rear gain.
5. **Montaż paneli i infrastruktury elektrycznej** - montaż dwustronnych paneli Glass-Glass, inwerterów, stacji transformatorowych oraz systemu monitoringu produkcji energii.

Instalacje gruntowe BifacialMAX w układzie wschód-zachód osiągają uzysk energii na poziomie 1200 kWh/kWp rocznie, przy czym charakteryzują się korzystniejszym profilem dobowym produkcji niż tradycyjne instalacje skierowane na południe. Dzięki podniesieniu konstrukcji na znaczną wysokość oraz optymalizacji albedo podłoża, efekt rear gain może sięgać nawet 25%, co przekłada się na istotne zwiększenie całkowitej produkcji energii.

Dodatkową zaletą instalacji gruntowych jest możliwość integracji z rolnictwem (agrofotowoltaika), co pozwala na podwójne wykorzystanie gruntu. Przestrzeń pod panelami może być wykorzystana do uprawy roślin o umiarkowanych wymaganiach nasłonecznienia lub jako pastwisko dla zwierząt hodowlanych.

Porównanie profilu produkcji - wschód-zachód vs. południe



Powyższy wykres ilustruje fundamentalną różnicę w profilu produkcji energii między instalacjami fotowoltaicznymi w układzie wschód-zachód a tradycyjnymi systemami skierowanymi na południe. Kluczowe wnioski z tej analizy są następujące:

- Instalacje wschód-zachód (E-W) charakteryzują się bardziej równomiernym rozkładem produkcji w ciągu dnia, z mniejszym szczytem w południe, ale wyższą produkcją rano i po południu.
- Systemy skierowane na południe generują zdecydowaną większość energii w godzinach 10:00-14:00, co często nie pokrywa się z największym zapotrzebowaniem firm.
- Instalacje E-W rozpoczynają produkcję wcześniej rano i kontynuują ją dłużej po południu, co lepiej odpowiada profilowi zużycia większości przedsiębiorstw.
- Bardziej płaska krzywa produkcji systemów E-W przekłada się na mniejsze zapotrzebowanie na magazynowanie energii oraz niższy stopień obciążenia sieci w godzinach południowych.

Dla większości firm, których największe zużycie energii przypada na godziny 7:00-10:00 oraz 14:00-18:00, instalacje w układzie wschód-zachód oferują bardziej korzystny profil produkcji, zwiększając stopień autokonsumpcji i redukując potrzebę zakupu energii z sieci w godzinach szczytowych, kiedy jej cena jest najwyższa.

Efekt Rear Gain - klucz do wyższej produkcji

Efekt Rear Gain to zjawisko wykorzystywane w panelach bifacialnych, które pozwala na generowanie dodatkowej energii z promieni słonecznych odbijających się od podłoża i trafiających w tylną stronę modułu. Jest to kluczowy element zwiększający efektywność systemów BifacialMAX i stanowi istotną przewagę nad tradycyjnymi jednostronnymi panelami.

Skuteczność efektu Rear Gain zależy od kilku kluczowych czynników:

1. **Albedo podłoża** - współczynnik odbicia światła od powierzchni pod panelami. Dla ciemnego podłoża wynosi on zaledwie 10-15%, natomiast dla powierzchni pokrytej farbą z TiO_2 może osiągać nawet 70-80%.
2. **Wysokość montażu paneli** - czym wyżej umieszczone są panele, tym większa ilość światła dociera do tylnej strony modułu. Optymalna wysokość to 30-40 cm dla dachów płaskich i około 110 cm dla instalacji gruntowych.
3. **Konstrukcja nośna** - specjalna konstrukcja BifacialMAX minimalizuje zacienienie tylnej części paneli, co maksymalizuje efekt Rear Gain.
4. **Kąt nachylenia paneli** - optymalny kąt wynosi 15° dla dachów płaskich i 25° dla instalacji gruntowych, co zapewnia balans między produkcją z przedniej strony a efektem Rear Gain.

W praktyce, dobrze zaprojektowany system BifacialMAX z optymalnym albedo podłoża może osiągać Rear Gain na poziomie 20-26%, co przekłada się na proporcjonalny wzrost całkowitej produkcji energii. Jest to szczególnie istotne w kontekście ekonomicznym - koszt zwiększenia albedo podłoża jest relatywnie niski w porównaniu do korzyści wynikających z dodatkowej produkcji energii.

Warto podkreślić, że efekt Rear Gain jest najbardziej efektywny w układzie wschód-zachód, gdzie panele są ustawione pod optymalnym kątem do odbijającego się światła przez cały dzień. W tradycyjnych instalacjach skierowanych na południe efekt ten jest znacznie mniej wydajny ze względu na geometrię układu.

Magazyny energii Scavolt - stabilizacja dostaw i zwiększenie autokonsumpcji



Magazyny energii Scavolt stanowią kluczowy element nowoczesnych systemów energetycznych dla firm, pozwalając na efektywne zarządzanie energią produkowaną z fotowoltaiki oraz optymalizację jej wykorzystania. Dostępne w szerokim zakresie pojemności od 50 kWh do 5 MWh w formie kontenerowej, magazyny te oferują firmom następujące korzyści:

- Zwiększenie autokonsumpcji - magazynowanie nadwyżek energii produkowanej w ciągu dnia do wykorzystania w godzinach wieczornych i nocnych.
- Optymalizację mocy szczytowej (peak shaving) - redukcję opłat za moc zamówioną poprzez pokrywanie szczytów zapotrzebowania energią z magazynu.
- Zabezpieczenie przed przerwami w dostawie energii (UPS) - zapewnienie ciągłości zasilania kluczowych systemów w przypadku awarii sieci.
- Stabilizację parametrów energii - eliminację wahań napięcia i częstotliwości, co przekłada się na dłuższą żywotność urządzeń.
- Możliwość uczestnictwa w rynku bilansującym - dodatkowe przychody za usługi regulacyjne dla sieci energetycznej.

Magazyny Scavolt wyróżniają się zaawansowanym systemem chłodzenia cieczą, co zapewnia optymalną temperaturę pracy baterii oraz wyjątkowe bezpieczeństwo przeciwpożarowe. W przeciwieństwie do wielu konkurencyjnych rozwiązań, system chłodzenia cieczą skutecznie zapobiega przegrzewaniu się ogniw oraz minimalizuje ryzyko powstania i rozprzestrzeniania się pożaru.

Średnia cena magazynów energii Scavolt wynosi około 800 700 zł za 1 MWh pojemności, co przy obecnych cenach energii i możliwościach optymalizacji zużycia przekłada się na okres zwrotu inwestycji wynoszący 5-7 lat. Biorąc pod uwagę żywotność systemu wynoszącą 15-20 lat, inwestycja ta stanowi ekonomicznie uzasadniony element kompleksowego systemu energetycznego dla firm.

Integracja magazynu energii z generatorem CHP - system hybrydowy

Innowacyjnym rozwiązaniem, które znacząco zwiększa efektywność i niezależność energetyczną przedsiębiorstwa, jest integracja magazynu energii Scavolt z generatorem CHP (Combined Heat and Power). System taki działa w następujący sposób:

Magazyn energii stanowi centralny element systemu, gromadzący energię z różnych źródeł OZE (fotowoltaika, wiatr) oraz z generatora CHP. Gdy poziom naładowania magazynu spada poniżej określonego progu (zazwyczaj 20-30% pojemności), generator CHP automatycznie się uruchamia i doładowuje magazyn do optymalnego poziomu.

Takie rozwiązanie oferuje szereg korzyści:



Sezonowa optymalizacja pracy

Latem generator CHP uruchamia się rzadko, co jest korzystne ze względu na mniejsze zapotrzebowanie na energię ciepłą. Większość energii pochodzi wtedy z fotowoltaiki.



Wykorzystanie pełnego potencjału zimą

Zimą, gdy produkcja z fotowoltaiki jest niższa, generator CHP uruchamia się częściej, dostarczając jednocześnie energię elektryczną do magazynu oraz ciepło do systemu grzewczego przedsiębiorstwa.



Zbalansowana efektywność

System zapewnia praktycznie 100% wykorzystanie generatora CHP - energia elektryczna zasila magazyn, a ciepło jest dostarczane do sieci ciepłowniczej i instalacji ciepłej wody użytkowej.

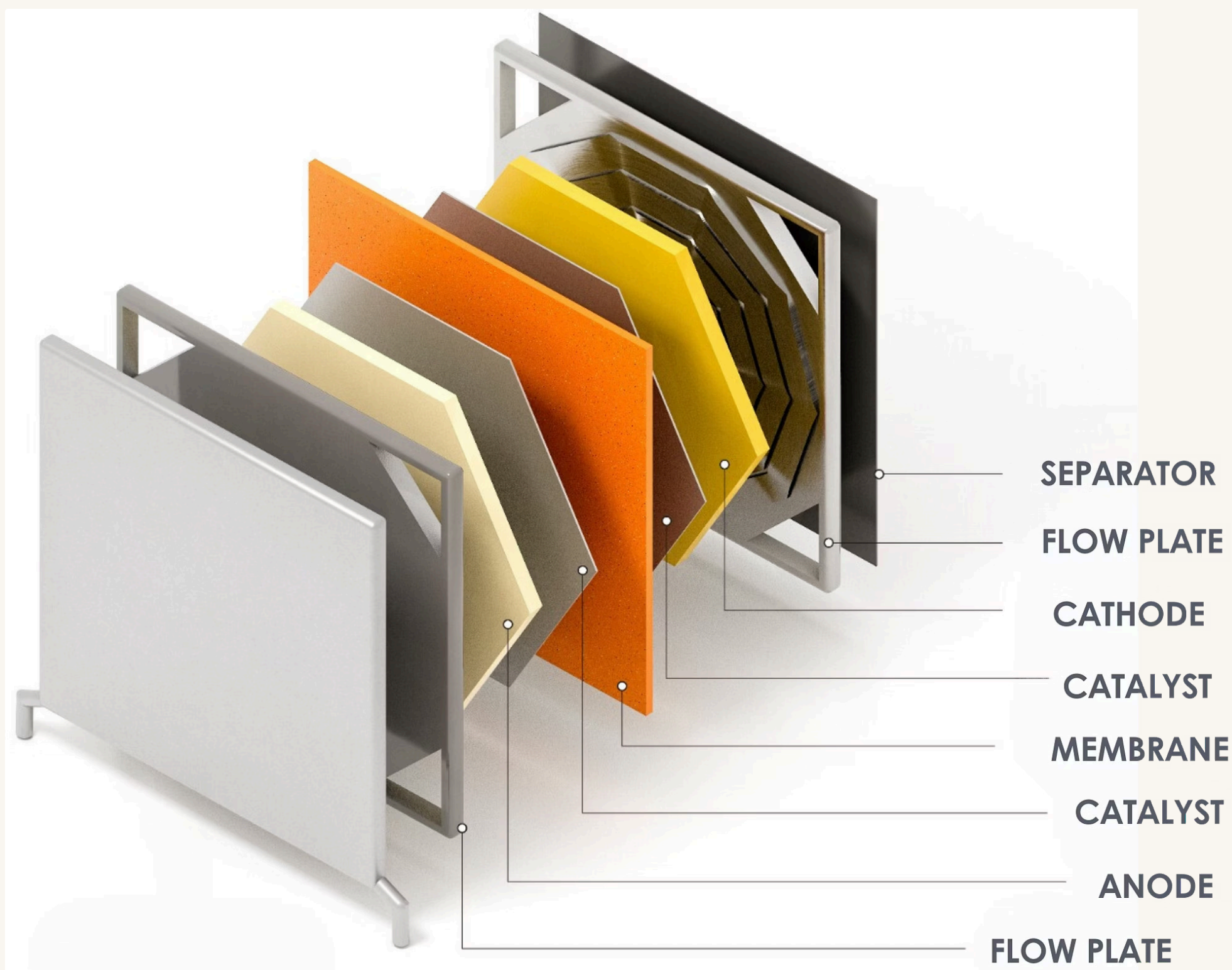


Niezależność energetyczna

Przedsiębiorstwo staje się niezależne od zewnętrznych dostaw energii, co zapewnia stabilność kosztów i bezpieczeństwo energetyczne.

Generator CHP może być zasilany różnymi paliwami, w tym gazem ziemnym, biogazem, a także wodorem produkowanym przez elektrolizery w okresach nadwyżki energii z OZE. Takie podejście pozwala na maksymalne wykorzystanie dostępnych zasobów energetycznych oraz zapewnia elastyczność w doborze najbardziej ekonomicznego źródła energii w zależności od warunków rynkowych.

Elektrolizery wodoru Simple H2 - energetyka przyszłości już dziś



Elektrolizery wodoru produkowane przez polską firmę Simple H2 stanowią innowacyjne rozwiązanie umożliwiające magazynowanie nadwyżek energii elektrycznej w postaci wodoru. Technologia PEM (Proton Exchange Membrane) wykorzystywana w tych urządzeniach pozwala na efektywną konwersję energii elektrycznej na wodór, który może być przechowywany przez długi czas i wykorzystywany jako paliwo do generatorów CHP w okresach zwiększonego zapotrzebowania na energię.

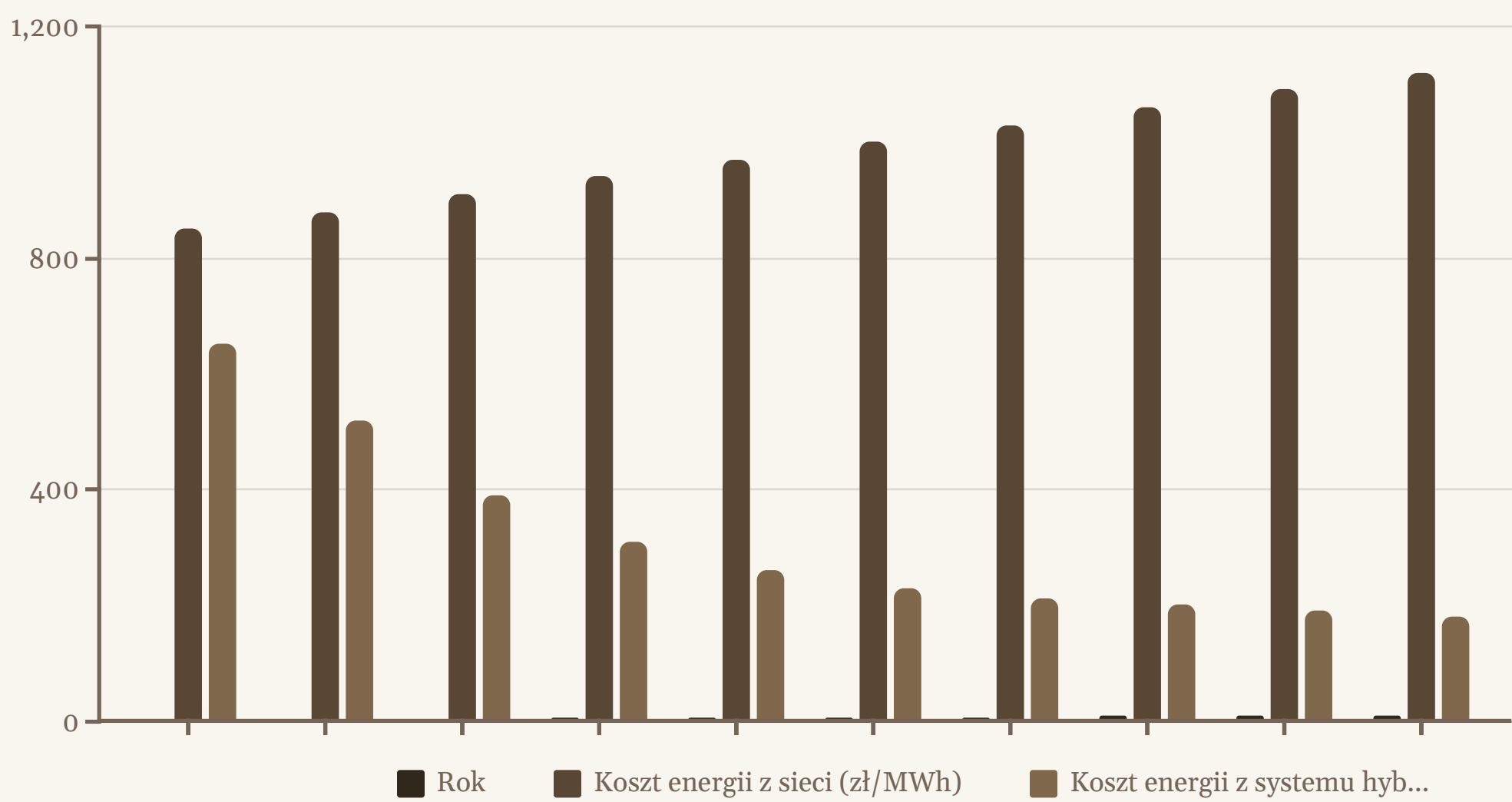
Kluczowe zalety elektrolizerów Simple H2:

- Produkcja wodoru o czystości do 99,999%, co umożliwia jego wykorzystanie nawet w najbardziej wymagających zastosowaniach.
- Pełna integracja z systemami OZE - możliwość produkcji wodoru w okresach nadwyżek energii z fotowoltaiki.
- Polska produkcja - gwarancja najwyższej jakości i kompleksowego wsparcia technicznego.
- Elastyczność - możliwość dostosowania parametrów urządzenia (moc, wydajność, rozmiar) do indywidualnych potrzeb klienta.
- Technologia przyszłości - prognozowane szybkie obniżanie kosztów produkcji wodoru w najbliższych latach.

Elektrolizery Simple H2 mogą być wykorzystywane jako element długoterminowego magazynowania energii sezonowej - latem, gdy produkcja z fotowoltaiki przewyższa zapotrzebowanie, nadwyżki energii konwertowane są na wodór, który zimą służy jako paliwo do generatorów CHP. Taki system pozwala na praktycznie pełną niezależność energetyczną przedsiębiorstwa w perspektywie całorocznej.

Technologia wodorowa jest obecnie na wczesnym etapie komercjalizacji, jednak prognozy wskazują na szybki spadek kosztów w najbliższych latach. Inwestycja w elektrolizery wodoru już teraz pozwala przedsiębiorstwom przygotować się na przyszłe zmiany w sektorze energetycznym i zapewnić sobie długoterminową przewagę konkurencyjną.

Analiza ekonomiczna systemu hybrydowego



Powyższy wykres ilustruje prognozowaną różnicę w kosztach energii przy zakupie z sieci OSD oraz przy wykorzystaniu systemu hybrydowego (fotowoltaika + magazyn energii + CHP + elektrolizer wodoru) w perspektywie 10 lat. Analiza zakłada coroczny wzrost cen energii z sieci na poziomie 3%, podczas gdy koszty energii z systemu hybrydowego systematycznie maleją dzięki amortyzacji inwestycji oraz optymalizacji działania.

Szczegółowa analiza ekonomiczna dla przykładowego przedsiębiorstwa o zużyciu energii na poziomie 1000 MWh rocznie przedstawia się następująco:

Parametr	Wartość
Początkowa inwestycja (PV + magazyn + CHP + elektrolizer)	4 500 000 zł
Roczne koszty energii z sieci (rok 1)	850 000 zł
Roczne koszty energii z systemu hybrydowego (rok 1)	650 000 zł
Roczne oszczędności (rok 1)	200 000 zł
Roczne oszczędności (rok 10)	940 000 zł
Skumulowane oszczędności (10 lat)	5 700 000 zł
Prosty okres zwrotu inwestycji	5,5 roku
IRR (wewnętrzna stopa zwrotu)	16,2%
NPV (przy stopie dyskontowej 7%)	2 150 000 zł

Analiza wskazuje, że inwestycja w kompleksowy system hybrydowy zwraca się w ciągu 5,5 roku, a w perspektywie 10-letniej generuje oszczędności przekraczające początkową inwestycję o 26,7%. Warto podkreślić, że w kolejnych latach oszczędności będą jeszcze większe, gdyż główne elementy systemu (fotowoltaika, konstrukcje, magazyny energii) mają żywotność przekraczającą 25 lat.

Spółdzielnie energetyczne - model współdzielenia korzyści

Spółdzielnie energetyczne stanowią innowacyjny model współpracy, który umożliwia firmom, instytucjom i osobom prywatnym wspólne korzystanie z odnawialnych źródeł energii oraz infrastruktury energetycznej. BifacialMAX jest założycielem spółdzielni "Zielona Energia Regionu", która działa w całej Polsce i skupia spółdzielców dążących do obniżenia kosztów energii.

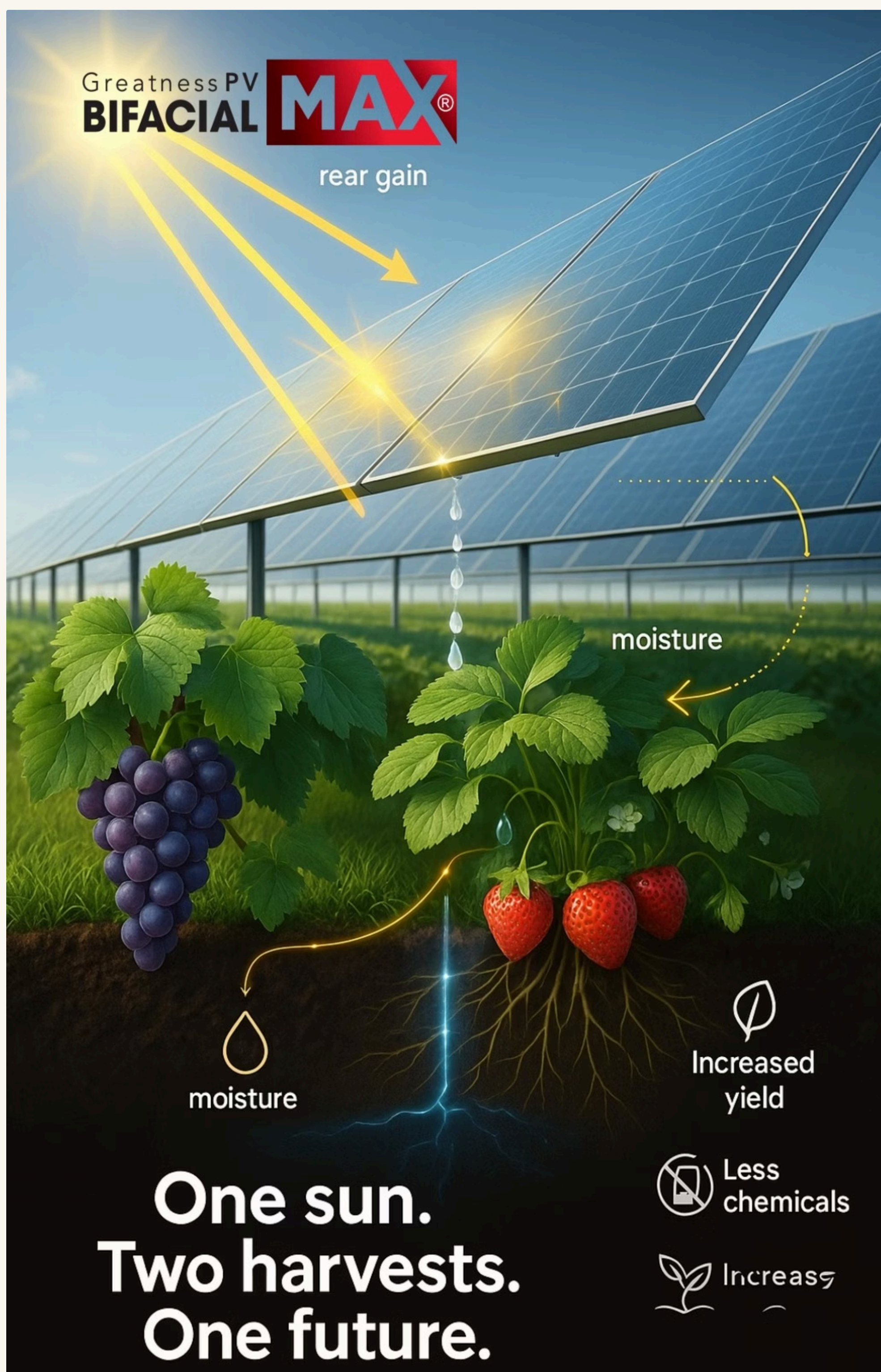
Kluczowe korzyści wynikające z uczestnictwa w spółdzielni energetycznej:

- Redukcja rachunków za energię dzięki współdzieleniu kosztów inwestycji i eksploatacji.
- Dostęp do hybrydowych systemów grzewczych zapewniających bezpieczeństwo energetyczne.
- Możliwość korzystania z dotacji i programów wsparcia bez konieczności ponoszenia wysokich nakładów początkowych.
- Współdzielenie nadwyżek energii między członkami spółdzielni bez opłat dystrybucyjnych.
- Lokalna produkcja i konsumpcja energii, co zmniejsza straty przesyłowe i zwiększa niezawodność dostaw.
- Wzmacnianie lokalnej gospodarki poprzez tworzenie miejsc pracy i zatrzymywanie środków finansowych w regionie.

Spółdzielnie energetyczne są szczególnie efektywne w przypadku firm o zróżnicowanym profilu zużycia energii - nadwyżki produkowane przez jednego członka mogą być wykorzystywane przez innego bez konieczności magazynowania lub sprzedaży do sieci po niskich cenach. Przykładowo, firma produkcyjna pracująca w trybie jednozmianowym może dostarczać nadwyżki energii do zakładu pracującego w systemie trzyzmianowym.

Fundacja PIRE (Polska Inicjatywa Rozwoju Energetyki) wspiera gminy w budowaniu lokalnych spółdzielni energetycznych, które stanowią skuteczne narzędzie walki z ubóstwem energetycznym oraz rozwoju samowystarczalności energetycznej. Dzięki tej inicjatywie, przedsiębiorstwa mogą aktywnie uczestniczyć w transformacji energetycznej regionu, jednocześnie czerpiąc z tego wymierne korzyści ekonomiczne.

Magazyny energii Scavolt - szczegółowa analiza techniczna



Magazyny energii Scavolt reprezentują najnowszą generację systemów bateryjnych, dedykowanych zastosowaniom przemysłowym i komercyjnym. Ich unikalna konstrukcja oraz zaawansowane rozwiązania techniczne zapewniają wyjątkową efektywność, bezpieczeństwo i długi czas eksploatacji.

Kluczowe parametry techniczne magazynów Scavolt:

- **Dostępne pojemności:** od 50 kWh do 5 MWh w formie modułowych kontenerów
- **Technologia ogniw:** litowo-jonowa, z zaawansowanym systemem zarządzania temperaturą
- **System chłodzenia:** cieczowy, zapewniający optymalną temperaturę pracy oraz maksymalne bezpieczeństwo przeciwpożarowe
- **Sprawność cyklu (round-trip efficiency):** >95% (jeden z najwyższych wskaźników na rynku)
- **Żywotność:** >6000 cykli pełnego ładowania/rozładowania przy zachowaniu 80% początkowej pojemności
- **Moce ładowania/rozładowania:** konfigurowalne, typowo od 0,5C do 2C (gdzie C to pojemność magazynu)
- **Zaawansowany BMS (Battery Management System):** monitorujący stan każdego ogniwa i optymalizujący pracę całego systemu

Unikalną cechą magazynów Scavolt jest cieczowy system chłodzenia, który zapewnia równomierną temperaturę wszystkich ogniw oraz skutecznie odprowadza ciepło w trakcie intensywnego ładowania i rozładowania. W przeciwieństwie do systemów chłodzonych powietrzem, chłodzenie cieczowe zapobiega powstawaniu lokalnych przegrzań, które są główną przyczyną degradacji ogniw oraz potencjalnym źródłem pożarów. Dodatkowo, w przypadku wykrycia anomalii termicznej, system może natychmiast schłodzić zagrożony obszar, minimalizując ryzyko rozprzestrzeniania się pożaru.

Magazyny Scavolt mogą pracować w różnych trybach, dostosowanych do specyficznych potrzeb przedsiębiorstwa:

1. **Tryb maksymalizacji autokonsumpcji** - magazynowanie nadwyżek energii z fotowoltaiki do wykorzystania w okresach niższej produkcji
2. **Tryb peak shaving** - redukcja szczytowego zapotrzebowania na moc, co przekłada się na niższe opłaty dystrybucyjne
3. **Tryb arbitrażu cenowego** - ładowanie w godzinach niskich cen energii i rozładowanie w godzinach wysokich cen
4. **Tryb backup/UPS** - zapewnienie ciągłości zasilania krytycznych systemów w przypadku awarii sieci
5. **Tryb usług systemowych** - świadczenie usług regulacyjnych dla sieci energetycznej (np. regulacja częstotliwości)

Generatory CHP - efektywna kogeneracja prądu i ciepła

Generatory CHP (Combined Heat and Power) stanowią kluczowy element hybrydowych systemów energetycznych dla przedsiębiorstw, zapewniając jednoczesną produkcję energii elektrycznej i ciepłej. Dzięki temu podejściu, całkowita sprawność energetyczna procesu wytwarzania energii może osiągnąć nawet 90%, w porównaniu do około 40% w przypadku konwencjonalnych elektrowni.

W ramach zintegrowanego systemu energetycznego, generator CHP pełni rolę stabilizującą, uzupełniając produkcję energii z niestabilnych źródeł odnawialnych, takich jak fotowoltaika. System działa w następujący sposób:

1. Magazyn energii monitoruje poziom naładowania oraz bieżącą produkcję i zużycie energii w przedsiębiorstwie.
2. Gdy poziom naładowania magazynu spada poniżej ustalonego progu (zazwyczaj 20-30%), automatycznie uruchamiany jest generator CHP.
3. Generator CHP produkuje energię elektryczną, która trafia do magazynu, oraz ciepło, które jest wykorzystywane w systemach grzewczych przedsiębiorstwa.
4. Po osiągnięciu optymalnego poziomu naładowania magazynu, generator CHP automatycznie się wyłącza.

Takie rozwiązanie oferuje szereg korzyści, szczególnie w kontekście sezonowych zmian zapotrzebowania na energię:

- W okresie letnim, gdy produkcja z fotowoltaiki jest wysoka, generator CHP uruchamia się rzadko, co jest korzystne ze względu na niższe zapotrzebowanie na energię ciepłą.
- W okresie zimowym, gdy produkcja z fotowoltaiki jest niższa, generator CHP pracuje częściej, dostarczając jednocześnie energię elektryczną do magazynu oraz ciepło do ogrzewania budynków i procesów technologicznych.
- Dzięki takiemu dostosowaniu, generator CHP jest praktycznie w 100% wykorzystany - energia elektryczna zawsze trafia do magazynu, a ciepło jest efektywnie zagospodarowane.

Nowoczesne generatory CHP mogą pracować na różnych paliwach, w tym na gazie ziemnym, biogazie, a także na wodorze produkowanym przez elektrolizery. To ostatnie rozwiązanie jest szczególnie perspektywiczne w kontekście dążenia do pełnej dekarbonizacji procesów energetycznych w przedsiębiorstwie.

Elektrolizery wodoru Simple H2 - technologia i zastosowania

Elektrolizery wodoru produkowane przez polską firmę Simple H2 reprezentują zaawansowaną technologię membranową PEM (Proton Exchange Membrane), która umożliwia efektywną konwersję energii elektrycznej na wodór. Technologia ta zyskuje coraz większe znaczenie w kontekście długoterminowego magazynowania energii oraz dekarbonizacji procesów przemysłowych.

Zasada działania elektrolizera PEM opiera się na procesie elektrolizy wody przy użyciu specjalnej membrany przewodzącej protony. Pod wpływem przyłożonego napięcia elektrycznego zachodzi rozkład cząsteczek wody na wodór i tlen. Protony wodoru (H^+) przechodzą przez membranę i łączą się z elektronami na katodzie, tworząc czysty wodór (H_2), który jest następnie gromadzony i przechowywany.

Elektrolizery Simple H2 wyróżniają się następującymi parametrami:

- Wysoka czystość produkowanego wodoru - do 99,999%, co umożliwia jego wykorzystanie nawet w najbardziej wymagających zastosowaniach, takich jak ogniwa paliwowe.
- Szybka reakcja na zmiany obciążenia - możliwość dostosowania produkcji wodoru do zmiennej dostępności energii z OZE w czasie rzeczywistym.
- Modułowa konstrukcja - skalowanie mocy od kilku kW do kilku MW, w zależności od potrzeb przedsiębiorstwa.
- Wysoka sprawność konwersji - do 75% energii elektrycznej przekształcane jest w energię chemiczną zawartą w wodorze.
- Niskie koszty utrzymania - brak ruchomych części, długa żywotność membrany, automatyzacja procesu.

W kontekście hybrydowych systemów energetycznych dla przedsiębiorstw, elektrolizery Simple H2 pełnią kluczową rolę w sezonowym magazynowaniu energii. W okresie letnim, gdy produkcja z fotowoltaiki często przekracza bieżące zapotrzebowanie, nadwyżki energii mogą być wykorzystane do produkcji wodoru. Wytworzony wodór jest następnie przechowywany i wykorzystywany zimą jako paliwo do generatorów CHP, co pozwala na efektywne domknięcie cyklu energetycznego i zapewnienie niezależności energetycznej przez cały rok.

Obecne koszty produkcji wodoru z wykorzystaniem elektrolizerów PEM systematycznie spadają, a prognozy wskazują na dalsze obniżanie się kosztów w najbliższych latach. Inwestycja w tę technologię już teraz może zapewnić przedsiębiorstwu przewagę konkurencyjną i przygotować je na przyszłe regulacje związane z dekarbonizacją gospodarki.

Jak skontaktować się z ekspertami - następne kroki



Kontakt telefoniczny

+48 585313610

Nasi konsultanci są dostępni od poniedziałku do piątku w godzinach 8:00-16:00. Służą profesjonalnym doradztwem i odpowiedzą na wszystkie pytania dotyczące możliwości transformacji energetycznej Twojej firmy.



Kontakt mailowy

office@bifacialmax.com

Napisz do nas, opisując potrzeby energetyczne Twojej firmy, a nasi specjaliści skontaktują się z Tobą w ciągu 24 godzin, przedstawiając wstępną propozycję rozwiązań dopasowanych do Twoich potrzeb.



Siedziba firmy

BifacialMAX

ul. Jabłowska 75
83-200 Starogard
Gdański

Zapraszamy do odwiedzenia naszej siedziby, gdzie prezentujemy działające instalacje pokazowe oraz magazyny energii. Po wcześniejszym umówieniu zapewniamy indywidualną prezentację rozwiązań.



Strony internetowe

www.bifacialmax.com
www.simpleh2.com
www.scavolt.com
www.elq.pl
www.mistral.pl

Proces współpracy rozpoczyna się od bezpłatnej konsultacji, podczas której nasi eksperci przeprowadzą wstępną analizę potrzeb energetycznych Twojej firmy oraz możliwości technicznych implementacji różnych rozwiązań. Na podstawie tej analizy przygotujemy indywidualną ofertę, uwzględniającą:

1. Koncepcję techniczną systemu energetycznego dostosowanego do specyfiki Twojego przedsiębiorstwa.
2. Szczegółową analizę finansową, obejmującą koszty inwestycji, prognozowane oszczędności oraz okres zwrotu.
3. Propozycję etapowego wdrożenia rozwiązań, uwzględniającą możliwości finansowe oraz priorytety firmy.
4. Informacje o dostępnych źródłach finansowania i możliwościach uzyskania dotacji.
5. Harmonogram realizacji projektu wraz z kamieniami milowymi.

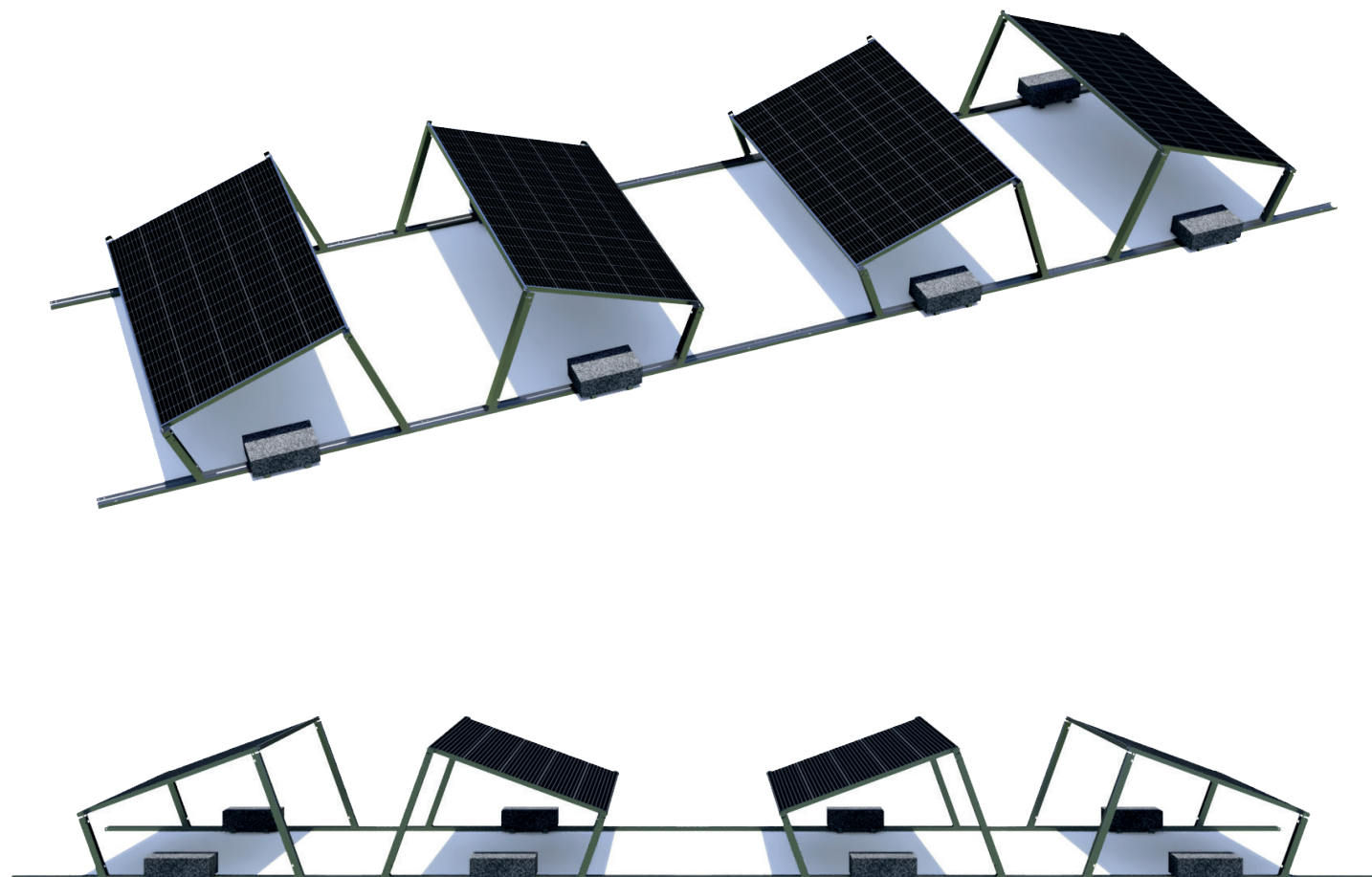
Po akceptacji oferty, przeprowadzimy szczegółowy audyt energetyczny, który będzie podstawą do opracowania projektu technicznego. Następnie zrealizujemy kompleksową inwestycję "pod klucz", obejmującą dostawę urządzeń, montaż, uruchomienie oraz szkolenie personelu. Po zakończeniu realizacji zapewniamy pełne wsparcie techniczne oraz serwis gwarancyjny i pogwarancyjny.

DACH PŁASKI / FLAT ROOF

GreatnessPV
BIFACIAL **MX**[®]

+ 20% kWh

100% fire safety with fire class A modules



System dostosowany dla
modułów Bifacial
System adapted for Bifacial
modules

Układ modułów / Modules layout

Poziomy
Horizontal



Powłoka antykorozyjna
Anti-corrosion coating

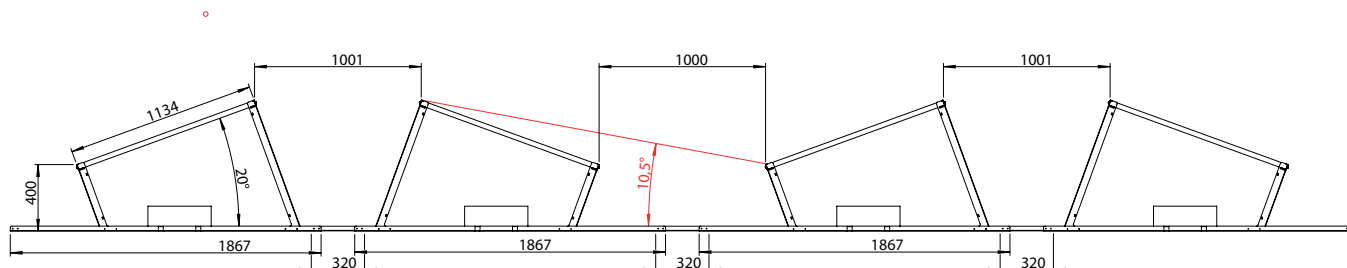
Magnelis[®]

DACH PŁASKI / FLAT ROOF

GreatnessPV
BIFACIAL **MX**[®]

+ 20% kWh

100% fire safety with fire class A modules



Montaż / Installation
Bezinwazyjny
Non-invasive



Dla każdego modułu
For any PV module
Tak / Yes



Waga dla 4 modułów
Weight for 4 modules
36 kg



Montaż zatrzaskowy
Installation
of a click system



Gwarancja
Guarantee
10 lat / 10 years

Materiał / Material

Aluminium / Aluminium
Stal nierdzewna / Stainless Steel
Stal konstrukcyjna / Structural steel

Kąt nachylenia systemu
Angle of the system

20°

Orientacja modułów
Modules orientation

Wschód-zachód / East-west

System bezklemowy
System without clamps

Tak / Yes

Spełniane normy / Standards

PB-TUV-78:2012, PN-EN 1991-1-3:2005
PN-EN 1991-1-4:2008

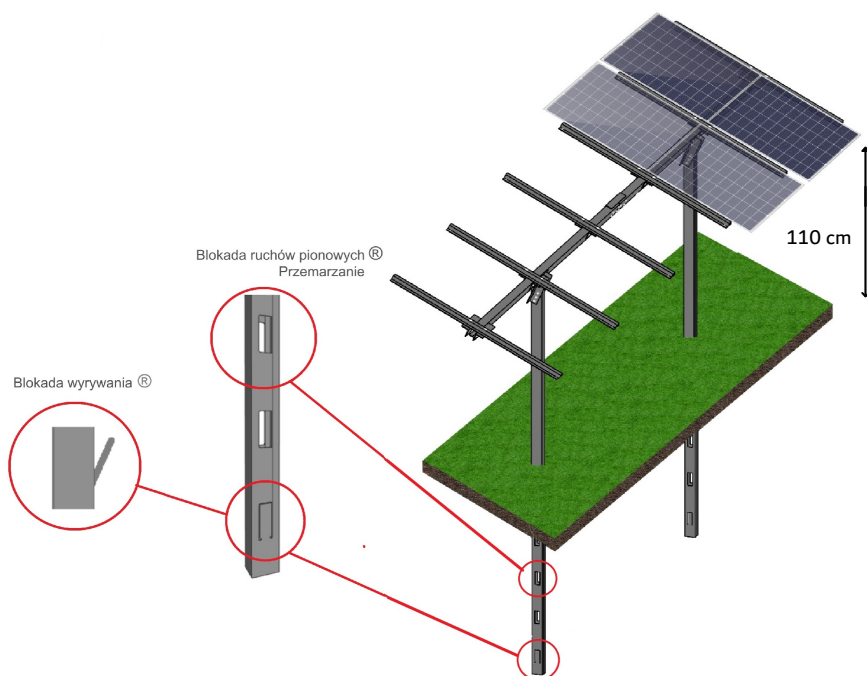


1x5 BifacialMAX Grunt PV

Konstrukcja naziemna BIFACIAL MAX 1x5 wykonana jest z wysokiej jakości profili zamkniętych stalowych pokrytych dodatkową powłoką ochronną, która zapewnia długotrwałą ochronę powierzchni elementów stalowych, zapewnia wysoką odporność na korozję i ścieranie oraz posiada właściwości samoregenerujące.

Konstrukcje BIFACIALMAX produkowane są w polskiej fabryce profili stalowych zlokalizowanej w Wolentalu zgodnie z najwyższymi europejskimi standardami potwierdzonymi Certyfikatami.

Wszelkie prawa zastrzeżone przez BIFACIALMAX sp. z o.o.



 Profile zamknięte z najwyższej jakości stali



1x5 układ pionowy



Kąt montażu 25°



Waga
119 kg stół 5 modułów



Moduły start
H = 110 cm



Dla modułów: o szer. 1134mm z
rozstawem śrub 1100mm lub
1400mm



1,2,3,4
Strefa śniegowa



1,2
Strefa wiatru - 200 km/h Opcja



Moduły o długości do
L = 230 cm

Zgodne ze standardami
PN-EN 1991-1-1 Eurocode 1
PN-EN 1991-1-3 Eurocode 1
PN-EN 1991-1-4 Eurocode 1
PN-EN 1993-1-3 Eurocode 3
PN-EN 1993-1-8 Eurocode 3

Certyfikaty
EN 1090-5:2017
EN 1090-2:2018
EN 1090-4:2018
EN 1090-3:2019

ZALECANY UKŁAD MONTAŻU BIFACIALMAX® WSCHÓD_ZACHÓD 1P SYSTEM STACJONARNY- ALBEDO 26%
GWARANTUJĄCY O 20% WIĘCEJ ENERGII GENEROWANEJ ROCZNIE Z TYŁU MODUŁÓW BIFACIALMAX

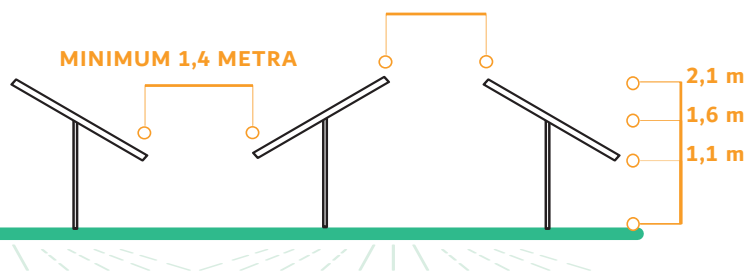
SZYBKIE KOSZENIE TRAWY

EKOLOGICZNE KOSZENIE TRAWY

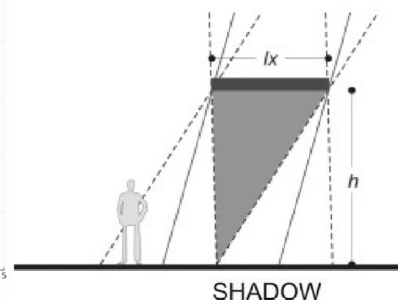
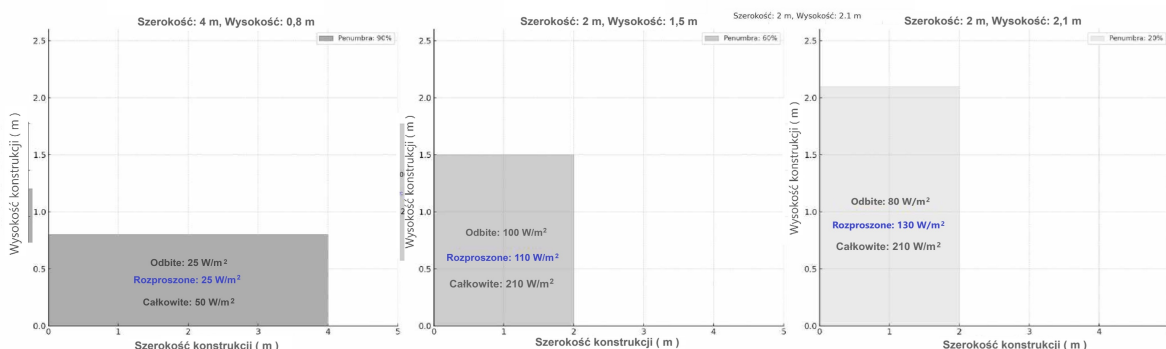


MINIMUM 1,2 METRA

MINIMUM 1,4 METRA



Poziom promieniowanie docierające do tylnej strony paneli (W/m²)



SHADOW



PROFILE ZAMKNIĘTE
100% SZTYWNOŚCI



STAL
S355



MAGNELIS 600
OCHRONA



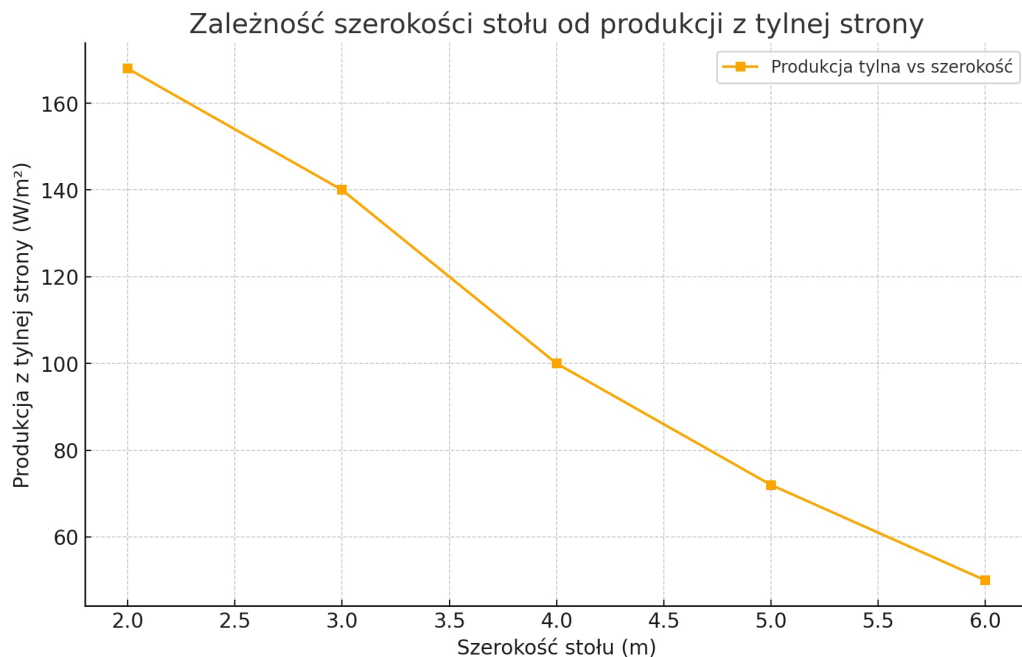
GRUBOŚĆ BLACHY
3 mm



TRWAŁOŚĆ PROJEKTOWA
50 LAT

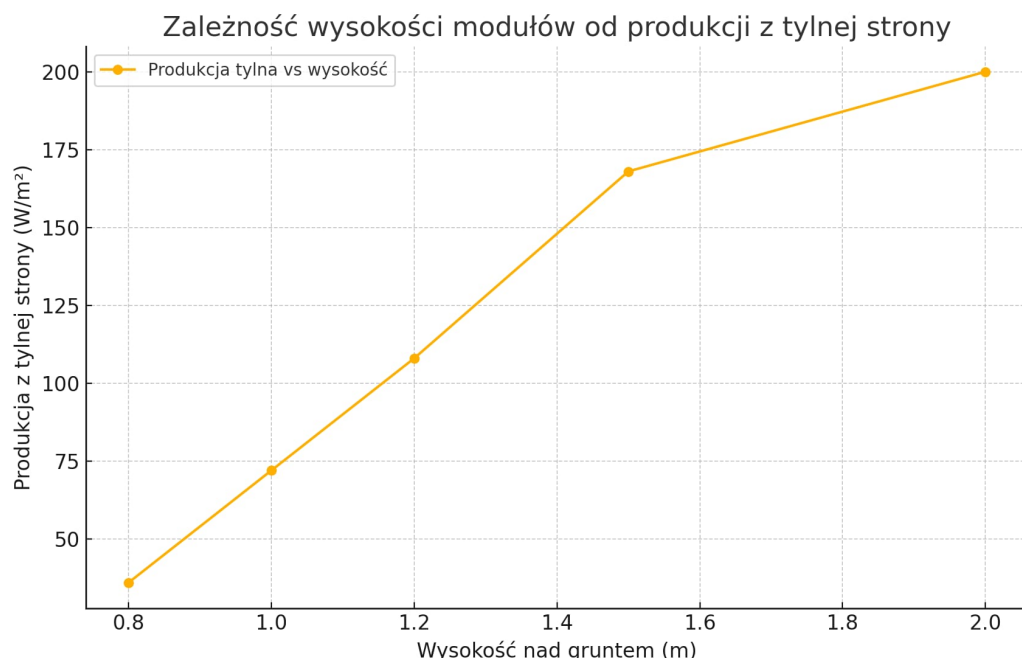
Wpływ szerokości stołu na ilość energii docierającej do tylnej strony modułów

- W przypadku wąskich stołów (np. szerokość jednego rzędu paneli to około 2 metry), odbite i rozproszone światło jest znacznie bardziej dostępne dla tylnej strony paneli. W rezultacie tylna strona pracuje intensywniej, co bezpośrednio przekłada się na wyższą wydajność systemu.
- W przypadku szerokich stołów (np. 5-6 metrów, gdzie kilka rzędów paneli leży obok siebie), obszar pod panelami jest bardziej zacieniony. Światło trudniej dociera do tylnej części modułów, ponieważ jest blokowane przez górne moduły na środku stołu. Zmniejsza to wydajność z tyłu.



Wpływ wysokości montażu na ilość energii docierającej do tylnej strony modułów

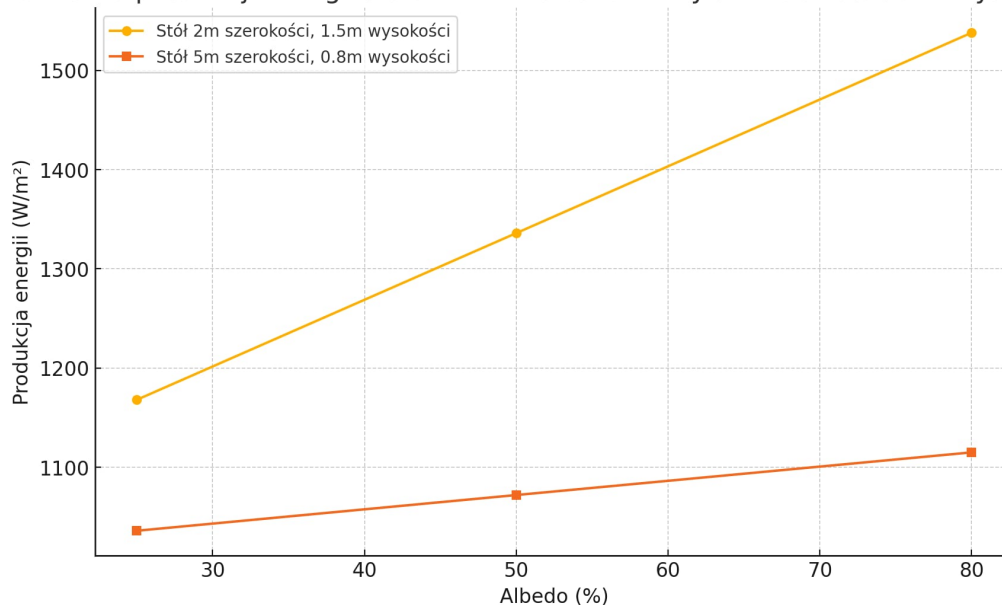
- Wyższe umiejscowienie paneli sprzyja lepszemu oświetleniu pod spodem, ponieważ promienie słoneczne mają więcej miejsca na odbicie i dotarcie do tylnej części modułów.
- W przypadku wąskich stołów, wysoko zamontowane moduły pozwalają nawet na dotarcie bezpośredniego światła słonecznego pod panele, znacznie zwiększając tylną wydajność.



Znaczenie odbicia i rozproszenia światła

- Podłoże (np. jasne powierzchnie, takie jak śnieg lub piasek) ma duży wpływ na ilość odbitego światła docierającego do tylnej części paneli.
- Dzięki węższym i wyższym stołom większa ilość światła dociera pod panele, efekt albedo (odbicia od podłoża) jest w pełni wykorzystywany.

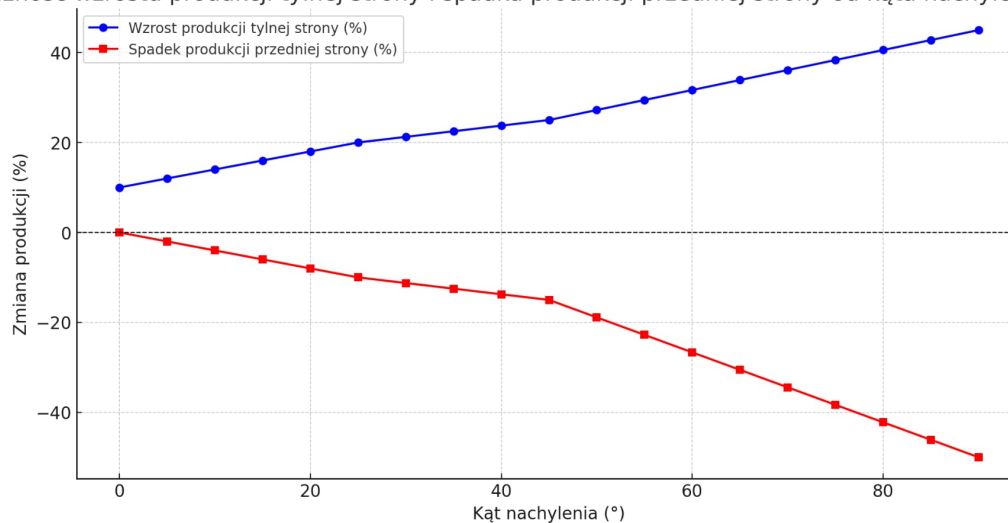
Porównanie produkcji energii dla stołów bifacial o różnych szerokościach i wysokościach



Wydajność energetyczna

- Węższe stoły, zwłaszcza te montowane wysoko, zapewniają nawet kilkukrotnie większą wydajność z tyłu paneli w porównaniu do szerokich stołów. Wynika to z lepszego oświetlenia i mniejszego ograniczenia światła.
- Szersze stoły są mniej skuteczne w przypadku modułów dwustronnych, ponieważ ograniczają dostęp światła do tylnej części paneli, zwłaszcza w środkowych rzędach.

Zależność wzrostu produkcji tylnej strony i spadku produkcji przedniej strony od kąta nachylenia (0°-90°)



Podsumowanie:

Dla modułów dwustronnych:

- Węższe stoły są znacznie bardziej wydajne niż szersze, ponieważ zapewniają większy dostęp światła odbitego od podłoża do tylnej strony paneli.
- Montaż paneli wysoko dodatkowo zwiększa ilość odbitego i rozproszonego światła, co podnosi wydajność energetyczną.

Porównanie produkcji energii dla dwóch konfiguracji wschód-zachód 25° i 15° przy różnych wartościach albedo gruntu: 25%, 50% i 80%.

1. Stół o szerokości 2 m i wysokości 1,5 m

2. Stół o szerokości 5 m i wysokości 0,8 m



8000 m² - 1 MWp



25°

99,4 % KWh



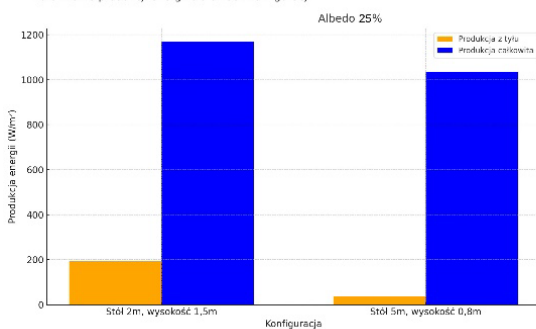
6500 m² - 1 MWp



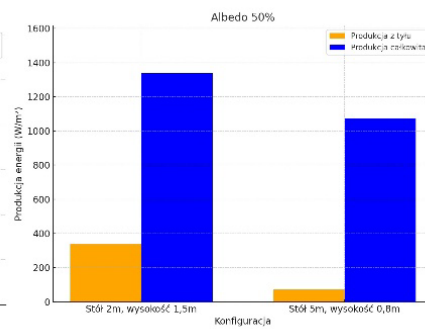
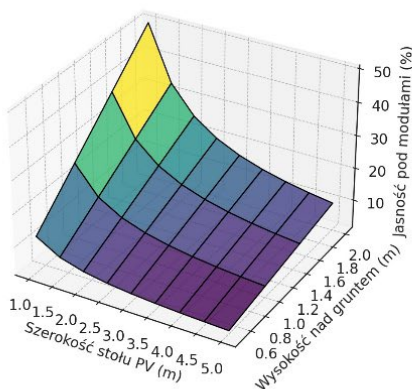
15°

84,3 % KWh

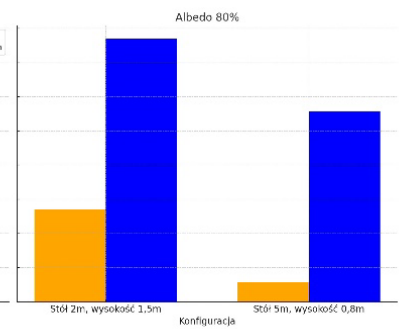
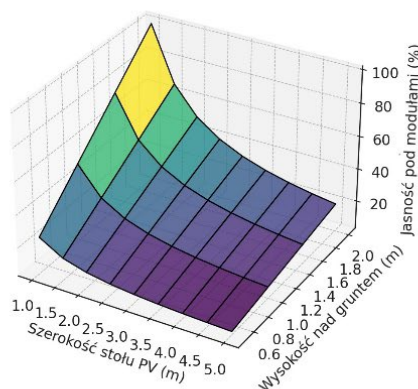
Porównanie produkcji energii dla dwóch konfiguracji



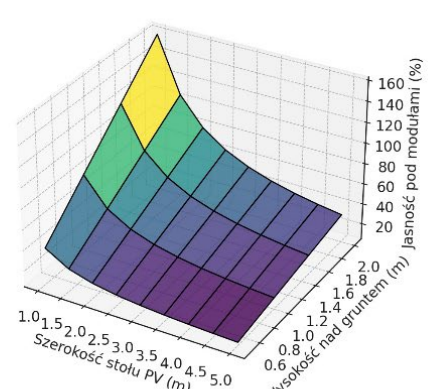
Albedo gruntu: 25%



Albedo gruntu: 50%



Albedo gruntu: 80%



Porównanie produkcji energii wschód-zachód 25° i 10° przy różnych wartościach albedo gruntu: 25%, 50% i 80%. W zależności od wysokości i szerokości stołu.

- Stół o szerokości 2 m i większej wysokości (1,5 m) znacznie lepiej wykorzystuje odbicie światła od podłoża, co zwiększa produkcję tylnej strony.
- Szeroki stół (5 m) i niska wysokość (0,8 m) ograniczają dopływ światła do tylnej strony paneli, obniżając całkowitą produkcję.

TECHNOLOGIA **DUAL POWER**® to opatentowana przez BifacialMAX konstrukcja panelu PV która posiada kilka wyjątkowych stref przepuszczających dodatkowo światło na tylną część modułu. Dzięki temu nasz panel bifacialny charakteryzuje się najlepszym oraz najbardziej równomiernym doświetleniem tylnej części w porównaniu do innych modeli dostępnych na rynku.

Moc światła słonecznego
1000W/m²

25°

Moc światła
odbitego
200W/m²

Moc światła słonecznego
1000W/m²
110cm

przy kącie nachylenia 25° minimalna
wysokość dolnej krawędzi panelu PV
od powierzchni podłoża to ok 110cm

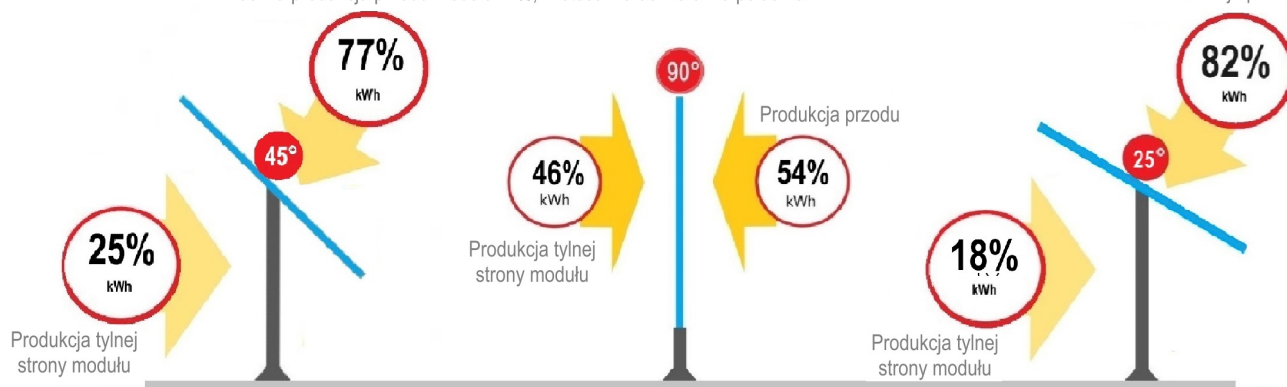
Podobna produkcja energii niezależnie od azymutu montażu modułów E-W 180°

Przy albedo trawy 26%

East **180°** West

Roczna produkcja przodu modułu w %, w stosunku do kierunku południe.

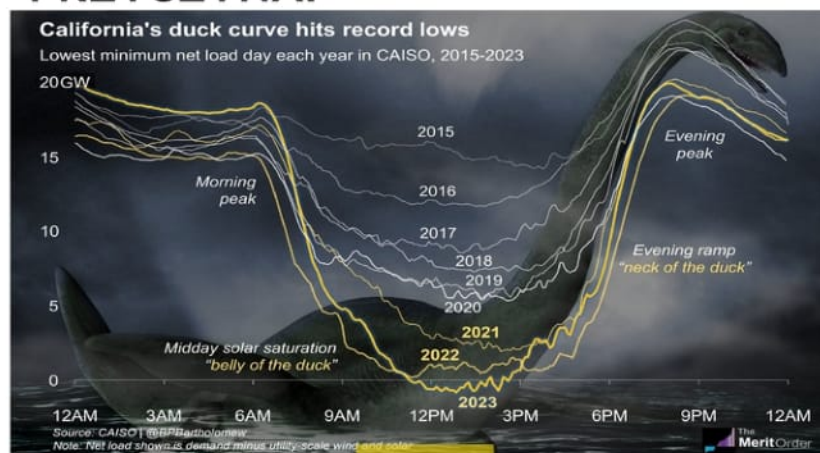
Produkcja przodu



90°

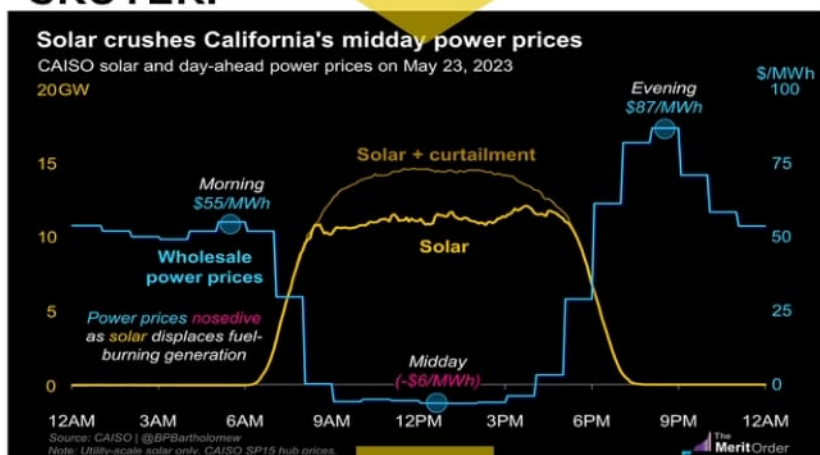
Podobna produkcja energii niezależnie od kąta montażu modułów

PRZYCZYNA:



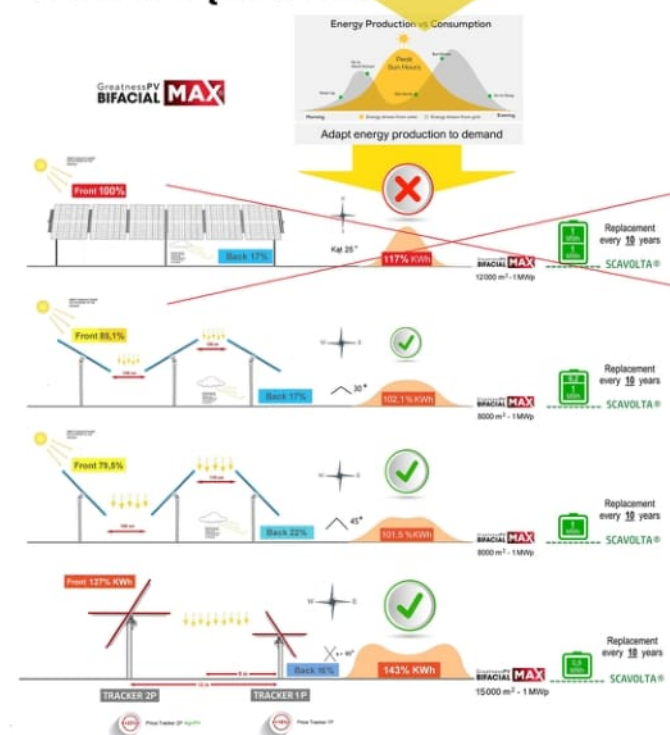
Nadmiar południowej fotowoltaiki w Kalifornii jest paradoksalnie również zły dla samej energii słonecznej. Energia słoneczna obniża ceny energii, wypierając droższe zasoby paliwowe, miażdżąc ceny własnych godzin generowania.

SKUTEK:



obniżenie cen energii w południe zmniejsza wartość własną energii słonecznej dla sieci. Im więcej autonomicznej energii słonecznej zostanie dodanych, tym mniej jest warta cała energia słoneczna (i wszystkie inne generacje w południe!).

ROZWIĄZANIE:



Nadmiar energii słonecznej w południe wynika z ich niekorzystnego instalowania w kierunku południowym. Tylko sytuowanie wschód-zachód zapewni opłacalność ponad poprzez zmniejszenie kosztów magazynowania o ponad 50%, które wymagają wymiany co 10 lat. Oszczędzasz 1mln EUR na wymianie magazynu co 10 lat przy inwestycji 1 mln EUR w elektrownie słoneczną o mocy 1MWp.

Trwałość konstrukcji – zalety profili zamkniętych BifacialMAX

System BifacialMAX dodatkowo rozwiązuje problem trwałości modułów poprzez zastosowanie profili zamkniętych, które:

Są wielokrotnie sztywniejsze od profili otwartych.

Są bardziej odporne na zginanie i skręcanie, co eliminuje boczne przeciążenia prowadzące do pęknięcia tylnych szyb modułów bifacial.

Zapewniają większą stabilność, co zmniejsza ryzyko awarii całej konstrukcji.

Wniosek: Konstrukcje BifacialMAX oparte na profilach zamkniętych są znacznie bardziej odporne na przeciążenia boczne i wiatr, co wydłuża żywotność modułów i zmniejsza koszty konserwacji.

Problemy z wytrzymałością modułów Bifacial Double Glass w wielorzędowych konstrukcjach

Dlaczego pęka tylna szyba w modułach bifacial?

Przy wielorzędowych konstrukcjach mamy podparcie na czterech nogach:

Przednie nogi są krótkie, a tylne długie.

Pod wpływem silnego wiatru tylne nogi mają większą amplitudę ruchu niż przednie.

To powoduje trapezowanie (boczny ruch całej konstrukcji), który powoduje nierównomierne naciski na moduły.

Efekt rozciągania i ściskania szkła w modułach Bifacial Double Glass:

Przednia szyba jest ściskana – odporność na ściskanie szkła hartowanego wynosi **900 N**.

Tylna szyba jest rozciągana – odporność na rozciąganie wynosi tylko **90 N**.

Ponieważ szkło pod własnym ciężarem ugina się do dołu, tylna szyba jest dodatkowo rozciągana, co prowadzi do jej pęknięcia.

Wniosek: Pęknięcie tylnej szyby to główny problem trwałości w systemach wielorzędowych, ponieważ siły działające na moduły są nierównomierne, co prowadzi do szybszego uszkodzenia modułów bifacial.

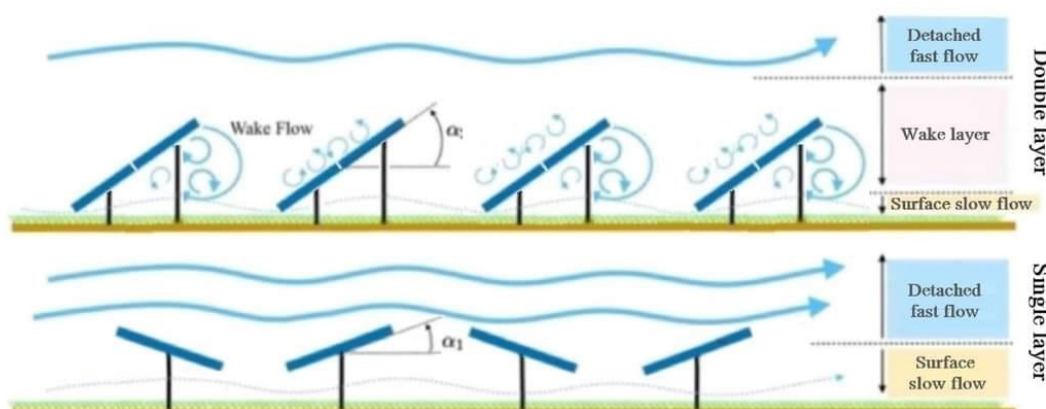
Dlaczego w jednorzędowych konstrukcjach problem nie występuje?

W jednorzędowych konstrukcjach mamy podparcie na dwóch punktach podparcia.

Nie występuje trapezowanie – cała konstrukcja porusza się jako sztywna całość.

Równomierne obciążenie zapobiega powstawaniu naprężeń rozciągających na tylnej szybie modułu.

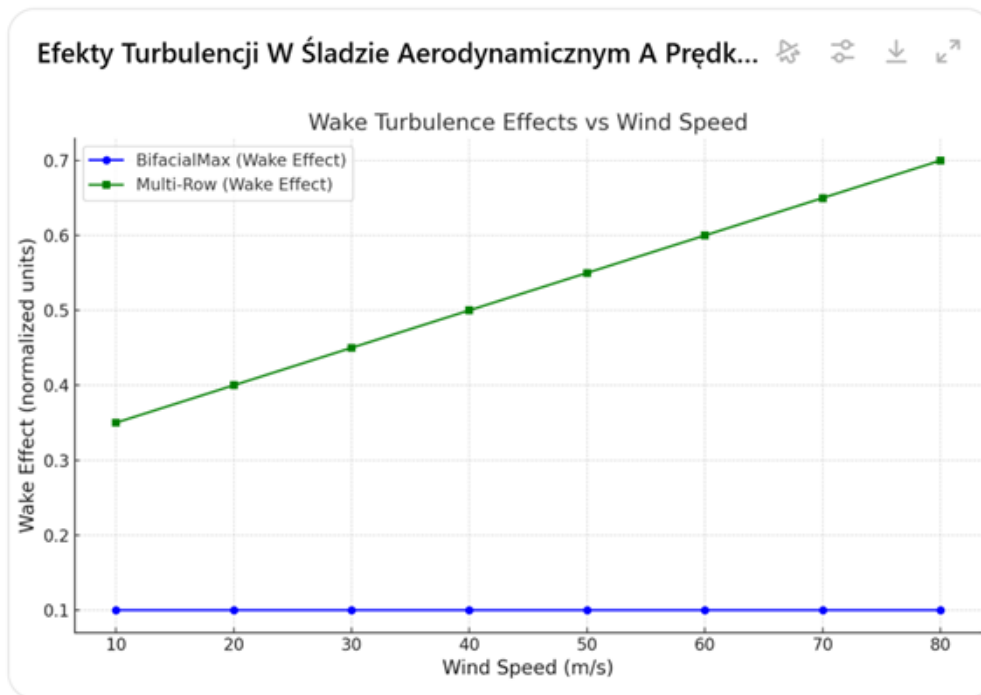
Wniosek: Jednorzędowa konstrukcja zapewnia większą trwałość modułów bifacial poprzez eliminację problemu trapezowania i redukcję bocznych przeciążeń



Efekty turbulencji w śladzie aerodynamicznym :

W przypadku BifacialMax wpływ turbulencji w śladzie aerodynamicznym jest nieznaczny.

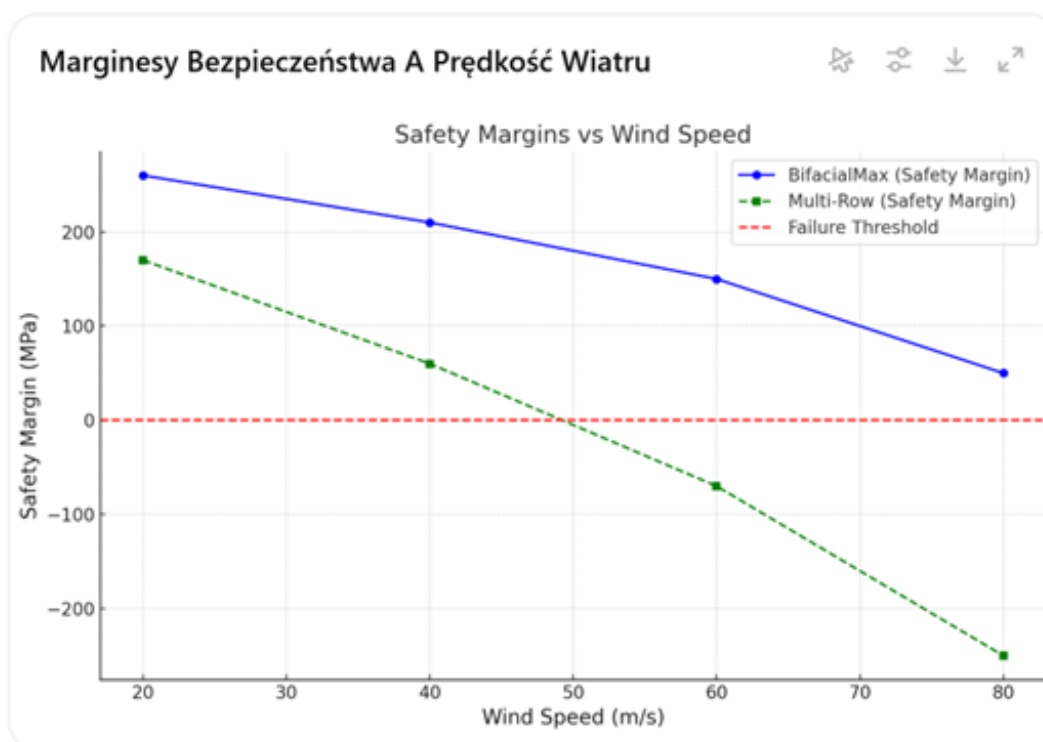
W przypadku konstrukcji Multi-Row turbulencje rosną wraz ze wzrostem prędkości wiatru, co odzwierciedla podatność tej wielowarstwowej konstrukcji na uszkodzenia.



Na poniższej tabeli porównano marginesy bezpieczeństwa systemów BifacialMax i Multi-Row przy różnych prędkościach wiatru:

BifacialMax utrzymuje dodatni margines bezpieczeństwa przy wszystkich prędkościach wiatru, co oznacza, że pozostaje bezpieczny pod względem konstrukcyjnym nawet przy 80 m/s.

Multi-Row przekracza próg awarii (margines 0 MPa) przy prędkości 60 m/s, co wskazuje na wyższe ryzyko awarii mechanicznej przy silnym wietrze.



Rozwiązanie: BifacialMAX w układzie wschód-zachód pod kątem 25°

Zwiększa produkcję energii rano i wieczorem – kiedy ceny energii są najwyższe.

Optymalizuje sprzedaż energii – zmniejsza zależność od godzin południowych i pozwala lepiej dopasować produkcję do rynkowego zapotrzebowania.

Zmniejsza ryzyko ujemnych cen energii – lepsza dystrybucja produkcji zmniejsza wpływ „efektu kaczki”.

Zmniejszenie zapotrzebowania na magazyny energii

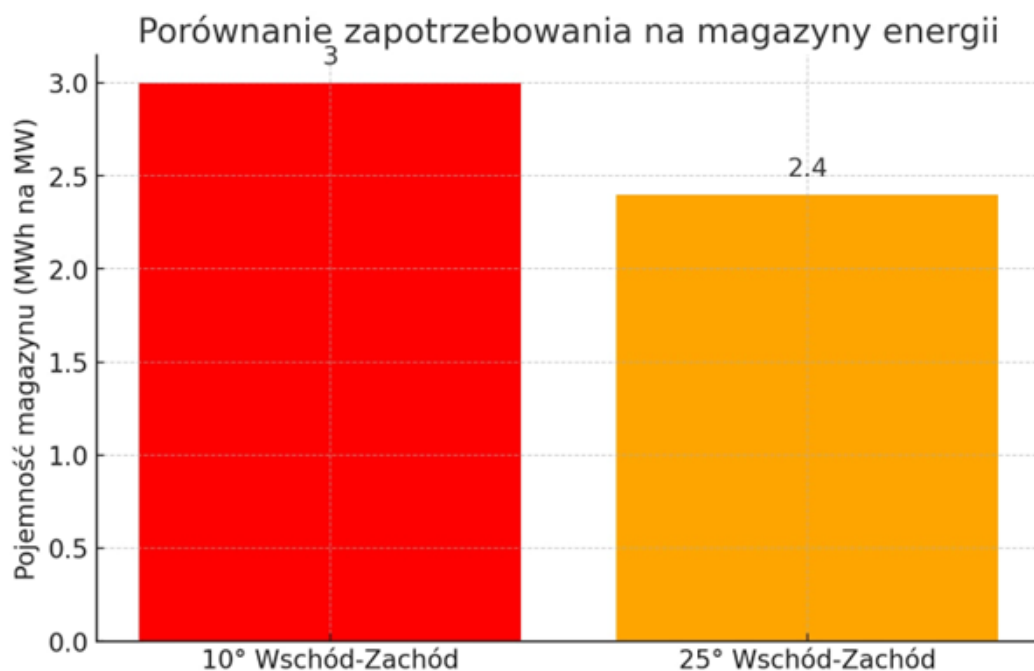
Montaż bifacialMAX pod kątem 25° w układzie wschód-zachód wypłaszcza produkcję energii, co zmniejsza potrzebę magazynowania nadmiaru energii.

Zmniejszenie zapotrzebowania na magazyny energii o 20%, co oznacza:

Oszczędność 450 000 zł na MWp w kosztach inwestycyjnych na magazyny energii. Niższe koszty

wymiany magazynów (baterie trzeba wymieniać co kilkanaście lat).

Mniejsze koszty serwisowe i eksploatacyjne.



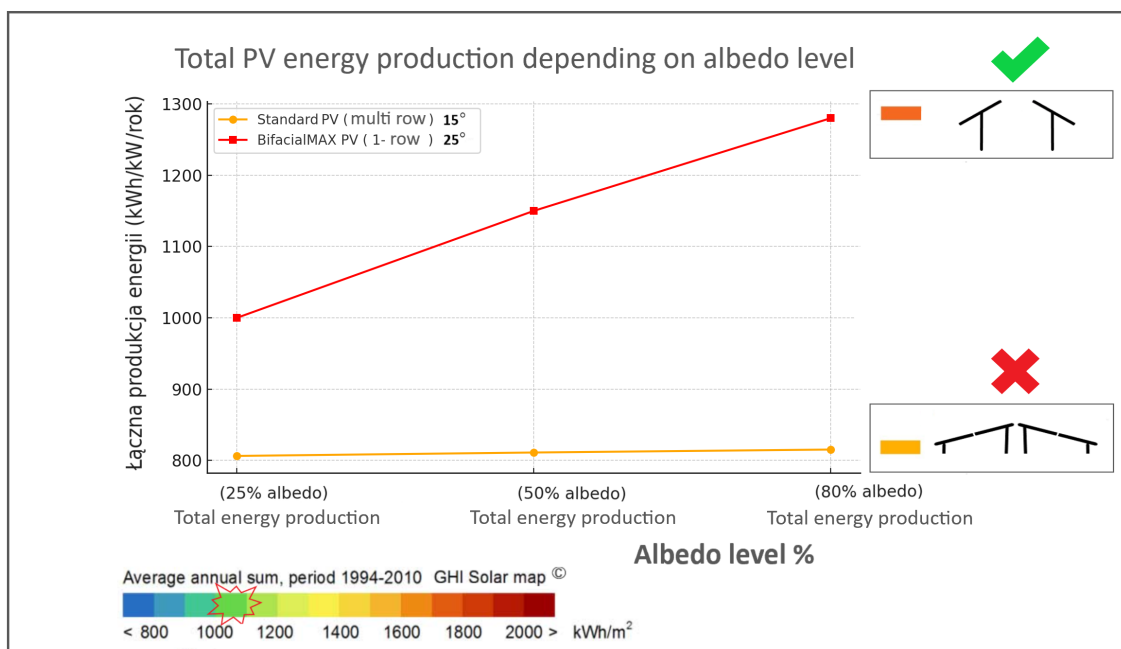
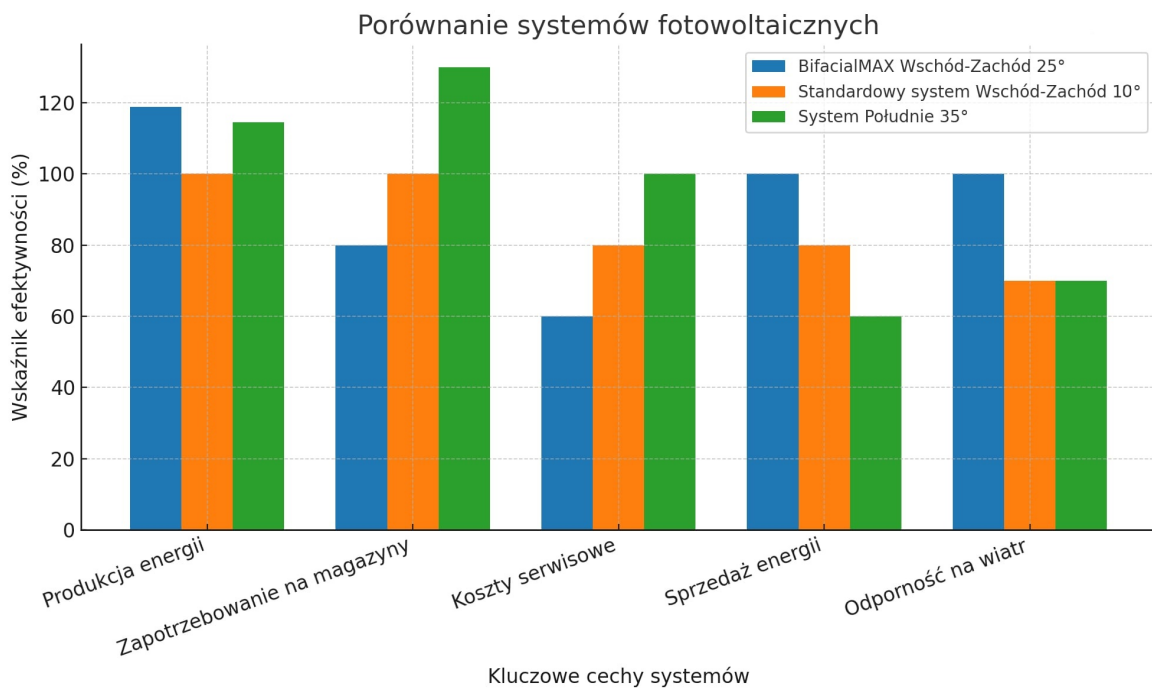
➤ Case Study: Realna oszczędność i większa wydajność

Projekt: Farma PV 50 MW – Polska, 2024

- Zastosowana technologia: BifacialMAX Wschód-Zachód 25°
- Cel: Maksymalizacja produkcji energii i redukcja kosztów magazynowania
- Wyniki po 12 miesiącach działania:
 - Produkcja energii: +21,3% więcej niż w standardowym systemie Wschód-Zachód 10°
 - Zmniejszone zapotrzebowanie na magazyny energii: -20% (oszczędność 450 000 zł na MWp)
 - Niższe koszty serwisowe: Konstrukcja z profilami zamkniętymi wyeliminowała pękanie szyb bifacial
 - Większa sprzedaż energii w godzinach szczytowych: Wyższe przychody z handlu energią

- Farma w ciągu roku wypracowała o **5,3 mln zł** większy przychód w porównaniu do farmy z klasycznym systemem Wschód-Zachód.
BifacialMAX – Specjalistyczna technologia dla dużych inwestorów

- **Przetestowana na farmach PV – realne wyniki potwierdzają wyższą opłacalność**
- **Bezpieczeństwo inwestycji – eliminacja problemów technicznych i wyższa stabilność**
- **Lepsza sprzedaż energii – mniejsze ryzyko niskich cen dzięki równomiernej produkcji**
- Nie eksperymentuj na własnej farmie. Wybierz sprawdzone rozwiązanie!



PERFORATION AND LASER WELDING



GreatnessPV
BIFACIAL



DIFFERENT SIZES AND POSITION OF PERFORATED HOLES

Bifacial PV Modules and Systems

Bifacial gain

Some bifacial gain values from literature (mainly experimental / test systems):



bSolar 2014



bSolar 2014



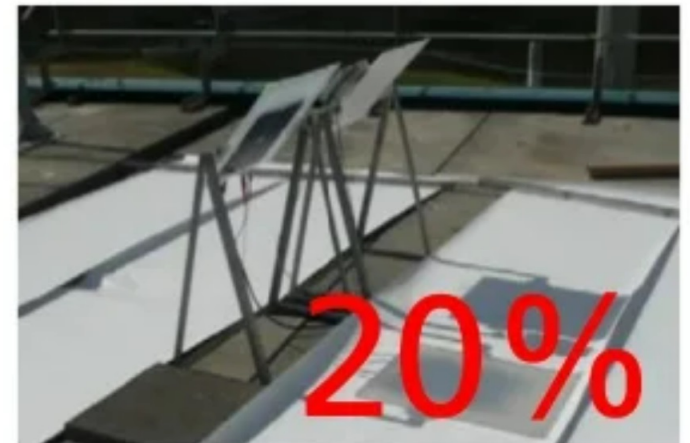
Sanyo 2009



ISC Konstanz 2014



EdF R&D 2014



ECN 2014



energies



Article

An Analysis of the Increase in Energy Efficiency of Photovoltaic Installations by Using Bifacial Modules

Dariusz Kurz, Arkadiusz Dobrzycki, Ewelina Krawczak, Jarosław Jajczyk, Jakub Mielczarek, Waldemar Woźniak, Michał Sąsiadek, Olga Orynycz, Karol Tucki and Ewa Badzińska

Special Issue

Combined Application of Solar Power Generation and Energy Storage Technology

Edited by

Dr. Abderezak Lashab



<https://doi.org/10.3390/en18051296>

Article

An Analysis of the Increase in Energy Efficiency of Photovoltaic Installations by Using Bifacial Modules

Dariusz Kurz ^{1,*}, Arkadiusz Dobrzycki ¹, Ewelina Krawczak ², Jarosław Jajczyk ¹, Jakub Mielczarek ¹, Waldemar Woźniak ³, Michał Sasiadek ⁴, Olga Orynych ^{5,*}, Karol Tucki ⁶ and Ewa Badzińska ⁷

- ¹ Institute of Electrical Engineering and Electronics, Faculty of Automatic, Robotics and Electrical Engineering, Poznań University of Technology, St. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań, Poland; arkadiusz.dobrzycki@put.poznan.pl (A.D.); jaroslaw.jajczyk@put.poznan.pl (J.J.); jakub.b.mielczarek@gmail.com (J.M.)
- ² Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Environmental Engineering and Energy, Lublin University of Technology, St. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, Poland; e.krawczak@pollub.pl
- ³ Institute of Materials and Biomedical Engineering, University of Zielona Gora, St. Licealna 9, 65-417 Zielona Gora, Poland; w.wozniak@iimb.uz.zgora.pl
- ⁴ Institute of Mechanical Engineering, University of Zielona Gora, St. Licealna 9, 65-417 Zielona Gora, Poland; m.sasiadek@iim.uz.zgora.pl
- ⁵ Department of Production Management, Faculty of Engineering Management, Białystok University of Technology, Wiejska Street 45A, 15-351 Białystok, Poland
- ⁶ Department of Production Engineering, Institute of Mechanical Engineering, Warsaw University of Life Sciences, Nowoursynowska Street 164, 02-787 Warsaw, Poland; karol_tucki@sggw.edu.pl
- ⁷ Faculty of Engineering Management, Institute of Logistics, Poznań University of Technology, St. J. Rychniewskiego 2, 60-965 Poznań, Poland; ewa.badzinska@put.poznan.pl
- * Correspondence: dariusz.kurz@put.poznan.pl (D.K.); o.orynych@pb.edu.pl (O.O.)

Abstract: This work concerns the experimental verification of changes in the energy efficiency of photovoltaic installations through the use of bifacial modules. For this purpose, an experimental stand was designed and built for the comparative analysis of the efficiency of two types of photovoltaic panels: bifacial (bPV) and monofacial (mPV). The tests consisted of placing the panels at different heights above the ground surface and at different angles. During the tests, three substrates with different albedo were taken into account: green grass, gray concrete (fabric), and white snow (polystyrene). The tests for both types of panels were carried out simultaneously (in parallel), which guaranteed the same environmental conditions (temperature and solar radiation intensity). Based on the results of the voltage and current measurements for different angles of PV module inclination and, for bPV panels, different heights above the ground surface and different types of substrate, a series of current–voltage characteristics and power characteristics were plotted. The “additional” energy efficiency of bifacial panels compared to monofacial panels was also determined. It was shown that under favorable conditions, using bifacial panels instead of monofacial panels can increase the production of electricity by more than 56% from structures of the same dimensions. The research results can be of great value when designing photovoltaic installations.

Keywords: photovoltaics; bifacial panels; monofacial panels; photoconversion efficiency; bifacial gain energy



Academic Editor: Abderezak Lashab

Received: 11 February 2025

Revised: 24 February 2025

Accepted: 4 March 2025

Published: 6 March 2025

Citation: Kurz, D.; Dobrzycki, A.; Krawczak, E.; Jajczyk, J.; Mielczarek, J.; Woźniak, W.; Sasiadek, M.; Orynych, O.; Tucki, K.; Badzińska, E. An Analysis of the Increase in Energy Efficiency of Photovoltaic Installations by Using Bifacial Modules. *Energies* **2025**, *18*, 1296. <https://doi.org/10.3390/en18051296>

Copyright: © 2025 by the authors.

Licensee MDPI, Basel, Switzerland.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons

Attribution (CC BY) license

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Nowadays, there is a growing concern about climate change, the depletion of fossil fuels, and their harmful combustion effect on the environment. These factors have caused

snow), while the gray material imitating concrete has an albedo coefficient of 0.2–0.4 [39]. The design of the frame is shown in Figure 1. For the mPV panel, a structure was developed on which only the angle of inclination was possible, because the installation height above the ground and its reflectivity did not affect the measurement results.

Table 1. Parameters of the LG 390-N2T-A5 bifacial module in STC [38].

Parameter	Value
I_{sc} [A]	10.15
U_{oc} [V]	49.2
P_{MPP} [W]	390
U_{MPP} [V]	41.4
I_{MPP} [A]	9.43
η [%]	18.5
n [pcs.]	72
PV cells type	monocrystalline/n-type
Dimensions L $\times$ W $\times$ H [mm]	2064 $\times$ 1024 $\times$ 40

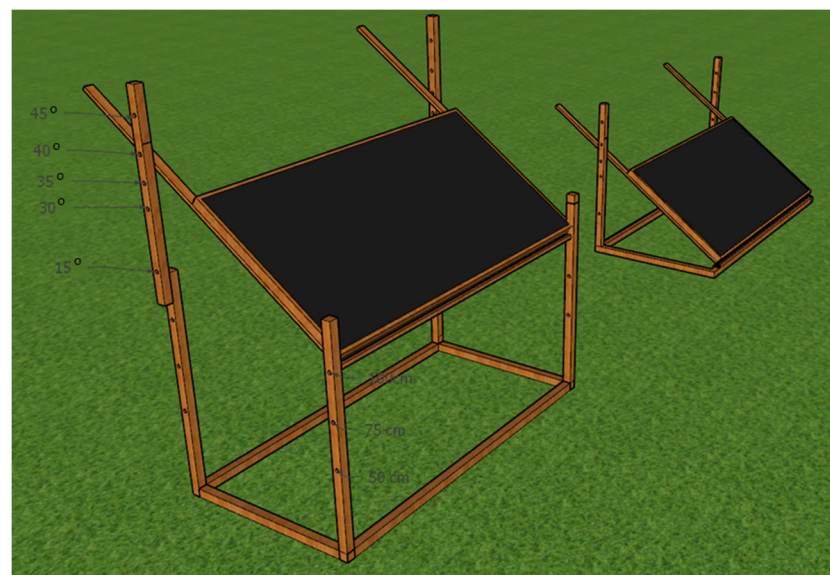


Figure 1. The 3D design of a rack for mounting PV panels.

The measurements were carried out in the vicinity of Poznań (52°05' N, 16°54' E) in July and August 2022. The average insolation at the research site is about 1080 kWh/year/m² [40]. The research focused on determining the influence of the angle of inclination of the PV module, its installation height above the ground surface, and the type of substrate (with different albedo coefficient) on the value of the power generated by the bPV.

Measurements were also conducted as quickly as possible to avoid significant changes in panel temperature; tests were conducted around noon, when temperature of the panels was stable (they were already heated by sun). To make test as fast as possible, readings of ammeters (with accuracy 0.5%) and voltmeters (with accuracy 0.03%) were recorded, and after, the measurement were copied to spreadsheet and analyzed. In this study, as is typical, representative set of measurements is presented.

For each combination of substrate, inclination angle and mounting height measurements were conducted at least three times. The number of tests was related to weather conditions; if there was unexpected change of shading (because of clouds), the number of tests was higher (we added another set). In a few seconds, the entire current–voltage characteristic of the bPV and mPV panels tested at the same time, in the same weather con-

ditions, was taken to compare the generated instantaneous power outputs. The irradiance value and the temperature of the panels were also continuously recorded so that they did not change by more than $2 \div 3$ °C throughout the test. The obtained results were compared with the values achieved by the mPV module, and the additional energy yield generated by the rear cells of the double-sided module was determined.

The tests carried out were aimed at determining the current–voltage and power characteristics of the LG 390N2T-A5 bPV panel with a nominal power of 390 W, along with parameters specific to bPV. When determining the parameters of the bPV, it should be assumed that the short-circuit current of the front and rear part of the module depends linearly on the irradiance reaching a given part of the module. In addition, the total short-circuit current of a bPV is assumed to be the sum of the currents associated with the front and back of the panel. Parameters characterizing bPV can be determined from the following dependencies [19]:

1. Power generated by the P module:

$$P = U \cdot I \text{ [W]} \quad (1)$$

2. The photovoltaic module fill factor— FF determines the maximum value ratio achieved by a power module vs. the theoretical maximum power of a module:

$$FF = \frac{I_{MPP} \cdot U_{MPP}}{I_{SC} \cdot U_{OC}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

3. The module efficiency η , i.e., the module's generated power ratio vs. the energy that reaches the module:

$$\eta = \frac{I_{MPP} \cdot U_{MPP}}{E \cdot S} = \frac{I_{SC} \cdot U_{OC} \cdot FF}{E \cdot S} \text{ [%]} \quad (3)$$

4. BGE index indicates the additional power generated by the rear side of the module related to that produced at the front side of the module:

$$BGE = \frac{P_{MPP, rear}}{P_{MPP, front}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

5. BGE_{Isc} index determines the current efficiency ratio of the rear side of the module to the current efficiency of the front side:

$$BGE_{Isc} = \frac{I_{sc, rear}}{I_{sc, front}} \text{ [-]} \quad (5)$$

6. The total value of irradiance that reached the module E_E :

$$E_E = E_{front} + BGE_{Isc} \cdot E_{rear} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (6)$$

7. Short-circuit current of the bifacial module $I_{sc, bi}$:

$$I_{sc, bi} = \frac{E_E}{E_{front}} \cdot I_{sc, front} \text{ [A]} \quad (7)$$

8. The open-circuit voltage of the bifacial module $U_{oc,bi}$:

$$U_{oc,bi} = U_{oc,front} + \frac{(U_{oc,rear} - U_{oc,front}) \cdot \ln\left(\frac{E_E}{E_{front}}\right)}{\ln\left(\frac{I_{sc,rear}}{I_{sc,front}}\right)} [V] \quad (8)$$

9. Pseudo fill factor pFF , which does not take into account the losses generated by series resistance:

$$pFF = \frac{\frac{U_{oc} \cdot q}{n \cdot k \cdot T} - \ln\left(\frac{U_{oc} \cdot q}{n \cdot k \cdot T} - 0.72\right)}{\frac{U_{oc} \cdot q}{n \cdot k \cdot T} + 1} [-] \quad (9)$$

10. The fill factor of the bifacial module FF_{bi} :

$$FF_{bi} = pFF - \frac{E_E}{E_{front}} \cdot \frac{U_{oc,front}}{U_{oc,bi}} \cdot (pFF - FF_{front}) [-] \quad (10)$$

3. Measurement Results

3.1. Influence of the Module Inclination Angle and Mounting Height Above the Green Ground on Power Generation

3.1.1. Study of the Influence of the Angle of Inclination of the Module on the Generation of Electricity When Placed Above the Green Ground at a Height of 0.5 m

The measurements were made in the summer for the angles of inclination of the module to the ground surface from 15 to 45 degrees with a step of 5°. In turn, the installation height was 0.5, 0.75, or 1 m. Such parameter values are taken into consideration during the installation of photovoltaic farms due to the variability of solar and atmospheric conditions in the analyzed area throughout the year. The conditions prevailing during the measurement and the determined values of parameters characteristic for the measurement test performed are presented in Table 2, and the obtained current–voltage and power–voltage characteristics are shown on Figure 2.

The results of measurements carried out for the green substrate indicate the differences resulting from the construction of the panels. The double-sided panel generated 6% to 15% more power than the single-sided panel, depending on the angle of inclination.

Table 2. Values of the calculated parameters based on measurements for a green substrate and an assembly height of 0.5 m.

Type	α [°]	E_{front} [W/m ²]	T [°C]	U_{MPP} [V]	I_{MPP} [A]	U_{OC} [V]	I_{SC} [A]	P_{MPP} [W]	FF [-]
Monofacial	45	887	55.0	38.653	6.90	45.092	7.84	266.706	0.754
	40	880		36.730	7.40	44.895	7.99	271.802	0.758
	35	869		37.551	7.14	44.708	7.85	268.114	0.764
	30	877		36.727	7.36	44.595	7.82	270.311	0.775
	25	868		36.849	7.22	44.617	7.79	266.050	0.765
	15	870		36.269	7.08	44.444	7.34	256.785	0.787
Bifacial	45	887	44.9	37.003	8.00	45.938	8.37	296.024	0.919
	40	880		38.117	7.94	45.910	8.56	302.649	0.913
	35	869		38.380	8.00	45.719	8.57	307.040	0.896
	30	877		37.225	8.24	45.750	8.56	306.734	0.890
	25	868		36.326	8.08	45.770	8.37	293.514	0.907
	15	870		38.567	7.05	45.547	7.85	271.897	0.912

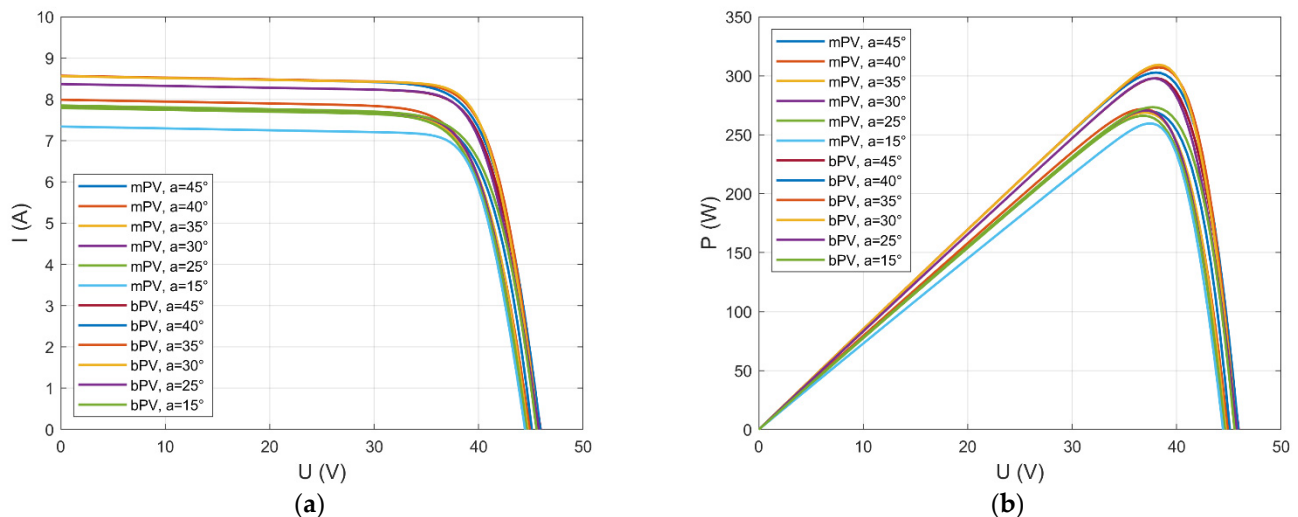


Figure 2. Current–voltage (a) and power–voltage (b) characteristics for a green substrate with panel mounting height $H = 0.5$ m at a variable angle of inclination.

The highest power of the bPV, equal to 307 W, was obtained when it was set at an angle of 35° and the irradiance was 869 W/m^2 . The mPV, on the other hand, generated the highest power of 272 W at an inclination of 40° and an irradiance of 880 W/m^2 .

The bPV was also characterized by higher values of short-circuit current and no-load voltage for the same inclination angles.

For all configurations of the mPV, the efficiency was similar and amounted to approx. 13.3%, and in the case of the bPV, this parameter was more varied and ranged from 14.8 for the angle of 15° to 16.7% at the angle of 35° .

3.1.2. Study of the Influence of the Angle of Inclination of the Module on the Generation of Electricity When Placed Above the Green Ground at a Height of 0.75 m

Atmospheric conditions prevailing during the measurement and the determined values of parameters characteristic for the performed measurement test are presented in Table 3, and the obtained current–voltage and power–voltage characteristics are shown in Figure 3.

Table 3. Values of the calculated parameters based on measurements for a green substrate and an assembly height of 0.75 m.

Type	α [°]	E_{front} [W/m ²]	T [°C]	U_{MPP} [V]	I_{MPP} [A]	U_{OC} [V]	I_{SC} [A]	P_{MPP} [W]	FF [-]
Monofacial	45	905	54.9	36.601	7.57	44.498	8.15	277.07	0.764
	40	855		37.052	7.26	44.996	7.85	268.998	0.762
	35	862		35.394	7.58	43.995	7.95	268.287	0.767
	30	894		34.986	7.85	43.744	8.07	274.64	0.778
	25	857		36.737	7.28	45.095	7.75	267.445	0.765
	15	845		35.699	6.94	44.616	7.21	247.751	0.770
Bifacial	45	905	45.0	38.128	7.98	45.521	8.58	304.261	0.929
	40	855		38.222	7.88	45.942	8.55	301.189	0.899
	35	862		37.588	8.22	45.819	8.64	308.973	0.884
	30	894		36.482	8.5	45.617	8.96	310.097	0.864
	25	857		38.199	7.91	46.109	8.56	302.154	0.885
	15	845		37.825	7.41	46.297	8.3	280.283	0.837

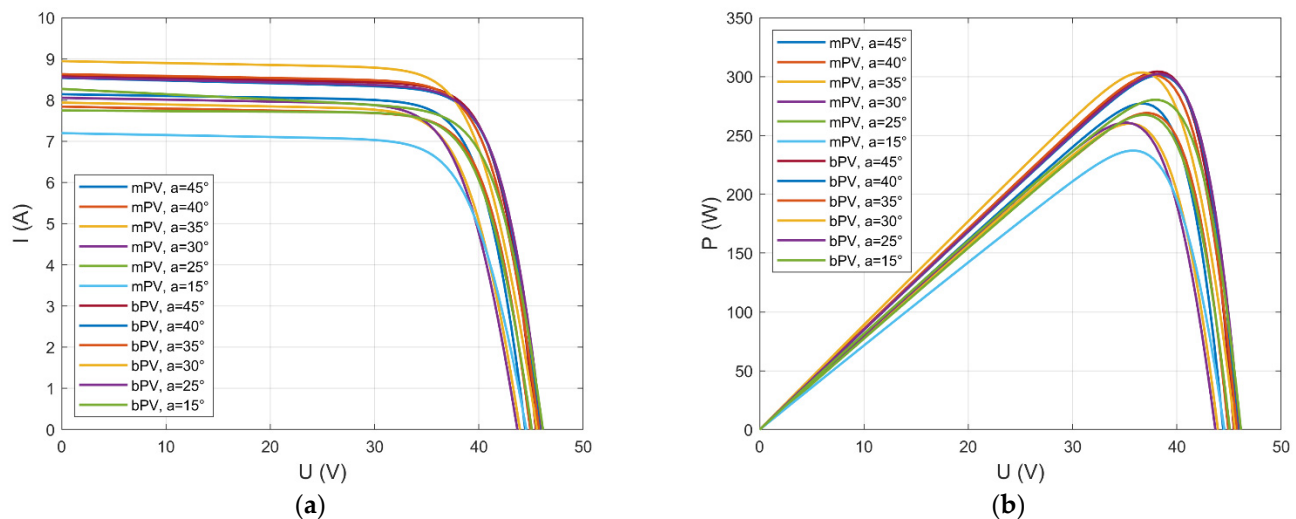


Figure 3. Current–voltage (a) and power–voltage (b) characteristics for a green substrate, with panel mounting height $H = 0.75$ m at a variable angle of inclination.

Changing the installation height—an increase of 0.25 m—does not affect the ratio of individual values for mPV and bPV panels. The powers, currents, and voltages obtained by the bPV module are higher. In turn, the percentage increase in generated power is significant, i.e., the bPV panel generated 10% to 15% more power than mPV.

The highest power of the bPV panel of 310 W was measured at an inclination angle of 30° and irradiance of 894 W/m^2 ; for the mPV panel, the highest power of 275 W was obtained at the same angle and irradiance value.

For all configurations of the mPV panel, the efficiency was similar and amounted to about 13.3%; in the case of the bPV panel, the efficiency was higher, and the angle of inclination had a greater impact on this parameter. The efficiency ranged from 15.7% for the angle of 15° to 17% for the angle of 35°.

3.1.3. Study of the Influence of the Angle of Inclination of the Module on the Generation of Electricity When Placed Above the Green Ground at a Height of 1.0 m

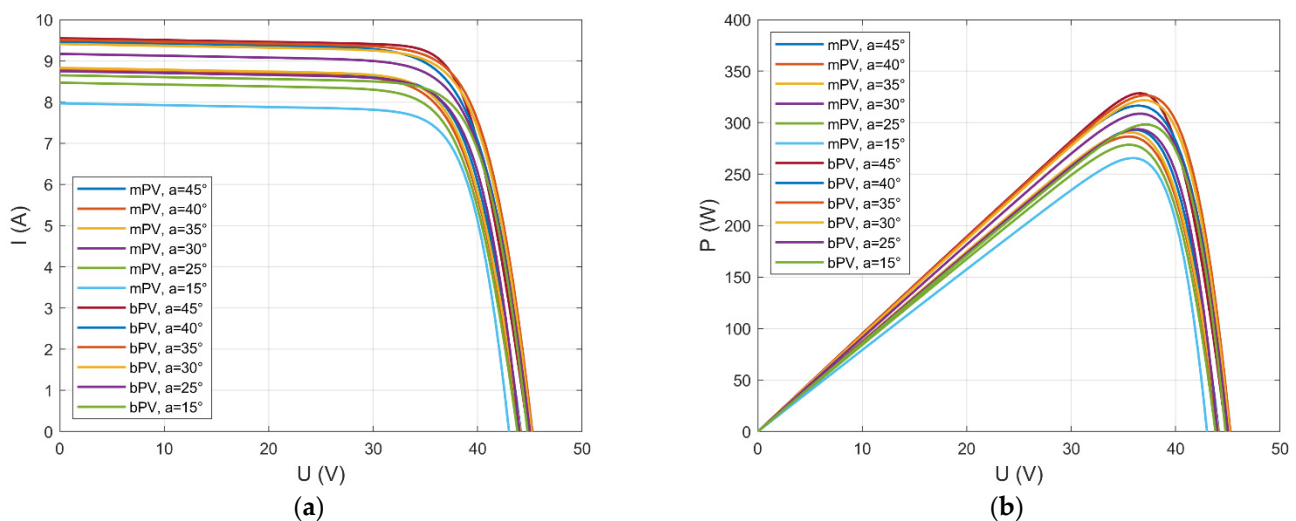
Atmospheric conditions prevailing during the measurement and the determined values of parameters characteristic for the performed measurement test are presented in Table 4, and the obtained current–voltage and power–voltage characteristics are shown in Figure 4.

For the highest of the tested installation heights, another increase in the power obtained by the panels was recorded; one of the factors of this increase was also the increase in irradiance. Thus, for the bPV panel, the maximum power was 326 W at an inclination of 35° and irradiance of 955 W/m^2 , while for mPV, it was 293 W at an angle of 45° and the same irradiance value. In the presented sample, the bPV panel produced 10% to 13% more electricity than the mPV panel. Compared to the two previous configurations, this difference is smaller and may be related to a higher value of irradiance than in previous measurements. Better lighting conditions increase the yield from both cells, but the low albedo of the substrate does not allow using the potential of the double-sided cell.

As in the previous cases, the values of currents and voltages are higher for bPV panels. An important piece of information is the identification of distortions in the characteristics of the mPV panel for the angle of 15° and 25°, which occurred as a result of shading related to the presence of an electric pole casting a shadow on the panel.

Table 4. Values of the calculated parameters based on measurements for a green substrate and an assembly height of 1.0 m.

Type	α [°]	E_{front} [W/m ²]	T [°C]	U_{MPP} [V]	I_{MPP} [A]	U_{OC} [V]	I_{SC} [A]	P_{MPP} [W]	FF [-]
Monofacial	45	966	55.2	35.775	8.19	44.128	8.77	292.997	0.757
	40	954		35.276	8.12	44.021	8.77	286.441	0.742
	35	955		35.076	8.27	44.095	8.83	290.078	0.745
	30	943		37.309	7.82	44.015	8.75	291.756	0.758
	25	915		35.128	7.92	43.815	8.47	278.214	0.750
	15	850		36.871	7.15	43.008	7.97	263.628	0.769
Bifacial	45	966	46.1	34.578	9.28	44.817	9.55	320.884	0.904
	40	954		36.744	8.61	45.089	9.47	316.366	0.904
	35	955		37.466	8.71	45.239	9.51	326.329	0.905
	30	943		37.193	8.65	45.159	9.41	321.720	0.906
	25	915		37.024	8.33	45.011	9.17	308.401	0.899
	15	850		37.674	7.90	44.781	8.65	297.625	0.885

**Figure 4.** Current–voltage (a) and power–voltage (b) characteristics for a green substrate with panel mounting height $H = 1.0$ m at a variable angle of inclination.

3.2. Influence of the Module Inclination Angle and Mounting Height Above the White Substrate on Power Generation

3.2.1. Study of the Influence of the Angle of Inclination of the Module on the Generation of Electricity When Placed Above the White Substrate at a Height of 0.5 m

The tests for the white substrate were carried out in the same way as for the green substrate, i.e., the angle of inclination of the module to the ground surface was from 15° to 45° in increments of 5°, and the mounting height was 0.5, 0.75, and 1 m.

Atmospheric conditions prevailing during the measurement and the determined values of parameters characteristic for individual measurement tests are shown in Table 5, and the obtained current–voltage and power–voltage characteristics are shown in Figure 5.

As was the case for the green substrate, in the case of the white substrate, for the lowest height, the differences are noticeable directly on the charts. Two groups of characteristics can be seen separately for the mPV and bPV modules. Analyzing the best cases, it can be seen that the bPV module generated the highest power of 345 W at an inclination angle of 35° and an irradiance of 1015 W/m², while the mPV module generated the highest power of 282 W at an inclination angle of 45° and an irradiance of 1007 W/m². In addition, the bPV panel generated from 17 to as much as 25% more power under similar lighting

conditions. Analyzing the conversion efficiency of individual panels, it can be seen that for the mPV panel, it ranged from 12.7% to 13.3%, and in the case of the bifacial panel, this parameter ranged from 15.5% to 16.1%. Other parameters, such as the short-circuit current or no-load voltage, were higher for the bPV panel. It should also be noted that these results were better than those obtained for the green substrate.

Table 5. Values of the calculated parameters based on measurements for a white substrate and an assembly height of 0.5 m.

Type	α [°]	E_{front} [W/m ²]	T [°C]	U_{MPP} [V]	I_{MPP} [A]	U_{OC} [V]	I_{SC} [A]	P_{MPP} [W]	FF [-]
Monofacial	45	1007	54.9	35.048	8.05	44.277	8.56	282.136	0.760
	40	1036		37.860	7.37	44.223	9.05	279.028	0.783
	35	1015		37.303	7.55	44.227	9.09	281.638	0.743
	30	1006		38.714	7.05	44.129	8.89	272.934	0.753
	25	1007		37.623	7.22	44.368	8.77	271.638	0.734
	15	982		37.428	7.19	44.227	8.31	269.107	0.747
Bifacial	45	1007	49.0	36.224	9.15	45.138	9.72	331.45	0.864
	40	1036		36.779	9.22	45.128	10.01	339.102	0.886
	35	1015		39.203	8.81	45.218	10.25	345.378	0.867
	30	1006		37.016	9.25	44.975	10.09	342.400	0.864
	25	1007		36.431	9.25	45.038	10.04	336.987	0.861
	15	982		35.612	9.25	44.952	9.69	329.411	0.844

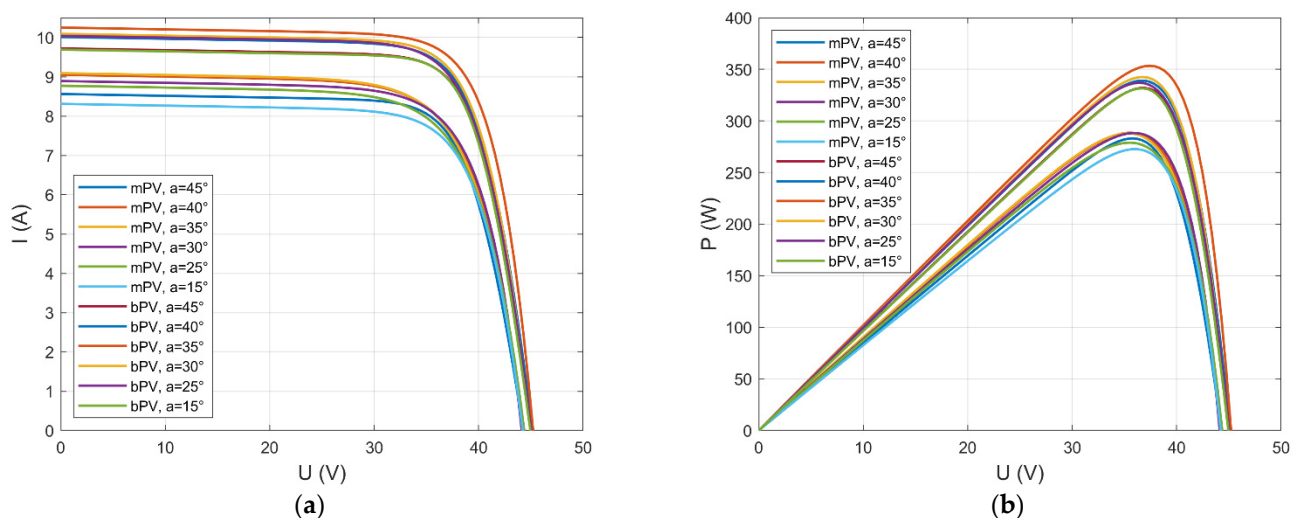


Figure 5. Current–voltage (a) and power–voltage (b) characteristics for a white substrate with panel mounting height $H = 0.5$ m at a variable angle of inclination.

3.2.2. Study of the Influence of the Angle of Inclination of the Module on the Generation of Electricity When Placed Above the White Substrate at a Height of 0.75 m

Atmospheric conditions prevailing during the measurement and the determined values of parameters characteristic for individual measurement tests are shown in Table 6, and the obtained current–voltage and power–voltage characteristics are shown in Figure 6.

Increasing the mounting height to 0.75 m does not significantly change the ratio of power generation by both panels, i.e., the one generated by the bPV panel is much higher than that generated by the mPV panel. The differences range from 22 to 28%; such a big difference is related not only to the change in height, but also shows that in worse lighting conditions, the advantage of the bPV panel increases. The highest power of 344 W for the bPV panel was obtained for the angle of inclination of 30° and irradiance

of 970 W/m^2 , while for the mPV panel, the highest power of 281 W was obtained for the angle of inclination of 35° and irradiance of 971 W/m^2 .

Table 6. Values of the calculated parameters based on measurements for a white substrate and an assembly height of 0.75 m.

Type	α [°]	E_{front} [W/m ²]	T [°C]	U_{MPP} [V]	I_{MPP} [A]	U_{OC} [V]	I_{SC} [A]	P_{MPP} [W]	FF [-]
Monofacial	45	979	55.2	32.517	8.37	44.378	8.61	272.167	0.722
	40	976		32.57	8.31	44.318	8.56	270.657	0.735
	35	971		34.911	8.05	44.224	8.38	281.034	0.747
	30	970		35.445	7.90	44.221	8.18	280.016	0.747
	25	951		33.750	7.67	45.451	7.89	258.863	0.739
	15	935		31.616	7.90	45.036	8.05	249.766	0.745
Bifacial	45	979	51.2	37.192	9.05	45.077	10.15	336.588	0.835
	40	976		36.259	9.35	45.107	10.15	339.022	0.829
	35	971		36.029	9.55	44.899	10.08	344.080	0.819
	30	970		36.731	9.39	44.859	9.92	344.904	0.813
	25	951		36.151	9.08	46.020	9.65	328.251	0.808
	15	935		39.616	8.10	46.125	9.11	320.889	0.863

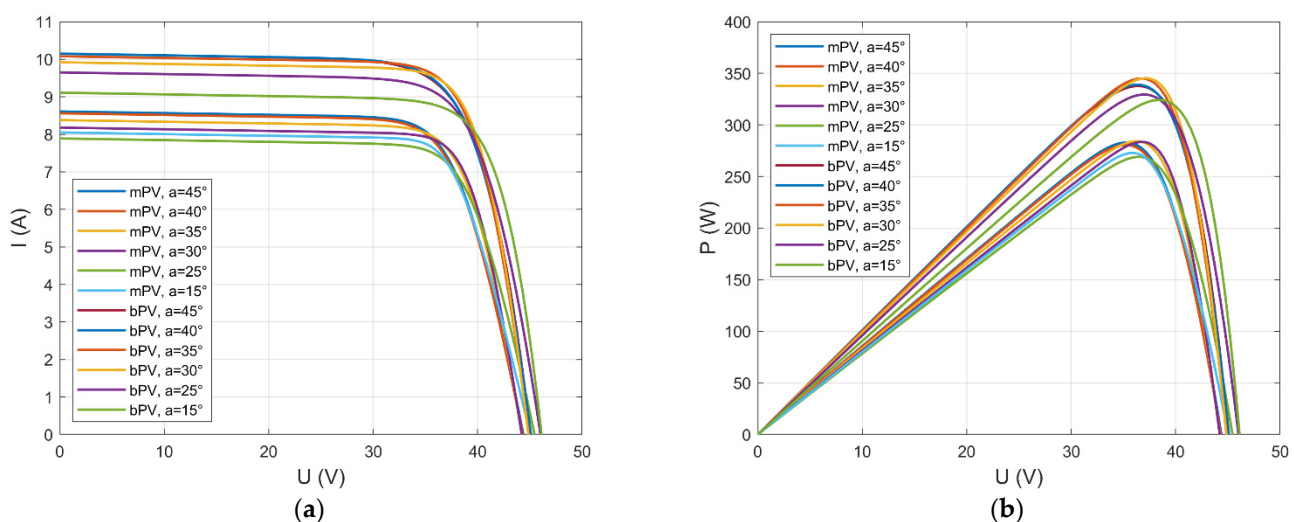


Figure 6. Current–voltage (a) and power–voltage (b) characteristics for a white substrate with panel mounting height $H = 0.75 \text{ m}$ at a variable angle of inclination.

The voltages and currents measured during the tests were, as before, higher for the bPV panel. During the measurements for the bPV module for the angles of 15° and 35° , the irregularities visible in the graphs are related to the appearance of shading during the tests.

3.2.3. Study of the Influence of the Angle of Inclination of the Module on the Generation of Electricity When Placed Above the White Substrate at a Height of 1.0 m

Atmospheric conditions prevailing during the measurement and the determined values of parameters characteristic for individual measurement tests are shown in Table 7, and the obtained current–voltage and power–voltage characteristics are shown in Figure 7.

Measurements made for the highest mounting height of 1.0 m were carried out under the worst lighting conditions, which confirmed the previously observed advantage of the bPV panel over the mPV. The differences in generated power range from 28 to 56%, which is an important argument for considering this type of panels in places with weaker insolation and high albedo substrates. The highest power of 374 W for the bPV panel was obtained

for the angle of inclination of 30° and irradiance of 970 W/m^2 , while for the mPV panel, the highest power of 274 W was obtained for the angle of inclination of 25° and the irradiance of 959 W/m^2 .

Table 7. Values of the calculated parameters based on measurements for a white substrate and an assembly height of 1.0 m .

Type	α [°]	E_{front} [W/m ²]	T [°C]	U_{MPP} [V]	I_{MPP} [A]	U_{OC} [V]	I_{SC} [A]	P_{MPP} [W]	FF [-]
Monofacial	45	963	54.9	31.098	8.40	43.944	8.4	261.223	0.743
	40	966		33.716	8.08	43.944	8.41	272.425	0.753
	35	956		32.701	8.09	44.306	8.30	264.551	0.734
	30	970		30.092	8.28	44.241	8.39	249.162	0.747
	25	959		33.815	8.11	44.187	8.34	274.240	0.760
	15	943		28.466	7.87	44.014	8.10	224.027	0.768
Bifacial	45	963	52.0	35.468	9.70	45.017	10.41	344.040	0.788
	40	966		36.346	9.60	45.017	10.74	348.922	0.764
	35	956		36.304	10.11	45.796	11.05	367.033	0.727
	30	970		35.711	10.49	45.730	11.01	374.608	0.737
	25	959		36.115	9.80	45.024	10.93	353.930	0.749
	15	943		36.247	9.69	44.783	10.44	351.233	0.763

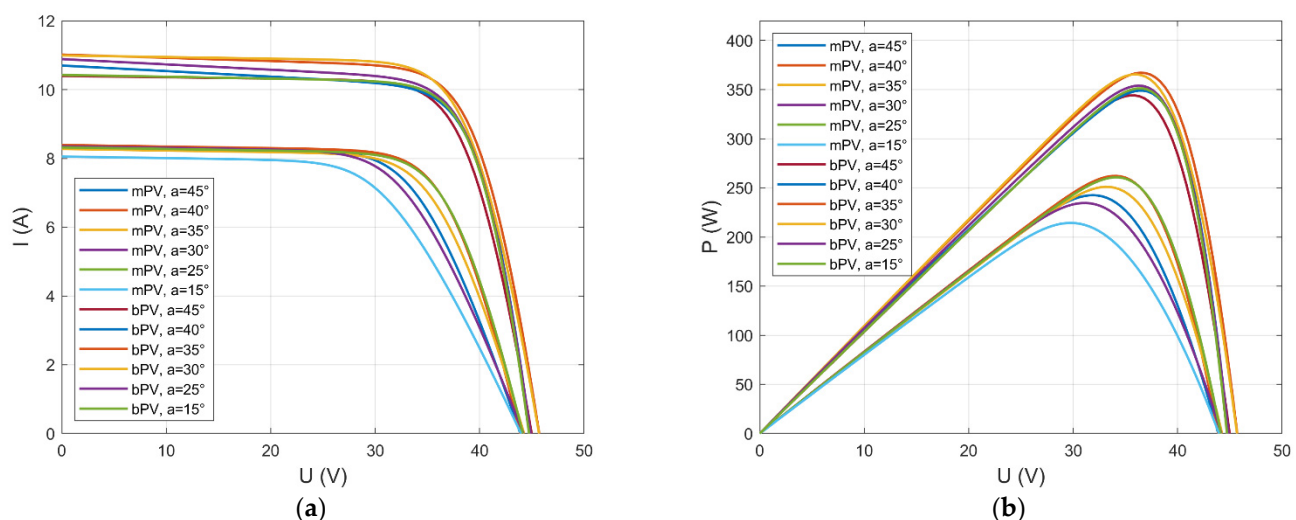


Figure 7. Current–voltage (a) and power–voltage (b) characteristics for a white substrate with panel mounting height $H = 1.0 \text{ m}$ at a variable angle of inclination.

For the mPV panel, the efficiency ranged from 11.2% to 13.5% , and in the case of the bifacial panel, this parameter ranged from 16.9% to 18.3% .

The measured voltages and currents in individual tests were higher for the bPV panel. During these tests, there were temporary cloud cover, causing irregularities in the characteristics.

3.3. Influence of the Module Inclination Angle and Mounting Height Above the Gray Substrate on Power Generation

3.3.1. Study of the Influence of the Angle of Inclination of the Module on the Generation of Electricity When Placed Above the Gray Substrate at a Height of 0.5 m

As for the previous two substrates, the tests for the gray substrate were carried out for the angles of the module inclination to the ground surface from 15° to 45° degrees in increments of 5° , and the mounting height was 0.5 , 0.75 , or 1 m . Atmospheric conditions prevailing during the measurement and the determined values of parameters characteristic

for individual measurement tests are shown in Table 8. The obtained current–voltage and power–voltage characteristics are shown in Figure 8.

Table 8. Values of the calculated parameters based on measurements for a gray substrate and an assembly height of 0.5 m.

Type	α [°]	E_{front} [W/m ²]	T [°C]	U_{MPP} [V]	I_{MPP} [A]	U_{OC} [V]	I_{SC} [A]	P_{MPP} [W]	FF [-]
Monofacial	45	998	55.1	35.342	8.51	44.086	9.13	300.761	0.783
	40	987		35.136	8.35	44.215	8.88	293.386	0.760
	35	960		35.537	7.97	44.414	8.63	283.230	0.745
	30	928		36.334	7.53	44.612	8.23	273.600	0.739
	25	891		35.897	7.46	44.751	7.87	267.792	0.747
	15	854		37.026	6.51	44.723	6.88	241.039	0.747
Bifacial	45	998	46.9	34.311	9.8	45.195	10.16	336.248	0.732
	40	987		35.638	9.41	45.218	9.95	335.354	0.745
	35	960		36.529	9.08	45.252	9.71	331.683	0.755
	30	928		36.784	8.85	45.462	9.36	325.538	0.765
	25	891		37.280	8.32	45.623	9.00	310.170	0.755
	15	854		37.086	7.54	42.039	8.16	279.628	0.742

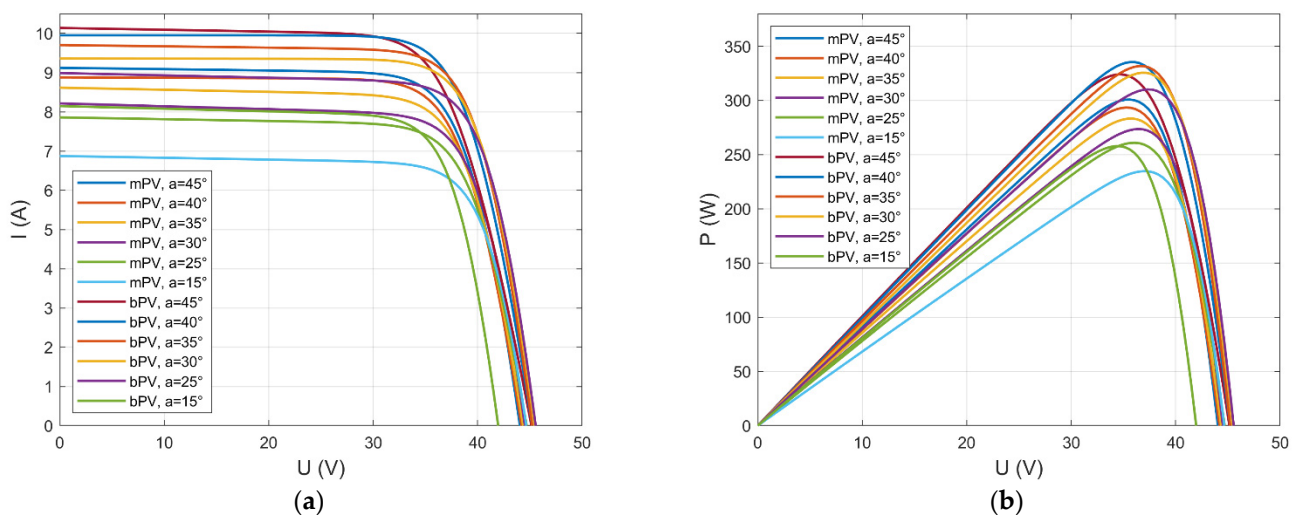


Figure 8. Current–voltage (a) and power–voltage (b) characteristics for a gray substrate with panel mounting height $H = 0.5$ m at a variable angle of inclination.

Studies of a gray substrate, i.e., for one with an albedo coefficient greater than grass but lower than the white substrate, confirm that the use of double-sided panels increases power generation, and the profit is the greater the more the substrate reflects more light. For a distance from the ground of 0.5 m, the power generated by the bPV panel was 12 to 19% higher than the power generated by the mPV panel. The highest power of the bPV panel of 336 W was obtained with an inclination angle of 45° and an irradiance of 998 W/m². For the mPV panel, the maximum power of 300 W was measured at a 45° inclination and an irradiance of 998 W/m².

The conversion efficiency for the mPV panel was from 14.3% to 15.4%, while for the mPV panel, it was from 12.3% to 13.3%. Parameters such as currents and voltages were higher in the case of the bPV panel, as in the previous tests.

3.3.2. Study of the Influence of the Angle of Inclination of the Module on the Generation of Electricity When Placed Above the Gray Substrate at a Height of 0.75 m

Atmospheric conditions prevailing during the measurement and the determined values of parameters characteristic for individual measurement tests are shown in Table 9, and the obtained current–voltage and power–voltage characteristics are shown in Figure 9.

Table 9. Values of the calculated parameters based on measurements for a gray substrate and an assembly height of 0.75 m.

Type	α [°]	E_{front} [W/m ²]	T [°C]	U_{MPP} [V]	I_{MPP} [A]	U_{OC} [V]	I_{SC} [A]	P_{MPP} [W]	FF [-]
Monofacial	45	982	56.1	34.254	8.440	44.415	9.01	289.104	0.735
	40	979		35.891	8.100	43.831	9.02	290.717	0.722
	35	980		36.098	8.144	44.059	9.077	293.983	0.735
	30	975		36.163	8.168	44.161	9.087	295.262	0.736
	25	972		36.135	8.038	44.109	8.931	290.455	0.737
	15	965		36.148	7.828	44.118	8.754	282.980	0.733
Bifacial	45	982	46.8	35.01	9.380	45.178	9.86	328.394	0.737
	40	979		38.959	8.540	44.661	9.86	332.71	0.756
	35	980		39.169	8.589	44.986	9.820	336.404	0.762
	30	975		39.707	8.668	45.519	9.953	344.192	0.760
	25	972		39.221	8.471	44.928	9.675	332.244	0.764
	15	965		39.007	8.186	45.009	9.254	319.325	0.767

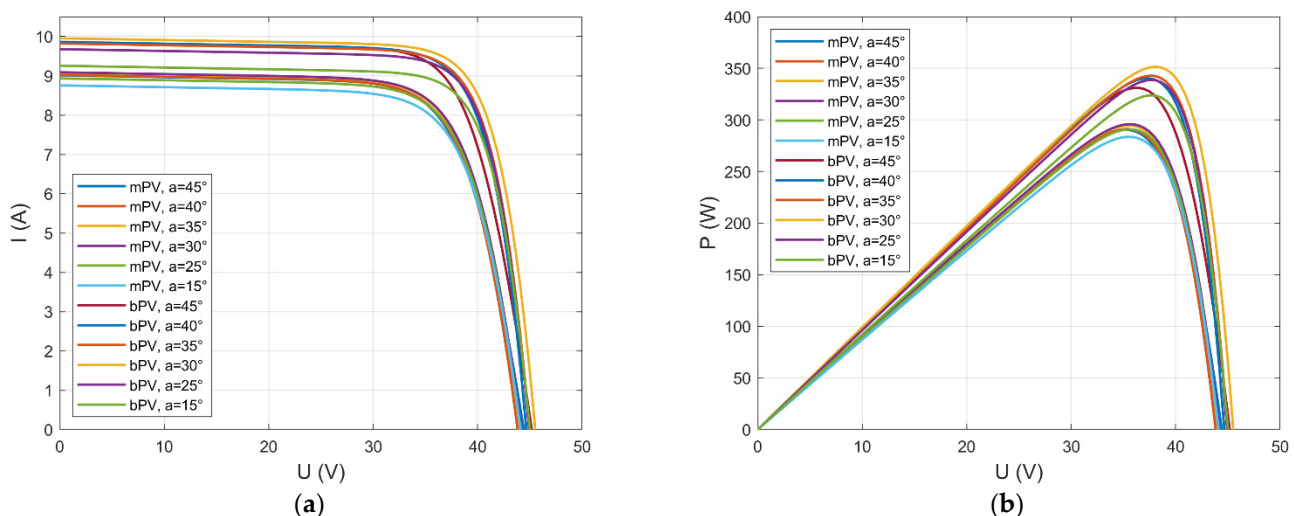


Figure 9. Current–voltage (a) and power–voltage (b) characteristics for a gray substrate with panel mounting height $H = 0.75$ m at a variable angle of inclination.

Increasing the installation height not only increases the energy yield, but, similarly to the white substrate, two groups of curves are clearly visible: one related to the bPV module and the other related to the mPV module. In the case of the bPV panel, the maximum power of 344 W was obtained at an angle of inclination of 30° with an irradiance of 975 W/m², while for the mPV panel, the maximum power of 295 W was obtained at an angle of inclination of 30° with the same irradiance. The difference in generated power ranged from 13 to 17% in favor of the bPV panel. In turn, the conversion efficiency in this case ranged from 13 to 14.2% for the mPV panel and from 14.8 to 15.6% for the bPV panel. The relationship between the MPP current and voltage and short-circuit current and open-circuit voltage were again higher for the bPV panel.

3.3.3. Study of the Influence of the Angle of Inclination of the Module on the Generation of Electricity When Placed Above the Gray Substrate at a Height of 1.0 m

Atmospheric conditions prevailing during the measurement and the determined values of parameters characteristic for individual measurement tests are shown in Table 10, and the obtained current–voltage and power–voltage characteristics are shown in Figure 10.

Table 10. Values of the calculated parameters based on measurements for a gray substrate and an assembly height of 1.0 m.

Type	α [°]	E_{front} [W/m ²]	T [°C]	U_{MPP} [V]	I_{MPP} [A]	U_{OC} [V]	I_{SC} [A]	P_{MPP} [W]	FF [-]
Monofacial	45	970	55.4	35.96	8.13	43.654	9.01	292.355	0.768
	40	972		36.477	8.20	43.984	9.03	299.111	0.760
	35	973		34.255	8.50	43.853	9.05	291.168	0.747
	30	982		35.697	8.32	44.153	9.01	297.000	0.734
	25	972		35.613	8.25	44.053	8.77	293.807	0.753
	15	919		36.689	7.42	44.053	8.05	272.232	0.743
Bifacial	45	970	52.0	37.026	9.14	45.050	9.81	338.418	0.766
	40	972		36.298	9.38	45.010	9.97	340.475	0.759
	35	973		36.288	9.5	45.109	10.04	344.74	0.761
	30	982		37.605	9.13	45.109	10.08	343.334	0.755
	25	972		38.486	8.60	44.899	9.98	330.980	0.739
	15	919		39.511	8.20	44.899	9.45	323.990	0.764

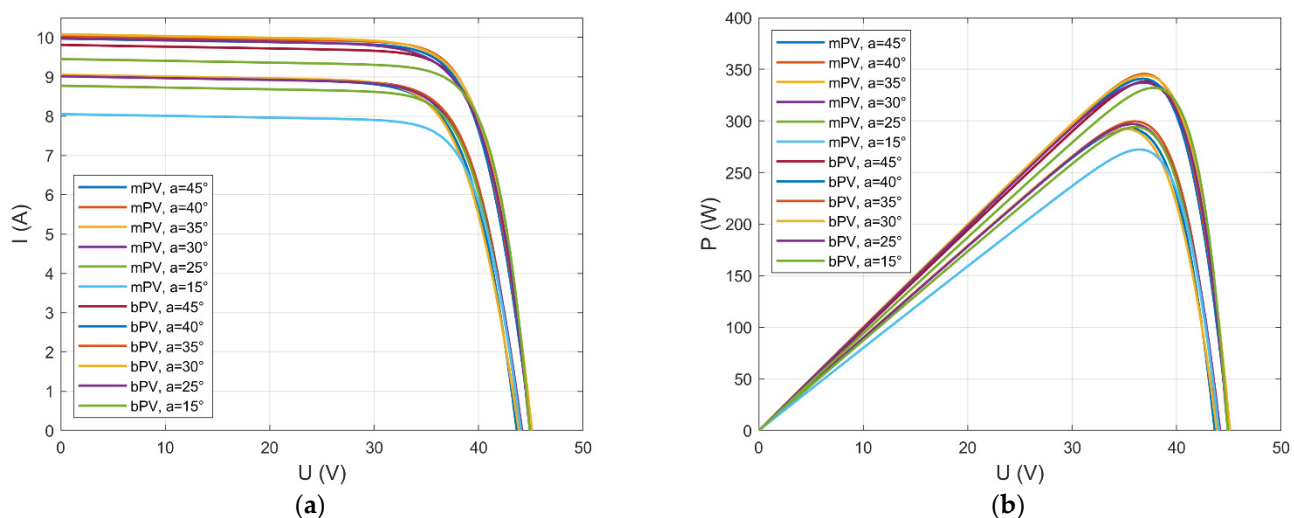


Figure 10. Current–voltage (a) and power–voltage (b) characteristics for a gray substrate with panel mounting height $H = 1.0$ m at a variable angle of inclination.

Further increasing the mounting height confirms the advantage of the bPV panel at higher mounting heights. In this case, the bPV panel generates 13 to 19% more power than the mPV. The maximum power values obtained are 345 W for the bPV panel with an inclination of 35° and an irradiance of 973 W/m² and 297 W for the mPV panel with an inclination of 30° and an irradiance of 982 W/m².

For the mPV panel, the efficiency ranged from 13.0% to 13.6%, and for the bPV panel, this parameter ranged from 15.0% to 15.6%.

As in the previous cases, the values of individual currents and voltages are higher in the case of a bPV panel. During the tests of the bPV panel located at an angle of 15° and the mPV panel inclined at an angle of 40°, shading occurred, which is visible in the characteristics.

4. Discussion

4.1. Efficiency Analysis

After performing the experiments, parameters characterizing bifacial panels were determined and compared with the values obtained for mPV panels. The results of the calculations are summarized in Table 11 and presented in the form of graphs (Figures 11–13).

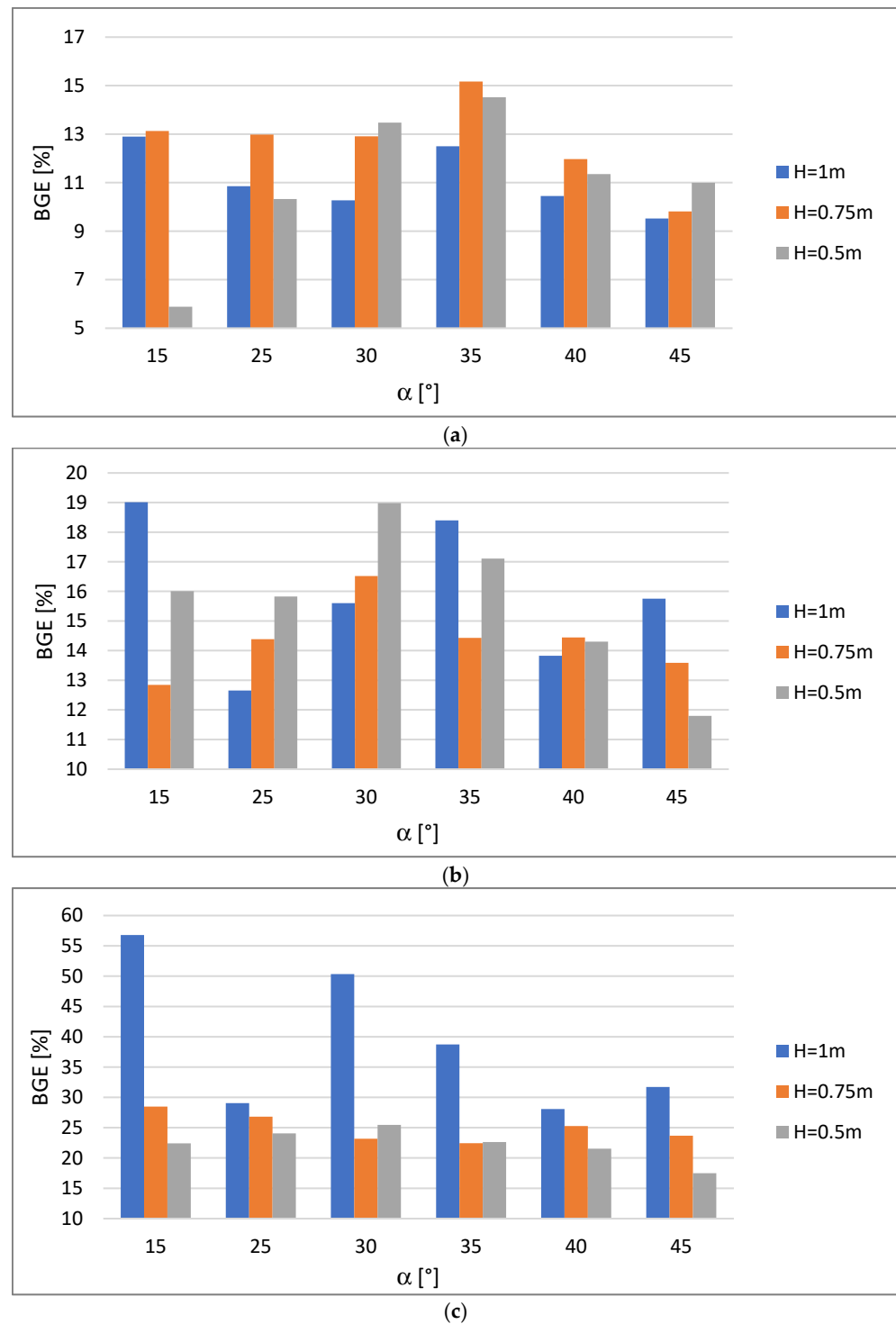


Figure 11. Dependence of the BGE indicator on the angle of inclination α and the installation height H of the bifacial panel above the ground: grass green (a), gray (b), and white (c).

Table 11. Parameters determined based on the measurement data.

H [m]	α [°]	Green Substrate							White Substrate							Gray Substrate				
		E_{front} [W/m ²]	Monofacial (mPV)		Bifacial (bPV)			E_{front} [W/m ²]	Monofacial (mPV)		Bifacial (bPV)			E_{front} [W/m ²]	Monofacial (mPV)		Bifacial (bPV)			
			P_{MPP} [W]	η [%]	P_{MPP} [W]	η [%]	BGE [%]		P_{MPP} [W]	η [%]	P_{MPP} [W]	η [%]	BGE [%]		P_{MPP} [W]	η [%]	P_{MPP} [W]	η [%]	BGE [%]	
0.5	45	887	266.71	13.2	296.02	15.8	10.99	1007	282.14	13.3	331.45	15.6	17.48	998	300.76	13.3	336.25	14.9	11.80	
	40	880	271.80	13.5	302.65	16.3	11.35	1036	279.03	12.7	339.10	15.5	21.53	987	293.39	13.1	335.35	15.0	14.31	
	35	869	268.11	13.5	307.04	16.7	14.52	1015	281.64	13.1	345.38	16.1	22.63	960	283.23	13.0	331.68	15.2	17.11	
	30	877	270.31	13.5	306.73	16.6	13.47	1006	272.93	12.8	342.40	16.1	25.45	928	273.60	13.0	325.54	15.4	18.98	
	25	868	266.05	13.4	293.51	16.0	10.32	1007	271.64	12.8	336.99	15.8	24.06	891	267.79	13.2	310.17	15.3	15.83	
	15	870	256.79	12.9	271.90	14.8	5.89	982	269.11	13.0	329.41	15.9	22.41	854	241.04	12.3	279.63	14.3	16.01	
0.75	45	905	277.07	13.4	304.26	15.9	9.81	979	272.17	13.2	336.59	16.3	23.67	982	289.10	13.0	328.39	14.8	13.59	
	40	855	268.99	13.8	301.19	16.7	11.97	976	270.66	13.1	339.02	16.4	25.26	979	290.72	13.1	332.71	15.0	14.45	
	35	862	268.29	13.6	308.97	17.0	15.17	971	281.03	13.7	344.08	16.8	22.43	980	293.98	14.2	336.40	15.4	14.43	
	30	894	274.64	13.5	310.10	16.4	12.91	970	280.02	13.7	344.90	16.8	23.17	975	295.26	14.2	344.19	15.6	16.52	
	25	857	267.45	13.7	302.15	16.7	12.98	951	258.86	12.9	328.25	16.3	26.81	972	290.46	14.0	332.24	15.2	14.39	
	15	845	247.75	12.8	280.28	15.7	13.13	935	249.77	12.6	320.90	16.2	28.48	965	282.98	13.6	319.33	14.8	12.84	
1	45	966	292.99	13.4	320.88	15.7	9.52	963	261.22	12.8	344.04	16.9	31.70	970	292.36	13.3	338.42	15.4	15.76	
	40	954	286.44	13.2	316.37	15.7	10.45	966	272.43	13.3	348.92	17.1	28.08	972	299.11	13.6	340.48	15.5	13.83	
	35	955	290.08	13.4	326.33	16.2	12.50	956	264.55	13.1	367.03	18.2	38.74	973	291.17	13.2	344.74	15.6	18.40	
	30	943	291.76	13.6	321.72	16.1	10.27	970	249.16	12.2	374.61	18.3	50.35	982	297.00	13.4	343.33	15.4	15.60	
	25	915	278.21	13.4	308.40	16.0	10.85	959	274.24	13.5	353.93	17.5	29.06	972	293.81	13.3	330.98	15.0	12.65	
	15	850	263.63	13.6	297.63	16.6	12.90	943	224.03	11.2	351.23	17.6	56.78	919	272.23	13.0	323.99	15.5	19.01	

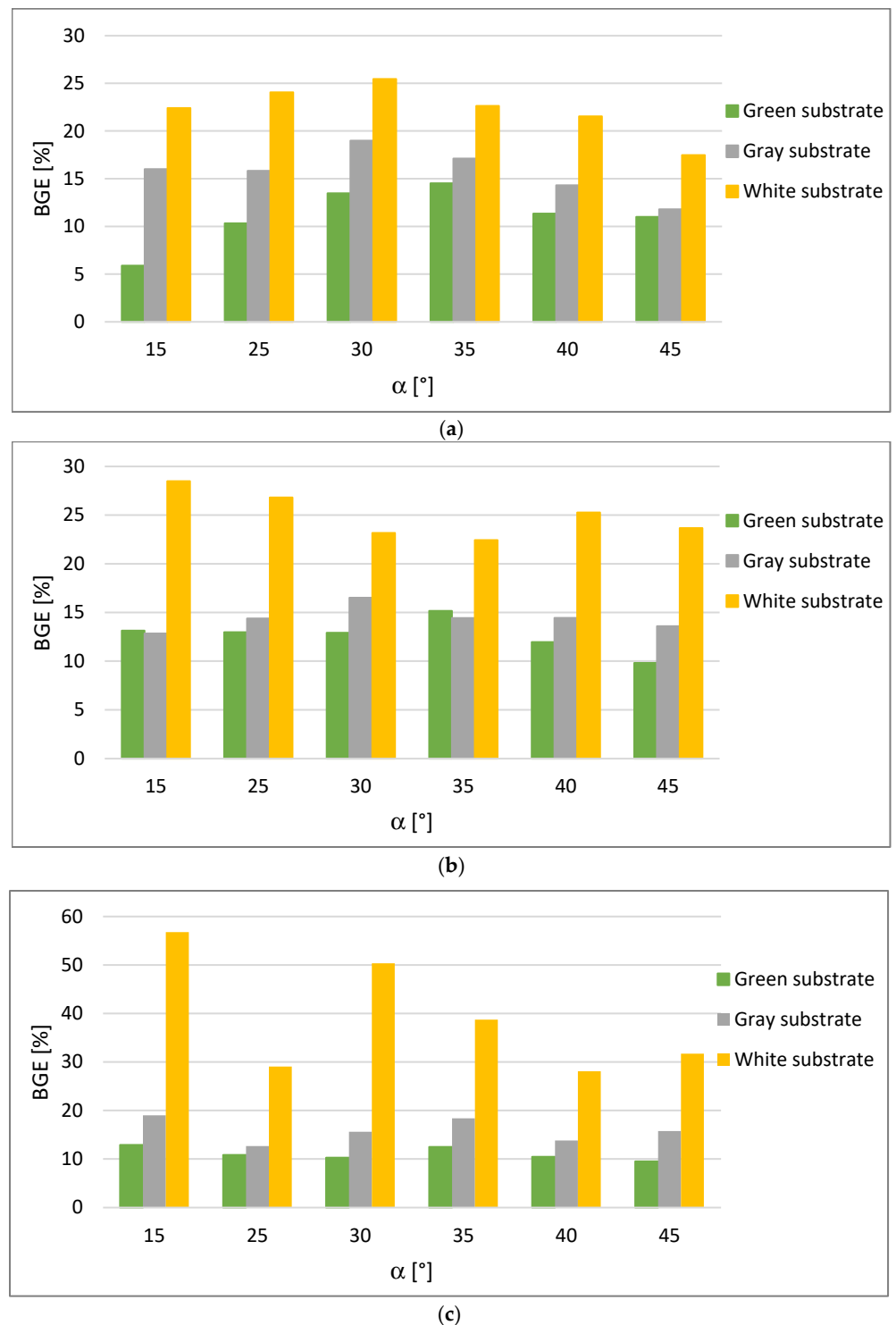


Figure 12. Dependence of the BGE indicator on the angle of inclination α and the type of substrate under the bifacial panel for the installation height H : 0.5 m (a), 0.75 m (b), and 1 m (c).

A direct comparison of the generated power and efficiency of solar energy conversion into electricity shows that bPV panels for each analyzed substrate and each analyzed mounting height generate greater power and have higher efficiency. These differences are greater: the lower the irradiance, the higher the albedo of the substrate, and the more the radiation can reach the back of the panels. This dependence is confirmed by the value of the BGE coefficient, reaching the highest values for a white substrate and an assembly height of 1 m.

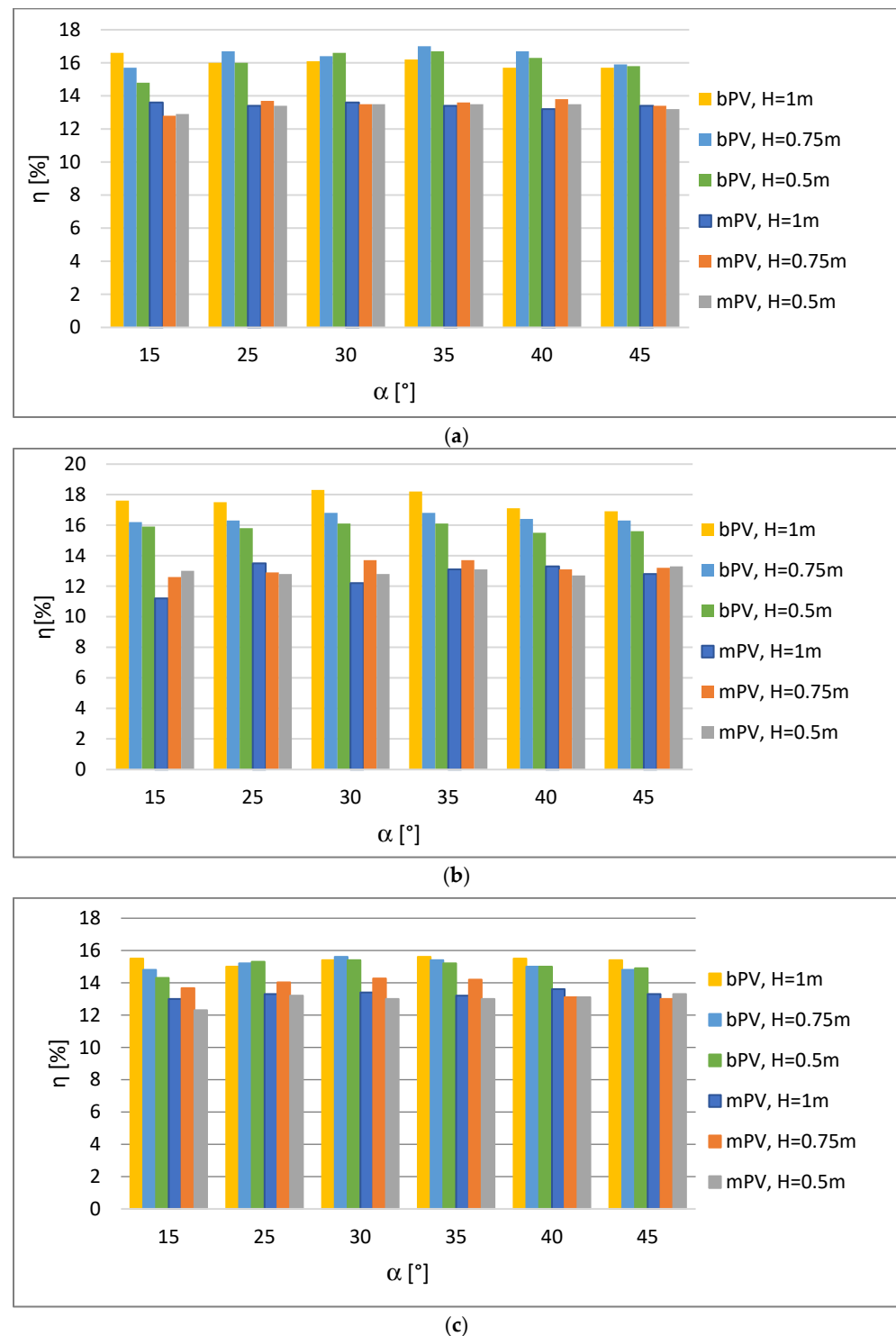


Figure 13. Efficiency of the panels η as a function of the angle of inclination α for different heights H of the panels above the ground: green (a), white (b), and gray (c).

A detailed analysis of BGE variability shows that the use of a low albedo substrate (grass and gray concrete) does not allow for exploiting the generation advantage of bPV panels. For grass, this coefficient ranges from 6% for an installation height of 0.5 m and an inclination angle of 15° to 15% for an installation height of 0.75 m and an inclination angle of 35°. On the other hand, for gray concrete, BGE ranges from 12% for an assembly height of 0.5 m and an inclination angle of 45° to 19% for an assembly height of 1 m and an inclination angle of 15°. In both of these cases, there is no single height for which this

coefficient would assume the highest values, regardless of the angle of inclination. The situation is different in the case of a high-albedo (white) substrate. In this case, not only is the installation height important, but it is most advantageous to install the panels at a height of 1 m, and the BGE values are much higher than for other substrates. For a height of 1 m, this coefficient ranges from 28% for an angle of 40° to over 50% for angles of 30° and 56% for an angle of 15°.

Comparing the BGE values for various substrates and individual mounting heights, as shown in Figure 12, for low mounting heights, the angle of inclination is crucial—all substrates have this factor the highest for angles of 30–35°. Moreover, a substrate with a higher albedo has a higher BGE for each angle. Similar dependencies occur for higher assembly heights. The albedo is the dominant parameter here. The system with a white substrate has a much higher BGE, where in the remaining cases (green and gray substrates), these differences are definitely smaller, and in specific measurement conditions, the green substrate was characterized by a higher BGE than the gray one.

The analysis of the generation efficiency of bPV modules shows that bPV panels have a higher efficiency in all weather and assembly conditions. However, only for the white substrate, the use of which gives the highest efficiency, there is a relationship between the conversion efficiency and the mounting height—the most favorable conditions are for the highest tested height.

4.2. Energy Production and Emission Reduction

The application of bifacial photovoltaic (bPV) systems can complement the power supply for both residential and industrial consumers. As demonstrated above, these panels exhibit higher efficiency. To determine the combination of parameters yielding the highest energy output along with an estimated reduction in CO₂ emissions, a simulation was conducted for a selected location in the Greater Poland Voivodship. The results are presented in Table 12. Conversely, Table 13 summarizes the simulation results for a reference mPV panel with the same power rating. All calculations were normalized and referenced to Annual Energy Production of 1 kW PV system installed power. The estimated reduction in CO₂ emissions during energy production, according to emission indicators published by The National Centre for Emissions Management (KOBiZE) [41], was assumed to be 0.597 kg/kWh with Formula (11).

$$CO_{2, \text{ emission}} = E_{p.a.} \cdot 0.597 \quad (11)$$

where $E_{p.a.}$ is the annual production of energy from 1 kW of a solar power plant.

In the case of bifacial photovoltaic systems, several factors influence the amount of energy produced: the tilt angle, the surface albedo, and the mounting height. In contrast, for monofacial photovoltaic systems, the tilt angle is the sole decisive parameter. This angle depends on the installation's location. By exploring optimal configurations for bifacial PV systems—those that maximize energy production—it is possible to achieve significantly higher outputs compared to monofacial PV systems. In most configurations, the use of bPV panels enhances annual energy production. However, for the smallest tested tilt angle of 15°, the mPV panel produces more energy annually.

In the best-case scenario, the annual energy production of bPV systems can be up to 13% greater than that of mPV panels. Additionally, this configuration avoids the emission of nearly 95 kg of CO₂ per kW of installed capacity. For the studied location, this optimal scenario occurs with bright surfaces having an albedo of 80, height equal to 1 m, and tilt angles within the range of 40–45°.

Table 12. Annual energy production and CO₂ emission reduction for bPV systems.

<i>H</i> [m]	α [°]	Green Substrate (Albedo 0.2)		Gray Substrate (Albedo 0.4)		White Substrate (Albedo 0.8)	
		<i>E_{p.a.}</i> [kWh p.a.]	CO ₂ [kg p.a.]	<i>E_{p.a.}</i> [kWh p.a.]	CO ₂ [kg p.a.]	<i>E_{p.a.}</i> [kWh p.a.]	CO ₂ [kg p.a.]
0.5	45	1258.60	751.38	1296.07	773.75	1370.27	818.05
	40	1257.29	750.60	1289.02	769.54	1352.03	807.16
	35	1250.78	746.72	1277.27	762.53	1329.98	794.00
	30	1237.83	738.98	1259.64	752.01	1303.10	777.95
	25	1217.53	726.87	1235.19	737.41	1270.38	758.42
	15	1157.32	690.92	1167.61	697.06	1188.17	709.34
0.75	45	1256.04	749.86	1290.97	770.71	1360.22	812.05
	40	1255.55	749.56	1284.80	767.03	1342.95	801.74
	35	1248.94	745.62	1272.95	759.95	1320.75	788.49
	30	1235.01	737.30	1254.38	748.86	1292.98	771.91
	25	1215.07	725.40	1230.26	734.47	1260.54	752.54
	15	1157.53	691.05	1165.69	695.92	1181.97	705.64
1	45	1254.01	748.64	1287.39	768.57	1353.60	808.10
	40	1254.35	748.85	1282.02	765.37	1337.06	798.22
	35	1245.71	743.69	1268.07	757.04	1312.62	783.63
	30	1231.85	735.41	1249.56	745.99	1284.87	767.07
	25	1213.90	724.70	1227.44	732.78	1254.45	748.91
	15	1155.37	689.76	1162.12	693.79	1175.61	701.84

Table 13. Annual energy production and CO₂ emission reduction for mPV systems.

α [°]	Monofacial	
	<i>E_{p.a.}</i> [kWh p.a.]	CO ₂ [kg p.a.]
45	1194.02	712.83
40	1200.46	716.67
35	1200.20	716.52
30	1193.47	712.50
25	1180.17	704.56
15	1136.71	678.62

5. Conclusions

The conducted research concerned the analysis of the impact of assembly conditions on the output parameters of bPV modules in the climatic conditions of Poland. Selected parameters were compared, particularly the generated power depending on the height of the panel assembly and its angle of inclination.

On the basis of the conducted research, conclusions can be formulated that are also guidelines for designers of PV systems on the ground.

1. Double-sided panels generate slightly more power in similar lighting conditions, while in worse conditions, their advantage is significant.
2. Bifacial panels are more efficient, which is up to 6 percentage points higher for bPV, especially at lower irradiance values.
3. The value of the power generated by the PV panels, in particular, the yield of the bottom part, is mainly affected by the installation height and the ground; the highest yields are obtained with a substrate with a high albedo coefficient and a higher