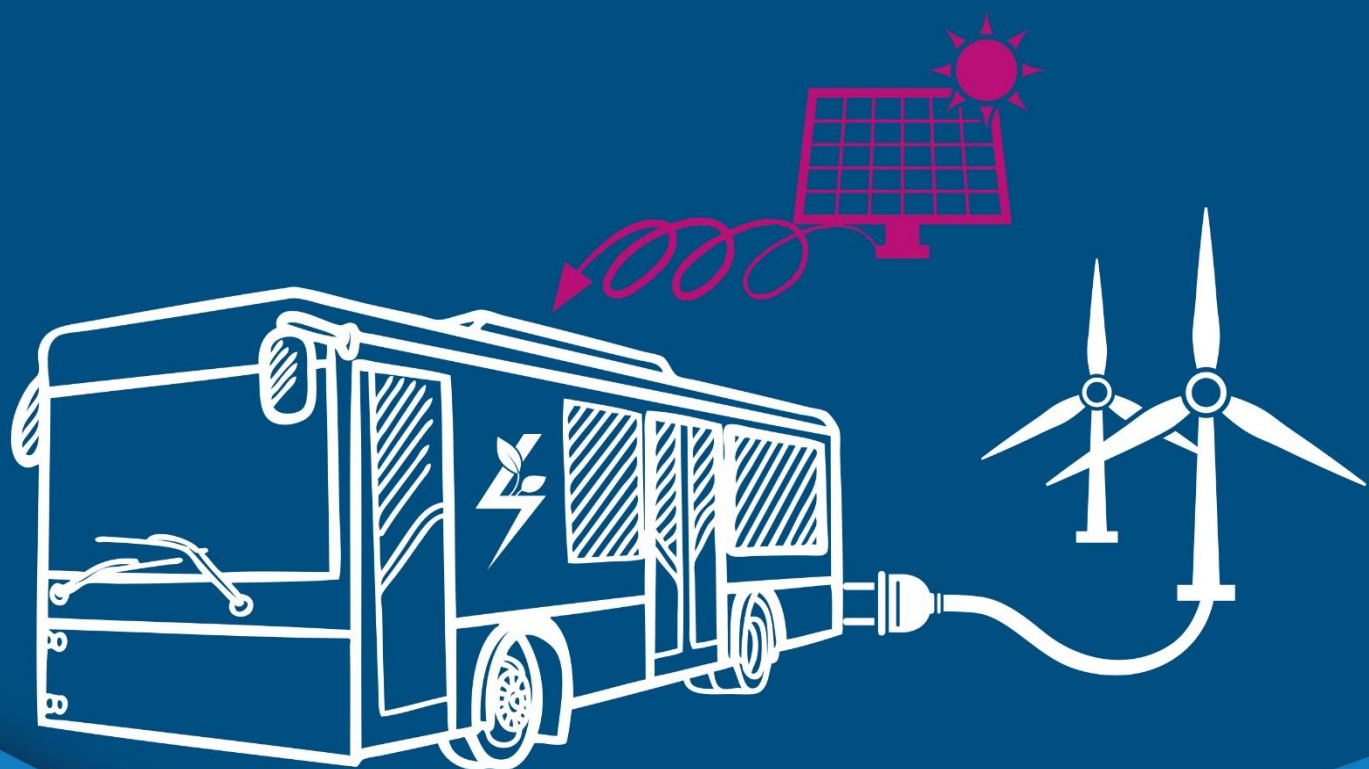




Analiza możliwości powiązania zasilania miejskiego transportu zbiorowego ze źródeł zielonej energii - OZE



Opracowanie pt.

Analiza możliwości powiązania zasilania miejskiego transportu zbiorowego ze źródeł zielonej energii - OZE

zostało przygotowane na zlecenie Gminy Wrocław przez:



Lider konsorcjum:

Zespół Doradców Gospodarczych TOR Sp. z o.o.

ul. Sielecka 45
00-738 Warszawa
www.zdgtor.pl

Partner:

K o m p l e k s o w e

U s ł u g i

D o r a d c z e

Kompleksowe Usługi Doradcze Maciej Gabory

ul. Świebodzka 2B
50-046 Wrocław
www.kud-doradztwo.pl

na podstawie umowy nr 4/WIM/2021 pomiędzy Zamawiającym a Wykonawcą z 28.07.2021 r.

Skład autorski i redakcyjny:

Maciej Cholewiński

Maciej Gabory – kierownik projektu

Bartłomiej Kasiuk

dr inż. Marcin Michalski

Maciej Mysona – kierownik konsorcjum projektowego

dr inż. Magdalena Nemś

dr inż. Paweł Pacyga

Krzysztof Ruciński

Marcin Wojtowicz

Natalia Jamróż – skład i opracowanie graficzne

i inni

Spis treści

WYKAZ POJĘĆ I SKRÓTÓW	4
1 CEL OPRACOWANIA	5
2 DOKUMENTY O CHARAKTERZE STRATEGICZNYM I PLANISTYCZNYM	6
2.1 POLITYKA ENERGETYCZNA POLSKI DO 2040 ROKU.....	6
2.2 STRATEGIA NA RZECZ ODPOWIEDZIALNEGO ROZWOJU	7
2.3 POLITYKA TRANSPORTOWA PAŃSTWA NA LATA 2006-2025	7
2.4 KRAJOWY PLAN NA RZECZ ENERGII I KLIMATU NA LATA 2021-2030	8
2.5 STRATEGIA ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU TRANSPORTU DO 2030 ROKU	9
2.6 STRATEGIA ROZWOJU WOJEWÓDZTWA DOLNOŚLĄSKIEGO 2030	9
2.7 PROGRAM OCHRONY POWIETRZA DLA WOJEWÓDZTWA DOLNOŚLĄSKIEGO	10
2.8 PROGRAMY OCHRONY POWIETRZA DLA STREF W WOJEWÓDZTWIE DOLNOŚLĄSKIM, W KTÓRYCH W 2018 R. ZOSTAŁY PRZEKROCZONE POZIOMY DOPUSZCZALNE I DOCELOWE SUBSTANCJE W POWIETRZU WRAZ Z PLANEM DZIAŁAŃ KRÓTKOTERMINOWYCH	11
2.9 PLAN GOSPODARKI NISKOEMISYJNEJ DLA ZIT WROF - GMINA WROCŁAW	11
2.10 STRATEGIA WROCŁAW 2030.....	12
2.11 STUDIUM UWARUNKOWAŃ I KIERUNKÓW ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO WROCŁAWIA 2018	12
2.12 MIEJSKI PLAN ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU DO ROKU 2030.....	13
2.13 WROCŁAWSKA POLITYKA MOBILNOŚCI	14
2.14 WROCŁAWSKA STRATEGIA ROZWOJU ELEKTROMOBILNOŚCI	15
2.15 ZIELONY WODÓR Z OZE W POLSCE	16
3 AKTUALNA SYTUACJA	17
3.1 WSTĘP	17
3.2 ZANIECZYSZCZENIA	19
3.3 STAN KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ WE WROCŁAWIU W PERSPEKTYWIE ROZWOJU ELEKTROMOBILNOŚCI OPARTEJ NA OZE	24
4 PROPOZYCJE OZE DLA WROCŁAWIA	31
4.1 PROPONOWANE DZIAŁANIA.....	31
4.2 AUTOBUSY WODOROWE.....	55
4.3 PV NA STADIONACH I INNYCH OBIEKTACH SPORTOWYCH	56
5 ANALIZA WYKORZYSTANIA OZE DLA PRZYSTANKU	62
5.1 ZAŁOŻENIA DO ANALIZY	62
5.2 PRZYSTANEK POSIADA WIATĘ Z DACHEM PROSTYM.....	63
5.3 MODUŁ FOTOWOLTAICZNY MONOKRYSTALICZNY	64
5.4 MODUŁ FOTOWOLTAICZNY POLIKRYSTALICZNY	66
5.5 ILOŚĆ MODUŁÓW ORAZ DODATKOWE AKCESORIA	66
5.6 PRZYSTANEK Z WIATĄ Z DACHEM OKRĄGŁYM.....	70

5.7	OŚWIETLENIE PRZYSTANKÓW ZASILANE OZE	72
5.8	ANALIZA UZYSKU ENERGII ELEKTRYCZNEJ DLA PRZYSTANKU OZE.....	74
5.9	ISTNIEJĄCE ROZWIĄZANIA NA RYNKU.....	80
6	KONCEPCJA WIATY FOTOWOLTAICZNEJ ZE STACJĄ ŁADOWANIA	86
6.1	ZAŁOŻENIA DO ANALIZY	86
6.2	WIATA AUTOBUSOWA PV.....	87
6.3	KONSTRUKCJA WIATY	87
6.4	MODUŁY FOTOWOLTAICZNE.....	93
6.5	SYSTEM MONTAŻOWY	95
6.6	WARIANTY WIATY I RÓŻNE KONFIGURACJE.....	96
6.7	FALOWNIK.....	98
6.8	AKUMULATORY	101
6.9	IŁOŚĆ ENERGII, MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA I CZAS ŁADOWANIA AUTOBUSÓW.	102
6.10	ANALIZA FINANSOWO-EKONOMICZNA WIATY FOTOWOLTAICZNEJ.....	104
6.10.1	<i>Analiza finansowo-ekonomiczna</i>	<i>104</i>
6.10.2	<i>Analiza społeczno-ekonomiczna.....</i>	<i>107</i>
7	ANALIZA BUDOWY FARM FOTOWOLTAICZNYCH	109
7.1	DANE METEOROLOGICZNE DLA AGLOMERACJI WROCŁAWSKIEJ	109
7.1.1	<i>Dane źródłowe.....</i>	<i>109</i>
7.1.2	<i>Typowy rok meteorologiczny.....</i>	<i>110</i>
7.1.3	<i>Statystyczne dane klimatyczne.....</i>	<i>116</i>
7.2	ANALIZA NASŁONECZNIEŃ PANELI FOTOWOLTAICZNYCH	119
7.3	ANALIZA POWIĄZANIA FARM FOTOWOLTAICZNYCH Z INFRASTRUKTURĄ MPK.....	126
8	PODSUMOWANIE I WNIOŚKI.....	130
	SPIS TABEL, WYKRESÓW, RYSUNKÓW I ZDJĘĆ	131

Wykaz pojęć i skrótów

Autobus zeroemisyjny – autobus w rozumieniu art. 2 pkt 41 ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym (Dz. U. z 2020 r., poz. 110 z późn. zm.), wykorzystujący do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w autobusie ogniwach paliwowych lub wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów

CUPT – Centrum Unijnych Projektów Transportowych

ENPV – ekonomiczna wartość bieżąca projektu. Stanowi sumę zdyskontowanych różnic między całkowitymi korzyściami i kosztami, przy czym całkowite koszty obejmują wycenione w wartościach pieniężnych koszty zewnętrzne (np. zanieczyszczenie, hałas, emisja spalin) i wydatki, a całkowite korzyści – wycenione w wartościach pieniężnych korzyści zewnętrzne i wpływy.

FNPV – finansowa wartość bieżąca netto z inwestycji

FRR – finansowa stopa zwrotu

ERR – ekonomiczna stopa zwrotu. Określa efektywność ekonomiczną danego projektu, tj. uwzględniającą nie tylko koszty i przychody finansowe, ale także korzyści i koszty ekonomiczne (efekty zewnętrzne)

MIDI – autobus o długości ok. 7,9-10,65 metra

MAXI – autobus o długości ok. 10,65-12,2 metra

MEGA18 – autobus przegubowy o długości ok. 18 metrów

MPK Wrocław – Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o.o. we Wrocławiu

Niebieska Księga – *Niebieska księga. Nowe wydanie 2014-2020, Infrastruktura Drogowa*, Jaspers, 2015

Organizator – właściwa jednostka samorządu terytorialnego zapewniająca funkcjonowanie publicznego transportu zbiorowego na danym obszarze

Operator – przedsiębiorca uprawniony do prowadzenia działalności gospodarczej w zakresie przewozu osób, który zawarł z organizatorem publicznego transportu zbiorowego umowę o świadczenie usług w zakresie publicznego transportu zbiorowego, na linii komunikacyjnej określonej w umowie

OZE – odnawialne źródła energii

PV – fotowoltaika

Wzkm – wozokilometr – odpowiada jednemu kilometrowi drogi wykonanej przez środek transportu

1 Cel opracowania

Celem niniejszego opracowania jest przeprowadzenie wybranych analiz technicznych dotyczących wykorzystania instalacji fotowoltaicznych, w obrębie miasta Wrocławia, przy tworzeniu i utrzymaniu (w najbliższych latach) lokalnego rynku elektromobilności, oraz przedstawienie rekomendacji związanych z możliwościami alokacji ww. potencjału energetycznego w przestrzeni miejskiej.

Szczegółowe cele opracowania obejmują:

- opis aktualnych dokumentów o charakterze strategicznym i planistycznym, stanowiących podstawy do podejmowania decyzji oraz zakresu działań w ramach rozwoju elektromobilności,
- przedstawienie aktualnego stanu transportu miejskiego we Wrocławiu – w perspektywie zmian w ramach rozwoju elektromobilności,
- przedstawienie propozycji – technicznych, organizacyjnych – związanych z rozwojem elektromobilności we Wrocławiu, w tym także tych stricte teoretycznych (niewynikających z obecnych planów rozwojowych, lecz spotykanych bądź planowanych w innych częściach świata),
- stworzenie koncepcji oraz przeprowadzenie wstępnych analiz dotyczących możliwości wyposażenia wiat przystankowych w panele fotowoltaiczne,
- stworzenie koncepcji oraz przeprowadzenie wstępnych analiz dotyczących możliwości eksploatacji dużych wiat fotowoltaicznych na zajezdni,
- stworzenie koncepcji oraz przeprowadzenie wstępnych analiz dotyczących możliwości budowy farm fotowoltaicznych w obrębie Wrocławia, dedykowanych zasilaniu floty elektropojazdów miejskich (tramwajów, autobusów elektrycznych),
- przedstawienie syntetycznego podsumowania traktującego o możliwościach rozwoju elektromobilności we Wrocławiu oraz jej skojarzenia z instalacjami fotowoltaicznymi.

Rozległość zagadnienia jakim jest elektromobilność, mała ilość dostępnych z punktu widzenia analiz danych (m.in. powierzchni budynków możliwych do energetycznego zagospodarowania i ich orientacji względem Słońca) sprawiły, iż ujęte w pracy analizy uznać należy za propozycje służące podejmowaniu decyzji związanych z rozwojem ekologicznej komunikacji miejskiej (i usług pochodnych) aniżeli gotowy projekt zmian. Przedłożone informacje pozwolą na skonkretyzowanie przyszłych działań oraz stanowić będą podstawę do bardziej rozbudowanych inicjatyw inżynierskich, ekonomicznych i organizacyjnych.

2 Dokumenty o charakterze strategicznym i planistycznym

Analizę OZE należy powiązać z dokumentami o charakterze planistycznym w zakresie planów zawierających odniesienie do kwestii przechodzenia na bardziej ekologiczne i zrównoważone systemy transportu m.in.:

- Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku;
- Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju;
- Polityka Transportowa Państwa na lata 2006-2025;
- Krajowy Plan na rzecz Energii i Klimatu na lata 2021-2030;
- Strategia Zrównoważonego Rozwoju Transportu do 2030 roku;
- Strategia Rozwoju Województwa Dolnośląskiego 2030;
- Program Ochrony Powietrza dla Województwa Dolnośląskiego;
- Programy Ochrony Powietrza dla Stref w Województwie Dolnośląskim, w których w 2018 roku zostały przekroczone poziomy dopuszczalne i docelowe substancji w powietrzu wraz z planem działań krótkoterminowych;
- Plan Gospodarki Niskoemisyjnej dla ZIT WROF – Gmina Wrocław;
- Strategia Wrocław 2030;
- Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Wrocławia 2018;
- Miejski Plan Adaptacji do Zmian Klimatu do roku 2030;
- Wrocławska Polityka Mobilności;
- Wrocławska Strategia Rozwoju Elektromobilności;
- Zielony Wodór z OZE w Polsce – raport Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej.

2.1 POLITYKA ENERGETYCZNA POLSKI DO 2040 ROKU

Polityka Energetyczna Polski do 2040 r. jest dokumentem strategicznym wyznaczającym ramy transformacji energetycznej w Polsce w zakresie doboru technologii służących budowie niskoemisyjnego systemu energetycznego. Polityka stanowi wkład w realizację Porozumienia paryskiego zawartego w grudniu 2015 roku podczas 21. Konferencji stron Ramowej konwencji Organizacji Narodów Zjednoczonych w sprawie klimatu (COP21) z uwzględnieniem konieczności przeprowadzenia transformacji w sposób sprawiedliwy i solidarny. Dokument wpisuje się także w politykę klimatyczno-energetyczną UE, m.in. w Europejski Zielony Ład. Niskoemisyjna transformacja energetyczna przewidziana w Polityce będzie wpisywać się w zmiany modernizacyjne całej gospodarki, gwarantując bezpieczeństwo energetyczne i sprawiedliwy podział kosztów i ochrony najbardziej wrażliwych grup społecznych. PEP2040 jest jedną z dziewięciu zintegrowanych strategii sektorowych, wynikających ze Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju. PEP2040 jest spójna z Krajowym planem na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030. Polityka opiera się na 3 filarach:

I. Sprawiedliwa transformacja

II. Zeroemisyjny system energetyczny

III. Dobra jakość powietrza

Cele związane z elektromobilnością ujęto w ramach III filaru dotyczącego dobrej jakości powietrza w ramach celu szczegółowego 4. Rozwój rynków energii, Projekt strategiczny 4C Rozwój elektromobilności. Realizacja projektu strategicznego powinna przyczynić się do rozwoju transportu niskoemisyjnego, w szczególności do dążenia do zeroemisyjnej komunikacji publicznej do 2030 r. w miastach powyżej 100 tys. mieszkańców. Ponadto zakłada się wzrost udziału OZE do poziomu co najmniej 14% w transporcie. Polityka zakłada również rozwój rynku wodoru na potrzeby sektora transportu, który jest postrzegany atrakcyjnie ze względu na brak konieczności kilkugodzinnego ładowania, jako paliwo do napędu pojazdów m.in. w transporcie zbiorowym.

2.2 STRATEGIA NA RZECZ ODPOWIEDZIALNEGO ROZWOJU

Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju jest dokumentem strategicznym rozwoju kraju w obszarze średnio- i długoterminowym. W kierunku dotyczącym pełniejszego wykorzystania potencjału największych polskich aglomeracji określono, że jednym z działań po 2020 roku będzie wspieranie miast w wymianie taboru transportu miejskiego na ekologiczny i niskoemisyjny (np. autobusy elektryczne we wszystkich miastach wojewódzkich). W kierunku „zmiany w indywidualnej i zbiorowej mobilności”, jako jedno z działań do 2030 roku ujęto stopniową wymianę taboru wykorzystywanego do świadczenia usług publicznego transportu na ekologiczny, niskoemisyjny, przystosowany do potrzeb osób starszych i niepełnosprawnych, a także dokończenie budowy linii tramwajowych w miastach dysponujących takim środkiem transportu. Działania mają przełożyć się na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń powietrza i gazów cieplarnianych. Projektem strategicznym w tym obszarze jest „Ekologiczny transport” – będący przeglądem działań (prawnych, organizacyjnych oraz inwestycyjnych) niezbędnych dla rozwoju transportu niskoemisyjnego, w tym publicznego, obejmującego m.in. rozwiązania umożliwiające przechodzenie na tabor niskoemisyjny w transporcie publicznym oraz niskoemisyjne pojazdy samochodowe; rozbudowę infrastruktury transportu niskoemisyjnego (w tym punkty ładowania pojazdów elektrycznych, tabor dla transportu publicznego, samochody elektryczne) do roku 2030. W Strategii podkreślono również, że odpowiedni dobór odnawialnych źródeł energii w ramach klastrów energii, spółdzielni energetycznych może zapewnić samowystarczalność i bezpieczeństwo energetyczne. W zapewnieniu powszechnego dostępu do energii pochodzącej z różnych źródeł powinno pomóc wprowadzenie mechanizmów regulacyjnych oraz prawnych zwiększających stabilność pracy źródeł odnawialnych oraz wzrost znaczenia stabilnych źródeł OZE.

2.3 POLITYKA TRANSPORTOWA PAŃSTWA NA LATA 2006-2025

Polityka transportowa państwa na lata 2006-2025 jest dokumentem przygotowanym w związku z uwzględnieniem warunków wynikających z przystąpienia Polski do Unii Europejskiej w 2004 roku. W rozdziale dotyczącym zasad polityki transportowej określono jako jedną z zasad – zasadę wspierania energooszczędnych i mniej obciążających środowisko gałęzi i form transportu poprzez wsparcie przyjaznych dla środowiska technologii, konsekwentne

poprawianie jakości transportu publicznego. Jako jeden z priorytetów ustalono poprawę jakości transportu w miastach, w tym poprzez poprawienie konkurencyjności transportu publicznego wobec indywidualnego, poprawę warunków ruchu pieszego i rowerowego, ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb osób niepełnosprawnych. W kierunkach rozwoju dotyczącego transportu w miastach wpisano m.in. wspieranie i upowszechnianie działań prowadzących do zarządzania mobilnością w sensie skłaniania do rezygnacji z niekoniciecznych podróży samochodowych i wykonywania ich „przyjaznymi” środowisku środkami podróżowania lub do odbywania podróży poza godzinami szczytów przewozowych.

2.4 KRAJOWY PLAN NA RZECZ ENERGII I KLIMATU NA LATA 2021-2030

Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030 jest dokumentem, który wypełnia obowiązek nałożony na Polskę przez Parlament Europejski i Radę UE rozporządzeniem nr 2018/1999 z dnia 11 grudnia 2018 r. (w sprawie zarządzania unią energetyczną i działaniami w dziedzinie klimatu). Omawiany dokument przedstawia założenia, cele oraz polityki i działania na rzecz realizacji 5 wymiarów unii energetycznej, m.in. obniżenia emisyjności. W rozdziale „Krajowe założenia i cele” rozwój elektromobilności oraz popularyzacja innych paliw alternatywnych są wspomniane jako kierunek działania w zakresie bezpieczeństwa energetycznego (ze względu na uniezależnienie od importu ropy naftowej z innych krajów, głównie spoza UE), a także w wymiarze obniżenia emisyjności. W dokumencie elektromobilność jest wspomniana także jako jeden z głównych sposobów na poprawę jakości powietrza. Realizacja tego celu odbędzie się poprzez kierunek „finansowanie likwidacji zjawiska tzw. niskiej emisji”, w ramach którego zaplanowano finansowanie inwestycji dotyczących rozwoju niskoemisyjnego transportu.

Kwestie dotyczące niskoemisyjnego transportu poruszono także w celu pt. „Inne elementy wymiaru obniżenia emisyjności”, w ramach którego ujęto kierunek „Rozwój efektywnego energetycznie i niskoemisyjnego transportu”. Kierunek ma być realizowany poprzez interwencje o charakterze:

- inwestycyjnym (modernizacja i rozbudowa infrastruktury transportowej, unowocześnianie taboru wszystkich gałęzi transportu – pojazdów oraz innych niezbędnych urządzeń i wyposażenia – w celu doprowadzenia go do stanu odpowiadającego unijnym oraz krajowym standardom i wymogom ochrony środowiska, a także poprawy jego efektywności energetycznej),
- innowacyjno-technicznym (coraz szersze zastosowanie przyjaznych środowisku środków transportu: niskoemisyjnych i efektywnych energetycznie samochodów oraz pojazdów miejskich (np. wykorzystujących ogniwa paliwowe i wodór, napędy: elektryczny, gazowy, hybrydowy, sprężonym powietrzem).

Jednym z celów ramowych dokumentu jest energia ze źródeł odnawialnych. Planowany udział energii ze źródeł odnawialnych w finalnym zużyciu energii brutto w 2030 r. jako wkład do wiążącego celu unijnego wyniesie co najmniej 32 % w 2030 r.

2.5 STRATEGIA ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU TRANSPORTU DO 2030 ROKU

Strategia Zrównoważonego Rozwoju Transportu do 2030 roku jest dokumentem strategicznym wskazującym cel oraz kierunki rozwoju transportu tak, aby etapowo do 2030 roku możliwe było osiągnięcie celów założonych w Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.). Głównym celem krajowej polityki transportowej jest zwiększenie dostępności transportowej oraz poprawa bezpieczeństwa uczestników ruchu i efektywności sektora transportowego poprzez tworzenie spójnego, zrównoważonego, innowacyjnego i przyjaznego użytkownikowi systemu transportowego w wymiarze krajowym, europejskim i globalnym. Realizacja celu głównego w perspektywie do 2030 r. wiąże się z wdrażaniem 6 kierunków interwencji. W kontekście transportu miejskiego za najważniejszy kierunek należy uznać budowę zintegrowanej, wzajemnie powiązanej sieci transportowej służącej konkurencyjnej gospodarce oraz ograniczeniu negatywnego wpływu transportu na środowisko. W ramach kierunku związanego z budową zintegrowanej sieci transportowej jednym z działań do 2030 r. jest budowa systemów ładowania i tankowania pojazdów niskoemisyjnych oraz rozbudowę linii tramwajowych w miastach posiadających ten środek transportu. W przypadku kierunku dotyczącego ograniczenia negatywnego wpływu transportu na środowisko będą wspierane:

- rozwiązania w zakresie promocji użytkowania niskoemisyjnych środków transportu, w tym elektromobilności,
- działania dotyczące unowocześniania taboru wszystkich gałęzi transportu (pojazdów oraz innych niezbędnych urządzeń i wyposażenia, w tym infrastruktury paliw alternatywnych,
- działania związane ze zwiększaniem udziału transportu zbiorowego i jednoczesnym ograniczeniu używania indywidualnych pojazdów z napędem spalinowym,
- działania związane z maksymalizacją udziału zero- oraz niskoemisyjnych gałęzi transportu,
- inwestycje promujące niskoemisyjne i efektywne energetycznie środki transportu zasilane alternatywnymi źródłami energii.

Stwarzane będą także zachęty dla samorządów do wymiany taboru na autobusy z napędem alternatywnym, w tym elektrycznym lub hybrydowym.

2.6 STRATEGIA ROZWOJU WOJEWÓDZTWA DOLNOŚLĄSKIEGO 2030

Strategia Rozwoju Województwa Dolnośląskiego została uchwalona we wrześniu 2018 roku przez Sejmik Województwa Dolnośląskiego. Nowa Strategia Rozwoju Dolnego Śląska odpowiada na podstawowe wyzwania polityki spójności Unii Europejskiej, a także wpisuje się w istniejące krajowe dokumenty strategiczne. Wizję przyszłościowego rozwoju regionu określono jako: Dolny Śląsk 2030 regionem równomiernego rozwoju, regionem przyjaznym, nowoczesnym i konkurencyjnym. Jej osiągnięciu służyć będzie realizacja celu nadrzędnego, którym są harmonijny rozwój regionu i wysoka jakość życia dolnośląskiej społeczności oraz przyporządkowanych mu pięciu celów strategicznych:

1. efektywne wykorzystanie gospodarczego potencjału regionu,

2. poprawa jakości i dostępności usług publicznych,
3. wzmocnienie regionalnego kapitału ludzkiego i społecznego,
4. odpowiedzialne wykorzystanie zasobów i ochrona walorów środowiska naturalnego i dziedzictwa kulturowego,
5. wzmocnienie przestrzennej spójności regionu.

Realizacji tychże celów strategicznych służyć zaś będą różnorodne inicjatywy ujęte w 94 przedsięwzięciach strategicznych – grupach zadań strategicznych. Realizacja wymiany autobusów na zeroemisyjne oraz wykorzystania ekologicznych źródeł energii wpisuje się w działania zawarte w:

- celu strategicznym 2. Poprawa jakości i dostępności usług publicznych w ramach celu operacyjnego:
 - 2.3 Rozwój i doskonalenie usług publicznych
 - Przedsięwzięcie strategiczne 2.3.6: Podejmowanie działań służących poprawie jakości usług publicznego transportu zbiorowego,
- celu strategicznym 4. Odpowiedzialne wykorzystanie z zasobów i ochrona walorów środowiska naturalnego i dziedzictwa kulturowego w ramach celu operacyjnego:
 - 4.4 Wspieranie produkcji energii ze źródeł odnawialnych oraz wspieranie bezpieczeństwa energetycznego
 - Przedsięwzięcie strategiczne 4.4.2 Stymulowanie prac badawczych i wdrożeniowych związanych z produkcją energii ze źródeł odnawialnych,
- celu strategicznym 5. Wzmacnianie przestrzennej spójności regionu w ramach celu operacyjnego:
 - 5.1 Rozwój regionalnej sieci transportowej
 - Przedsięwzięcie strategiczne 5.1.6: Zakup nowoczesnego taboru na potrzeby regionalnego systemu transportu publicznego
 - Przedsięwzięcie strategiczne 5.1.8: Wsparcie działań na rzecz zwiększenia efektywności transportu w ujęciu proekologicznym (elektromobilność).

2.7 PROGRAM OCHRONY POWIETRZA DLA WOJEWÓDZTWA DOLNOŚLĄSKIEGO

Program Ochrony Powietrza dla Województwa Dolnośląskiego został przyjęty przez Sejmik Województwa Dolnośląskiego w lutym 2014 roku. Program składa się z 5 załączników – jeden z nich dotyczy obszaru Wrocławia – załącznik 1: Program ochrony powietrza dla strefy Aglomeracja Wrocławska. Dokument powstał w związku z przekroczeniem poziomu dopuszczalnego pyłu zawieszonego PM₁₀, pyłu zawieszonego PM_{2,5}, dwutlenku azotu oraz poziomów docelowych benzo(a)pirenu i ozonu w powietrzu w 2011 r. Głównym celem dokumentu jest przywrócenie naruszonych standardów jakości powietrza, a przez to poprawa warunków życia mieszkańców, podwyższenie standardów cywilizacyjnych oraz lepsza jakość życia w mieście. Dokument zawiera także zadania, których wdrożenie spowoduje obniżenie

poziomów zanieczyszczeń. W zakresie działań kierunkowych zmierzających do przywrócenia standardów jakości powietrza założono, w zakresie ograniczania emisji liniowej, m.in.: wprowadzenie nowych niskoemisyjnych paliw i technologii, szczególnie w systemie transportu publicznego czy realizację projektu zintegrowanego systemu transportu szynowego

2.8 PROGRAMY OCHRONY POWIETRZA DLA STREF W WOJEWÓDZTWIE DOLNOŚLĄSKIM, W KTÓRYCH W 2018 R. ZOSTAŁY PRZEKROCZONE POZIOMY DOPUSZCZALNE I DOCELOWE SUBSTANCJI W POWIETRZU WRAZ Z PLANEM DZIAŁAŃ KRÓTKOTERMINOWYCH

Program ochrony powietrza dla stref w województwie dolnośląskim został przyjęty przez Sejmik Województwa Dolnośląskiego w lipcu 2020 roku. Program opracowano dla stref i substancji zanieczyszczających powietrze, dla których w ocenie rocznej za rok 2018 wskazano przekroczenia norm jakości powietrza i stwierdzono konieczność realizacji działań naprawczych mających na celu poprawę jakości powietrza ze względu na ochronę zdrowia ludzi. Głównym celem dokumentu jest przywrócenie naruszonych standardów jakości powietrza, a przez to poprawa warunków życia mieszkańców, podwyższenie standardów cywilizacyjnych oraz lepsza jakość życia w mieście. W strefie Aglomeracji Wrocławskiej wystąpiły przekroczenia poziomu NO₂, PM₁₀, B(a)P, PM_{2,5}. W zakresie działań kierunkowych dotyczących ograniczania emisji liniowej zapisano m.in.:

- modernizację i wymianę taboru komunikacji miejskiej ze szczególnym uwzględnieniem korelacji ekonomiczno-ekologicznej, tzn. współmierności zaangażowanych środków finansowych do spodziewanych efektów ekologicznych,
- dążenie do wprowadzenia niskoemisyjnych paliw i technologii,
- szkolenia dla prowadzących pojazdy dot. takiego użytkowania pojazdów i sposobu jazdy, aby ograniczać emisję zanieczyszczeń,
- wspieranie rozwiązań prośrodowiskowych w zakresie transportu (np. wspieranie stacji ładowania pojazdów elektrycznych).

2.9 PLAN GOSPODARKI NISKOEMISYJNEJ DLA ZIT WROF - GMINA WROCŁAW

Plan Gospodarki Niskoemisyjnej (PGN) dla Zintegrowanych Inwestycji Terytorialnych Wrocławskiego Obszaru Funkcjonalnego – Gmina Wrocław został uchwalony przez Radę Miejską Wrocławia w lipcu 2019 r. i jest aktualizacją poprzedniego planu uchwalonego w 2015 r. PGN wyznacza cele, strategie i kierunki działania dla rozwoju gospodarki niskoemisyjnej w Gminie Wrocław w wielu sektorach, m.in. w transporcie. Struktura dokumentu obejmuje diagnozę obecnego stanu wraz z przeprowadzeniem analizy SWOT, a następnie wskazania dotyczące jego poprawy. W rozdziale V.1.2 planu znajduje się krótki opis obecnego stanu wrocławskiej komunikacji miejskiej. Również w tym rozdziale, w analizie SWOT, wśród słabych stron wymieniono niesatysfakcjonujący udział podróży komunikacją zbiorową. W rozdziale V.2.3 wśród głównych kierunków działań w sektorze transportu wskazano dalszą wymianę taboru autobusowego na pojazdy spełniające bardziej rygorystyczne normy środowiskowe: zasilane paliwami alternatywnymi – CNG, hybrydowe i elektryczne. W rozdziale V.5, omówiono

zaplanowane działania pod względem perspektywy ich realizacji. W strategii długoterminowej wskazuje się na działania w sektorze transportu jako drugie w hierarchii ważności, co jest uzasadnione bardzo dużym potencjałem redukcji emisji w tym sektorze, a także istnieniem dużych możliwości realizacji działań w zakresie m.in. transportu zbiorowego. Strategia długoterminowa PGN zakłada (w zakresie transportu, dla miasta jak i dla obszaru metropolitalnego) przede wszystkim:

- rozwój niskoemisyjnego transportu publicznego – zastosowanie niskoemisyjnych pojazdów,
- rozwój sieci transportu publicznego,
- rozwój sieci wypożyczalni i infrastruktury dla pojazdów niskoemisyjnych,
- wdrażanie stref ograniczonego ruchu, stref ograniczonej emisji, mechanizmów preferencji pojazdów niskoemisyjnych.

Jako przykładowe działanie krótko- i średnioterminowe zaproponowano zakup i wymianę pojazdów kołowych na niskoemisyjne (min. norma emisji spalin – Euro 6, hybrydowe, elektryczne, biopaliwa II i III generacji oraz inne paliwa alternatywne). Celem strategicznym Gminy Wrocław określonym w dokumencie jest także ograniczenie emisji gazów cieplarnianych o 80% z obszaru gminy w stosunku do roku bazowego (1990), poprzez redukcję emisji, ograniczenie zużycia energii i surowców oraz zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie energetycznym, w perspektywie do roku 2050.

2.10 STRATEGIA WROCŁAW 2030

Strategia Wrocław 2030 (uchwała nr LI/1193/18 Rady Miejskiej Wrocławia z dnia 15 lutego 2018 r.) jest dokumentem strategicznym określającym kierunki rozwoju Wrocławia. W zakresie mobilności i komunikacji miejskiej określono, że rozwijanie transportu publicznego powinno być jednym z trzech priorytetów działań miasta, a działania powinny być spójne z Wrocławską Polityką Mobilności, Planem Mobilności Miejskiej oraz Planem zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego Wrocławia z 2016 roku. Powinien zostać rozwinięty cały system transportu publicznego z uwzględnieniem całej Aglomeracji oraz wprowadzony zeroemisyjny transport publiczny. Miasto powinno też zadbać o dobre warunki dla pieszych i rowerzystów i promować zrównoważoną mobilność. Wykorzystanie zielonych źródeł energii uwzględniono w priorytecie „Jakość środowiska i przestrzeni miejskiej” poprzez zwiększenie efektywności energetycznej i wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w szczególności na dachach budynków użyteczności publicznej.

2.11 STUDIUM UWARUNKOWAŃ I KIERUNKÓW ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO WROCŁAWIA 2018

Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Wrocławia zostało uchwalone w styczniu 2018 r. przez Radę Miejską Wrocławia. W pierwszej części, dotyczącej uwarunkowań zagospodarowania przestrzennego miasta, we wnioskach z rozważań nt. transportu (podrozdział I.6.16) zawarto stwierdzenie, że system transportowy Wrocławia należy planować zgodnie z hasłem „Wrocław miastem zrównoważonej mobilności” w taki

sposób, aby rozwiązania wskazywały wyraźnie na priorytet dla transportu niesamochodowego: komunikacji zbiorowej, ruchu rowerowego i pieszego. Zrównoważona mobilność i rozwój transportu zbiorowego są także wyszczególnione jako jeden z celów operacyjnych rozwoju miasta (rozdział III.2). W części kierunkowej odniesienie do transportu zbiorowego znajduje się w podrozdziale IV.6.6.2 dotyczącym poprawy ochrony powietrza. Studium wskazuje jako kierunki działania m.in. rozwój sieci transportu publicznego oraz stwarzanie warunków do korzystania z pojazdów z silnikami ekologicznymi, w tym rozwój infrastruktury dla paliw alternatywnych. Tematowi zrównoważonej mobilności jest poświęcony cały rozdział IV.11, w którym poruszono w większym stopniu temat transportu szynowego (rozwój sieci tramwajowej, integracja kolei do systemu komunikacji miejskiej). W rozdziale zawarto także temat elektromobilności miejskiej, której rozwój należy wspierać jako alternatywę dla indywidualnego transportu samochodowego. W Studium wyznaczono także granice obszarów, na których rozmieszczone będą urządzenia wytwarzające energię z odnawialnych źródeł energii o mocy przekraczającej 100 kW oraz granice ich stref ochronnych związanych z ograniczeniami w zabudowie, zagospodarowaniu i użytkowaniu terenu. Znaczna część obszaru miasta została zaliczona do terenów, gdzie dopuszcza się jedynie lokalizację urządzeń wytwarzających energię z promieniowania słonecznego umieszczonych wyłącznie na budynkach oraz budowlach przykrytych dachem.

2.12 MIEJSKI PLAN ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU DO ROKU 2030

Miejski Plan Adaptacji do zmian klimatu do roku 2030 ma na celu kształtowanie polityki rozwoju i wizji miasta uwzględniającej nowe warunki klimatyczne i adaptację do nich. Określono w nim działania będące odpowiedzią na zagrożenia w obszarach funkcjonowania miasta. Podsystem miejskiego transportu publicznego jest także zagrożony zmianami klimatycznymi, takimi jak ekstremalne temperatury, wahania temperatury wokół 0 st. Celsjusza, intensywne opady śniegu i deszczu. W kontekście przechodzenia na bardziej ekologiczne i zrównoważone systemy transportowe w miastach za najbardziej istotne należy uznać temperatury maksymalne i fale upałów, które mogą powodować przerwy w dostawie zasilania z powodu możliwych przeciążeń sieci energetycznych czy przegrzewania się silników i innych urządzeń technicznych. Temperatury minimalne i fale zimna także oddziałują na autobusy poprzez większą awaryjność sprzętu i zmniejszoną sprawność działania środków transportu. W przypadku opadów istnieje ryzyko zablokowania odcinków ulic w wyniku zwiększonej liczby kolizji i wypadków czy uszkodzenie taboru. W sytuacji wystąpienia powodzi może dochodzić do uszkodzenia infrastruktury komunikacyjnej a także dezorganizację prac transportu poprzez wyłączenie z ruchu tras komunikacyjnych, spowolnienie ruchu i trudności z dotrzymaniem rozkładu jazdy. W przypadku silnego i bardzo silnego wiatru oraz burz istnieje niebezpieczeństwo uszkodzenia pojazdów i obiektów infrastruktury, uszkodzenia lub zakłócenia w pracy urządzeń energetycznych (przerwy w zasilaniu energią elektryczną), spowolnienia ruchu lub jego zablokowanie ze względu na trudne warunki komunikacyjne. Wszystkie powyższe negatywne zjawiska klimatyczne mogą wygenerować problemy przy wykorzystywaniu pojazdów ekologicznych. Zjawiska wpływają też negatywnie na energetykę, której system może zostać nadmiernie obciążony; istnieje też ryzyko uszkodzenia napowietrznych sieci energetycznych i słupów energetycznych, uszkodzenia i zalania stacji transformatorowych. Dlatego jednym z działań założonych w planie jest przystosowanie przestrzeni komunikacyjnej do zmian klimatu. Jednym z działań ma być zakup nowoczesnego taboru tramwajowego i autobusowego

przystosowanego do ekstremalnych zjawisk pogodowych. W dokumencie założono także wykonanie analizy możliwości pozyskiwania energii z odnawialnych źródeł energii.

2.13 WROCŁAWSKA POLITYKA MOBILNOŚCI

Wrocławska Polityka Mobilności została przyjęta przez Radę Miejską w 2013 roku jako kluczowy dokument kierunkowy będący elementem strategii rozwojowej Miasta, odnoszący się do zjawisk związanych z mobilnością, sposobami korzystnego jej kształtowania oraz rozwiązywaniem problemów transportowych. Generalnym celem Wrocławskiej polityki mobilności jest tworzenie optymalnych warunków do efektywnego i bezpiecznego przemieszczania osób oraz towarów w mieście i obszarze metropolitalnym, przy spełnieniu wymogu ograniczenia uciążliwości transportu dla środowiska. Uzupełnieniem celu generalnego jest 6 celów podstawowych:

- poprawa dostępności transportowej miasta i obszaru metropolitalnego;
- wzmacnianie roli transportu zbiorowego oraz rowerowego i pieszego jako podstawy zrównoważonego funkcjonowania miasta i obszaru metropolitalnego;
- integracja systemów transportowych miasta i obszaru metropolitalnego oraz regionu i kraju;
- poprawa jakości transportu;
- wzrost poziomu bezpieczeństwa przemieszczania się;
- ograniczanie negatywnego oddziaływania transportu na warunki życia mieszkańców i środowisko przyrodnicze.

Środki realizacji celów podstawowych podzielono na 15 obszarów. Za obszary związane z ekologicznym transportem i obsługą transportu zbiorowego autobusami zeroemisyjnymi należy uznać:

- obszar: kształtowanie zrównoważonej mobilności – informowanie mieszkańców o pozytywnym wpływie na zdrowie i jakość życia ekologicznych środków transportu;
- obszar: transport zbiorowy – rozwijanie floty taboru o pojazdy ekologiczne i przyjazne osobom o ograniczonej sprawności;
- obszar: ekonomia i finanse – uwzględnianie w procesie decyzyjnym efektywności ekonomicznej i korzyści społecznych z projektów transportowych, zapewnienie finansowania nakładów odtworzeniowych na infrastrukturę transportową, pozyskiwanie środków finansowych na inwestycje transportowe ze źródeł zewnętrznych, w tym z funduszy Unii Europejskiej, korzystanie z innych niż publiczne sposobów pozyskiwania funduszy na inwestycje transportowe i ich utrzymanie, m.in. z partnerstwa publiczno-prywatnego, opłat za korzystanie z infrastruktury;
- obszar: ochrona środowiska – działania obniżające energochłonność transportu, działania obniżające emisyjność transportu, wprowadzenie w mieście taboru transportu zbiorowego o wysokich walorach ekologicznych, stosowanie rozwiązań technicznych minimalizujących negatywne oddziaływanie transportu na klimat akustyczny, promowanie pojazdów ekologicznych, prowadzenie edukacji ekologicznej.

2.14 WROCŁAWSKA STRATEGIA ROZWOJU ELEKTROMOBILNOŚCI

Wrocławska Strategia Rozwoju Elektromobilności (Uchwała nr XXV/675/20 Rady Miejskiej Wrocławia z dnia 23 lipca 2020 r.) jest dokumentem strategicznym określającym kierunki rozwoju elektromobilności we Wrocławiu. W Strategii scharakteryzowano miasto Wrocław pod względem stanu jakości powietrza, systemu transportowego oraz systemu energetycznego. Autorzy dokumentu wskazali też obszary problemowe miasta, jak niedostatecznie zintegrowany system transportu aglomeracyjnego, nadmierny udział samochodów w codziennych dojazdach do pracy, niesatysfakcjonująca prędkość komunikacyjna pojazdów komunikacji miejskiej, niedostateczny stan technicznych torów tramwajowych, mała rola transportu kolejowego w mieście, zmniejszający się udział transportu zbiorowego w podziale zadań przewozowych w mieście, niski poziom wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz przekroczone normy zanieczyszczenia powietrza. W części planistycznej przedstawiono priorytety rozwojowe składające się z czterech celów strategicznych:

- zero- i niskoemisyjna komunikacja miejska poprzez wprowadzenie pojazdów nisko- i zeroemisyjnych do obsługi publicznego transportu zbiorowego, rozbudowę systemu parkingów P+R, zakup taboru tramwajowego,
- elektromobilny samorząd, który zakłada obsługę Urzędu Miejskiego Wrocławia i jednostek pomocniczych przez minimum 30% pojazdów elektrycznych, promocję i wspieranie podmiotów prywatnych w budowie ogólnodostępnych stacji ładowania pojazdów oraz stosowanie wymogu wykorzystania ekologicznych pojazdów w zamówieniach publicznych,
- elektromobilny mieszkaniec – cel operacyjny zakłada rozwój publicznych wypożyczalni pojazdów współdzielonych rowerów elektrycznych, samochodów, hulajnóg i skuterów elektrycznych, stworzenie pakietu działań promujących elektromobilność oraz edukację przedszkolną i szkolną na temat wykorzystania energii elektrycznej w transporcie,
- Inteligentne Miasto – zakładające rozszerzenie działania istniejącego już w mieście systemu ITS (montowanie na przystankach tablic dynamicznej informacji pasażerskiej), rozwój zintegrowanego biletu, stworzenie miejskiej mapy punktów ładowania i zajętości miejsc parkingowych, uruchomienie tramwaju wodnego.

W ramach działań związanych ze Smart City zaproponowano montaż instalacji fotowoltaicznych, które mogłyby zostać zamontowane na obiektach placówek oświatowych, opieki społecznej, kultury, sportu, administracji należących do miasta oraz obiektach spółek miejskich. Instalacje mogłyby być także wykorzystane do zasilania stacji ładowania pojazdów elektrycznych we flocie pojazdów miejskich. W ramach jednego z zadań zaproponowano także modernizację przystanków miejskich związaną z montażem paneli fotowoltaicznych zlokalizowanych bezpośrednio na wiacie przystankowej lub zintegrowanych z obiektami małej architektury.

Działania mają być realizowane w latach 2020-2030.

2.15 ZIELONY WODÓR Z OZE W POLSCE

Celem raportu¹ jest przeanalizowanie możliwości technicznych i ekonomicznych produkcji „zielonego” wodoru przy wykorzystaniu energetyki wiatrowej w Polsce. Raport zidentyfikuje główne bariery blokujące rozwój produkcji „zielonego” wodoru na szeroką skalę. Przedstawia również wpływ produkcji wodoru z elektrowni wiatrowych na Krajowy System Elektroenergetyczny. Opisany zostanie także bilans korzyści w zakresie redukcji CO₂ oraz rozwoju gospodarczego i postępu technicznego. Raport porządkuje również informacje dotyczące samego sposobu produkcji zielonego wodoru, pokazując aspekty techniczne, jak i ekonomiczne (kosztowe) wraz z prognozą zmian cenowych w przyszłości.

¹ <https://dise.org.pl/raport-zielony-wodor/>, dostęp: 01.12.2021 r.

3 Aktualna sytuacja

3.1 WSTĘP

Wyzwania współczesnego świata, takie jak konieczność walki ze zmianami klimatycznymi, rodzą potrzebę zmian w sposobie przemieszczania się. Zasadniczym celem przemian jest ograniczenie kosztów zewnętrznych generowanych przez transport, przede wszystkim tych związanych ze środowiskiem. Dzięki postępom w technologii, pojazdy o napędzie elektrycznym stają się dziś możliwą i wskazaną alternatywą dla pojazdów spalinowych.

Znaczna część przewagi popularności pojazdów spalinowych nad pojazdami o napędzie elektrycznym związana jest z dostępnością infrastruktury i dostosowaniem systemu do określonego sposobu napędzania silników. Nowe regulacje mają na celu przyspieszenie procesu transformacji poprzez stworzenie preferencyjnych warunków do rozwoju elektromobilności. Zmiany na rynku pojazdów powodują, że samorządy będą musiały podjąć znaczące wysiłki w celu dostosowania się do nowego modelu. Dynamika tych zmian powoduje, że elektromobilność nie jest wyzwaniem przyszłości, ale teraźniejszości.

Elektromobilność zyskuje coraz większą popularność w Europie i na świecie. Korzyści środowiskowe, gospodarcze i społeczne związane z eksploatacją i zasilaniem pojazdów elektrycznych w przestrzeni miejskiej dostrzegane są przez coraz więcej zagranicznych organów decyzyjnych i inwestycyjnych, co skutkuje podejmowaniem szeregu inicjatyw związanych z rozwojem tej proekologicznej ścieżki rozwoju transportu miejskiego. Można stwierdzić, iż tempo wdrażania wspomnianych rozwiązań jest niewspółmierne do możliwości, którymi obecnie dysponuje technika i przemysł oraz że głównymi barierami w ich rozwoju pozostają kwestie społeczne i finansowe, wynikające z kolei z lokalnych zaniedbań w edukacji środowiskowej społeczeństw oraz różnic ekonomicznych w różnych krajach i regionach. Potwierdza to m.in. stale rosnący rynek instalacji fotowoltaicznych i akumulatorów elektrycznych (prowadzący do systematycznego obniżania cen za usługi i technologie związane z elektromobilnością) oraz pojazdów elektrycznych i hybrydowych na świecie – w tym tych do świadczenia usług w komunikacji miejskiej (coraz popularniejszych elektrobusów, tramwajów i trolejbusów wykorzystujących lokalne źródła energii elektrycznej).

Wśród głównych barier w rozwoju elektromobilności wskazać należy przede wszystkim znaczne zróżnicowanie społeczności i rynków energii oraz niejednokrotnie silne przywiązanie do konwencjonalnych technologii energetycznych, wynikające z wieloletniego braku dostępu do rozwiązań alternatywnych i ugruntowanych odruchów konsumenckich związanych z eksploatacją pojazdów spalinowych.

Prywatne pojazdy elektryczne to obecnie domena głównie państw rozwiniętych, gdzie obywatele posiadają podstawy finansowe do zakupu i użytkowania pojazdów hybrydowych bądź elektrycznych oraz tworzenia i eksploatacji infrastruktury ładowania we własnych gospodarstwach domowych, a ich wiedza z zakresu zrównoważonego rozwoju skłania do świadomego partycypowania w rynku elektromobilności. W ich przypadku rolą władz lokalnych pozostaje zasadniczo jedynie wspieranie mieszkańców poprzez rozbudowę stacji ładowania oraz organizację ruchu w przestrzeni miejskiej, a ze względu na specyfikę ruchu drogowego, wkład „czystej” komunikacji miejskiej w jakość powietrza lokalnego jest mniej znaczący aniżeli w innych częściach świata. W państwach tych istnieje także społeczna zgoda na wspieranie

inicjatyw związanych z ograniczaniem emisji zanieczyszczeń komunikacyjnych, dzięki czemu nie natrafiają one na bariery związane z potrzebą zmiany zachowań konsumenckich oraz ponoszenia wyższych kosztów transportu.

Nieco inaczej sytuacja wygląda w przypadku państw rozwijających się, gdzie w chwili obecnej to przede wszystkim lokalni przedsiębiorcy i władze administracyjne zobligowani są – w związku z obowiązkiem wdrażania międzynarodowych norm środowiskowych – do inicjowania i tworzenia programów proekologicznych w transporcie oraz podejmowania inwestycji służących rozwojowi czystych technologii transportowych, w tym także w obrębie transportu miejskiego. Dzieje się tak m.in. w przypadku obszarów, gdzie dominuje budownictwo wielorodzinne (a dostęp do stacji ładowania pojazdów elektrycznych uzależniony jest od inwestycji wspólnot lub władz lokalnych), gęstość zaludnienia zmusza uczestników ruchu drogowego do bazowania na technologiach spalinowych bądź też brak jest naturalnych trendów przechodzenia na mniej znane, lecz w szerszej perspektywie bardziej ekologiczne zachowania konsumenckie. Wspomniane przypadki rozwiązać może umiejętnie wdrożona, poparta analizami i programami elektromobilność systemowa, rozwijana przez lokalne podmioty administracyjne oraz przewoźników kształtujących komunikację miejską, podmiejską oraz międzymiastową.

Zalety i możliwości wynikające ze stosowania pojazdów elektrycznych współpracujących z OZE:

- poprawa jakości lokalne powietrza wynikająca z racji ograniczania emisji bezpośrednich takich zanieczyszczeń jak CO, tlenki siarki i azotu, pyły, sadza, lotne związki organiczne, towarzyszących pracy pojazdów spalinowych, prowadzące do zmniejszenia intensywności tzw. niskiej emisji oraz zjawiska powstawania smogu,
- ograniczenie emisji przemysłowych związanych z pracą konwencjonalnych bloków energetycznych (węglowych, gazowych, olejowych),
- ograniczenie hałasu w przestrzeni miejskiej (poniżej dopuszczalnych 59-68 dB – i więcej),
- ograniczenie krajowej emisji CO₂ oraz innych gazów cieplarnianych (z racji ograniczenia spalania paliw transportowych oraz paliw stosowanych w konwencjonalnych elektrowniach i elektrociepłowniach systemowych), wymagane przez przyjęte regulacje międzynarodowe (m.in. Porozumienie paryskie),
- możliwość kształtowania krzywej podaży na energię elektryczną ze stacjonarnych źródeł systemowych (w momencie zasilania pojazdów w dolinach zapotrzebowania – a więc kiedy energia elektryczna dostępna w Krajowym Systemie Energetycznym jest tańsza),
- możliwość kształtowania popytu na energię elektryczną (pojazdy elektryczne, podczas postoju, posiadają możliwość oddawania uprzednio zgromadzonej w swoich bateriach energii do sieci, stanowiąc dla niej mobilne magazyny energii rozszerzające możliwości regulacyjne np. klastrów energetycznych czy też systemów off-grid),
- rozwój lokalnego przemysłu i usług związanego z obsługą rynku elektromobilności,
- wzrost efektywności energetycznej transportu (silniki elektryczne cechują się wyższą sprawnością aniżeli silniki spalinowe) oraz możliwość ograniczenia kosztów eksploatacyjnych,

- ograniczenie uzależnienia od dostępu do paliw transportowych oraz cen na rynkach światowych, możliwość uzyskania przynajmniej częściowej niezależności energetycznej lokalnego transportu.

Wady i zagrożenia wynikające ze stosowania pojazdów elektrycznych:

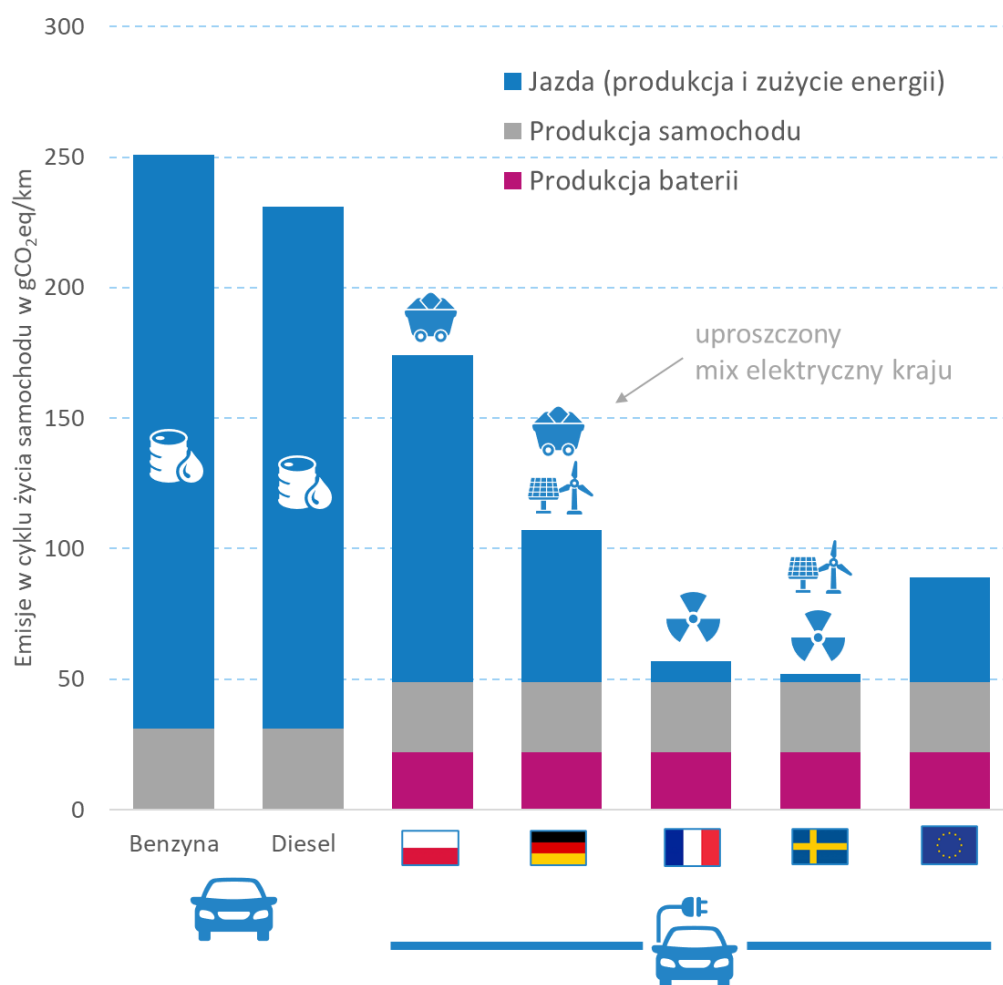
- potrzeba utylizacji baterii i innych elementów pojazdów elektrycznych w wysoce specjalistyczny sposób,
- wzrost kosztów inwestycyjnych związanych z zakupem floty pojazdów elektrycznych (głównie z racji ceny akumulatorów elektrycznych), okres zwrotu uzależniony od intensywności eksploatacji ww. inwestycji,
- uzależnienie od liczby i rozmieszczenia stacji ładowania pojazdów oraz zgromadzonej w nich (dostępnej w sieci) energii elektrycznej (dotyczy to w szczególności lokalizacji o dużej gęstości zaludnienia w miejscach o niekorzystnych warunkach solarnych i wiatrowych oraz tej opartej na budownictwie wielorodzinnym),
- ryzyko niekorzystnego wpływu (przeciążenia) na lokalne sieci elektroenergetyczne, skłaniające do tworzenia stacji ładowania typu off-grid oraz umiejętnej organizacji ich gospodarki energetycznej (monitoring popytu i podaży, zabiegi organizacyjne, współudział podmiotów prywatnych),
- ryzyko zwiększenia liczby wypadków z udziałem pieszych ze względu na zanik typowych dla ruchu drogowego dźwięków i bodźców,
- ryzyko wystąpienia pożarów w przypadku braku odpowiednich zabezpieczeń urządzeń elektrycznych na pokładzie pojazdu elektrycznego, wynikające m.in. z przegrzania, przeładowania lub uszkodzenia (np. wypadek drogowy) baterii,
- ryzyko uzależnienia rynków światowych od dostawców materiałów i pierwiastków (Nd, La, Tb, Dy, Li, Co) tworzących baterie i inne komponenty pojazdów elektrycznych.

3.2 ZANIECZYSZCZENIA

Elektromobilność oparta na niskoemisyjnych źródłach energii elektrycznej stanowi przede wszystkim element polityki obniżania emisji antropogenicznej oraz ograniczania procedur uwolnień zanieczyszczeń towarzyszących działalności sektora transportu. Dzieje się tak ze względu na fakt, iż spalaniu paliw takich jak benzyny, oleje napędowe i LPG (stanowiących obecnie podstawowe źródło energii do napędu pojazdów z silnikami tłokowymi) oraz węgle kamienne i brunatne, gaz ziemny, oleje opałowe (a więc podstawowych nośników energii w przypadku elektroenergetyki zawodowej, stanowiącej obecnie podstawowe źródło zasilania pojazdów elektrycznych w Polsce) towarzyszy emisja do otoczenia takich produktów jak dwutlenek węgla (CO_2), tlenek węgla (CO), tlenki azotu (NO , NO_2 , N_2O), tlenki siarki (SO_2 , SO_3), węglowodory, lotne związki organiczne (w tym WWA – wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne), pyły (w tym te submikronowe), sadza, metale ciężkie (m.in. rtęć, ołów – wraz z kadmem uznawane za najniebezpieczniejsze spośród wspomnianej grupy pierwiastków) oraz amoniak – ze względu na swój negatywny wpływ na organizmy żywe lub ekosystemy, w których one egzystują, uznawanych za zanieczyszczenia. To one, pośrednio lub bezpośrednio związane z transportem drogowym oraz pojazdami elektrycznymi ładowanymi za pośrednictwem wysokoemisyjnych źródeł energii, przyczyniają się do takich niekorzystnych zjawisk jak

pogłębianie efektu cieplarnianego (CO_2 , CH_4 , N_2O), „kwaśne deszcze” (tlenki siarki i azotu), tzw. niska emisja oraz smog (typu londyńskiego oraz Los Angeles - fotochemicznego). Implementacja rozwiązań elektromobilności opartej na technologiach solarnych lub wiatrowych – a więc takich, którym nie towarzyszy emisja bezpośrednia ww. związków i substancji, a emisja pośrednia może zostać ograniczona dzięki relatywnie prostym zabiegom organizacyjnym – niesie ze sobą więc szereg korzyści środowiskowych oraz społecznych, związanych m.in. z poprawą jakości powietrza w przestrzeni miejskiej, ograniczeniem obecnych bądź przyszłych kosztów korzystania ze środowiska oraz uniezależnieniem od wahań cen paliw na rynkach światowych. Stanowi ona także podstawę do rozwoju w przestrzeni miejskiej stacjonarnych systemów OZE – jako naturalny element rozwoju technologii skojarzonych z sektorem transportu, ugruntowujący zasadność inwestycji w „zielone” instalacje energetyczne, obniżający koszty związane z ich eksploatacją oraz integrujący i edukujący społeczeństwo w kształtowaniu odpowiednich zachowań konsumenckich i dbałości o swoje otoczenie. W ten sposób przyczynia się ona także do ograniczenia emisji zanieczyszczeń typowych dla pracy komunalnych systemów grzewczych (dioksyn i furanów, pyłów submikronowych, tlenków siarki, tlenek węgla, WWA).

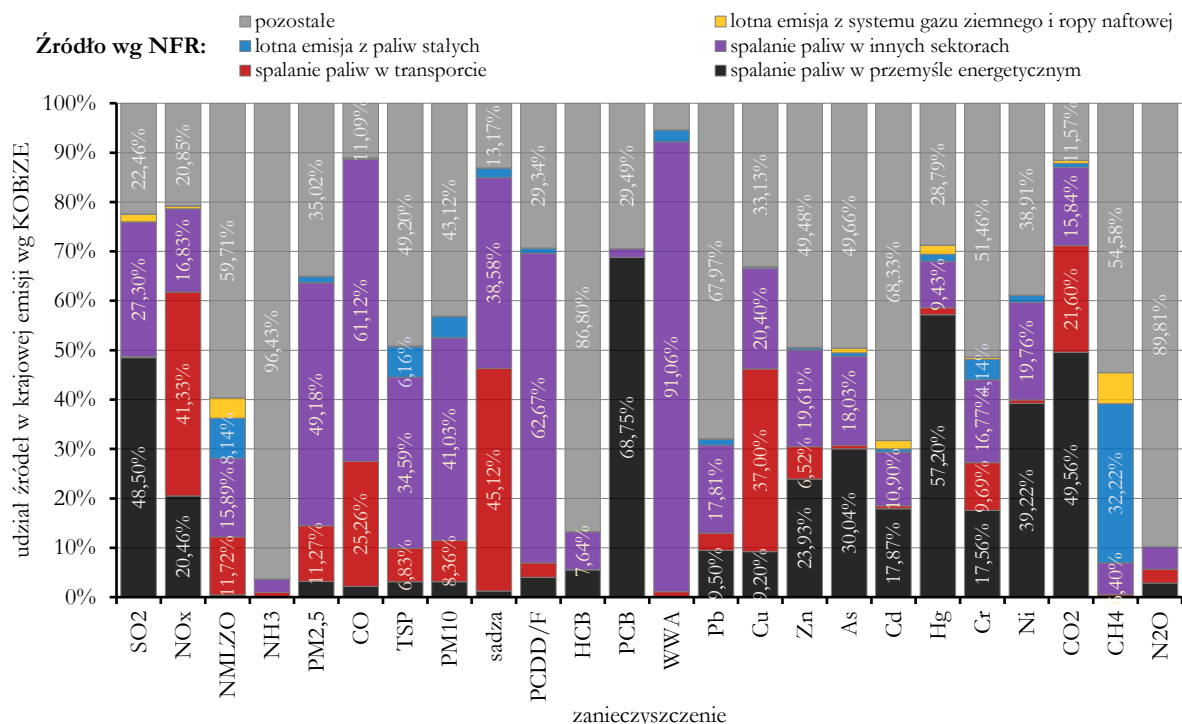
Wykres 1. Emisje CO_2 w cyklu życia pojazdu



Źródło: Transport&Environment.

Na wykresie poniżej przedstawiono wyniki inwentaryzacji najważniejszych zanieczyszczeń atmosferycznych w Polsce w 2019 roku, przeprowadzonej przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. Zaznaczono na nim 5 źródeł emisji, których wpływ na zanieczyszczanie środowiska ograniczyć można – w stopniu zależnym od zakresu działań oraz liczby inicjatyw – dzięki wdrożeniu elektromobilności opartej na solarnych i wiatrowych źródłach wytwórczych.

Wykres 2 Wyniki inwentaryzacji najważniejszych zanieczyszczeń atmosferycznych w Polsce w 2019 roku



Źródło: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990-2019, Warszawa 2021

W tabeli poniżej z kolei zawarto dane zgromadzone przez ww. ośrodek, mogące służyć (np. w odniesieniu do pokonanych wozokilometrów, ilości spalanej benzyny lub oleju napędowego, zużytej energii ze źródeł wysokoemisyjnych itp.) do oceny względnego wpływu rozwiązań związanych z elektromobilnością w skali kraju.

Tabela 1 Krajowe emisje SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO w Polsce w 2019 roku (z podziałem na źródła zanieczyszczeń wg NFR)

Zanieczyszczenie	Jednostka	Źródło zanieczyszczeń wg NFR						Suma
		Spalanie paliw w przemyśle energetycznym	Spalanie paliw w transporcie	Spalanie paliw w innych sektorach	Lotna emisja z paliw stałych	Lotna emisja z systemu gazu ziemnego i ropy naftowej	Pozostałe	
SO ₂	Gg	207,11	0,77	116,55	0,01	6,64	95,92	427,00
NO _x	Gg	139,47	281,64	114,69	0,01	3,62	142,09	681,52
NMLZO	Gg	3,00	75,82	102,79	52,66	26,43	386,37	647,07

Zanieczyszczenie	Jednostka	Źródło zanieczyszczeń wg NFR						Suma
		Spalanie paliw w przemyśle energetycznym	Spalanie paliw w transporcie	Spalanie paliw w innych sektorach	Lotna emisja z paliw stałych	Lotna emisja z systemu gazu ziemnego i ropy naftowej	Pozostałe	
NH ₃	Gg	0,00	3,00	8,26	0,03	0,03	305,87	317,19
PM _{2,5}	Gg	3,89	13,71	59,85	1,51	0,12	42,62	121,70
CO	Gg	46,69	533,43	1290,77	4,10	2,83	234,13	2111,95
TSP	Gg	10,62	23,44	118,77	21,16	0,43	168,90	343,32
PM ₁₀	Gg	6,86	18,25	89,62	9,23	0,27	94,18	218,41
sadza	Gg	0,17	6,34	5,42	0,27	0,00	1,85	14,05
PCDD/F	g I-TEQ	10,94	8,13	171,79	2,67	0,15	80,42	274,10
HCB	kg	0,82	0,01	1,14	0,00	0,00	12,95	14,92
PCB	kg	107,53	0,00	2,74	0,00	0,00	46,13	156,40
WWA	Mg	0,28	1,87	179,69	4,73	0,00	10,77	197,34
Pb	Mg	26,26	9,51	49,24	3,39	0,14	187,90	276,44
Cu	Mg	18,72	75,30	41,51	0,43	0,14	67,43	203,53
Zn	Mg	101,71	27,73	83,35	1,96	0,01	210,31	425,07
As	Mg	4,90	0,11	2,94	0,12	0,14	8,10	16,31
Cd	Mg	1,54	0,05	0,94	0,06	0,14	5,89	8,62
Hg	Mg	4,49	0,11	0,74	0,11	0,14	2,26	7,85
Cr	Mg	6,45	3,56	6,16	1,52	0,14	18,90	36,73
Ni	Mg	30,53	0,57	15,38	1,07	0,01	30,29	77,85
CO ₂	kt	149 911,97	65 326,48	47 900,64	2 627,02	1 717,15	35 001,34	302 484,60
CH ₄	kt	4,18	5,33	116,03	583,93	113,51	989,07	1812,05
N ₂ O	kt	2,32	2,23	3,68	0,00	0,00	72,54	80,77

Źródło: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami

Można stwierdzić, iż inwestycja w elektromobilność opartą na OZE to nie jedynie ograniczanie emisji większości zanieczyszczeń transportowych w skali lokalnej, lecz jeden z filarów ogólnoświatowej lub co najmniej krajowej walki ze zmianami klimatu – także ze źródeł stacjonarnych. Należy bowiem pamiętać, iż dopiero w momencie, kiedy energia elektryczna dostarczana do elektropojazdów pochodzi w całości z odnawialnych źródeł energii – przy jednoczesnej minimalizacji emisji pośrednich towarzyszących ich powstaniu i eksploatacji – mówić można o transporcie zeroemisyjnym (a więc takim, którego funkcjonowanie nie jest związane z emisjami bezpośrednimi z typowych elektrowni węglowych, gazowych czy też olejowych, stanowiącymi o zasilaniu większości pojazdów elektrycznych w Polsce – z racji

ściśłego związku z Krajową Siecią Elektroenergetyczną, nadal w ponad 70% energii opartej jest na spalaniu węgla).

W przypadku potrzeby oszacowania ograniczania emisji w momencie przejścia z wykorzystania źródeł wysokoemisyjnych na OZE, do określenia związanych z nimi korzyści środowiskowych – w przeliczeniu na każdą 1 kWh wykorzystanej energii – posłużyć można się danymi z tabeli poniżej.

Tabela 2 Wskaźniki emisji dla energii elektrycznej produkowanej w instalacjach do spalania paliw (średnia wartość z produkcji 149,42 TWh)

Zanieczyszczenie	CO ₂	SO _x	NO _x	CO	TSP
	kg/kWh				
Wartość wskaźnika	758	0,539	0,608	0,246	0,031

Źródło: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, Wskaźniki emisyjności, CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2019 rok, Warszawa 2020

Transport drogowy odpowiada za ponad 20% łącznej emisji dwutlenku węgla z Unii Europejskiej, w Polsce – za blisko 22% (wg danych KOBiZE z 2021 roku). Samochodom osobowym przypisuje się przy tym ok. ¾ wspomnianych udziałów, co skłania do stwierdzenia, iż poza samymi zmianami w obrębie taboru komunikacji miejskiej transformacji podlegać powinien także rynek pojazdów prywatnych oraz zachowań konsumenckich związanych z przemieszczaniem się mieszkańców w miastach i wsiach oraz między nimi.

Słuszność podejmowania inicjatyw proekologicznych w sektorze transportu miejskiego opiera się przy tym na problemie złej jakości powietrza w polskich miastach, wynikającego z jednej strony z przywiązania do indywidualnych, wysokoemisyjnych systemów grzewczych, z drugiej zaś – z nadmiernego ruchu pojazdów spalinowych po polskich drogach i braku ogólnosystemowych alternatyw w przypadku proekologicznego transportu miejskiego i międzymiastowego.

Polska wskazywana jest jako kraj, który nadal boryka się z problemem tzw. niskiej emisji oraz towarzyszącego jej zjawiska smogu, na co duży wpływ ma także intensywność spalinowego transportu drogowego. Stolica Dolnego Śląska, a więc jedno z dynamicznie rozwijających się miast w Polsce, narażona jest na systematyczne pogarszanie się jakości powietrza - z racji stale rosnącego zapotrzebowania na usługi transportowe. Jednym ze sposobów przeciwdziałania ww. sytuacji jest stopniowe zastępowanie źródeł wysokoemisyjnych – stacjonarnych i mobilnych – systemami niskoemisyjnymi (opartymi na odnawialnych źródłach energii, a w nieodległej przyszłości – także na instalacjach wodorowych) oraz zmiana przyzwyczajeń konsumenckich związanych m.in. ze stosowaniem prywatnego transportu drogowego - na rzecz proekologicznych rozwiązań w komunikacji miejskiej. Fakt ten jest przywoływany w większości współcześnie publikowanych opracowaniach i planach rozwoju miast i wsi, a skłania do niego m.in. systematyczny spadek kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych technologii przez wiele lat uznawanych za niekonwencjonalne na rynku polskim (ogniw PV).

3.3 STAN KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ WE WROCŁAWIU W PERSPEKTYWIE ROZWOJU ELEKTROMOBILNOŚCI OPARTEJ NA OZE

Na etapie opracowywania niniejszego dokumentu zespół autorski dysponował szeregiem danych dotyczących obecnego stanu technicznego i energetycznego MPK we Wrocławiu. Posłużyły one do przeprowadzenia ujętych w dalszej części opracowania symulacji oraz analiz. Poniżej zamieszcza się najważniejsze z informacji wykorzystanych podczas opisywanych prac:

- we Wrocławiu i na terenie gmin ościennych, poza operatorem MPK Wrocław, operują jeszcze firmy: Dolnośląskie Linie Autobusowe (osiedle Leśnica, gmina Miękinia, gmina Wisznia Mała, gmina Czernica, gmina Kobierzyce, gmina Kąty Wrocławskie, gmina Siechnice, gmina Żurawina; 44 pojazdy), A21 i PKS Południe (gmina Długołęka; 20 pojazdów) oraz Bus Marco Polo Wratislavia (gmina Długołęka; 6 pojazdów)
- komunikacja miejska we Wrocławiu (stan na 30.08.2021 r.) obsługiwana jest przez 326 autobusów MPK, 70 firmy Michalczewski oraz 30 firmy Mobilis. Wszystkie autobusy należące do MPK wyposażone są w silniki spalinowe z zapłonem samoczynnym, przy czym 227 sztuk spełnia normę Euro 6 (stanowi to 69 proc. floty) a jedynie 2 – Euro 4. Bazą dla taboru jest Zakład Autobusowy nr IX przy ul. Obornickiej 131. Tabor firmy Michalczewski stacjonuje przy ul. Gazowej we Wrocławiu, natomiast zajezdnia firmy Mobilis znajduje się przy ul. Tyskiej,
- MPK Wrocław systematycznie modernizuje swój tabor
- MPK Wrocław złożyło w styczniu 2021 wniosek w programie „Zielony Transport Publiczny” na zakup i dostawę 28 autobusów elektrycznych (na linie K, 106, 142, 129), połączony z planami na zakup infrastruktury do Zakładu Autobusowego przy ul. Obornickiej 131 i przy pętlach autobusowych: Kamieńskiego, Rogowska i Port Lotniczy. Ostatecznie uzyskano zgodę na zakup 11 autobusów oraz budowę infrastruktury przy ul. Obornickiej 131 i na pętli ul. Kamieńskiego,
- komunikacja tramwajowa we Wrocławiu to obecnie 239 tramwajów (334 wagonów; 8 tramwajów Pesa, 32 tramwaje Protram, 48 tramwajów Skoda, 62 tramwaje Moderus, 89 tramwajów Konstal) stacjonujących w 3 zajezdniach (Zakład Tramwajowy „Gaj” przy ul. Ślężnej – 69 wagonów, 61 tramwajów; Zakład Tramwajowy „Ołbin” przy ul. Słowiańskiej – 156 wagonów, 78 tramwajów; Zakład Tramwajowy „Borek” przy ul. Powstańców Śląskich – 109 wagonów, 100 tramwajów) oraz na 248 km tras tramwajowych i 21 liniach tramwajowych,
- w 2020 roku MPK zużyło 64,5 GWh energii elektrycznej, z czego 62 GWh na zasilanie tramwajów (pozostałe potrzeby to obsługa zajezdni, punktów socjalnych dla kierowców i motorniczych na pętlach, centrali ruchu, budynków biurowych) – odnotowano przy tym spadek o 2,2 GWh w stosunku do 2019 roku (m.in. dzięki instalacji oświetlenia LED, tab. 23),

Tabela 3 Bilans energetyczny MPK Wrocław w latach 2019 i 2020 oraz szacunki na rok 2021

L.p.	Obiekty	Taryfa	Zużycie energii elektrycznej / trakcyjnej [kWh]		
			2019 r.	2020 r.	2021 r. – szacunek
1.	Stacje prostownikowe – trakcja tramwajowa	B 23	63 841 708	61 915 629	70 664 646
2.	Zakłady Tramwajowe oraz Zakłady Autobusowe	B 23	1 976 139	1 753 007	2 942 616
	GAJ		360 510	325 432	397 430
	BOREK		634 067	538 257	663 624
	Zakłady Autobusowe		981 562	889 318	1 881 562
3.	Zakład Tramwajowy Ołbin	C 22a	367 650	367 927	392 301
4.	Budynek Zarządu	C 22a	152 799	149 665	215 799
5.	Ośrodek Wypoczynku Świątecznego w Sułowie	C 22a	80 392	59 999	86 392
6.	Punkty socjalne	C 12a	239 921	241 661	344 771
7.	Centrala ruchu – ul. Roosevelta	C 12a	34 077	31 442	37 920
8.	Stacje prostownikowe – potrzeby własne	C 11	13 322	1 361	37 920
Ogółem:			66 706 008	64 520 691	74 698 296

Źródło: MPK Wrocław

- MPK posiada obecnie 22 stacje prostownikowe rozmieszczone na terenie Wrocławia oraz dwie w budowie – do zapewnienia prądu dla powstających linii tramwajowych na Nowy Dwór i Popowice. Związane są one wprost z siecią trakcji elektrycznej (jednoprzewodowej) o długości 248,4 km (tyle samo wynosi długość tras tramwajowych). Stacje prostownikowe są przyłączone do sieci dystrybucyjnej energii elektrycznej należącej do firmy Tauron Dystrybucja SA (poza jedną, znajdującą się przy ulicy Milenijnej – ta jest przyłączona do sieci, która należy do PKP Energetyka SA),
- na dachu zajezdni przy ul. Obornickiej znajduje się 135 paneli PV (Canadian Hiku, 1765x1048x48 mm, 370 Wp i 21,1 kg każdy – łącznie 49,9 kWp mocy, 2 falowniki Fronius Symo 20.0-3-M), generujących rocznie ok. 50 MWh energii elektrycznej (połowa rocznego zapotrzebowania hali – 101 MWh, na której się one znajdują), tj. ok. 200,3 kWh/m² rocznie (wg otrzymanych danych). Analogiczna instalacja powstaje na dachu zajezdni przy ul. Powstańców Śląskich 209 (Zajezdnia Borek) – termin wykonania przypada na 30.11.2021,
- planuje się, iż na każdym budynku należącym do MPK – o ile warunki techniczne oraz posiadane środki finansowe na to pozwolą – zostanie zamontowana instalacja fotowoltaiczna,
- w przypadku rozpoczęcia eksploatacji autobusów elektrycznych konieczna będzie rozbudowa sieci elektroenergetycznej poprzez wymianę transformatorów,

dostosowanie układu pomiarowego i szyn zbiorczych zwiększonej mocy oraz montaż ładowarek. Ponadto konieczne będzie wybudowanie dwóch linii zasilających: podstawowej i rezerwowej, połączonych z GPZ (Główny Punkt Zasilający) przy ul. Żmigrodzkiej, zakupienie stacji transformatorowej typu kontenerowego z dwoma transformatorami, rozdzielnicą średniego oraz niskiego napięcia. Na obszarze miasta konieczny będzie także montaż ładowarek pantografowych razem z przyłączem i stacją transformatorową. Konieczne będzie także zwiększenie mocy przyłączeniowej, która wynosi 800 kW, oraz stworzenie łącza zapasowego, które zapewni dostawy prądu. W przypadku zakupu autobusów elektrycznych z wodorowymi ogniwami paliwowymi niezbędne będzie stworzenie odpowiedniej infrastruktury do ich obsługi, a także dostosowanie stacji paliw do możliwości tankowania nowego paliwa – wodoru. Na obecnie zajmowanym terenie zajezdni nie ma możliwości stworzenia odpowiedniej infrastruktury do obsługi i tankowania pojazdów napędzanych paliwem wodorowym. Zajezdnie pozostałych operatorów obsługujących komunikację miejską i międzygminną także nie są dostosowane do obsługi pojazdów zeroemisyjnych.

Rozwój rynku elektromobilności we Wrocławiu oprzeć można na zasobach energetycznych uzyskiwanych z instalacji odnawialnych – głównie paneli fotowoltaicznych. Miasto posiada bowiem dość dobrze zidentyfikowany potencjał solarny (rysunek poniżej), który dodatkowo oprzeć można na budowie dedykowanych farm solarnych oraz stworzeniu sieci solarnych przystanków autobusowych, wiat i parkingów miejskich.

Rysunek 1 Potencjał solarny Wrocławia

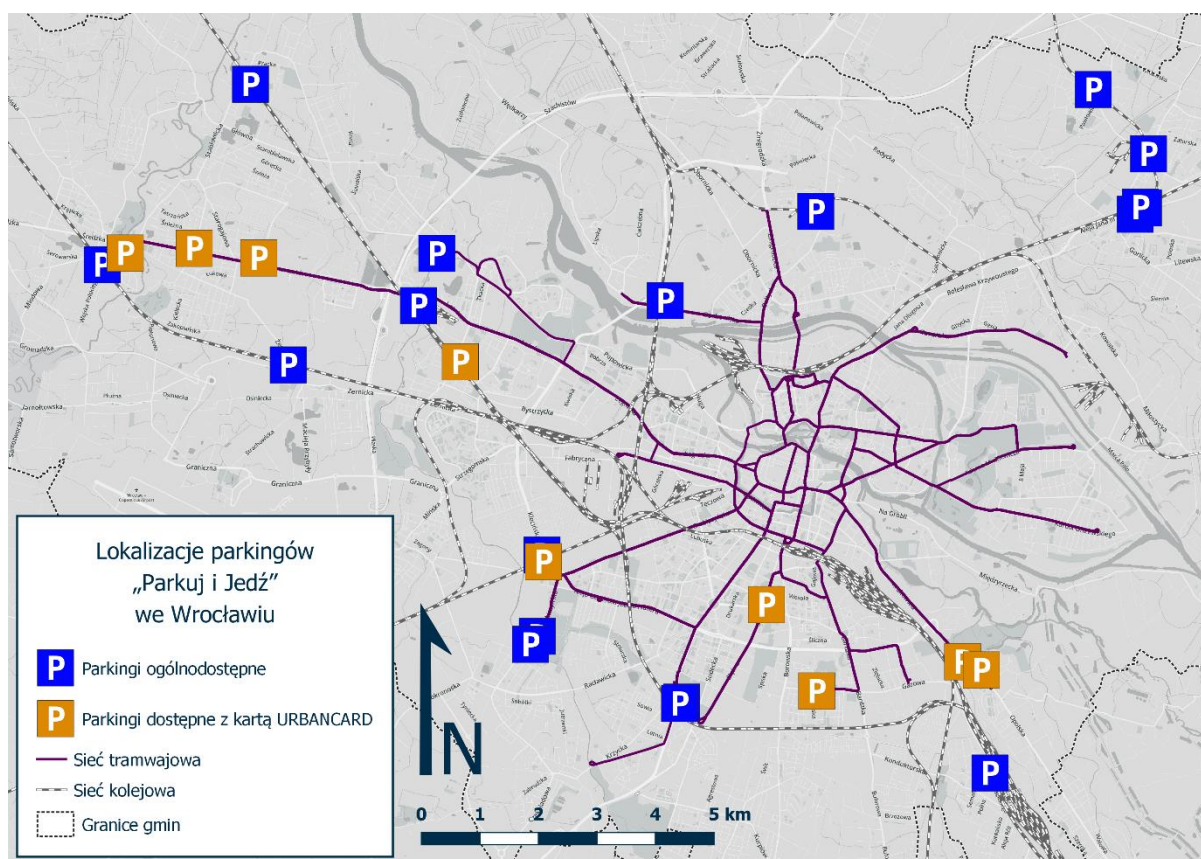


źródło: Urząd Miejski Wrocławia

Przy rozwoju rynku elektromobilności opartej na OZE zwrócić uwagę należy na dywersyfikację terytorialną źródeł wytwórczych, stacji elektroenergetycznych, linii przesyłowych oraz specyfikę pracy konsumentów i wytwórców (zmiennosc popytu i podaży). W pierwszej

kolejności podjąć należy działania związane z modernizacją lub szerszym wykorzystaniem istniejących zasobów i infrastruktury oraz wykorzystania specyfiki trwających zmian do rozszerzenia zakresu działalności podmiotów odpowiedzialnych za zmiany. Przykładowo, skojarzenie centrów energetycznych wokół systemu Park&Ride (rysunek poniżej), oddalonego najczęściej od centrum miasta, z dostępem do wolnej przestrzeni w bliskim sąsiedztwie, może stanowić może podstawę do rozwoju systemu sprzedaży energii do zasilania prywatnych pojazdów elektrycznych czy też rozwoju linii komunikacji podmiejskiej.

Rysunek 2 Parkingi Park & Ride we Wrocławiu



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z <https://www.wroclaw.pl/park-and-ride-we-wroclawiu>

Przy rozwoju elektromobilności opartej na OZE celowe jest także określenie dostępnej tramwajowej sieci trakcyjnej (rysunek poniżej).

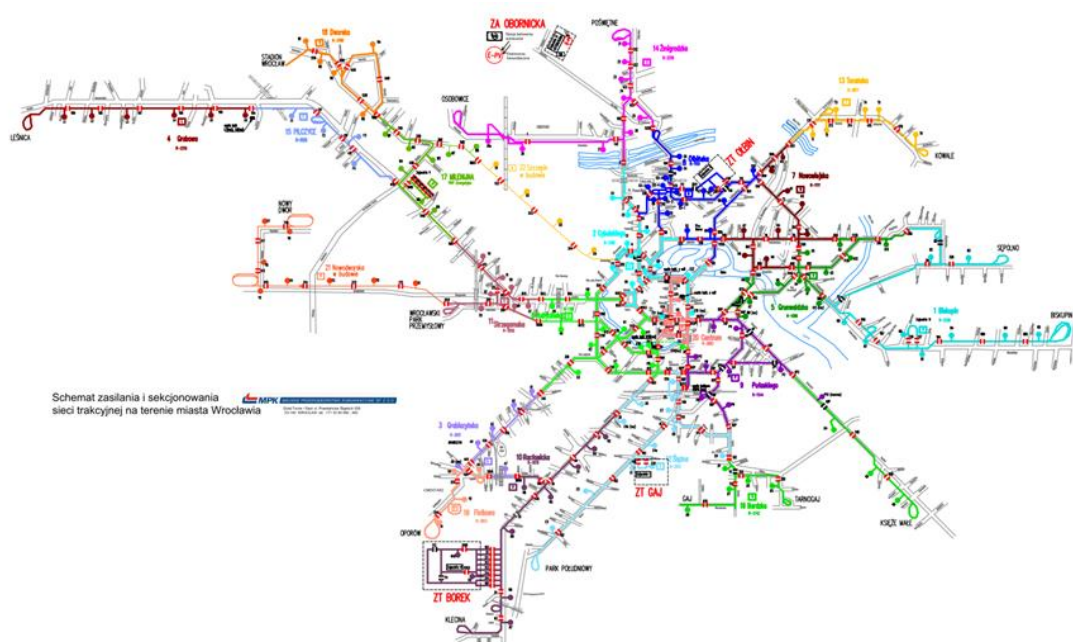
Rysunek 3 Schemat sieci torowisk tramwajowych



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych OpenStreetMap

Uwzględnienie sposobu zasilania i sekcjonowania sieci trakcyjnej (rysunek poniżej) oraz identyfikacji tzw. krańcówek – miejsc, gdzie pojazdy elektryczne (elektrobusy) mogłyby ładować posiadane akumulatory elektryczne.

Rysunek 4 Schemat zasilania i sekcjonowania sieci trakcyjnej miasta Wrocławia – stan na 17.02.2021

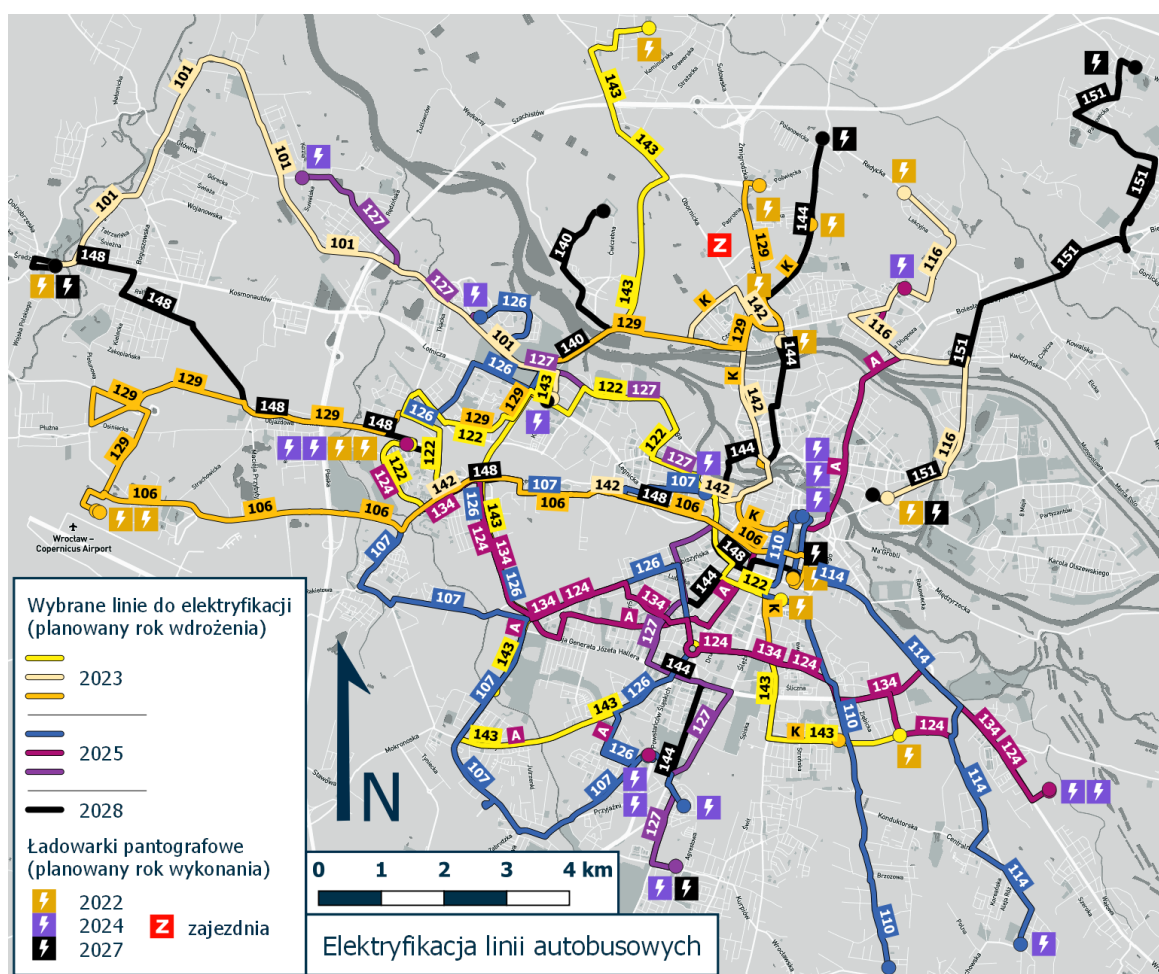


źródło: materiały MPK Wrocław

Rozwój elektromobilności skojarzyć można w przyszłości także z liniami międzygminnymi i okołomiejskimi. Dostęp do obszarów o wysokim potencjale do lokalizacji źródeł odnawialnych i dość rozległej siatce komunikacyjnej daje dodatkowe możliwości jeśli chodzi o budowę farm fotowoltaicznych, turbin wiatrowych oraz wyrównywanie popytu i podaży obszarów gęściej zaludnionych, o ograniczonym dostępie do powierzchni możliwych do energetycznego zagospodarowania.

Podobnie jak w przypadku linii tramwajowych, także znajomość linii autobusowych i związanych z nimi sieci krańcówek i przystanków stanowi o rozwoju lokalnego rynku pojazdów elektrycznych. Elektrobusy, a więc pojazdy o największej niezależności od chwilowego dostępu do sieci elektrycznej, w zależności od pojemności akumulatorów dysponują pewnym zasięgiem, co uwzględnić należy przy organizacji ruchu autobusów elektrycznych i lokalizacji stacji ładowania (plug-in czy też z pantografu). W przypadku Wrocławia rozkład linii jest dość równomierny, dając szerokie spektrum miejsc do instalacji ładowarek i, co więcej, centrów energetycznych wyposażonych w instalacje fotowoltaiczne i wiatrowe. Priorytetyzacja linii przeznaczonych do wprowadzenia autobusów elektrycznych opisano w Analizie kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych.

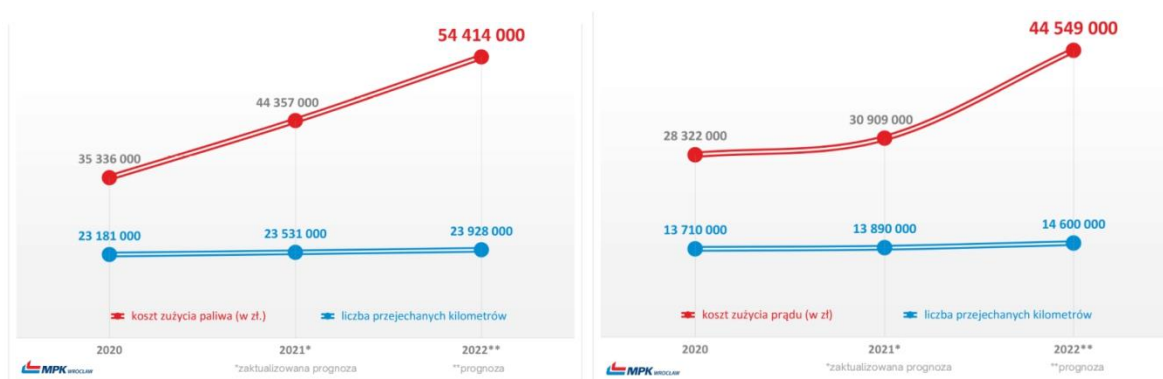
Rysunek 5 Elektryfikacja linii autobusowych oraz lokalizacja punktów ładowania w przypadku opłacalności przedsięwzięcia lub pozyskania zewnętrznego dofinansowania



źródło: Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych(...), Wrocław 2021 r.

Celowość inwestycji w odnawialne źródła energii w obrębie transportu miejskiego, poza korzystnym rozkładem linii i wolnych obszarów do instalacji ww. technologii w obrębie Wrocławia, potwierdzają także spodziewane wzrosty cen oleju napędowego oraz energii elektrycznej, skutkujące wzrostem kosztów eksploatacji pojazdów spalinowych oraz tramwajów (rysunek poniżej).

Wykres 3 Spodziewany wzrost kosztów związanych z zakupem oleju napędowego oraz energii elektrycznej w ramach działalności MPK Wrocław



źródło: materiały MPK Wrocław

4 Propozycje OZE dla Wrocławia

4.1 PROPONOWANE DZIAŁANIA

W ramach rozwoju elektromobilności we Wrocławiu, poza inwestycjami typowymi dla obecnej struktury przedsiębiorstwa (przystanki oraz tabor autobusowy i tramwajowy), należy rozważyć rozszerzenie zakresu świadczonych usług transportowych (np. taksówki wodne czy wykorzystanie transportu kolejowego), stanowiące odpowiedź na zmieniające się kierunki w poruszaniu się w przestrzeni miejskiej. Z jednej strony pozwoli ono na lepszą alokację budowanego potencjału energetycznego skupionego w fotowoltaice, z drugiej zaś – wzrost zaufania społecznego i roli w kształtowaniu ekologicznego charakteru Wrocławia oraz dywersyfikację koszyka usług komunikacyjnych, co obserwuje się przede wszystkim w państwach azjatyckich. Wprowadzenie szeregu mniej konwencjonalnych na rynku polskim rozwiązań nazwać można próbą stworzenia „spersonalizowanej”, ekologicznej komunikacji miejskiej (organizowanej, kształtowanej i monitorowanej przez przewoźnika, lecz niezwiązanej bezpośrednio z regularnym taborom tramwajowym i autobusowym), pomimo pewnego odejścia od korzystania z pojazdów takich jak autobusy i tramwaje nadal jednak kształtowanej i monitorowanej przez miejskiego przewoźnika. W dobie trwających przemian technologicznych i konsumenckich wspomniana ewolucja wydaje się być niezbędną i stanowić podstawę do dalszego rozwoju usług przewozowych. W związku z powyższym zaproponowano następujące zadania:

- stworzenie sieci centrów zasilania i ładowania pojazdów elektrycznych publicznego transportu zbiorowego organizowanego przez Gminę Wrocław – różnych mocy, dostępnych przestrzenie na działkach będących własnością Gminy, operatorów transportu publicznego, ściany i dachy okolicznych, miejskich zabudowań (np. Stadion Miejski), dachy parkingów czy też dedykowane stojaki solarne z systemem nadążnym, o możliwie największych mocach, wyposażonych w magazyny energii (akumulatory elektryczne, a w przyszłości o instalacje wodorowe – odwracalne ogniwa paliwowe i zbiorniki tlenu oraz wodoru), uwzględniające wszystkie standardy ładowania pojazdów elektrycznych. Przy realizacji zadań można wykorzystać potencjał lokalnych przedsiębiorstw specjalizujących się w najnowszych technologiach produkcji ogniw fotowoltaicznych, przykładowo perowskitowych.

Zdjęcie 1 Instalacja PV o mocy 1,4 MWp na Antalya Arena w Turcji



Źródło:

http://stadiony.net/aktualnosci/2015/10/nowy_stadion_pierwszy_sloneczny_stadion_w_turcji, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 2 Wolnostojąca instalacja PV z trackerem solarnym



Źródło:

<http://odnawialneźródłaenergii.pl/energia-sloneczna-aktualnosci/item/1098-trackery-solarne-czy-warto-sie-zdecydowac>, dostęp: 01.12.2021 r.

- stworzenie sieci małych autobusów miejskich (kilkunastoosobowych) do obsługi obszarów pozbawionych komunikacji np. transport wewnątrz osiedlowy, zasilany w całości za pomocą ogniw PV (mniejsze pojazdy oznaczają mniejsze potrzeby energetyczne, możliwość tworzenia autonomicznych linii przy mniejszych mocach zainstalowanych w OZE),

Zdjęcie 3 6-metrowy autobus elektryczny firmy Ankai



Źródło: https://www.ankaiglobal.com/ankai-bus-wins-two-industry-awards_n9, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 4 Autobus Movitas – pomysł firmy Tribus



Źródło: <https://siamagazin.com/movitas-100-electric-citybus-concept/>, dostęp: 01.12.2021 r.

- „zielone linie” autobusowe, tramwajowe—obsługiwanych przez pojazdy elektryczne lub hybrydowe, wyposażone w instalacje solarne montowane na karoserii (jako element promocji rozwiązań), z podglądem pod chwilowy uzysk i zapotrzebowanie na energię przez pasażerów,

Zdjęcie 5 Pojazd obsługujący „zieloną linię” w Buckinghamshire



Źródło: <https://eandt.theiet.org/content/articles/2014/01/uks-first-all-electric-bus-route-launched-in-buckinghamshire/>,
dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 6 Autobus BYD ADL Enviro200EV w Glasgow



Źródło: <http://www.cvworkshop.ie/2020/01/byd-adl-enviro200ev-take-to-the-glasgows-streets/>,
dostęp: 01.12.2021 r.

- system monitoringu popytu i podaży na energię elektryczną w obrębie transportu miejskiego dostępny dla pasażerów i osób korzystających z Internetu – aplikacja mobilna lub internetowa,

Zdjęcie 7 System monitoringu pracy instalacji PV



Źródło: <https://reductionrevolution.com.au/products/solar-monitoring-system-app>, dostęp: 01.12.2021 r.

- elektryczny tramwaj wodny o pojemności ok. 40-50 osób – zasilany z nabrzeża, z dedykowanych stacji ładowania wyposażonych w magazyny energii oraz ogniwa fotowoltaiczne,

Zdjęcie 8 Przykład solarnej (10,8 kWp) łodzi dla 80 pasażerów z Rostoku



Źródło: <https://www.ndr.de/nachrichten/mecklenburg-vorpommern/Rostock-baut-Anleger-fuer-neue-Elektro-Solar-Faehre-aus,faehrerostock100.html>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 9 Łódź elektryczna w Tajlandii (EGAT)



Źródło: <https://www.77kaoded.com/news/lakana/1986821>, dostęp: 01.12.2021 r.

- elektryczny tramwaj wodny 2-4 osobowy (w tym także w ramach inicjatywy boatsharing) – zasilany z nabrzeża, z dedykowanych stacji ładowania wyposażonych w magazyny energii oraz ogniwa fotowoltaiczne (możliwość współpracy m.in. z Kołem Naukowym PWr Solar Boat Team z Politechniki Wrocławskiej),

Zdjęcie 10 Łódź solarna studentów Koła Naukowego PWr Solar Boat Team z Politechniki Wrocławskiej



Źródło: Materiały prasowe Politechniki Wrocławskiej

Zdjęcie 11 Mała, autonomiczna, komercyjna łódź solarna



Źródło: <https://electracraft.com/electracraft-solar-powered-electric-boats/>, dostęp: 01.12.2021 r.

- stworzenie małych, ogólnodostępnych stacji ładowania własnych rowerów, wyposażonych w dostęp do Internetu, monitory, monitoring, punkt informacji turystycznej, wypożyczalnię e-booków, stolik z krzesłkami, czajnik elektryczny itp., zlokalizowane przy najczęściej uczęszczanych traktach rowerowych. Istnieje możliwość nawiązania współpracy z Kołem Naukowym Environmental Team zajmującym się podobną problematyką na lokalnej politechnice,

Zdjęcie 12 Komercyjna, solarna (1,3 kWp) stacja ładowania rowerów elektrycznych wraz z dodatkowym wyposażeniem (CHARMAX)



Źródło: <https://westech-pv.com/Charmax-mobile-E-charging-station>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 13 Komercyjna, solarna (3x 195 Wp) stacja ładowania rowerów elektrycznych



Źródło: <https://www.sneakernews.cf/ProductDetail.aspx?iid=21020224&pr=87.88>, dostęp: 01.12.2021 r.

- rozwój małego, najlepiej autonomicznego, elektrycznego, wodnego bądź lotniczego systemu do przewozu przesyłek – szybkie przesyłanie towarów, przesyłek w obrębie miasta po rzekach i w przestrzeni powietrznej w osi rzek, z ładowaniem na stacjach przyrzecznych,

Zdjęcie 14 Elektryczny dron towarowy



Źródło: <https://www.dnaindia.com/india/report-commercial-drones-get-green-signal-from-dec-1-food-delivery-not-allowed-2655689>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 15 Trójkołowy, towarowy (poj. 500 dm³) pojazd elektryczny



Źródło: <https://www.weselectric.nl/product/carver-cargo/>, dostęp: 01.12.2021 r.

- wykorzystanie dostępnej przestrzeni na dachach zajezdni i innych obiektów MPK do montażu ogniw (w tym z systemem nadążnym) i pokrywania za ich pomocą nie tylko stacji ładowania pojazdów, lecz także możliwie największego udziału potrzeb własnych operatora transportu publicznego (np. ogrzewania, oświetlenia, chłodzenia, napędu maszyn),

Zdjęcie 16 Wykorzystanie dachu jednej z zajezdni autobusowej w Szanghaju (moc sumaryczna paneli PV - 195 kWp)



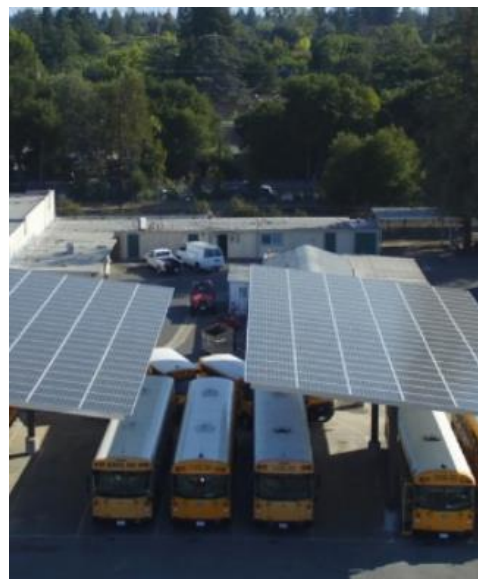
Źródło: <https://goexplorer.org/buses-go-truly-zero-emission-with-solar-power/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 17 Wykorzystanie ogniw polikrystalicznych na wielostanowiskowym parkingu/przystanku autobusowym



Źródło: <https://www.indiamart.com/proddetail/bus-shelter-solar-panel-15824222855.html>, dostęp: 20.11.2021 r.

Zdjęcie 18 Zadaszenie solarne zajezdni autobusów szkolnych w Palo Alto



Źródło: <https://palyvoice.com/142575/news/solar-panels-finished-in-parking-lot-corp-yard/>, dostęp: 20.11.2021 r.

- fotowoltaika na dachach przystanków i na budynkach użyteczności publicznej, wraz ze stacjami ładowania pojazdów oraz innych urządzeń elektrycznych w ich sąsiedztwie, świadcząca usługi inne niż ładowanie pojazdów - jako element wsparcia elektromobilności i instalacji solarnych dla mieszkańców nieposiadających dostępu do własnych źródeł wytwórczych (prosumenckich), chcących natomiast korzystać z rozwiązań solarnych (posiadających samochód elektryczny, lecz nieposiadających instalacji wytwórczej – w ramach abonamentów, „biletów” energetycznych itp.),

Zdjęcie 19 Zadaszenie stacji autobusowej w Budapeszcie (moc instalacji - 200 kWp)



Źródło: <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/BKV-solar-powered-bus-storage.html>, dostęp: 20.11.2021 r.

- wyposażenie trakcyjnych pojazdów miejskich w dodatkowe magazyny energii służące awaryjnemu zasilaniu na wypadek zaniku napięcia w sieci lub uszkodzenia trakcji – jako element podnoszący niezawodność komunikacji miejskiej, ładowanych w całości z instalacji solarnych montowanych na karoserii (jako element promocji akcji przed zakupem pierwszych pojazdów elektrycznych),

Zdjęcie 20 Sekcje akumulatorów w elektrycznym autobusie komunikacji miejskiej



Źródło: <https://www.kvpr.org/business-economy/2018-03-13/electric-buses-are-coming-to-porterville>, dostęp: 20.11.2021 r.)

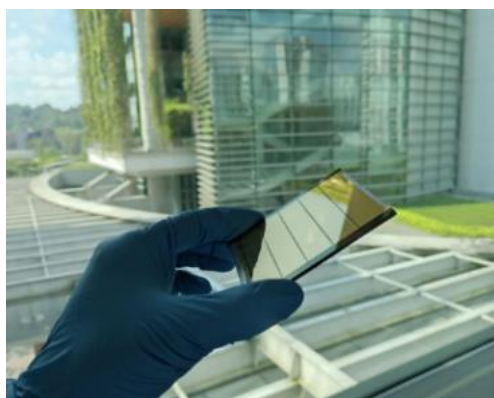
Zdjęcie 21 Ogniwa PV na dachach chińskich, elektrycznych autobusów miejskich



Źródło: <https://www.richardpriestley.co.uk/solar-buses-china/>, dostęp: 20.11.2021 r.

- wykorzystanie ogniw perowskitowych – początkowo w ramach pilotażowego pojazdu (np. autobusu) bądź budynku – we współpracy z lokalnym przemysłem. Zastosowanie perowskitów jest o tyle wartościowe, iż generują one energię elektryczną także ze światła sztucznego, co w przestrzeni miejskiej jest pożądane,

Zdjęcie 22 Ogniwo perowskitowe z Nanyang Technological University o sprawności 18,13%



Źródło: <https://solaredition.com/mini-perovskite-panels-with-18-13-efficiency-future-of-bipv/>, dostęp: 20.11.2021 r.

Zdjęcie 23. Koncepcja zasilania małego pojazdu elektrycznego za pomocą perowskitów (Case Western Reserve University)



Źródło: <https://www.inertcorp.com/whats-new/perovskite-solar-cells-may-power-electric-cars/>, dostęp: 20.11.2021 r.

- pilotażowe instalacje wodorowe (elektrolizer + magazyn wodoru i tlenu + ogniwo paliwowe) – jako element rozwoju przyszłych magazynów energii, niezbędne do zdobycia niezbędnego doświadczenia technicznego i eksploatacyjnego,

Zdjęcie 24 Miejska stacja ładowania pojazdów wodorowych



Źródło:
<https://www.nytimes.com/2017/05/18/automobiles/wheels/first-came-the-hydrogen-cars-now-the-refilling-stations.html>,
 dostęp: 20.11.2021 r.

Zdjęcie 25 Zielony wodór – magazyn przyszłości w przypadku energii powstającej z OZE



Źródło: https://www.inforicambi.it/ricambi-truck/bosch-idrogeno-mobilita-camion_19867.html,
 dostęp: 20.11.2021 r.

Zdjęcie 26 Rozwiązanie łączące produkcję energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej przeznaczonej do produkcji wodoru w elektrolizerze oraz tankowania wodoru



Źródło: <https://www.energy-innovation-austria.at/article/fronius-solhub-2/?lang=en>, dostęp: 20.11.2021 r.

- opracowanie systemu bezzałogowych, elektrycznych statków powietrznych zasilanych ze stacji ładowania PV do monitorowania stanu technicznego torowisk i trakcji, identyfikacji dróg o wysokim ruchu drogowych, zbierania danych o obciążeniu poszczególnych linii tramwajowych i autobusowych, kontroli infrastruktury PV itd.-

jako system wsparcia lub też podsystem istniejącej infrastruktury ITS (Inteligentne Systemy Transportowe),

Zdjęcie 27 Bezzałogowe statki powietrze jako podstawowy element GMSPAZIO Network Monitoring System – systemu służącego do monitoringu środowisk miejskich i przemysłowych



Źródło: <http://www.gmspazio.com/portfolio-view/gsmr/>, dostęp: 22.11.2021 r.

- rozważenie modernizacji autobusów spalinowych w elektryczne – z wykorzystaniem posiadanego taboru, co stanowi jedną z możliwości ścieżek rozwoju elektromobilności bez potrzeby zakupu firmowych elektrobusów, a w oparciu o posiadany tabor spalinowy

Rysunek 6 Koncepcja modernizacji pojazdów spalinowych w pełni elektryczne



Źródło: <https://lightningemotors.com/buses/>, dostęp: 19.11.2021 r.

- stworzenie „Centrum Elektromobilności i Odnawialnej Energii Miasta Wrocławia” – specjalnej placówki muzealnej lub edukacyjnej kształtującej świadomość techniczną i ekologiczną turystów i mieszkańców z zakresu czystego transportu oraz wykorzystania technologii OZE w przestrzeni miejskiej, stworzonej we współpracy z naukowcami z wrocławskich szkół i uczelni, z wykorzystaniem jednej z zajezdni miejskich,

Zdjęcie 28 Route 66 EV Museum w Arizonie – Zdjęcie 29 The British Motor Museum muzeum pojazdów elektrycznych



Źródło: <https://hevf.org/route-66-ev-museum/>,
22.11.2021 r.

dostęp: Źródło: <https://arewethereyetkids.com/the-british-motor-museum-a-fun-day-out-for-the-whole-family-in-warwickshire/>,
dostęp: 22.11.2021 r.

- stworzenie miejskich połączeń kolejowych obsługiwanych pojazdami trakcyjnymi wykorzystującymi ogniwa PV bądź też układy wodorowe, bazujących na dostępnej infrastrukturze kolejowej w obrębie miasta (dworce, hale kolejowe),

Zdjęcie 30 Panele fotowoltaiczne na wagonach kolejowych w Indiach Zdjęcie 31 Projekt montażu 4,5 tys. m² paneli PV w norwestkim Drammen



Źródło:
<https://www.deccanchronicle.com/business/companies/110417/bhel-bags-order-from-railways-for-solar-power-plant.html>,
dostęp: 01.12.2021 r.

Źródło:
<https://www.railtech.com/infrastructure/2020/04/16/first-solar-powered-train-station-in-norway/?gclid=...>,
dostęp: 01.12.2021 r.

- ciągłe pomiary chwilowego zużycia paliw i energii elektrycznej przez wszystkie pojazdy komunikacji miejskiej, prognozowanie produkcji energii elektrycznej z PV oraz kooperacja z elektrociepłownią lub innymi obiektami energetycznymi w perspektywie pokrywania braków zapotrzebowania na energię elektryczną (dywersyfikacja źródeł wytwórczych, idea Smart grid, lokalna regulacja instalacji OZE), sterowanie podażą na energię elektryczną za pomocą zmiany kąta pochylenia ogniw w przypadku zastosowania systemów nadążnych,

Zdjęcie 32 Monitoring instalacji OZE jako podstawa przyszłych systemów energetycznych różnych mocy, także w obrębie miast



Źródło: <https://aseanenergy.org/benefits-of-digitalising-the-power-system/>

- prowadzenie badań dotyczących emisji zanieczyszczeń transportowych (pyły submikronowe, CO₂, NO_x, CO, węglowodory) w zależności od obciążenia silnika spalinowego lub wodorowego, jego pojemności skokowej, sposobu regulacji i identyfikacja stopnia poprawy jakości powietrza na skutek wdrożenia danego rozwiązania z zakresu elektromobilności, ocena emisji pyłów z procesów degradacji opon – podjęcie ścisłej współpracy z polskimi naukowcami z zakresu ograniczania śladu węglowego i uwolnień zanieczyszczeń z sektora transportu,

Zdjęcie 33 Filtr cząstek stałych w autobusie miejskim z silnikiem z zapłonem samoczynnym



Źródło: <https://ehcteknik.com/vehicles/buses/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 34 Badania poziomów emisji z pojazdów komunikacji miejskiej



Źródło: <https://www.environmentalengineering.org.uk/news/test-facility-for-testing-bus-exhaust-emission-levels-2454/>, dostęp: 01.12.2021 r.

- efektywny system czyszczenia ogniw i obsługi bieżącej infrastruktury elektromobilnej, najlepiej oparty o układy solarne,

Zdjęcie 35 Profesjonalny serwis paneli fotowoltaicznych jako podstawa do ich wydajnej i wieloletniej eksploatacji



Źródło: <https://www.pveurope.eu/solar-modules/solar-modules-cleaning-job-professionals>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 36 Kontrola parametrów pracy paneli PV



Źródło: <https://www.canterbury.ac.nz/engineering/schools/cnre/postgraduate/renewable-energy/>, dostęp: 01.12.2021 r.

- elektryczne melekсы jako element wsparcia bliskiego transportu np. na cmentarzach komunalnych lub też wsparcia służb mundurowych, umożliwiające poruszanie się po parkach i terenach zielonych,

Zdjęcie 37 Przykład pojazdu elektrycznego do zaspokajania potrzeb komunikacyjnych na niewielkich odległościach



Źródło: <https://melex.com.pl/oferta/pasazerskie-bez-homologacji/ncar-366-6.html>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 38 Wykorzystanie pojazdów elektrycznych przez służby miejskie w Mielcu



Źródło: <https://nowiny24.pl/mielec-znow-stawia-na-melekсы-foto/ar/c3-12020380>, , dostęp: 01.12.2021 r.

- opracowanie oferty wsparcia inicjatyw transportowych związanych z PV, pośrednictwo w inwestycjach w OZE w sektorze transportu oraz trwała współpraca z zakresu implementacji rozwiązań z jedną z zagranicznych firm inżynierskich lub z uczelniami wyższymi.

Zdjęcie 39 Szerokie możliwości stosowania ogniw PV w obrębie pojazdów elektrycznych



Źródło:
<https://www.globaltrailer.com/2021/10/25/sonomotors-files-registration-statement-for-proposed-ipo/> ,
dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 40 Współpraca z naukowcami z zakresu rozwoju OZE to podstawa świadomego rozwoju elektromobilności we współczesnych czasach



Źródło: letscale.com/what-to-look-for-in-a-legal-technology-consultant/, dostęp: 01.12.2021 r.

- wyposażenie pojazdów w konwencjonalne instalacje do odzysku energii podczas hamowania (specjalne instalacje hamulcowe) lub z ciepła odpadowego (pompy ciepła) – jako element systemu racjonalizacji zużycia energii w pojazdach elektrycznych,

Zdjęcie 41 System do odzysku energii z procesów hamowania pojazdów



Źródło: <https://www.volkswagen.co.uk/en/electric-and-hybrid/sustainability/brake-energy-recuperation.html>,
dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 42 Pompa ciepła dedykowana do zastosowania w obrębie autobusów miejskich (Konvekta)

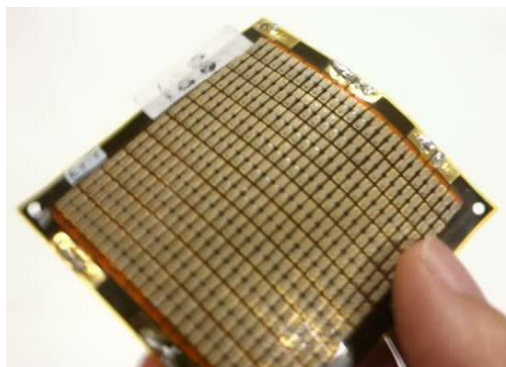


Źródło: <https://www.sustainable-bus.com/components/konvekta-moves-the-co2-heat-pump-production-on-a-dedicated-product-line/>,
dostęp: 01.12.2021 r.

- wyposażenie pojazdów w mniej konwencjonalne układy do generacji energii elektrycznej z ciepła odpadowego – moduły TEG (ang. Thermoelectric generator),

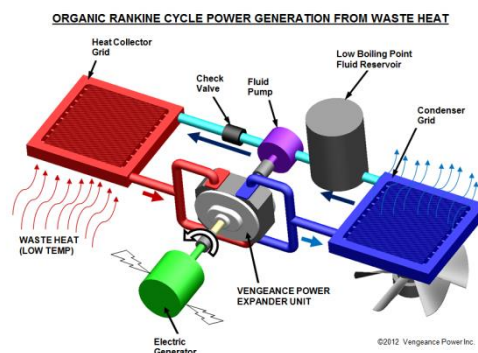
instalacje ORC (ang. Organic Rankine Cycle) – w tym także w przyszłych autobusach wodorowych z ogniwami paliwowymi,

Zdjęcie 43 Giętkie ogniwo termoelektryczne (FlexTEG;Osaka University)



Źródło: <https://www.eurekalert.org/news-releases/821978>, dostęp: 01.12.2021 r.

Rysunek 7 Wykorzystanie małej instalacji ORC do odzysku energii z ciepła odpadowego



Źródło: <http://www.vengeancepower.com/>, dostęp: 01.12.2021 r.

- opracowanie preferencyjnej oferty ładowania pojazdów elektrycznych lub sprzedaży energii elektrycznej („każdy pojazd elektryczny stanowi magazyn energii” – stosowanie baterii mogących oddawać także energię do sieci) przez użytkowników indywidualnych ze źródeł MPK, z wykorzystaniem jej infrastruktury („indywidualna elektromobilność miejska”), pozwalająca zmniejszyć koszty inwestycyjne i rozszerzyć działania na użytkowników samochodów osobowych (jako wyjście naprzeciw potrzebom tej grupy użytkowników ruchu),

Zdjęcie 44 Możliwość współdzielenia stacji ładowania pojazdów z użytkownikami elektrycznych samochodów osobowych



Źródło: <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/electric-vehicles-new-model-reduce-time-wasted-charging-points>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 45 Przykład dużej stacji miejskiej ładowania pojazdów elektrycznych



źródło: <https://www.theengineer.co.uk/charging-ahead-ev-dream/>, dostęp: 01.12.2021 r.

- ograniczenie zużycia energii elektrycznej m.in. poprzez instalacje oświetlenia LED (w tym na wszystkich przystankach z PV), zakup magazynów energii do skupu energii

elektrycznej w dolinach zapotrzebowania - każdy pojazd elektryczny to jednocześnie magazyn energii elektrycznej, można je wykorzystać właśnie do skupu interwencyjnego energii elektrycznej po niższych cenach, np. w nocy,

Zdjęcie 46 Energooszczędne oświetlenie LED podstawą do ograniczania zapotrzebowania na energię elektryczną w dużych zakładach przemysłowych



Źródło: <https://www.sanliledlighting.com/48w-left-asymmetric-led-workshop-lights/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 47 Magazyny energii – podstawa w przypadku rozwoju rynku OZE oraz regulacji popytu i podaży



Źródło: <https://pdiwan.medium.com/battery-energy-storage-system-eb0e9a57d546>, , dostęp: 01.12.2021 r.

- współpraca z okolicznymi gminami w celu rozszerzenia oferty komunikacyjnej lub dostępu do dodatkowych terenów służących budowie instalacji solarnych, rozszerzenie oferty o przewozy pracownicze lub międzymiastowe – z wykorzystaniem elektrobusów,

Zdjęcie 48 Kilkunastoosobowy bus elektryczny



Źródło: <https://greenpowermotor.com/greenpower-provides-ev-stars-green-commuter/>, , dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 49 Koncepcja dużej formy fotowoltaicznej



Źródło: <https://www.caixinglobal.com/2020-12-14/solar-on-track-to-become-chinas-no-3-power-source-101638967.html>, , dostęp: 01.12.2021 r.

- rozważenie rozszerzenia oferty OZE także o turbiny wiatrowe o poziomej i pionowej osi obrotu oraz innowacyjne rozwiązania takie z grupy „Traffic Wind Turbines” (montowane na słupach lamp, na pasach zieleni itp.) – stworzenie centrów hybrydowych (PV + turbiny wiatrowe) w miejsce monoteknologicznych (PV), skorzystanie z możliwości wyrównywania podaży na energię elektryczną z OZE w ramach instalacji kombinowanych,

Zdjęcie 50 Przykład małej turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu, skojarzonej z panelem PV, wykorzystującej strumienie powietrza generowane przez przejeżdżające autobusy w Turcji



Źródło: <https://www.independent.co.uk/climate-change/news/climate-crisis-wind-turbines-turkey-b1907199.html>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 51 Turbina wiatrowa o pionowej osi obrotu, skojarzona z lampą oświetleniową na pasie zieleni



Źródło: <https://www.altenergymag.com/article/2019/05/top-article-from-2019-traffic-powered-wind-turbines/31030>, dostęp: 01.12.2021 r.

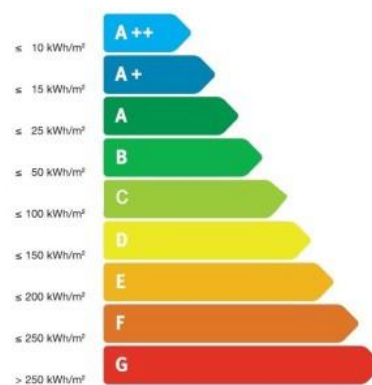
- przeprowadzenie audytów energetycznych wszystkich budynków MPK, termomodernizacja oraz opracowanie systemu monitoringu zapotrzebowania na energię – jako element racjonalizacji gospodarki energetycznej w momencie budowy instalacji PV oraz przewidywania krzywej zapotrzebowania na energię ze źródeł odnawialnych (podstawa działań w ramach sieci Smart Grid),

Zdjęcie 52 Znajomość krzywej popytu to podstawa do umiejętnej regulacji rynku energii ze źródeł odnawialnych



Źródło: <https://automatykaonline.pl/Artykuly/Prawo-i-normy/Audyt-efektywnosci-energetycznej-w-zakladzie-przemyslowym>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 53 Najlepsza energia to taka, której nie było trzeba generować i jednocześnie bez której udało zrealizować się wszystkie cele



Źródło: <https://vincihome.pl/porady/19-inteligentny-dom-energooszczedny-doplacy>, dostęp: 01.12.2021 r.

- równoległe trwające prace nad opracowaniem wytycznych do rozbudowy wszystkich stacji PV w instalacje wodorowe (jako magazyny energii oraz źródło zasilania autobusów wodorowych),

Zdjęcie 54 Stacja do produkcji wodoru ze źródeł odnawialnych (ogniwa PV, turbiny wiatrowe)



Źródło: <http://ely4off.eu/ely4off-achieves-the-first-hydrogen-production-from-renewable-sources/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 55 Wodór jako przyszły nośnik energii z OZE (także w sektorze transportu)



Źródło: <https://allstartsusa.com/2021/09/22/the-true-cost-of-photovoltaic-hydrogen/>, dostęp: 01.12.2021 r.

- własna biogazownia wysypiskowa lub rolnicza (z ewentualną sekwestracją CO₂ i CH₄ lub krakingiem CH₄ do H₂) z jednostką kogeneracyjną – magazyn biogazu traktować można, podobnie jak baterie, jako narzędzie do regulowania zmienności podaży ze strony instalacji solarnych lub wiatrowych, dodatkowo pełnić może rolę bufora

bezpieczeństwa dla mniej elastycznych instalacji OZE; dodatkowo istnieje możliwość instalacji oczyszczania biogazu do poziomu biometanu, które może stanowić paliwo dla pojazdów samochodowych i autobusów,

Zdjęcie 56 Biogazownia rolnicza – sposób na odzysk energii z odpadów oraz regulację podaży ze źródeł odnawialnych



Źródło: <https://www.dynamicbiogas.com/>,
01.12.2021 r.

dostęp:

Zdjęcie 57 . Biogaz i biometan wysypiskowy jako paliwo alternatywne o coraz większym potencjale



Źródło: <https://freshkillspark.org/landfill-engineering/collection-and-processing>,
dostęp: 01.12.2021 r.

- skorzystanie lub opracowanie, z jednym z producentów autobusów elektrycznych w Europie, oferty leasingu operacyjnego elektrobusów obejmującej m.in. korzystanie z autobusów i infrastruktury do ładowania, dostawy zielonej energii oraz pełną gwarancję i utrzymanie,

Zdjęcie 58 Autobus będący przedmiotem oferty leasingu operacyjnego



Źródło: <https://dancerbus.com/dancer-mobility/>, dostęp: 01.12.2021 r.

- zgazowanie odpadów komunalnych i sekwestracja H_2 z syngazu do zasilania przyszłych pojazdów wodorowych (możliwość skojarzenia z planami budowy spalarni odpadów opartej na technologii plazmowej),

Zdjęcie 59 Gospodarka odpadami to sektor o znacznym potencjale w produkcji biopaliw i paliw alternatywnych, także tych transportowych



Źródło: <https://edinburghsensors.com/news-and-events/syngas-production/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 60 Współpraca wielu lokalnych podmiotów jest wskazana w przypadku rozwoju rynku elektromobilności



Źródło: <https://www.gasworld.com/air-products-celebrates-new-fuelling-station/2018403.article>, dostęp: 01.12.2021 r.

- budowa zadaszonych węzłów przesiadkowych, serwisowych lub hubów komunikacyjnych pokrytych ogniwami PV, także niezwiązanych z postojami autobusów (udostępnienie terenów parkingowych i zdobycie dodatkowych powierzchni do montażu paneli PV)

Zdjęcie 61 Solarne parkingi autobusowe – wraz ze stacjami ładowania – w amerykańskim Falmouth



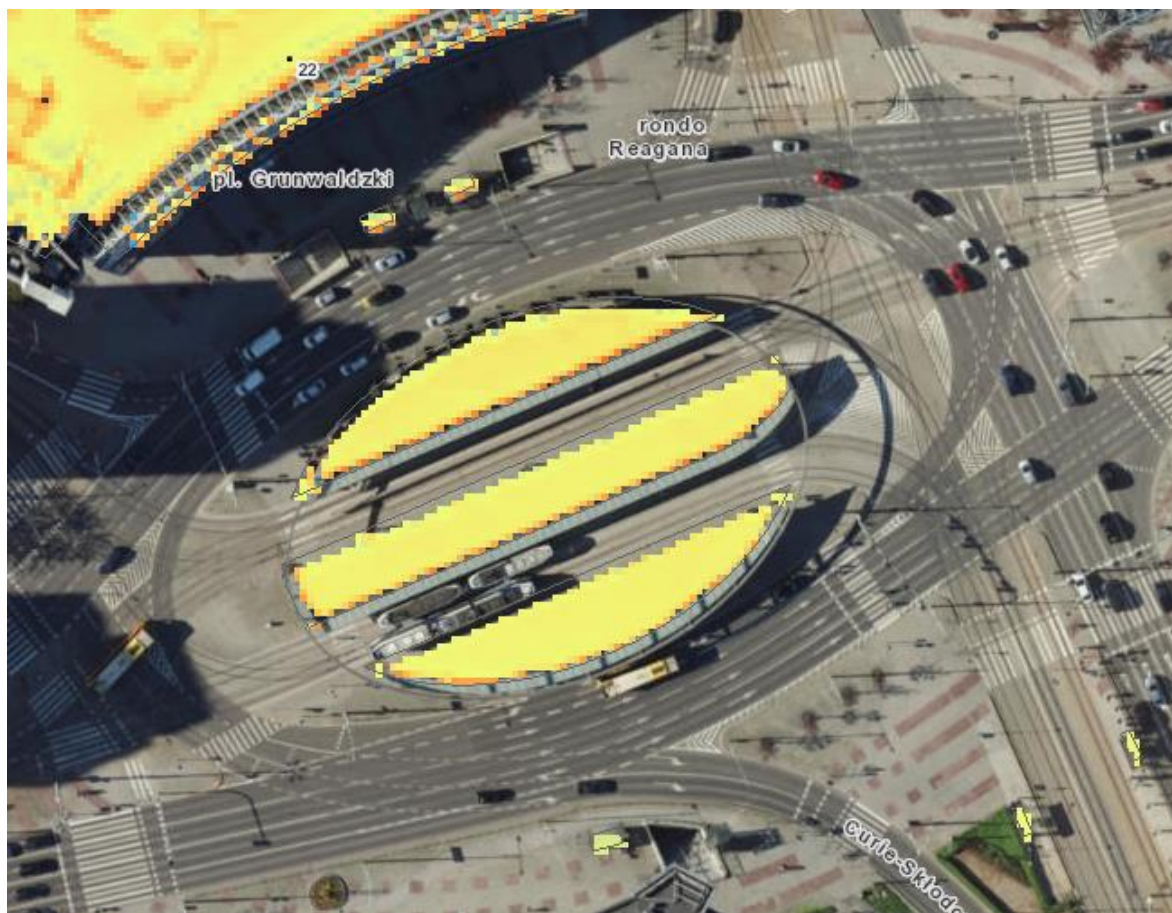
Źródło: <https://cleantechnica.com/2021/05/26/electric-buses-get-solar-charging-battery-backup-on-marthas-vineyard/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 62 Wykorzystanie dachów parkingów miejskich do generacji energii elektrycznej za pomocą ogniw PV



Źródło: <https://akaatent.com/product/solar-panel-car-parking-shades-manufacturers-in-uae/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Rysunek 8 Przykładem zadaszonego węzła przesiadkowego, który mógłby zostać wykorzystany do umieszczenia instalacji PV jest rondo Reagana o potencjalne solarnym na poziomie 1,47 GWh bez uwzględnienia sprawności instalacji



Źródło: <https://gis.um.wroc.pl/imap/?gmap=MapaSolarna>, dostęp: 01.12.2021 r.

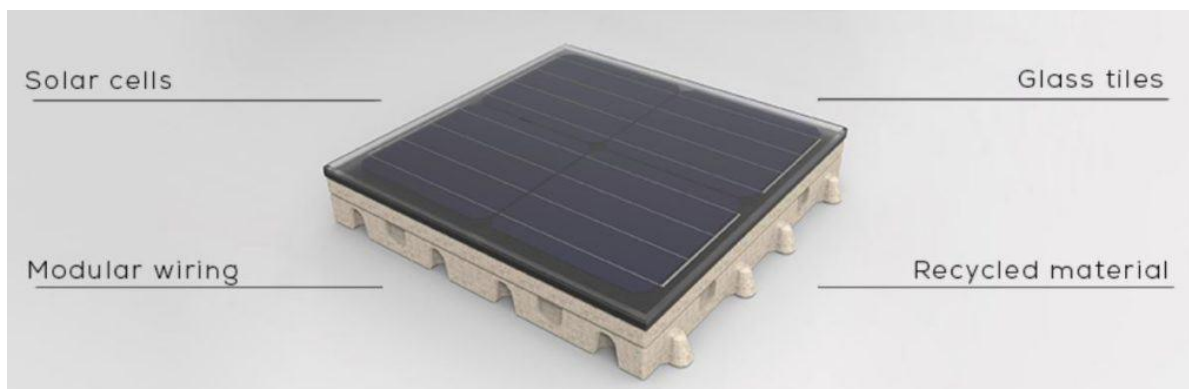
- skojarzenie stacji z Elektrociepłownią we Wrocławiu - awaryjny zakup energii elektrycznej do zasilania elektrobusów, możliwość ładowania pojazdów w dolinach zapotrzebowania na energię elektryczną lub szczyty zapotrzebowania na ciepło sieciowe,
- przyglądanie się rozwojowi solarnych ścieżek rowerowych, chodników i dróg i budowa nowych nawierzchni w przypadku pojawienia się trwałej technologii,

Zdjęcie 63 Ścieżka rowerowa wykonana z paneli słonecznych w Holandii funkcjonująca w latach 2014-2020. W 2020 roku została zastąpiona normalnym asfaltem ze względu na liczne uszkodzenia warstwy fotowoltaicznej



Źródło: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solaroad7.JPG>, dostęp: 01.12.2021 r.

Rysunek 9 Płyta chodnikowa zbudowana z hartowanego i antypoślizgowego szkła, ogniwa fotowoltaicznego oraz kompozytowego polimeru otrzymanego z recyklingu



Źródło: <https://swiatoze.pl/chodnik-z-ogniw-fotowoltaicznych-nawierzchnia-pv-od-platio/>,
01.12.2021 r. dostęp:

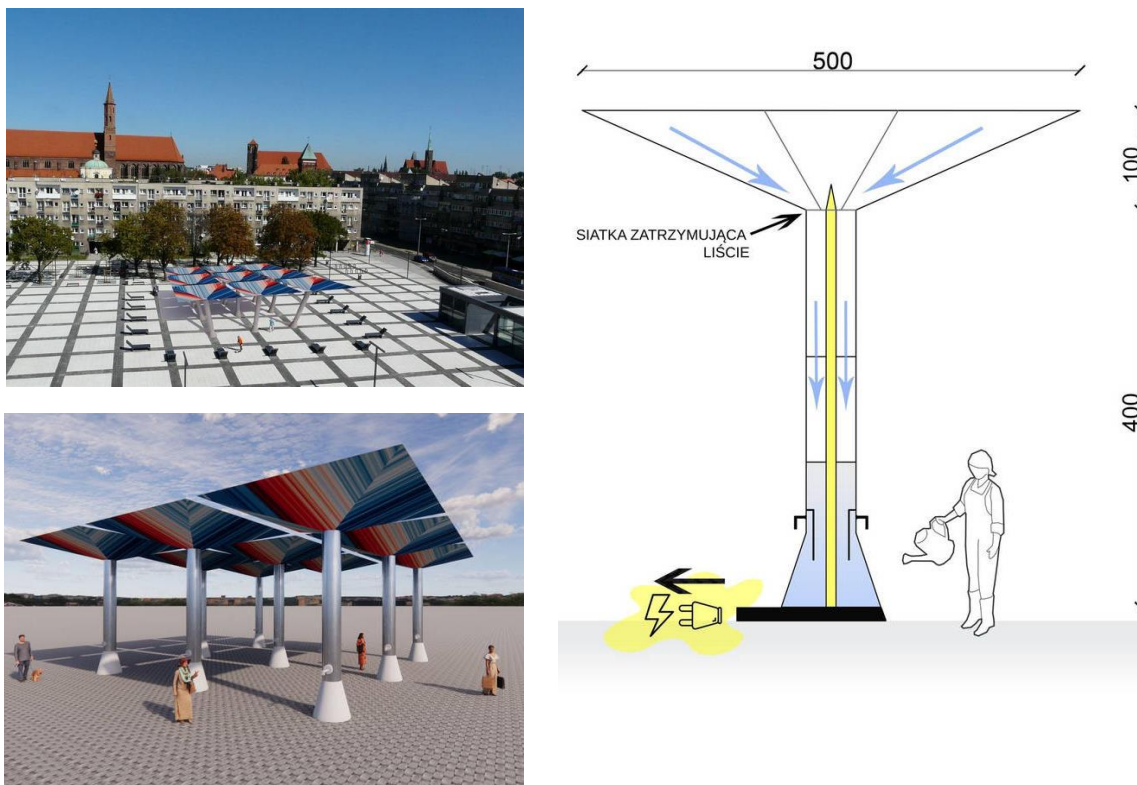
- na końcu ww. propozycji zaakcentować należy ideę wykorzystania istniejącego taboru oraz jego modernizacji pod kątem uzyskania statusu w 100% elektrycznych pojazdów tzw. retrofitting. Przeanalizować oczywiście należy stronę ekonomiczną ww. koncepcji oraz omówić techniczne aspekty zmian z producentami pojazdów, niemniej – koncepcja ta jest już spotykana i praktykowana na rynku. Rzuca to nowe światło na kwestie związane z rezygnacją z napędu spalinowego na rzecz elektrycznego, nieskutkujące całkowitym zaniechaniem stosowania nadal sprawnych pojazdów wyposażonych w tłokowe silniki z zapłonem samoczynnym.

Istotny podniesienia, przy okazji analizy, jest fakt znacznego dorobku wrocławskich studentów i przedsiębiorców z zakresu rozwoju komunalnych i transportowych instalacji proekologicznych. Warto zwrócić uwagę m.in. na koncepcję wysp solarnych oraz centrów energetycznych opartych na OZE.

Przykładową inicjatywę techniczną związaną z implementacją ogniw perowskitowych w przestrzeni miejskiej podjęli w drugiej połowie 2021 roku studenci Politechniki Wrocławskiej w ramach projektu PerOsol” – innowacyjnej konstrukcji łączącej ochronę przed promieniami słonecznymi oraz generację energii elektrycznej z ww. paneli PV (rysunek poniżej), ukierunkowanej przede wszystkim na zmniejszanie tzw. miejskiej wyspy ciepła (wynikającej m.in. ze spadku odsetku terenów zielonych w miastach, wzrostu ruchu samochodowego, spalania paliw w systemach grzewczych oraz działania sprężarkowych układów klimatyzacyjnych). Za swój pomysł zespół studencki otrzymał nagrodę na Metropolitalnym Climathonie 2021.

Konstrukcja dedykowana jest placom o niskim zadrzewieniu – np. pod którymi znajdują się podziemne parkingi, targowiska itp. Jest ona głównie metalowa i ma kształt kielicha o wysokości i szerokości 5 metrów, na planie kwadratu (co z kolei stanowi o modułowości rozwiązania). Stanowi ochronę przed promieniowaniem (przypomina wklęsły parasol), natomiast efektem towarzyszy generacja energii elektrycznej z racji pokrycia zewnętrznej jego powierzchni perowskitami. Dobrany kształt związany jest także z gromadzeniem i magazynowaniem wody deszczowej, stanowiąc element systemów małej retencji w przestrzeni miejskiej (pojemność zbiornika została dobrana w oparciu o średnią miesięczną ilość opadów na terenie Wrocławia) – woda może być pobierana przez mieszkańców do podlewania ogródków lub też, po oczyszczeniu, do pojenia zwierząt czy też picia przez przechodniów. Można ją także traktować jako instalację przenośną, demontowalną np. w zimie.

Rysunek 10 Koncepcja „parasola solarnego” opracowana przez studentów Politechniki Wrocławskiej



Źródło: <https://pwr.edu.pl/uczelnia/aktualnosci/perosol-studenckie-pomysl-na-miejska-wyspe-ciepla-12230.html>, dostęp: 01.12.2021 r.

4.2 AUTOBUSY WODOROWE

Poza pojazdami elektrycznymi wyposażonymi w silniki i baterie elektryczne lub też napędzanymi energią elektryczną pobieraną na bieżąco z sieci trakcyjnej - za pomocą pantografu, elektromobilność realizowana może być także w oparciu o autobusy wodorowe. Ich przypadku miejsce konwencjonalnych akumulatorów zajmuje zbiornik wodoru stanowiący źródło energii chemicznej dla ogniwa paliwowego bądź też dedykowanego silnika na wodór (pojazdy wodorowe także mogą posiadać baterie elektryczne, jednak pełnią one jedynie rolę pewnego rodzaju bufora eksploatacyjnego). Rozwiązanie takie jest korzystniejsze przede wszystkim ze względu na większą gęstość energii zmagazynowaną na pokładzie pojazdu (w jednostce objętości) w stosunku do konwencjonalnych baterii elektrycznych, skutkującą wydłużonym zasięgiem pojazdu. Do wad pojazdów wodorowych należy obecnie przede wszystkim wysoka cena i ograniczony dostęp do infrastruktury tankowania wodoru i jego wytwarzania.

Zastosowanie wodoru w przypadku komunikacji miejskiej opartej na OZE pozostaje przy tym o tyle celowe, iż wodór stanowić może rolę magazynu energii do napędu pojazdów, wytwarzanej w sposób zmienny np. w ogniwach fotowoltaicznych, zmniejszając tym samym potrzeby dotyczące posiadania odpowiednich pojemności magazynowych baterii elektrycznych. Otwiera to możliwości związane z pewnym uniezależnieniem się od zmienności - dziennej, miesięcznej, a nawet rocznej - podaży na energię elektryczną ze strony OZE. Co więcej, wodór generowany

na drodze elektrolizy wody dzięki wykorzystaniu energii odnawialnej klasyfikowany jest jako „zielony”, mogący liczyć na szereg ułatwień organizacyjnych i finansowych w nieodległej przyszłości. Rynek autobusów wodorowych rozwija się, w katalogach producentów można już spotkać pierwsze modele oferowane komercyjnie.

Dodatkową zaletą pojazdów wodorowych jest fakt, iż ich tankowanie trwa 5-15 min (przy ciśnieniu ładowania 350 bar) i jest zbliżone do tankowania pojazdu spalinowego. Średnie zużycie wodoru na trasie waha się w granicach ok. 9-14 kg na 100 km, natomiast zbiorniki wodoru mają pojemność ok. 35-40 kg (gwarantuje to zasięg 300-400 km).

Docelowym sposobem na generację wodoru w przyszłości jest elektroliza oparta na energii odnawialnej (solarnej lub wiatrowej). Znajduje to odzwierciedlenie w pojawiających się na rynku stacjach do tankowania wodoru, opartych na lokalnych źródłach czystej energii. Przykładowa stacja solarna do produkcji wodoru w Austrii cechuje się wydajnością do 100 kg/dziennie, składa się z 5 tys. paneli PV o łącznej mocy 1,5 MWp, zajmujących powierzchnię 9 tys. m².

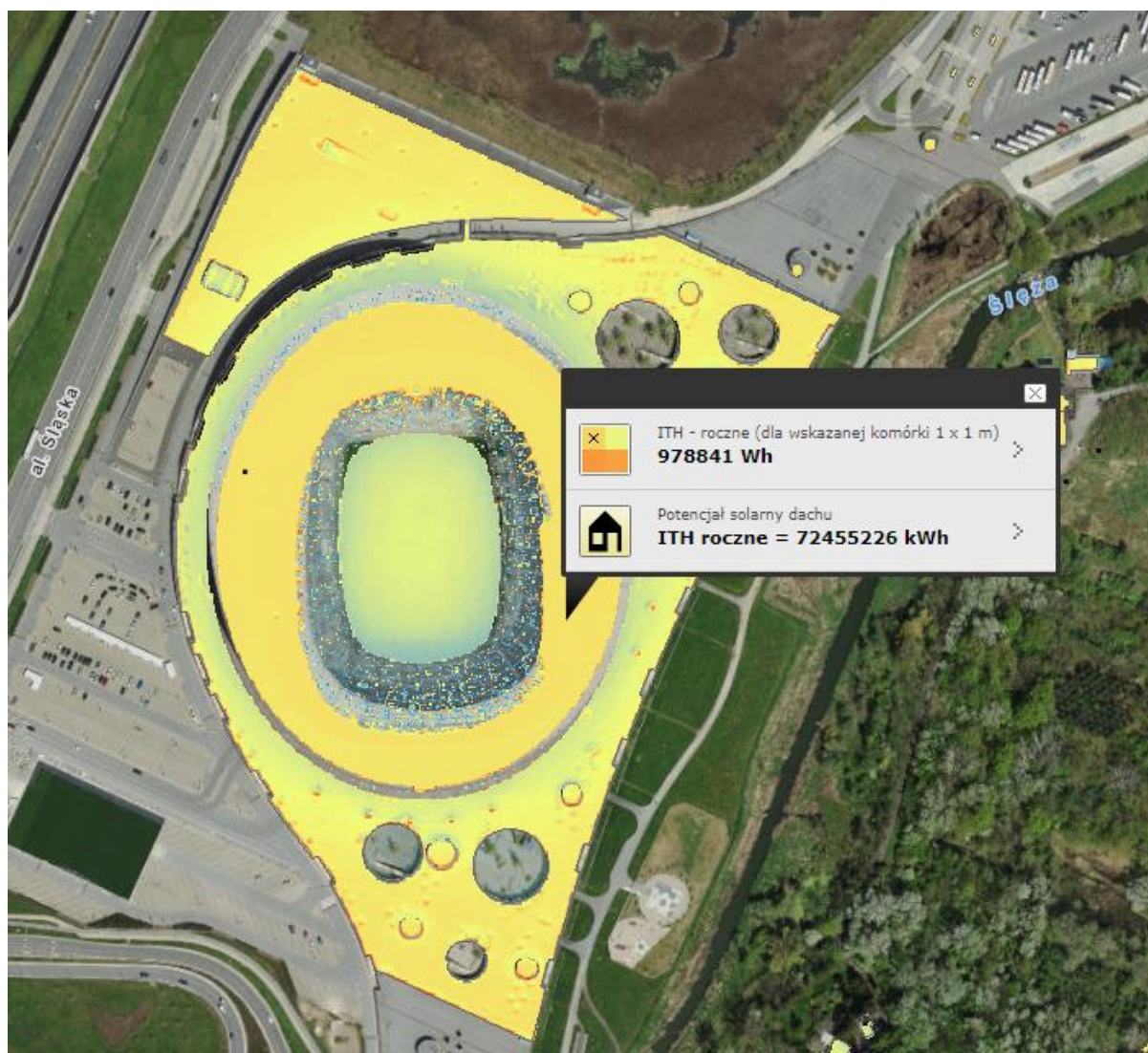
Pewnym ograniczeniem w stosowaniu pojazdów wodorowych pozostaje jednak cena ich zakupu oraz koszty związane z ich eksploatacją i zasilaniem (stacje do produkcji wodoru). Koszt przykładowego autobusu wodorowego to obecnie 700 tys. – 1,2 mln EURO, a żywotność montowanego na jego pokładzie ogniwa paliwowego to 7-8 lat.

4.3 PV NA STADIONACH I INNYCH OBIEKTACH SPORTOWYCH

Niezwykle interesującym, w szczególności w perspektywie pętli Pilczyce, rozwiązaniem może być skojarzenie systemu elektromobilności z montowanymi na fasadzie Stadionu Miejskiego (51°08'28,6"N 16°56'40,0"E) ogniwami fotowoltaicznymi (w tym także z perowskitowymi), wykorzystywanymi jako źródło energii do ładowania pojazdów elektrycznych. Dostępna powierzchnia fasad tego typu budynków użyteczności publicznej (w przypadku ww. stadionu z półprzezroczystej siatki PTFE) daje techniczne podstawy do stworzenia źródła energii elektrycznej na potrzeby okolicznych stacji ładowania pojazdów (w tym autobusów elektrycznych) bądź też sieci trakcyjnej (do napędu tramwajów). Skala ewentualnego przedsięwzięcia oraz fakt możliwości wykorzystania na ten cel technologii perowskitowej stanowiłaby o innowacyjnym charakterze tego sposobu generacji energii elektrycznej na potrzeby sektora transportu (i nie tylko) w skali co najmniej Europy. Co więcej, wspomniana technologia ogniw nie wymuszałaby większych modyfikacji w obrębie już istniejącego obiektu, gdyż panele te można umieścić na siatce PTFE (należy jednak dokonać analizy nośności fasady). Warto dodać, że według mapy potencjału solarnego, dach Stadionu Miejskiego² ma potencjał solarny w wysokości 72,5 GWh rocznie (dla porównania zużycie energii elektrycznej MPK Wrocław w 2021 roku szacowano na 74,7 GWh rocznie). Warto dodać, że narzędzie nie bierze pod uwagę ograniczonej sprawności zastosowanej technologii fotowoltaicznej, lecz prezentuje całość bezpośredniego promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię. Pomimo tego, należy rozpatrywać Stadion Miejski, jako potencjalne miejsce wytwarzania energii elektrycznej z instalacji PV.

² Ze względu na właściwości mapy podana wartość może dotyczyć także całego kompleksu Stadionu Miejskiego.

Rysunek 11 Potencjał solarny Stadionu Miejskiego we Wrocławiu



Źródła: <https://gis.um.wroc.pl/imap/?gmap=MapaSolarna>, dostęp: 01.12.2021 r.

Koncepcja wykorzystania infrastruktury sportowej – głównie dużych stadionów piłkarskich - do montażu ogniw fotowoltaicznych jest już praktykowana na świecie. Zespół SolarPlaza w 2018 roku opublikował listę 50 aren, w obrębie których zainstalowano tego typu źródła energii elektrycznej. Poza organizowanymi imprezami sportowymi oraz codzienną eksploatacją obiektów, energia ta może być sprzedawana okolicznym odbiorcom, stanowiąc istotny element wsparcia różnych inicjatyw związanych z implementacją systemów energetycznych opartych na odnawialnych źródłach energii. Co ciekawe, fakt ten zauważył Międzynarodowy Komitet Olimpijski, wymagając od krajów starających się o organizację Igrzysk Olimpijskich budowy obiektów posiadających instalacje fotowoltaiczne lub kolektory słoneczne, oraz FIFA (Fédération Internationale de Football Association) – włączając go w program „Green Goal”. Stworzyło to podstawy nie tylko do partycypowania aren sportowych w transformacji energetycznej świata (i to nie tylko w takich krajach jak Brazylia czy Turcja, lecz także w miejscach na podobnej szerokości geograficznej co Wrocław), lecz także do zachęcenia producentów urządzeń energetycznych do wspierania różnorodnych inicjatyw sportowych.

Tabela 4 Stadiony piłkarskie wyposażone w ogniwa fotowoltaiczne w połowie 2018 roku

Nazwa stadionu	Lokalizacja	Współrzędne geograficzne	Rok montażu	Liczba paneli	Moc paneli w kWp
Estádio Nacional Mané Garrincha	Brasilia, Brazylia	15°47'00,3"S 47°53'57,2"W	2013	9600	2500
Rio Tinto Stadium	Sandy, USA	40°34'58,8"N 111°53'35,3"W	2015	6500	2020
Estadio Mineirao	Belo Horizonte, Brazylia	19°51'56,9"S 43°58'15,6"W	2014	6000	1420
Antalya Arena	Antalya, Turcja	36°53'18,1"N 30°40'07,2"E	2015	5600	1400
Stade de Suisse	Berno, Szwajcaria	46°57'47,4"N 7°27'52,9"E	2005	8000	1350
Fritz-Walter-Stadion	Kaiserslautern, Niemcy	49°26'03,2"N 7°46'37,0"E	2010	bd,	1350
Allianz Riviera	Nicea, Francja	43°42'18,6"N 7°11'33,7"E	2013	4000	1342
Weserstadion	Brema, Niemcy	53°03'59,2"N 8°50'16,0"E	2011	200000	1270
Johan Cruijff Arena	Amsterdam, Holandia	52°18'51,9"N 4°56'32,0"E	2014	4200	1128
Itaipava Arena Pernambuco	São Lourenço da Mata, Brazylia	8°02'26,5"S 35°00'29,6"W	2014	3650	1000
Stadio Marcantonio Bentegodi	Werona, Włochy	45°26'07,1"N 10°58'06,9"E	2009	13300	1000
Signal Iduna Park	Dortmund, Niemcy	51°29'33,5"N 7°27'06,0"E	2011	9000	924
Galgenwaard	Utrecht, Holandia	52°04'42,2"N 5°08'44,8"E	2017	3400	827
Kyocera stadion	Haga, Holandia	52°03'46,2"N 4°22'58,8"E	2014	2900	725
Steigerwaldstadion	Erfurt, Niemcy	50°57'37,3"N 11°02'15,8"E	2016	bd,	724
Fonte Nova Arena	Salvador, Brazylia	12°58'44,0"S 38°30'14,8"W	2014	bd,	500

Nazwa stadionu	Lokalizacja	Współrzędne geograficzne	Rok montażu	Liczba paneli	Moc paneli w kWp
Estadio do Maracana	Rio de Janeiro, Brazylia	22°54'43,7"S 43°13'48,4"W	2013	1556	400
Euroborg	Groningen, Holandia	53°12'22,2"N 6°35'30,0"E	2013	1100	273
Estadio Alejandro Morera Soto	Alajuela, Kostaryka	10°01'18,6"N 84°12'32,9"W	2015	864	260
Schwarzwald-Stadion	Fryburg Bryzgowijski, Niemcy	47°59'20,4"N 7°53'35,1"E	1995	bd,	259
AFAS Stadion	Alkmaar, Holandia	52°36'46,1"N 4°44'31,4"E	2015	1725	245
Avaya Stadium	San Jose, USA	37°21'04,2"N 121°55'28,3"W	2015	882	220
Mettricon Stadium	Carrara, Australia	28°00'21,9"S 153°22'01,3"E	2011	600	220

Źródła: opracowanie własne na podstawie <https://www.solarplaza.com/channels/top-10s/11879/top-50-solar-stadiums-worldwide-2018-world-cup-edition/>

Montaż ogniw fotowoltaicznych w obrębie stadionów obejmować może dachy ww, obiektów oraz pobliskich parkingów, okoliczne wolne tereny na działkach, na których są one zlokalizowane, a teoretycznie – także ściany budynków (np. dzięki wykorzystaniu specjalnych bloków ogniw eksploatowanych w zależności o położenia Słońca względem ich powierzchni). Same stadiony nie muszą przy tym mieć zwartej zabudowy – panele montowane mogą być także na poszczególnych trybunach lub też na budynkach użyteczności publicznej (w tym także okolicznych centrach handlowych). Daje to relatywnie szeroki zakres miejsc w obrębie stadionu dedykowanych do montażu instalacji fotowoltaicznej.

O kolejnym stadionie wyposażonym w instalację fotowoltaiczną mówi się m.in. w perspektywie katarskiego Lusail Stadium czy też włoskiego Stadio della Roma. 460 paneli o mocy 255 Wp każdy zamontowano na brytyjskim Ashton Gate Stadium (Bristol), instalacje tego typu uwzględnił projekt australijskiego Bankwest Stadium na przedmieściach Sydney.

Między innymi instalacje fotowoltaiczne i stacje ładowania pojazdów elektrycznych rozstawiły także klub Forest Green Rovers z angielskiego Nailsworth. W 2017 roku został on uznany przez FIFA „najbardziej ekologicznym klubem piłkarskim na świecie” – na dachu stadionu (The New Lawn) już w 2011 roku zamontowano 180 paneli fotowoltaicznych.

Areny innych sportów korzystające z instalacji fotowoltaicznych:

- Lincoln Financial Field (futbol amerykański) w USA (Filadelfia) – 3000 kWp, 11 tys, paneli, z 2010 roku (39°54'02,8"N 75°10'02,7"W),
- Tissot Arena (hokej na lodzie) w Biel (Szwajcaria) – 2010 kWp, 7 tys, paneli, z 2015 roku (47°09'21,8"N 7°16'55,8"E),

- FedEx Field (futbol amerykański) w USA (Landover) – 2000 kWp, 8 tys, paneli, z 2011 roku (38°54'27,8"N 76°51'51,6"W),
- Thialf (tor łyżwiarski) w Holandii (Heerenveen) – 1350 kWp, 5 tys, paneli, z 2016 roku (52°56'19,3"N 5°56'32,4"E),
- Mercedes-Benz Stadium (futbol amerykański) w USA (Atlanta) – 1300 kWp, 4 tys, paneli, z 2017 roku (33°45'20,0"N 84°24'02,4"W),
- Longteng Stadium (obiekt wielofunkcyjny) na Tajwanie (Kaohsiung) – 1000 kWp, 8844 paneli, z 2009 roku (22°42'11,6"N 120°17'40,1"E),
- Thyagraj Stadium (obiekt wielofunkcyjny) w Indiach (New Delhi) – 1000 kWp, z 2010 roku (28°34'38,0"N 77°13'02,7"E),
- Gillette Stadium (futbol amerykański) w USA (Foxborough) – 1000 kWp, z 2012 roku (42°05'27,7"N 71°15'50,4"W),
- Lumen Field (futbol amerykański) w USA (Seattle) – 800 kWp, 3750 paneli, z 2011 roku (47°35'42,9"N 122°19'52,2"W),
- TD Bank Ballpark (baseball) w USA (Bridgewater Township) – 515 kWp, 3456 paneli, z 2013 roku (40°33'38,8"N 74°33'10,2"W),
- Desert Financial Arena (obiekt wielofunkcyjny) w USA (Tempe) – 497 kWp, 2072 panele, z 2011 roku (33°25'28,4"N 111°55'50,8"W),
- Pituacu (obiekt wielofunkcyjny) w Brazylii (Salvador) – 403 kWp, z 2012 roku (12°56'46,2"S 38°25'04,9"W),
- M, Chinnaswamy Stadium (obiekt wielofunkcyjny) w Indiach (Bangalore) – 400 kWp, 1422 panele, z 2015 roku (12°58'44,1"N 77°35'59,3"E),
- Levi's Stadium (futbol amerykański) z USA (Santa Clara) – 375 kWp, 1162 paneli, z 2014 roku (37°24'11,7"N 121°58'09,8"W),
- T-Mobile Park (futbol amerykański) z USA (Seattle) – 368 kWp, z 2012 roku (47°35'29,2"N 122°19'56,1"W),
- Staples Center (koszykówka) z USA (Los Angeles) – 364 kWp, 1727 paneli, z 2013 roku (34°02'35,2"N 118°16'01,3"W),
- Townsville RSL Stadium (obiekt wielofunkcyjny) z USA (Annandale) – 348 kWp, 1800 paneli, z 2012 roku (19°18'28,4"S 146°48'04,4"E),
- Petco Park (baseball) z USA (San Diego) – 336 kWp, 716 paneli, z 2018 roku (32°42'26,4"N 117°09'23,5"W),
- Metlife Stadium (futbol amerykański) z USA (East Rutherford) – 314 kWp, 1350 paneli, z 2012 roku (40°48'48,9"N 74°04'29,9"W),
- De Meent (obiekt wielofunkcyjny) z Holandii (Alkmaar) – 305 kWp z 2015 roku (52°37'59,8"N 4°42'49,5"E),
- The Hangar (Clear Channel Stadium) (baseball) z USA (Lancaster) – 300 kWp, 1500 paneli, z 2010 roku (34°42'10,6"N 118°10'21,7"W),

- Talking Stick Resort Arena (koszykówka) z USA (Phoenix) – 227 kWp, 966 paneli, z 2012 roku (33°26'44,8"N 112°04'15,6"W),
- NRG Stadium (futbol amerykański) z USA (Houston) – 221 kWp, 600 paneli, z 2015 roku (29°41'05,3"N 95°24'37,0"W),
- Oracle Arena (koszykówka) z USA (Oakland) – 164 kWp, 537 paneli, z 2010 roku (37°45'01,3"N 122°12'08,9"W),
- Oracle Park (baseball) w USA (San Francisco) – 120 kWp, 590 paneli, z 2008 roku (37°46'42,7"N 122°23'21,1"W).

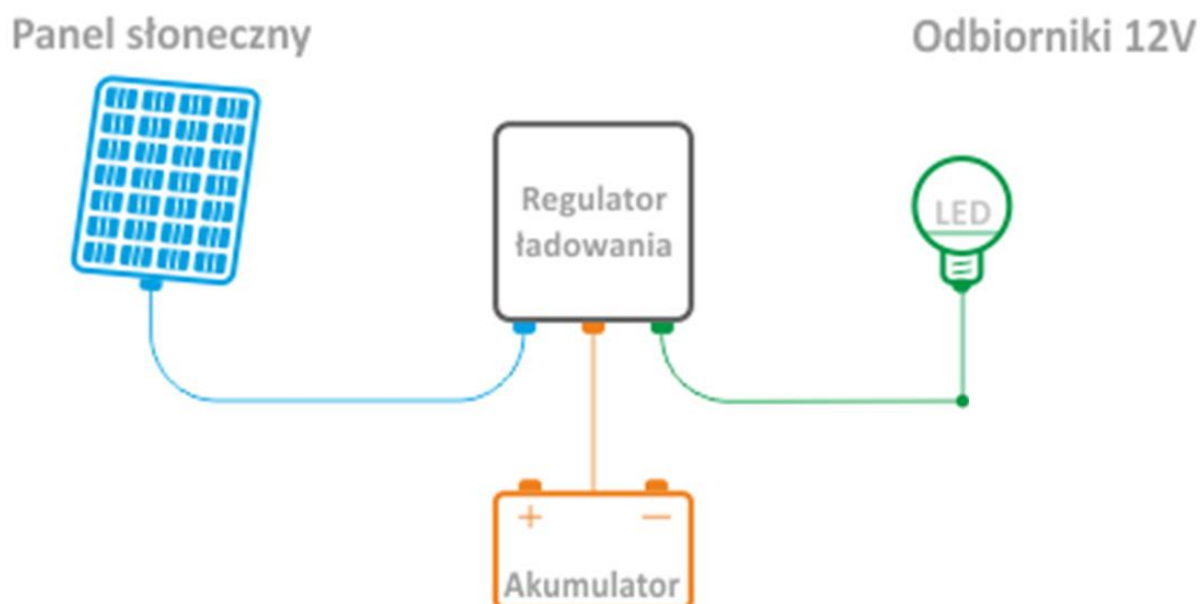
Przegląd rozwiązań zastosowanych w ww. lokalizacjach skłania także do tworzenia zadaszonych, parkingów Park&Ride, na których dachach montowane są ogniwa PV zasilające stacje ładowania pojazdów komunikacji miejskiej współpracujących z ww, miejscami postojowymi na obrzeżach Wrocławia (w tym np. w okolicy Stadionu Miejskiego).

5 Analiza wykorzystania OZE dla przystanku

5.1 ZAŁOŻENIA DO ANALIZY

Analiza ma na celu określenie rozwiązań zasilania przystanków energią elektryczną niezależną od zewnętrznej sieci. Podstawą takiego rozwiązania są instalacje fotowoltaiczne typu off-grid (wyspowe). Ważnym jest bezpieczeństwo takiego rozwiązania ze względu na bliską odległość od osób trzecich, dlatego przyjmuje się, że system będzie działał na napięcie 12V prądu stałego. W tym celu odbiorniki muszą być też dedykowane do takiego rozwiązania (np. oświetlenie LED). Oprócz oświetlenia dedykowany system może posłużyć do zasilania tablic informacyjnych oraz daje możliwość np. wyprowadzenia gniazd USB dla osób oczekujących na środek lokomocji.

Rysunek 12 Schemat instalacji off-grid 12V DC.



Źródło: <http://solarid.pl/baterie-sloneczne/zastosowania-baterii-slonecznych/baterie-sloneczne-system-offgrid>

Prąd z modułu fotowoltaicznego przekazywany jest do regulatora ładowania, który przekazuje określoną wartość prądu do ładowania akumulatora (w zależności od stopnia jego naładowania). Odbiorniki podłączone do regulatora korzystają ze zgromadzonej energii w akumulatorze.

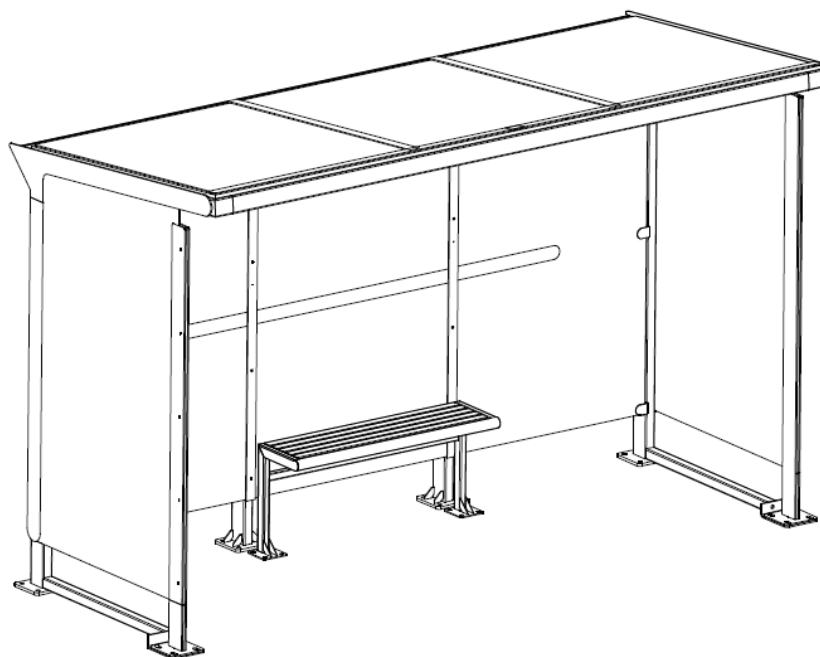
Kolejnym krokiem w analizie jest miejsce zainstalowania systemu zasilania elektrycznego, w tym celu zostaną rozpatrzone trzy sytuacje:

- przystanek posiada wiatę z dachem prostym,
- przystanek posiada wiatę z dachem okrągłym,
- przystanek nie posiada wiaty lub wiaty nie nadaje się do wykorzystania np. poprzez duże zacienienie.

5.2 PRZYSTANEK POSIADA WIATĘ Z DACHEM PROSTYM

Do analizy przyjęto konstrukcję wiaty przystankowej WT/KP-A z katalogu mebli miejskich. Producent wiat posiada różne rozwiązania ze względu na wielkość wiaty. Natomiast wymiary takich wiat różnią się tylko długością i wyróżnia się 3 modele. Wiatę M2, M3 i M4.

Rysunek 13 Wiat przystankowa WT/KP-A.



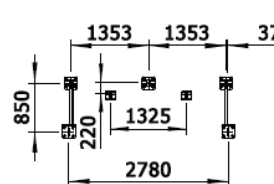
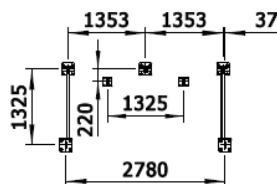
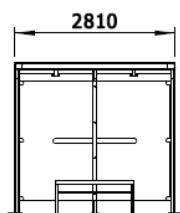
Źródło: Materiały producenta

Rysunek 14 Wymiary wiat M2, M3 i M4.

Wrocław - 2M

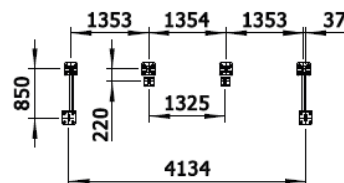
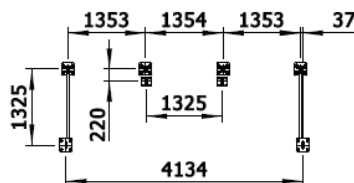
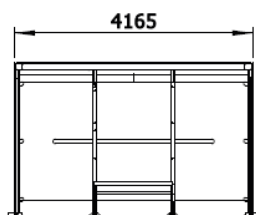
kod prod. PRWW2MPPCL

kod prod. PRWW2MCCCL

**Wrocław - 3M**

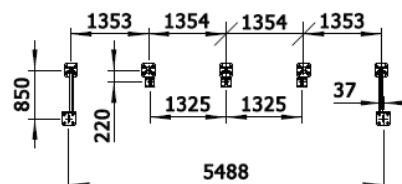
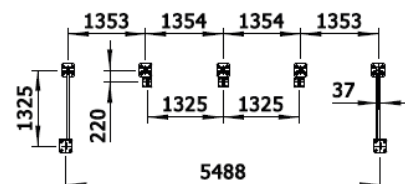
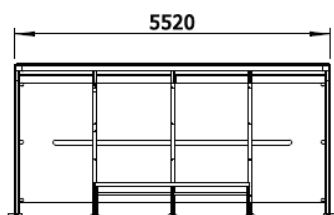
kod prod. PRWW3MPPCL

kod prod. PRWW3MCCCL

**Wrocław - 4M**

kod prod. PRWW4MPPCL

kod prod. PRWW4MCCCL



Źródło: Materiały producenta

Powierzchnia dachów jest odpowiednia do zamontowania na nich modułów fotowoltaicznych. W przypadku dachu prostego najlepszym zarówno pod względem wydajności jak i ekonomii jest zastosowanie klasycznych modułów fotowoltaicznych pierwszej generacji wykonanych z krzemu polikrystalicznego (multikrystalicznego) lub monokrystalicznego. W przypadku krzemu monokrystalicznego można uzyskać wyższą sprawność o ok. 3%, natomiast z analizy zapotrzebowania na energię do oświetlenia wynika, że powierzchnia wiat (najmniejszej M2) jest wystarczająca dla obu przypadków.

Warto pamiętać, że dedykowany układ jest na napięcie 12V DC, ze względów bezpieczeństwa. I dlatego moduły fotowoltaiczne podłączone do regulatora nie powinny być o większym napięciu w maksymalnym punkcie pracy jak 20V. W tym celu przedstawiono propozycję dwóch takich rozwiązań.

5.3 MODUŁ FOTOWOLTAICZNY MONOKRYSTALICZNY

Moduł słoneczny 150W/12V z monokrystalicznymi ogniwami słonecznymi. Dedykowany do systemów 12 V. Moduł ma ramę z anodyzowanego aluminium i jest wyposażony w specjalnie hartowane szkło słoneczne ESG, dzięki czemu jest wyjątkowo odporny na czynniki zewnętrzne

(wietrzenie itp.). Dzięki wbudowanym diodom obejściowym moduł może nadal wytwarzać energię również w zacienionym lub słabym świetle. Kable przyłączeniowe mają 80 cm długości i są wyposażone w wtyczki MC4.

Tabela 5 Dane techniczne modułu słonecznego Offgridtec 150W MONO 12V

Moc (Pmax)	150 W
Napięcie (Vmp)	20 V
Maks. Prąd (Imp)	7,5 A
Napięcie jałowe (Voc)	24 V
Prąd zwarcia (Isc)	8,1 A
Maks. napięcie systemowe:	1000 V/DC
Temperatura otoczenia.	-40°C - +85°C
Wymiary	680 x 1140 x 35 mm
Waga:	12 kg

Źródło: https://www.offgridtec.com/media/product_attachments/Datenblatt_3-01-001255_EN.pdf, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 64 Zdjęcie modułu słonecznego Offgridtec 150W MONO 12V



Źródło: <https://www.offgridtec.com/en/offgridtec-150w-mono-12v-solarpanel.html>, dostęp: 01.12.2021 r.

5.4 MODUŁ FOTOWOLTAICZNY POLIKRYSTALICZNY

Moduł ten posiada wszystkie cechy poprzednika, natomiast ze względu na technologię polikryształu, aby osiągnąć taką samą moc wymaga większych gabarytów.

Tabela 6 Dane techniczne modułu słonecznego typu 150W 12V CL150-12P:

Kod producenta	CL150-12P
Moc maksymalna [Pmax]	150 W
Napięcie maksymalne (jałowe) [Uoc]	21,6 V
Napięcie nominalne [U]	12 V
Napięcie w punkcie mocy maksymalnej [Um]	17,2 V
Prąd w punkcie mocy maksymalnej [Im]	8,72 A
Prąd zwarcia [Isc]	9,25 A
Waga	12 kg
Wymiary	1483 x 665 x 35 mm

Źródło: <https://tooles.pl/panel-solarny-sloneczny-o-mocy-150w-12v-celline-cl150-12p-sol12>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 65 Zdjęcie modułu słonecznego typu 150W 12V CL150-12P



Źródło: <https://tooles.pl/panel-solarny-sloneczny-o-mocy-150w-12v-celline-cl150-12p-sol12>, dostęp: 01.12.2021 r.

5.5 ILOŚĆ MODUŁÓW ORAZ DODATKOWE AKCESORIA

Dobór ilości modułów fotowoltaicznych powinien być przeprowadzony indywidualnie dla każdego przypadku. Oprócz zagadnień związanych z zapotrzebowaniem na energię należy

wziąć pod uwagę ustawienie wiaty i weryfikację obiektów które mogą ją zacieniać. Jednakże zakładając średnie użycie od 2-4 modułów co daje moc 300-600W systemu. Aby system pracował prawidłowo wymaga regulatora napięć. Regulator solarny służy do kontroli pracy autonomicznych systemów fotowoltaicznych. Zapewnia odpowiednio prąd ładowania dla akumulatora i dodatkowo zabezpiecza przed zbyt głębokim rozładowaniem lub przeładowaniem akumulatora. Powinien być wyposażony w regulator MPPT z zaawansowanym układem śledzenia maksymalnego punktu mocy. Takie rozwiązanie umożliwia dużo skuteczniejsze ładowanie 30-45% w porównaniu z regulatorami PWM. Dodatkowo warto, aby regulator posiadał protokół Modbus oparty na RS-485 dający możliwości komunikacyjne lub komunikację WiFi.

Zdjęcie 66 Przykład regulatora ładowania LUMIAX 4SUN



Źródło: <https://tooles.pl/regulator-napiecia-paneli-fotowoltaicznych-z-panelem-lcd-30a-12v-24v-mppt-4sun-mt3075-sol63>,
dostęp: 01.12.2021 r.

Tabela 7 Dane techniczne regulatora ładowania LUMIAX 4SUN 30A 12V/24V MPPT

Model	MT3075
Napięcie systemu [V]	12V/24V
Maks. prąd ładowania [A]	30A
Napięcie ładowania MPPT [V]	<14.5/29.0V (przy 25°C)
Napięcie Boost [V]	14.5/29.0V (przy 25°C)
Napięcie Equalization [V]	14.8/29.6 (przy 25°C) (płynny)
Napięcie Float [V]	13.7/27.45 (przy 25°C)
Odłączenie odbiorników przy niskim napięciu [V]	10.8~11.8V/21.6~23.6V SOC1~5
Napięcie ponownego podłączenia [V]	11.6~12.8V/23.2~25.6V
Zabezpieczenie przed przeładowaniem [V]	15.5/31.0V
Maks. napięcie złącza akumulatora [V]	35V
Kompresja temperaturowa [V/K]	-4.17mV/K na ogniwo (Boost, Equalization) -3.33mV/K na ogniwo (Float)
Typ akumulatora	Płynny, Żelowy, AGM

Maks. napięcie złącza PV [V]	55V
Maks. moc wejściowa [W]	260/520W
Napięcie wykrywania zmierzchu/świtu [V]	8.0/16.0V
Zakres śledzenia MPPT	~Voc0.9
Prąd wyjściowy [A]	20A
Interfejs USB	-
Tryb pracy	Standard, D2D, Oświetlenie uliczne (2 -9h)
Maks. sprawność śledzenia[%]	>99.9%
Maks. konwersja ładowania [%]	97%
Wymiar [mm]	189x182x58
Waga [kg]	1
Własne zużycie mocy [mA]	7mA
Temperatura otoczenia [°C]	-20 ~ +50°C
Temperatura przechowywania [°C]	-25 ~ +80°C
Wilgotność otoczenia [HR]	0 ~ 100%RH
Stopień ochrony	IP32

Źródło: <https://carbonzorro.com/pl/products/regulator-ladowania-paneli-fotowoltaicznych-30a-bluetooth-lumiax-mppt-12v-24v-991.html>, dostęp: 01.12.2021 r.

Kolejnym niezbędnym elementem systemu off-grid są akumulatory. Rekomenduje się stosowanie akumulatorów AGM, które są zaprojektowane specjalnie do stosowania w instalacjach solarnych i hybrydowych. Technologia AGM znacznie przewyższa tradycyjne akumulatory kwasowo-ołowiowe z płynnym elektrolitem i ma następujące zalety:

- posiadają zabezpieczenie przed wyciekiem, niezależnie od tego, w jakiej pozycji znajduje się bateria,
- przykręcane terminale M8 zamiast zacisków biegunowych akumulatora (100% twardości),
- 100% bezobsługowy przez cały okres eksploatacji,
- trwałość: 8-10 lat, w zależności od rozładowania i indywidualnego użytkowania,
- mogą być rozładowywane głębiej niż akumulatory kwasowo-ołowiowe
- często zastosowana w systemach solarnych.
- odporność na cykle i dzięki temu predestynowane do stosowania w instalacjach solarnych.

Wielkość akumulatora podobnie jak ilość modułów PV musi zostać dopasowana do konkretnego rozwiązania i lokalizacji.

Zdjęcie 67 Przykład akumulatora AGM - Offgridtec AGM 260Ah20HR12V



Źródło: <https://www.amazon.pl/Offgridtec%C2%AE-akumulator-olowiowy-zamiennik-kamper%C3%B3w/dp/B00ID70ZS4>,
dostęp: 01.12.2021 r.

Tabela 8 Podstawowe dane akumulatora AGM - Offgridtec AGM 260Ah20HR12V

Typ baterii:	Typ cyklu AGM
Pojemność pamięci 20 HR.	260 Ah (13 A, 1,75 V)
Pojemność pamięci 10 HR.	250 Ah (25 A, 1,75 V)
Pojemność pamięci 5 HR.	210 Ah (42 A, 1,75 V)
Pojemność pamięci 1HR	155 Ah (155 A, 1,75 V)
Napięcie systemowe	12 V.
Napięcie ładowania: cykliczne wykorzystanie.	14,4 - 15 V (-30 mV/°C).
Napięcie ładowania w trybie czuwania	13,6 - 13,8 V (-20 mV/°C)
Maks. Prąd ładowania	50 A.
Samoczynne rozładowanie	Maks. 3% (miesięcznie).
Terminal baterii	Terminal wkręcany M8 (w zestawie śrubami).
Waga:	74 kg.
Wymiary	520 x 268 x 220 mm (+29 mm terminal).

Przewidywana żywotność

8-10 lat (w zależności od sposobu użytkowania).

Źródło: <https://www.amazon.pl/Offgridtec%C2%AE-akumulator-olowiowy-zamiennik-kamper%C3%B3w/dp/B00ID70ZS4>,
dostęp: 01.12.2021 r.

5.6 PRZYSTANEK Z WIATĄ Z DACHEM OKRĄGŁYM

Do analizy przyjęto konstrukcję wiat jednej z firm. Producent posiada różne rozwiązania ze względu na wielkość wiaty. Natomiast wymiary takich wiat różnią się długością i wyróżnia się 3 modele. Wiatę małą, średnią i dużą.

Rysunek 15 Rozmiary wiat.



Źródło: <https://www.stojaknarower.pl/>

Rysunek 16 Przykład wiaty dużej



Źródło: <https://www.stojaknarower.pl/wiaty-duze-525cm/>

Tabela 9 Specyfikacja wiaty KWPOM009

materiał:	stal ocynkowana i malowana, stal nierdzewna
wysokość wiaty	249 cm
szerokość wiaty:	525cm
głębokość wiaty:	145cm
zadaszenie materiał:	poliwęglan komorowy-przeźroczysty 0,8cm
materiał ścian:	szkło hartowane 8mm
głębokość wiaty (dolna podstawa)	105cm
waga:	183kg

Źródło: <https://www.stojaknarower.pl/wiaty-duze-525cm/911-18261-wiata-przystankowa-arkadia-i-525cm.html>, dostęp: 01.12.2021 r.

W przypadku wiat z dachem okrągłym jest niemożliwe zastosowanie klasycznych modułów fotowoltaicznych. W tym celu proponuje się zastosowanie elastycznych modułów fotowoltaicznych.

Zdjęcie 68 Moduł fotowoltaiczny Flexi 160W 12V elastyczny Volt Polska



Źródło: <https://voltpolska.pl/>

Elastyczny moduł można umieszczać na zakrzywionych, stałych powierzchniach, gdzie użycie typowego panelu w ramie byłoby problematyczne. Pomimo takiego rozwiązania jest on odporny na warunki atmosferyczne -promieniowanie UV i opady deszczu, śniegu i gradu.

Wbudowana dioda blokująca w skrzynce przyłączeniowej, zapobiega rozładowaniu baterii w nocy. Zaawansowana technologia tylnych ogni kontaktowych pozwala na elastyczność i zwiększoną moc na metr kwadratowy. Unikalna konstrukcja bezramowa zawiera 6 metalowych, wzmocnionych otworów montażowych dla łatwej instalacji. Moduł wyposażony jest w przewody dodatnie i ujemne wyposażone w złącza MC4 oraz dwie diody obejściowe minimalizują spadek wydajności z powodu półcieni.

Tabela 10 Dane techniczne modułu fotowoltaicznego Flexi 160W 12V elastyczny Volt Polska

Moc	160W
Kąt gięcia	do 30 stopni
Wydajność	18,5%
Składniki materiału	krzem monokrystaliczny
Napięcie obwodu otwartego (Voc)	22,46V
Prąd zwarcia (Isc)	9,23A
Maksymalne napięcie zasilania (Vmp)	18,72V
Maksymalny prąd zasilania (Imp)	8,54A
Maksymalne napięcie systemu (Imp)	1000V
Zakres temperatury:	od -40 do +85 stopni C
Wymiary	1525x680x2,5mm
Waga	ok. 2,5kg

Źródło: <https://voltpolska.pl/>, dostęp: 01.12.201 r.

Innym innowacyjnym rozwiązaniem mogą być wchodzące do produkcji ogniwa perowskitowe. Obecnie perowskity osiągają sprawność ok. 10%. Cena będzie zależała od wymagań związanych z aplikacją materiału na powierzchni. Szacuje się, że cena może wynieść 50 euro/m² do 2022 roku. Warto podkreślić, że nie jest jeszcze znana żywotność takiej technologii, ale szacuje się że moduły będą pracować przez kilka lat. Zastosowanie perowskitów do pokrycia powierzchni dachów wiat może być ciekawym i innowacyjnym rozwiązaniem promującym lokalną firmę i polską technologię.

5.7 OŚWIECENIE PRZYSTANKÓW ZASILANE OZE

W przypadku przystanków nieposiadających wiaty lub gdy wiaty nie nadaje się do wykorzystania pod panele PV ze względu na duże zacienienie, można w uzupełnieniu do obecnej infrastruktury zastosować oświetlenie w postaci lamp zasilanych odnawialnymi źródłami energii. Tutaj dobrym przykładem jest rozwiązanie hybrydowe łączące w sobie technologię ogni fotowoltaicznych i turbin wiatrowych. Koszt lampy wynosi od 8 do 13 tys. zł

w zależności od mocy, pojemności akumulatora, zastosowanego panelu fotowoltaicznego, turbiny wiatrowej.

Zdjęcie 69 Przykład lampy hybrydowej



Źródło: <https://www.elektriko.pl/elektriko/lampa-hybrydowa/101180.html>

Tabela 11 Specyfikacja techniczna przykładowej lampy hybrydowej

Model	LED 50W
Typ diody	1 COB LED MULTI CHIP
Barwa	Światło zimne 4900 – 5100K
Strumień świetlny	2800-7000Lm
Pobór prądu	20-50W
Żywotność	50 000H

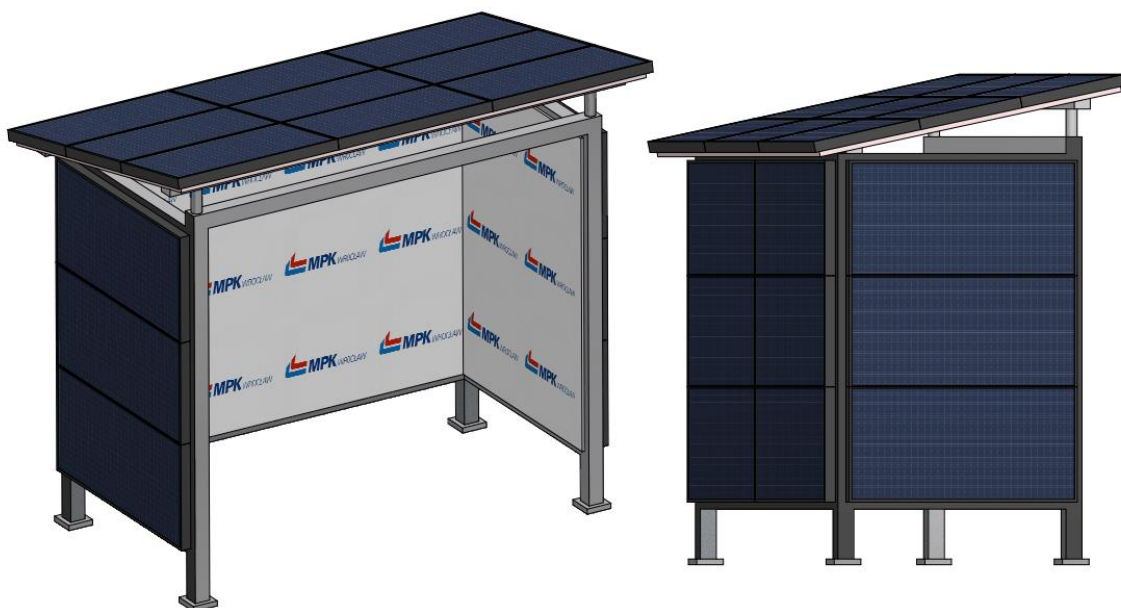
Kąt świecenia	120 stopni
Materiał	Aluminium + Hartowane szkło
Kolor obudowy	Szary
Współczynnik oddawania barw	CRI Ra > 80
Stopień ochrony	IP65
Wysokość	235 mm
Szerokość	285 mm
Głębokość	100 mm

Źródło: <https://www.elektriko.pl/elektriko/lampa-hybrydowa/101180.html>, dostęp: 01.12.2021 r.

5.8 ANALIZA UZYSKU ENERGII ELEKTRYCZNEJ DLA PRZYSTANKU OZE

Przykład małej wiaty przystankowej o wymiarach (szerokość x wysokość x głębokość x długość rzutu dachu) 2400x2400x1280x1620 mm, pokrytej panelami fotowoltaicznymi z krzemu polikrystalicznego, z dachem pochylonym względem powierzchni o kąt 10°, przedstawiono na poniższym rysunku. System można wykorzystać także do zasilania okolicznego oświetlenia LED, tablic sygnalizacyjnych, wentylatorów chłodzących czy też telefonów komórkowych pasażerów lub też jako źródło pomocnicze okolicznych instalacji elektroenergetycznych.

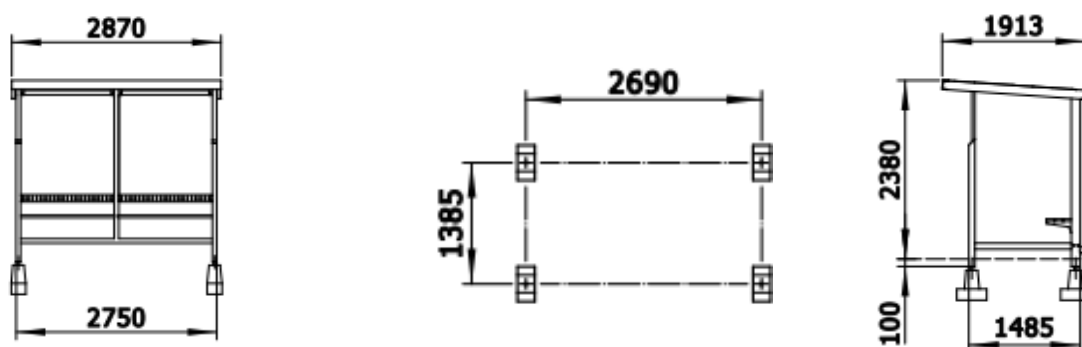
Rysunek 17 Konceptcja wykorzystania małej wiaty autobusowej/serwisowej do generacji energii elektrycznej za pomocą polikrystalicznych ogniw PV (podział na panele oraz ich wymiary - orientacyjne)



Źródło: Opracowanie własne

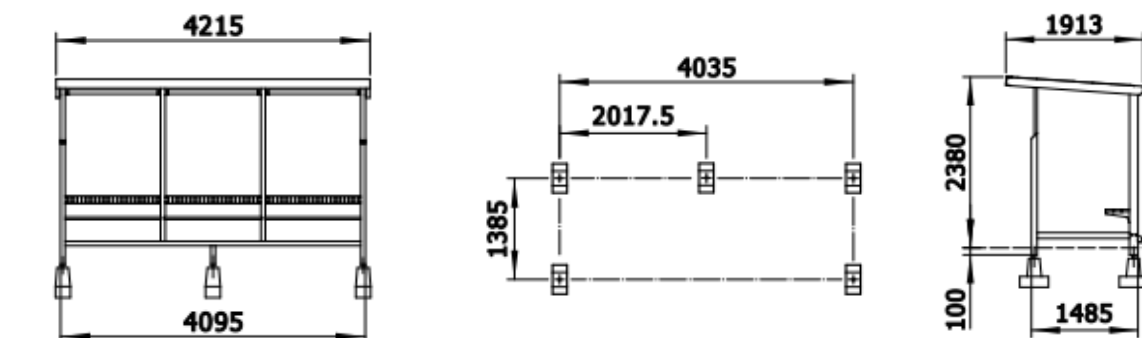
W ramach analiz przeprowadzono symulację uzysku energetycznego dla wykorzystania ogniw PV w obrębie 3 wiat przystankowych różnej wielkości, zakładającą wykorzystanie zewnętrznej powierzchni 3 ścian oraz pochylonego pod kątem 10° dachu (jak na powyższym rysunku). Do określenia wymiarów posłużyła karta katalogowa wiat CYRKON firmy Arret Sp. z o.o. – obliczenia wykonano dla konstrukcji oznaczonych jako Cyrkon 203 – 2M (kod prod. PRWC203PP@CL), Cyrkon 205 – 3M (kod prod. PRWC205PP@CL) i Cyrkon 207 – 4M (kod prod. PRWC207PP@CL) – wszystkie w wariantcie „pełnym” ścianek bocznych. Gabaryty ww. konstrukcji przedstawiono na poniższych rysunkach.

Rysunek 18 Wymiary wiaty Cyrkon 203 – 2M (kod prod. PRWC203PP@CL) w wariantcie „pełnym” ścianek bocznych



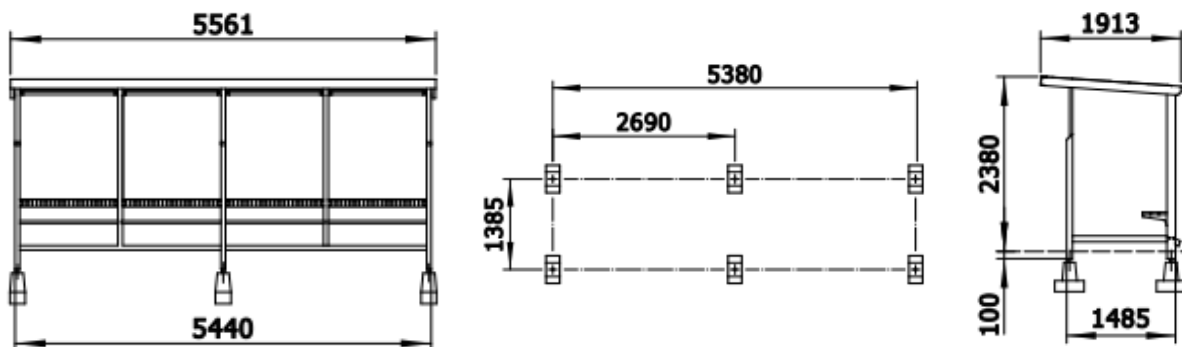
Źródło: <https://www.arret.pl/oferta/wiaty-przystankowe/10-cyrkon>, dostęp: 01.12.2021 r.

Rysunek 19 Wymiary wiaty Cyrkon 205 – 3M (kod prod. PRWC205PP@CL) w wariantcie „pełnym” ścianek bocznych



Źródło: <https://www.arret.pl/oferta/wiaty-przystankowe/10-cyrkon>, dostęp: 01.12.2021 r.

Rysunek 20 Rys. 115. Wymiary wiaty Cyrkon 207 – 4M (kod prod. PRWC207PP@CL) w wariantcie „pełnym” ścianek bocznych



Źródło: <https://www.arret.pl/oferta/wiaty-przystankowe/10-cyrkon>, dostęp: 01.12.2021 r.

W przypadku przyszłych prac związanych z rozwojem mocy wytwórczych instalacji fotowoltaicznych zaleca się podjęcie próby opracowania rozwiązań opierających się o ogniwa perowskitowe, które to, poza szerokim zakresem miejsc stosowania, cechuje mniejsza waga (w rozważaniach pominięto fakt potrzeby zapewnienia odpowiedniej nośności konstrukcji).

Zakładając, iż dach wiaty pochylony jest do powierzchni pod kątem 10° , oraz iż ogniwa fotowoltaiczne zajmują 90% dostępnej powierzchni każdej ze ścian i dachu, oszacowano powierzchnię ogniw w obrębie analizowanych wiat i ujęto je w tabeli poniżej.

Tabela 12 Oszacowana powierzchnia ogniw PV w obrębie analizowanych wiat przystankowych

Model	ściana lewa	ściana prawa	ściana tylna	dach
	m ²			
Cyrkon 203 - 2M	2,831	2,831	5,242	5,018
Cyrkon 205 - 3M	2,831	2,831	7,806	7,212
Cyrkon 207 - 4M	2,831	2,831	10,370	9,722

Źródło: Opracowanie własne

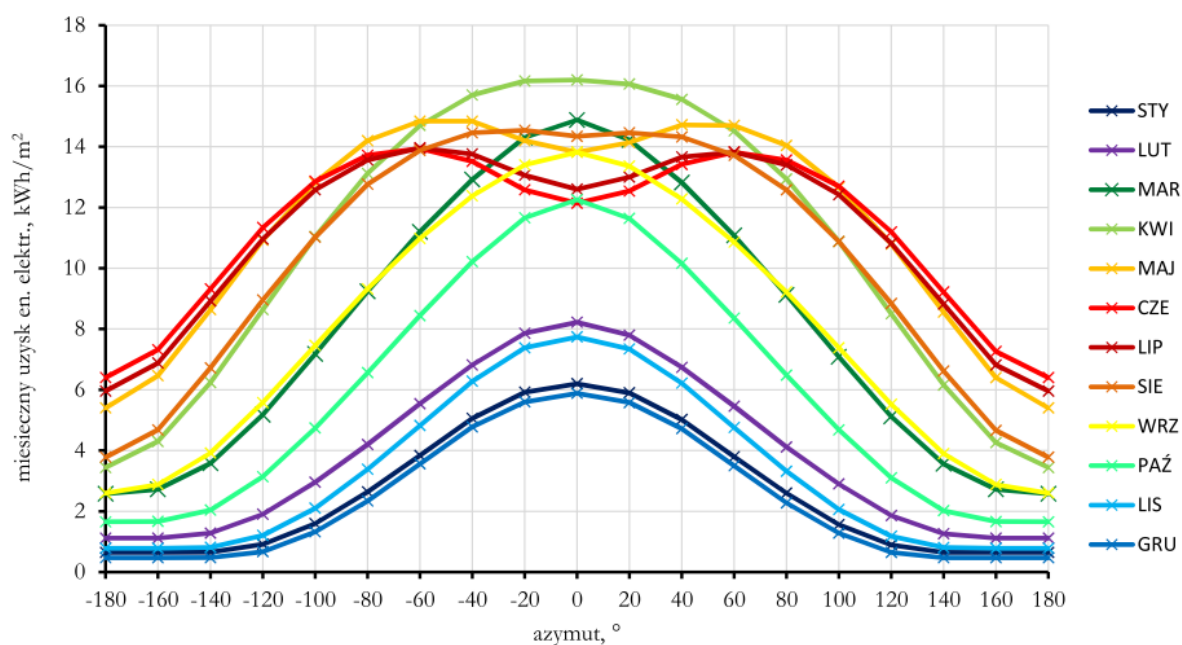
Zakładając brak cieniowania oraz wartość strat jak w do tej pory poczynionych analizach, przyjmując kąt zerowy azymutu dla usytuowania wejścia pod wiatę z kierunku południowego, oszacować można zmienność uzysku miesięcznego i rocznego z każdej z wiat w zależności od ich położenia względem azymutu. Zakładając wartość współczynnika a_p równą $5 \text{ m}^2/\text{kWp}$ (co odpowiada panelom Offgridtec 150W MONO 12V), wyznaczono jednostkowe (na 1 m^2) uzyski energetyczne dla poszczególnych powierzchni wiat – ścian (położenie pionowe, rysunek poniżej) i dachu (pochylony pod kątem 10° względem podłoża, rysunek poniżej).

Co zrozumiałe, roczny uzysk energetyczny z wiaty Cyrkon 207 - 4M – o największej powierzchni ogniw – jest największy i wynosi, sumarycznie w roku, blisko 2389 kWh w przypadku kierunku południowego i 3765 MWh w przypadku kierunku północnego (dla pozostałych wiat te wartości równe są 1492 kWh i 2191 kWh dla Cyrkon 203 – 2M oraz 1917 kWh i 2949 kWh dla Cyrkon 205 – 3M). Stosunek rocznego uzysku energii między kierunkiem południowym (minimalny) i północnym (maksymalny) wynosi ok. 1,5 (rysunek poniżej). Dla porównania użytkowane tablice dynamicznej informacji pasażerskiej na przystankach według specyfikacji

producenta pobierają maksymalnie 1314 kWh. Pokrycie oszacowanej całkowitej powierzchni określonej w tabeli powyżej panelami fotowoltaicznymi wiat Cyrkon 205 i Cyrkon 207 wyniesie ok. 24-29 tys. zł brutto.

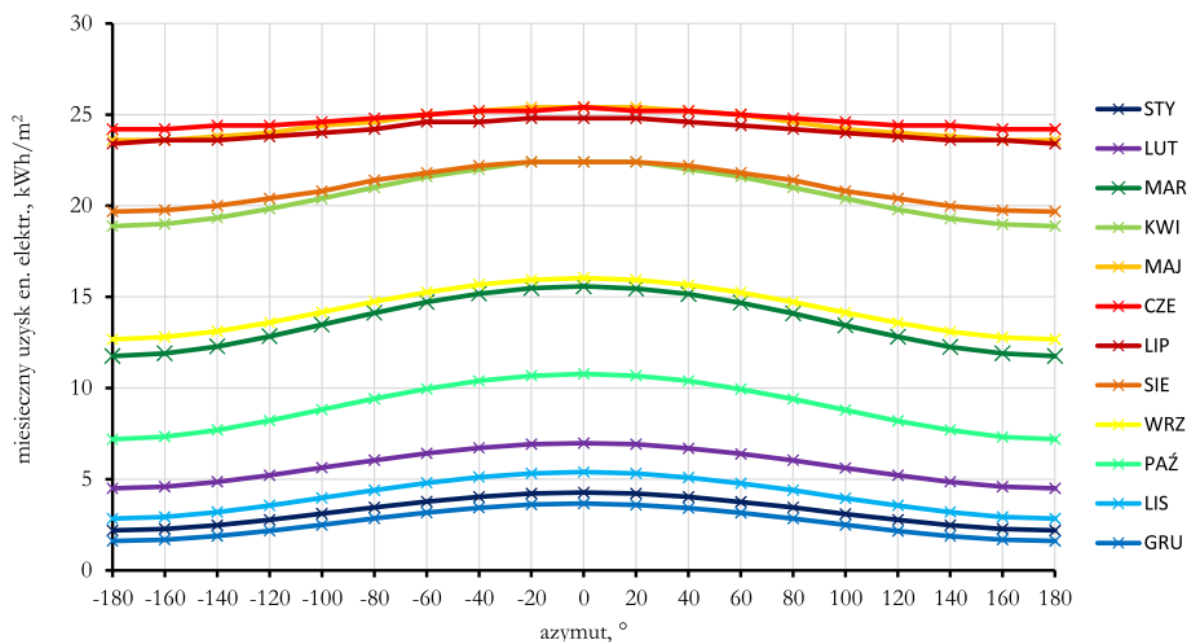
Odnotować należy także wyraźne zróżnicowanie w produkcji energii elektrycznej w poszczególnych miesiącach (rysunek poniżej) – opisywane przez współczynnik zmienności CV (ok. 0,63-0,64 w przypadku kierunku północnego wejścia pod wiatr i 0,45-0,46 w przypadku południowego). W konsekwencji, możliwości wykorzystania energii (dostępna energia) w miesiącach wakacyjnych będzie 4-12,5 razy (w zależności od położenia wiaty) większe niż w miesiącach zimowych. Skłania to do inwestycji w indywidualne systemy magazynowania energii w wiatkach lub w ich bliskim sąsiedztwie (celem ograniczenia strat przesyłowych).

Wykres 4 Miesięczne uzyski energii elektrycznej w kWh/m² z ogniwa PV zamontowanego pionowo, we Wrocławiu, w funkcji położenia (normalna do powierzchni panelu) względem azymutu (dla $a_p = 5$ m²/kWp)



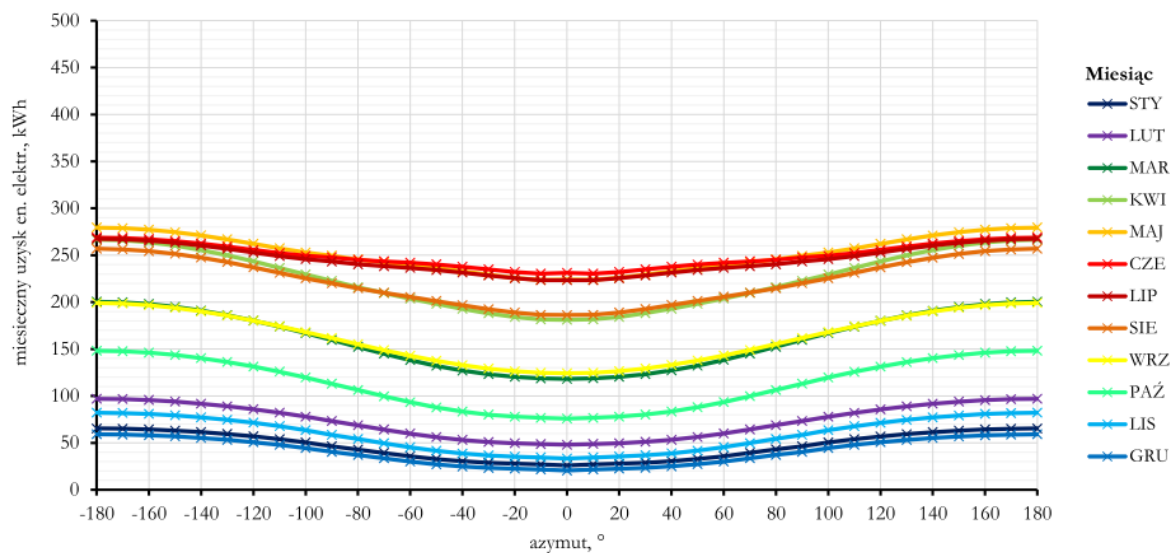
Źródło: Opracowanie własne

Wykres 5 Miesięczne uzyski energii elektrycznej w kWh/m² z ogniwa PV zamontowanego pod kątem 10° do powierzchni, we Wrocławiu, w funkcji położenia (normalna do powierzchni panelu) względem azymutu (dla $a_p = 5$ m²/kWp)



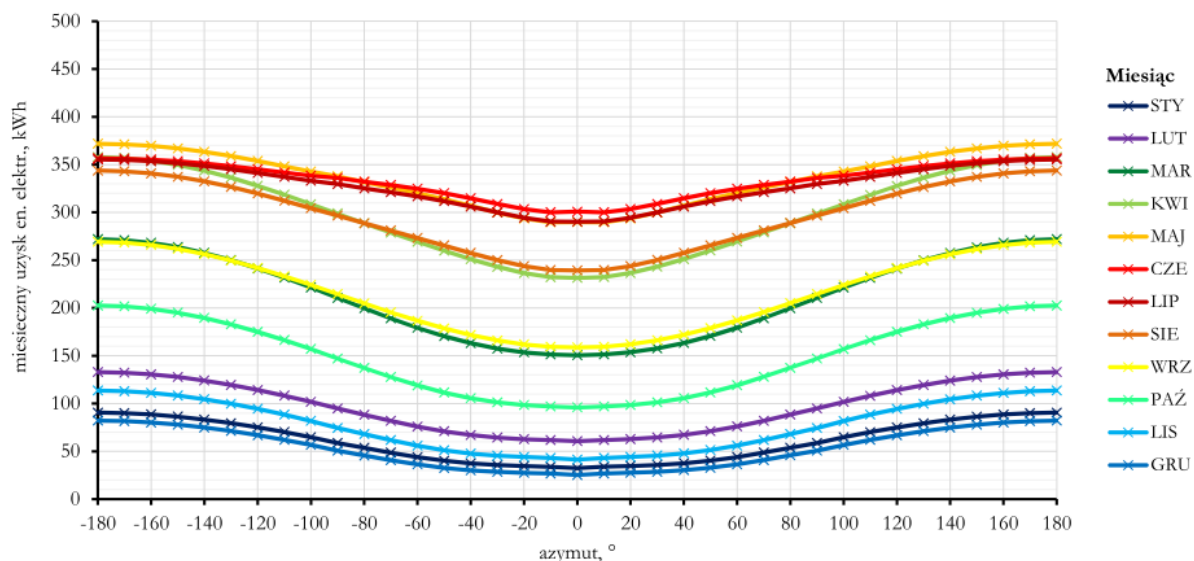
Źródło: Opracowanie własne

Wykres 6 Szacowane, miesięczne uzyski energii elektrycznej w kWh z wiaty Cyrkon 203 – 2M, we Wrocławiu, w funkcji położenia (wejście pod wiatr) dla $a_p = 5$ m²/kWp



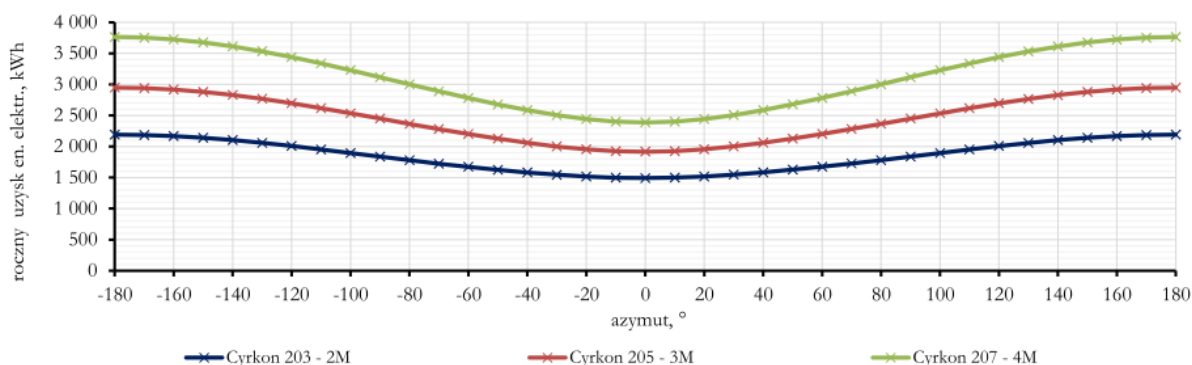
Źródło: Opracowanie własne

Wykres 7 Szacowane, miesięczne uzyski energii elektrycznej w kWh z wiaty Cyrkon 205 – 4M, we Wrocławiu, w funkcji położenia (wejście pod wiatr) dla $a_p = 5 \text{ m}^2/\text{kWp}$



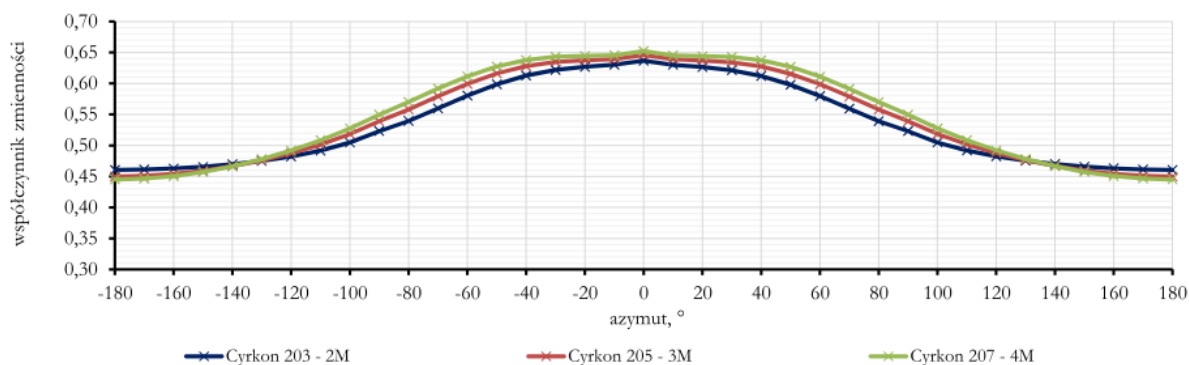
Źródło: Opracowanie własne

Wykres 8 Szacowane, roczne uzyski energii elektrycznej w kWh z analizowanych wiat, we Wrocławiu, w funkcji położenia (wejście pod wiatr) dla $a_p = 5 \text{ m}^2/\text{kWp}$



Źródło: Opracowanie własne

Wykres 9 Szacowane współczynniki zmienności miesięcznej produkcji energii w roku z analizowanych wiat, we Wrocławiu, w funkcji położenia (wejście pod wiatr) dla $a_p = 5 \text{ m}^2/\text{kWp}$



Źródło: Opracowanie własne

5.9 ISTNIEJĄCE ROZWIĄZANIA NA RYNKU

Na rynku istnieją także zintegrowane rozwiązania w formie wiat przystankowych z zainstalowanymi panelami fotowoltaicznymi oraz opcjonalnie z turbinami wiatrowymi. Dodatkowym wyposażeniem wiaty fotowoltaicznej może być zainstalowanie: sieci Wi-Fi, donic z kwiatami i roślinami, portów USB, podgrzewania ławki, ładowarek indukcyjnych, ekranów multimedialnych o wysokiej przekątnej, monitoringu, półek bookcrossingowych, stojaków rowerowych, wyświetlaczy e-papierowych, sensorów smogu, oświetlenia z sensorem ruchu, zegarów i termometrów cyfrowych, złącza do podłączenia automatu biletowego, klimatyzacji oraz ogrzewania czy obecnie często spotykanych nośników reklamowych oraz informacji miejskiej. Rozwiązania oferują moc instalacji fotowoltaicznej od 300 do 1500 Wp oraz akumulatory od 100 do 500 Ah. W zależności od wyposażenia koszt jednej wiaty wynosi od 32 tys. do 76 tys. zł. Poniżej przedstawiono przykładowe wizualizacje i realizacje różnych producentów.

Zdjęcie 70 Przykład zintegrowanej wiaty solarnej



Źródło: <https://budotechnika.com.pl/wiaty-przystankowe-solarne/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 71 Solarna wiata przystankowa (model Venus), która zdobyła wyróżnienie w konkursie Innowator Śląska 2020



Źródło: <https://budotechnika.com.pl/wiaty-przystankowe-venus/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 72 Solarna wiata przystankowa model AE030-XL



Źródło: <https://www.alex-electro.com/architektura-solarna/wiata-przystankowa-ae030-xl/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 73 Przykład solarnej wiaty miejskiej



Źródło: <https://seedia.city/pl/wiata-miejska/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 74 Solarna wiata przystankowa w Rzeszowie



Źródło: <https://mlsystem.pl/inteligentna-wiata-przystankowa/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Rysunek 21 Przykład wiaty typu SM



Źródło: <https://www.grandsol.pl/wiaty-asm-sm/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 75 Przykład zielonego przystanku w Radomiu



Źródło: <http://zieloneprzystanki.pl/pl/projekty-i-realizacje#scroll>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 76 Solarna wiata przystankowa – model HSS



Źródło: https://ec.europa.eu/regional_policy/pl/projects/Poland/a-smart-solar-powered-bus-shelter-from-poland, dostęp: 01.12.2021 r.

Istnieje także możliwość zastąpienia tradycyjnych słupków z rozkładami jazdy, pylonami informacyjnymi wyposażonymi w moduł fotowoltaiczny.

Zdjęcie 77 Przykład pylonu z rozkładem jazdy wyposażonego w moduł fotowoltaiczny



Źródło: <https://mlsystem.pl/smart-pylony/>, dostęp: 01.12.2021 r.

6 Koncepcja wiaty fotowoltaicznej ze stacją ładowania

6.1 ZAŁOŻENIA DO ANALIZY

Analiza wykorzystania odnawialnych źródeł energii i koncepcji wiaty fotowoltaicznej dla autobusów elektrycznych opiera się na prostocie i powtarzalności rozwiązań. Jednakże prostota ta nie ma na celu obniżania jakości rozwiązania, ale tworzenie systemu modułowego łatwego do zaimplementowania w dowolnej lokalizacji. Dlatego przed przystąpieniem do stworzenia koncepcji, postawiono kilka założeń.

Założenia koncepcji:

- wiaty ma być przeznaczona dla autobusów elektrycznych, ale również ma dawać możliwość zaparkowania autobusów spalinowych,
- wiaty ma być w formie modułowej przez co będzie ją można w prosty sposób konfigurować i rozbudowywać, wykorzystanie komponentów do wiaty ma być ogólnie dostępne, łatwe mają być do pozyskania komponenty zastępcze,
- wiaty ma być wyposażona w stację ładowania elektrycznego o dużej mocy ładowania,
- system ma być niezawodny, łatwy w serwisowaniu, konserwacji i przede wszystkim w obsłudze,
- miejscem docelowym dla wiaty mogą być zajezdnie autobusowe. Ze względu na czas ładowania autobusu zaleca się, aby w miejscach, gdzie ma stanąć wiaty, autobusy miały przynajmniej godzinny postój.

Do analizy przyjęto najbardziej popularne w Polsce autobusy Solaris Urbino 12 i Solaris Urbino 18 zarówno w wersji standardowej (spalinowej) jak i elektrycznej, natomiast sprawdzono pozostałe autobusy używane przez MPK (Mercedes-Benz O530, Mercedes-Benz O530K, Mercedes-Benz O530G, Mercedes-Benz O530 C2, Mercedes-Benz O530G C2), tak aby mogły swobodnie wjechać pod wiatę.

Tabela 13 Podstawowe dane autobusów elektrycznych przyjętych do koncepcji wiaty

Solaris Urbino 12 Electric (IV generacja)	Solaris Urbino 18 Electric (IV generacja)
długość: 12,00 m (standardowy),	długość: 18 m (przegubowy),
wysokość 3,30 m	wysokość 3,30 m
szerokość 2,55 m	szerokość 2,55 m
pojemność baterii 170 kWh	pojemność baterii 220 kWh

Źródło: Opracowanie własne na podstawie

https://www.solarisbus.com/public/assets/content/pojazdy/2021/2021/PL_Zeroemisyjne_1920_x_1080.pdf.

, dostęp: 01.12.2021 r.

6.2 WIATA AUTOBUSOWA PV

Poniżej przedstawiono kilka wariantów dotyczących materiałów, komponentów i urządzeń z jakich wiatra może powstać oraz wstępnych rysunków technicznych i dokumentacji technicznej urządzeń, będących propozycją dla przyszłych projektantów danego rozwiązania.

Podstawowe elementy wiaty:

- konstrukcja wiaty,
- moduły fotowoltaiczne o standardowych wymiarach,
- system montażowy,
- warianty wiaty i różne konfiguracje ze względu na wymiary,
- falownik (moc w zależności od wielkości wiaty),
- stacja szybkiego ładowania,
- akumulatory (opcjonalnie),
- ilość energii,
- możliwość wykorzystania i czas ładowania autobusów.

6.3 KONSTRUKCJA WIATY

Podstawą wiaty jest oczywiście jej konstrukcja. W przypadku budowy wiaty należy zwrócić uwagę na kilka wytycznych. W koncepcji przyjęto nie przekraczanie wysokości 4 metrów, natomiast kubatura będzie zależna od ilości wiat i przystosowania ich pod rodzaj i ilość autobusów. Ze względu na optymalne wymiary i produkcję energii przyjęto wiatę dwuspadową o kącie nachylenia 10°. Spadek dachu ze względu na wykorzystanie instalacji fotowoltaicznej musi być w azymucie wschód-zachód. Ewentualne ustawienie północ-południe może być zastosowane, ale w takiej sytuacji pokrycie modułami fotowoltaicznymi powinno mieć miejsce tylko na połaci południowej (system fotowoltaiczny o 50% mniejszy).

Tabela 14 Zależność uzysków z instalacji fotowoltaicznej dla różnych kątów nachylenia i azymutu

Nachylenie płaszczyzny		zachód	południowy - zachód		południe	południowy - wschód		wschód
		270°	240°	210°	180°	150°	120°	90°
Pion	90°	51%	62%	69%	72%	70%	63%	52%
	80°	58%	71%	80%	82%	80%	71%	51%
	70°	65%	78%	87%	90%	87%	79%	65%
	60°	71%	84%	93%	96%	94%	85%	72%
	50°	76%	89%	97%	99%	98%	89%	77%

Nachylenie płaszczyzny		zachód	południowy - zachód		południe	południowy - wschód		wschód
		270°	240°	210°	180°	150°	120°	90°
	40°	80%	92%	99%	100%	99%	92%	81%
	30°	83%	93%	99%	100%	100%	93%	84%
	20°	85%	93%	97%	99%	97%	93%	86%
	10°	87%	90%	93%	95%	94%	91%	87%
Poziom	0°	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%

Źródło: Opracowanie własne

Wiata może być wykonana z następujących materiałów:

- drewno,
- stal,
- strunobeton.

Za łatwością rozwiązywania przemawia konstrukcja drewniana, natomiast ze względu na trwałość zaleca się konstrukcję ze stali. Pewną alternatywą ze względu na rosnące ceny materiałów stalowych i drzewnych jest rozwiązanie oparte na strunobetonie. Takie rozwiązania stosowane są coraz częściej np. na farmach fotowoltaicznych.

Zdjęcie 78 Stawianie konstrukcji wsporczej ze strunobetonu pod farmę fotowoltaiczną



Źródło: <https://rollform.pl/konstrukcja-fotowoltaiczna-strunobeton/>

Rysunek 22 Przykładowa konstrukcja wiaty wykonanej z drewna



Źródło: <https://www.artimbo.pl/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Zdjęcie 79 Przykładowa konstrukcja wiaty stalowej



Źródło: <https://www.kurpdach.pl/>, dostęp: 01.12.2021 r.

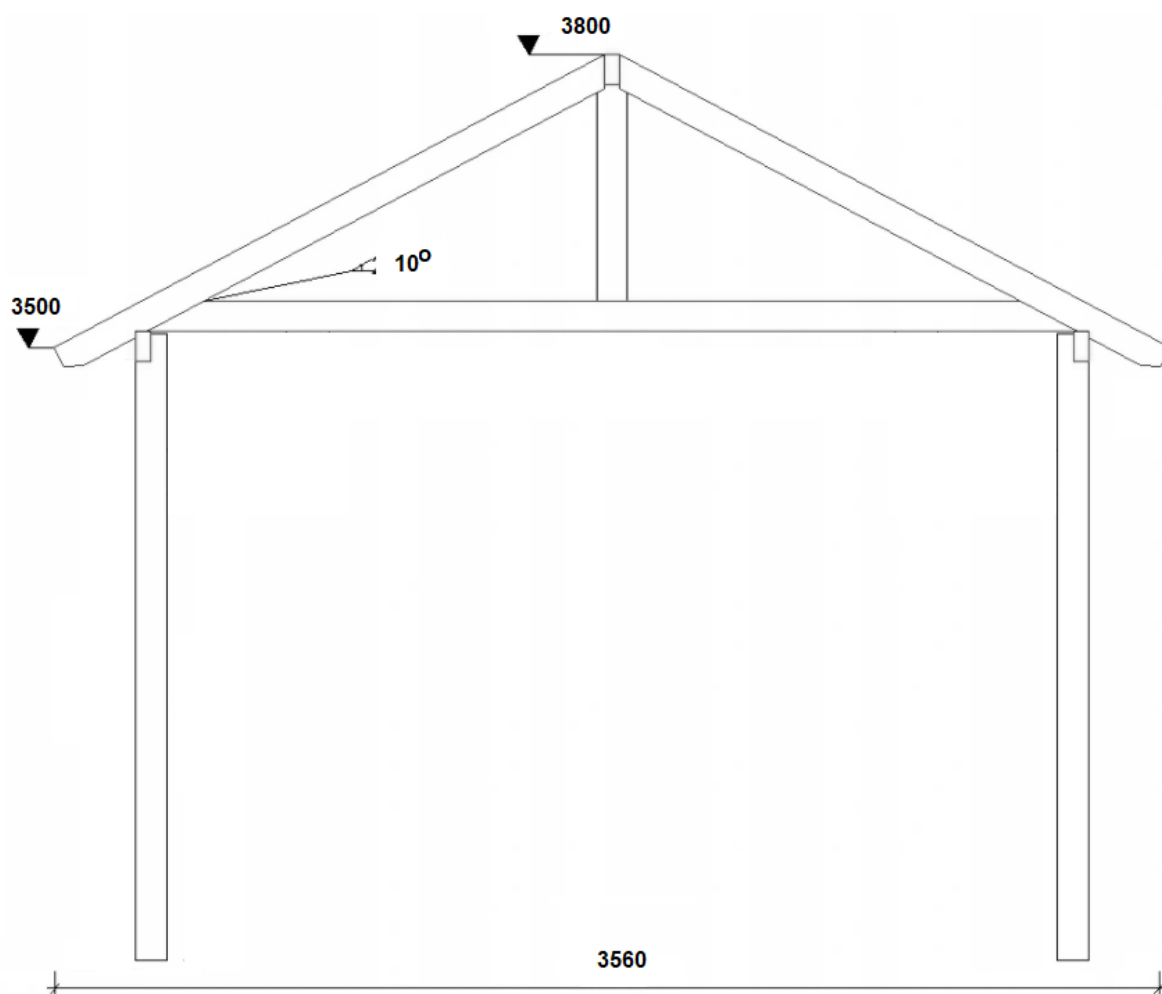
Zdjęcie 80 Przykładowa konstrukcja wiaty stalowej



Źródło: <https://www.kurpdach.pl/>

Poniżej przedstawiono schemat wiaty z uwzględnieniem wymiarów autobusu i wielkości modułów fotowoltaicznych, które będą tworzyły poszycie dachu. Wymiary konstrukcji pod autobusy.

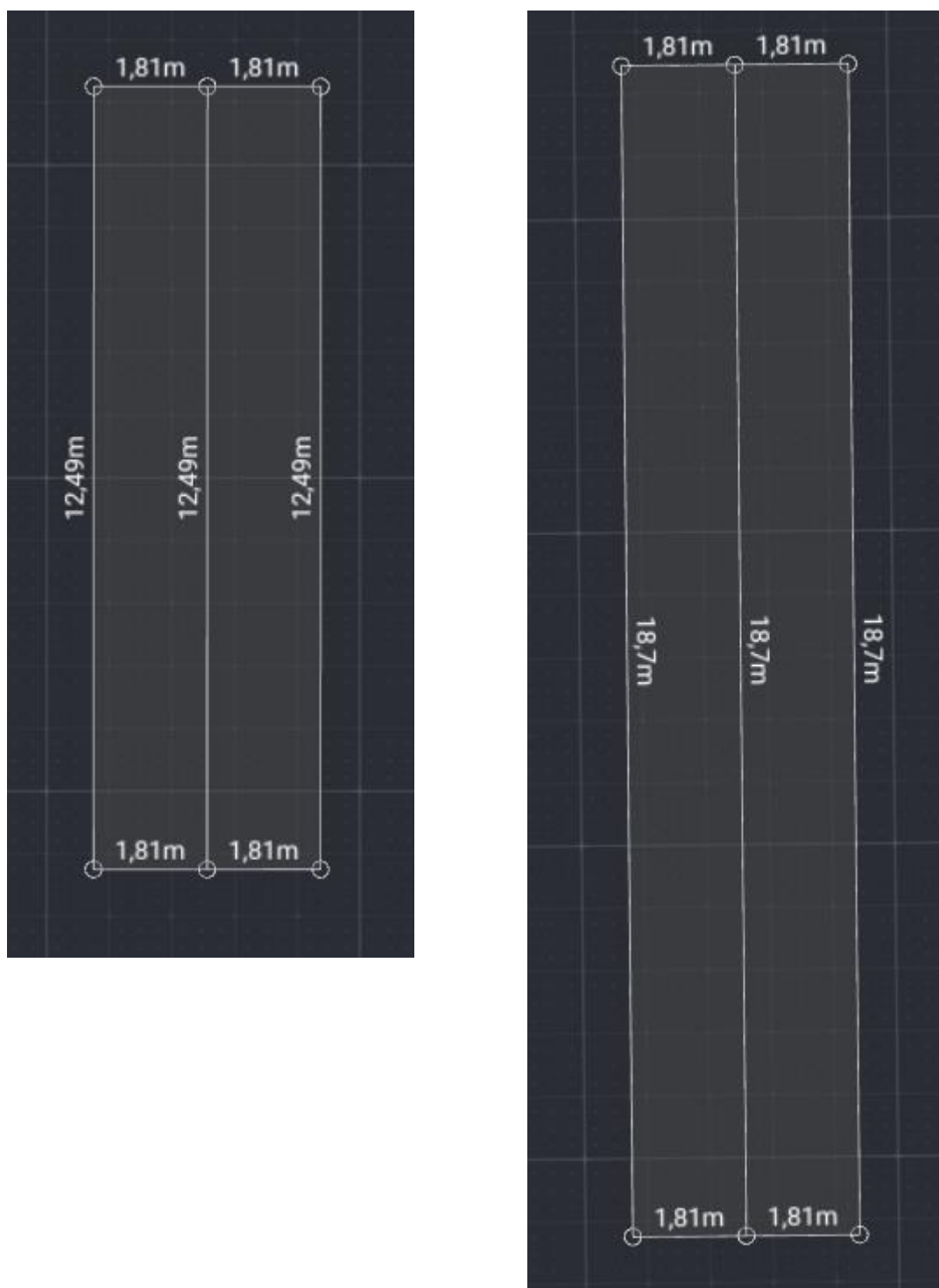
Rysunek 23 Koncepcja wiaty dla autobusów – przekrój pionowy



Źródło: Opracowanie własne

Długość wiaty zależy od wymiarów autobusu. Przyjęto dwa rozwiązania na autobus klasy MAXI – długość wiaty 12,49m i MEGA18 - długość wiaty 18,7m. W przypadku projektowania wiaty należy zwrócić szczególną uwagę na podpory, tak aby były rozstawione w taki sposób aby zaparkowany autobus mógł swobodnie otworzyć drzwi w strefie nie zasłaniającej przejścia dla ludzi wsiadających lub wysiadających.

Rysunek 24 Koncepcja wiaty dla autobusów – rzut z góry dla dwóch rozwiązań



Źródło: Opracowanie własne

Przedstawione wymiary są dopasowane ze względu na użyte moduły fotowoltaiczne. Kąt nachylenia dachu równy 10° , zapewnia optymalny kąt ze względu na uzyski, samooczyszczenie modułów przez opady deszczu oraz prostotę konstrukcji wiaty.

6.4 MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

Według założenia komponenty mają mieć standardowe wymiary i mają być łatwe w serwisie/wymianie lub zastąpieniu innym odpowiednikiem. Dlatego przyjęto standardowe moduły fotowoltaiczne, wykonane z monokryształu krzemu w konfiguracji 60 ogniw typu half-cut. Takie rozwiązania posiada każda firma produkująca moduły fotowoltaiczne. Dla celów koncepcyjnych użyto modułów jednej z największych firm produkujących moduły. Do obliczeń przyjęto moduły o największej mocy dostępne w listopadzie 2021 (380Wp) z modułów typu LR4-60HBD-380M.

Rysunek 25 Dane techniczne modułów fotowoltaicznych typu LR4-60HBD-380M

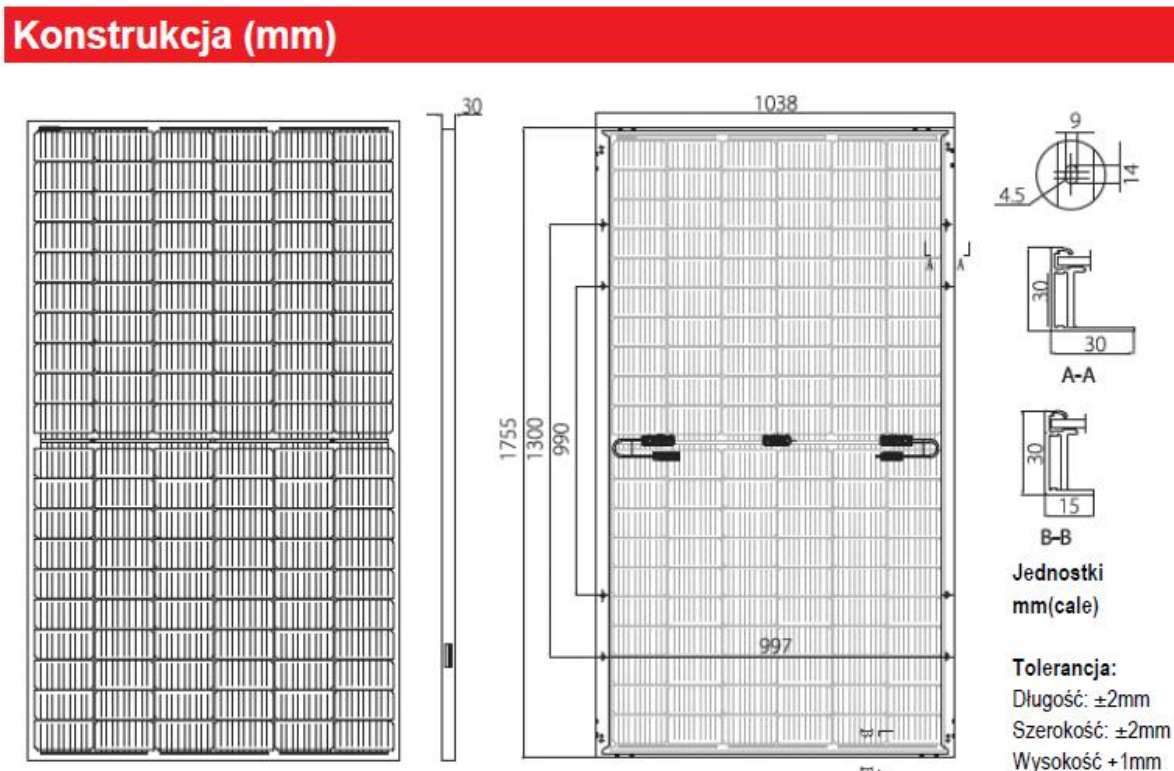


Tabela 15 Parametry techniczne modułów fotowoltaicznych typu LR4-60HBD-380M

Ustawienia ogniwa	(6x20)
Skrzynka przyłączeniowa	IP68,3 diody
Przewód wyjściowy	4 mm ² , 1200 mm długości
Szkoło	Szkoło hartowane z powłoką 2,0 mm
Rama	Anodyzowana rama aluminiowa
Masa	23,3 kg
Wymiary	1755x1038x35mm

Temperatura pracy	-40 °C ~ +85°C	
Tolerancja mocy wyjściowej	0~+5 W	
Tolerancja napięcia obwodu otwartego (Voc) i prądu obwodu zamkniętego (Isc)	±3%	
Maksymalne napięcie układu	DC 1500V (IEC/UL)	
Maksymalny prąd znamionowy bezpiecznika w połączeniach szeregowych	25A	
Znamionowa temperatura pracy ogniwa	45±2°C	
Klasa bezpieczeństwa	Klasa II	
Odporność modułu na ogień	Typ 3 UL	
Dwustronność	70±5%	
Warunki podczas badania	STC	NOCT
Moc maksymalna (Pmax/W)	380	283,8
Napięcie jałowe (Voc/V)	41,3	38,6
Prąd zwarcia (Isc/A)	11,67	9,43
Napięcie przy mocy maksymalnej (Vmp/V)	34,7	32,4
Prąd przy mocy maksymalnej (Imp/A)	10,96	8,77
Wydajność modułu (%)	20,9%	
Maksymalne obciążenie statyczne strony przedniej	5400 Pa	
Maksymalne obciążenie statyczne strony tylnej	2400 Pa	
Próba gradowa	Kula gradowa rozm 25 mm przy prędkości 23 m/s	
Wartości znamionowe temperatury (STC)		
Współczynnik temperatury Isc	+0,050%/°C	
Współczynnik temperatury Isc Współczynnik temperatury Voc	-0,284%/°C	
Współczynnik temperatury Pmax	-0,350%/°C	

Źródło: <https://www.onnshop.pl/library/documents/16751426.pdf>, dostęp: 01.12.2021 r.

6.5 SYSTEM MONTAŻOWY

Wybierając odpowiedni system montażowy należy zwrócić uwagę na jego łatwość instalacji, cenę i szczelność danego rozwiązania. Najprostszym i najtańszym systemem montażowym zapewniającym szczelność dachu jest szyna aluminiowa o profilu pasującym do ramy modułu.

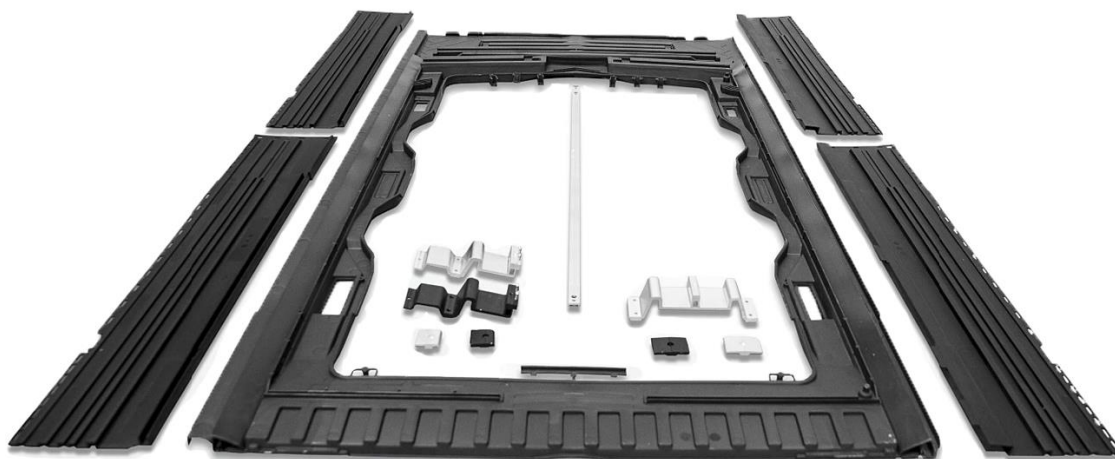
Zdjęcie 81 Przykład profilu montażowego zachowującego szczelność między modułami PV



Źródło: http://ecomar1ml.com/?fbclid=IwAR1GIFALwUHguLpHFjlcDIT_EQ5eEM4jKRgSidJzJwvnqIHmgqvsdTLWGPg, dostęp: 01.12.2021 r.

Innym rozwiązaniem mogą być specjalne płyty tworzące dodatkową izolację i zapewniające pełną szczelność.

Zdjęcie 82 Przykład elementów systemu montażowego EasyRoof Evolution

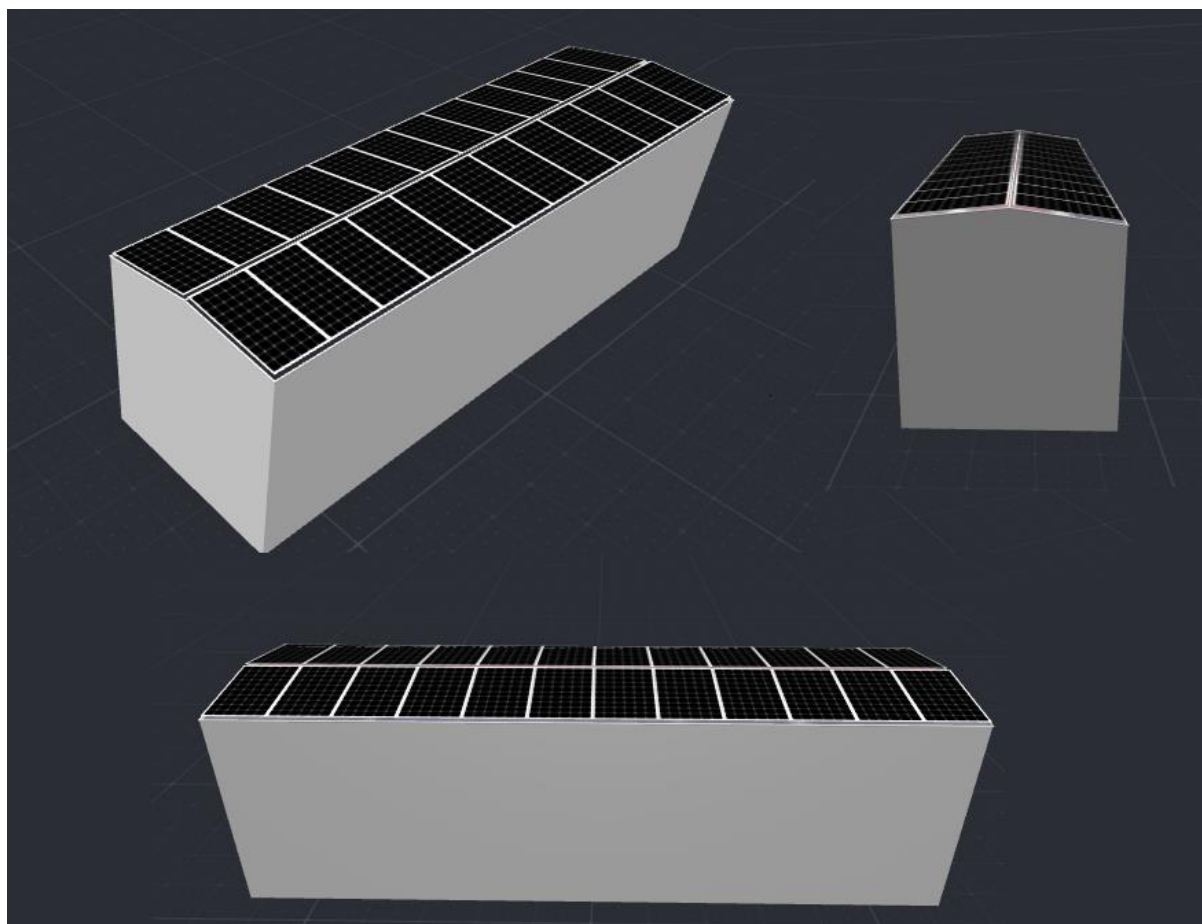


Źródło: <https://www.belos-plp.com.pl/mocowanie-easy-roof-evolution>

6.6 WARIANTY WIATY I RÓŻNE KONFIGURACJE

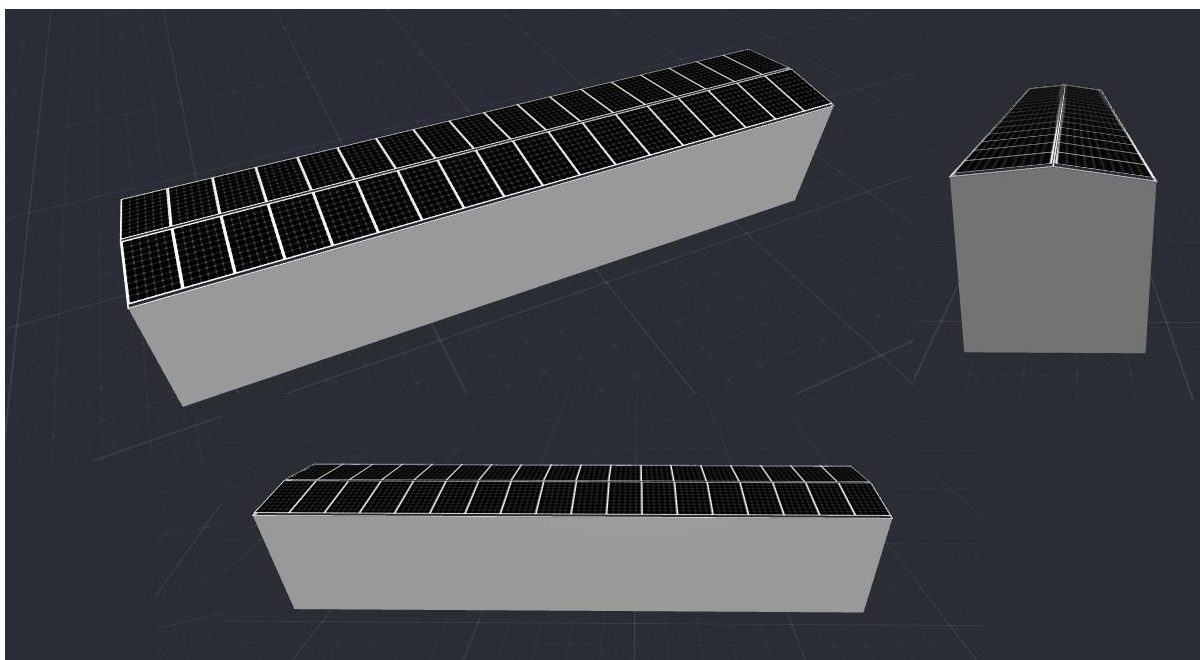
Użycie powyższych modułów i konstrukcji montażowej tworzy szczelne poszycie dachowe. Wiaty zostały dopasowane długością pod dwa rodzaje autobusów. Wiatą dla autobusu o długość ok. 12 metrów dostała roboczą nazwę „Wiaty PV 12”, a dla autobusu o długości ok. 18 metrów - „Wiaty PV 18”. Poniżej przedstawiono model bryłowy 3D powyższych rozwiązań.

Rysunek 26 Wizualizacja poszycia dachowego dla Wiaty PV 12



Źródło: Opracowanie własne

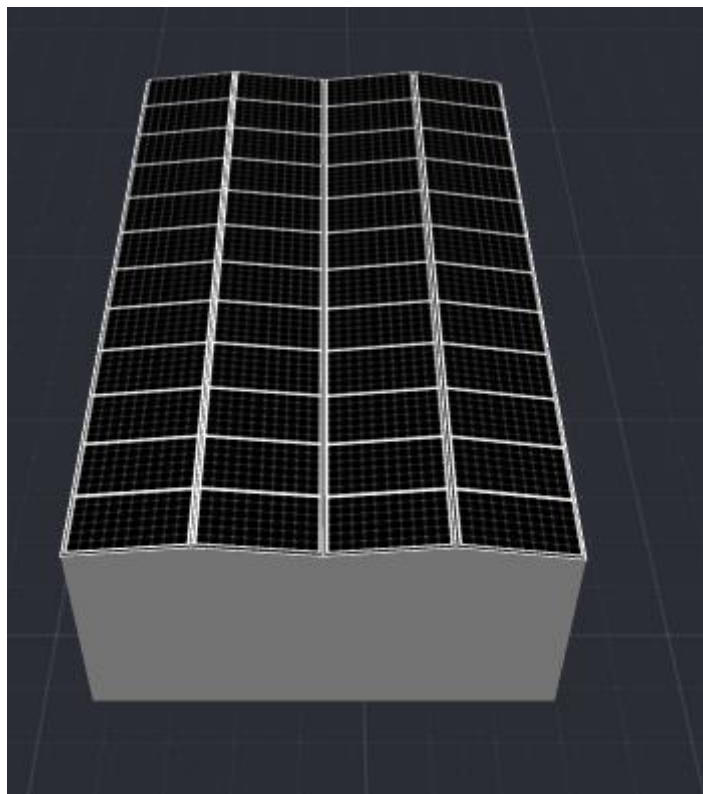
Rysunek 27 Wizualizacja poszycia dachowego dla Wiaty PV 18



Źródło: Opracowanie własne

Ze względu na modułowy charakter, wiaty dają możliwość łatwej rozbudowy i tworzenia konstrukcji modułowych np. poprzez połączenie dwóch wiat na dwa autobusy:

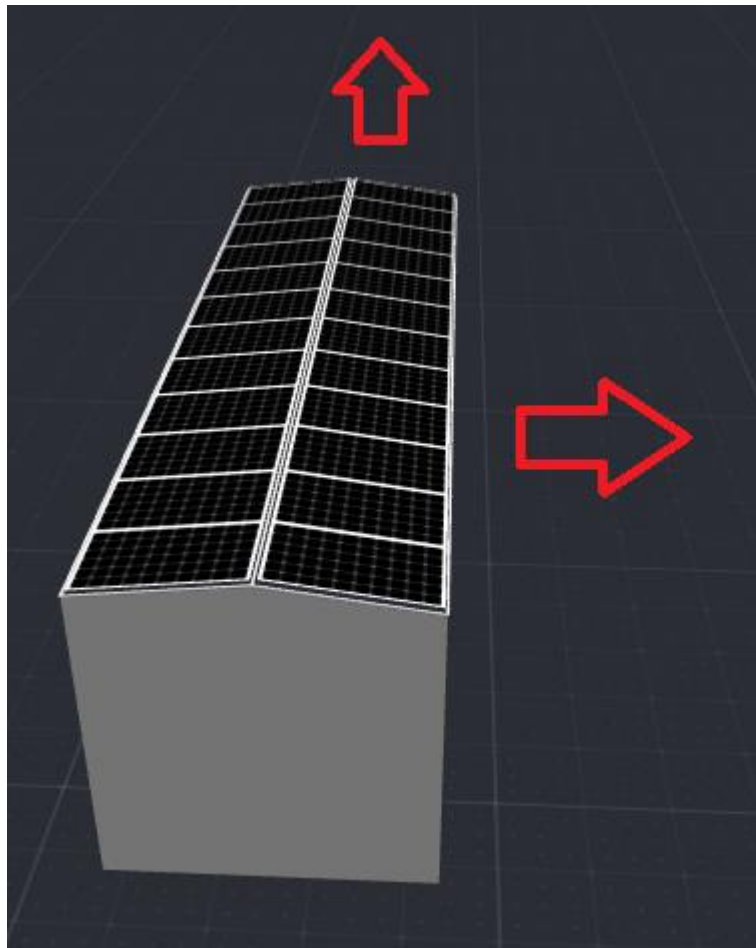
Rysunek 28 Połączenie dwóch wiat typu „PV 12”



Źródło: Opracowanie własne

Taka konstrukcja pozwala na łatwe dostosowanie się do warunków lokalnych w których ma być zainstalowana wiatra oraz ilości autobusów pod nią się mieszczących. Dając praktycznie nieskończoną ilość konfiguracji.

Rysunek 29 Możliwości modułowego łączenia wiatr



Źródło: Opracowanie własne

6.7 FALOWNIK

Niezbędnym urządzeniem do pracy systemu jest falownik. Pomimo tego, że energia elektryczna z modułów fotowoltaicznych jest w formie prądu stałego tak jak i akumulatory w autobusie, to na potrzeby zarządzania energią i połączenia systemu z siecią elektryczną zewnętrzną należy zastosować właśnie to urządzenie. Przy doborze falownika zwrócono uwagę nie tylko na jego moc, ale również możliwość komunikacji ze stacją ładowania oraz rozszerzenia układu o akumulatory energii.

Jako przykładowe rozwiązanie został dobrany falownik trójfazowy typu Symo GEN24. Dla Wiaty PV 12 o mocy AC 8kW i dla Wiaty PV 18 o mocy AC 10kW.

Tabela 16 Dane techniczne falowników typu Symo GEN24

DANE WEJŚCIOWE	SYMO GEN24 6.0 PLUS	SYMO GEN24 8.0 PLUS	SYMO GEN24 10.0 PLUS
Liczba trackerów MPP	2		
Maks. prąd wejściowy ($I_{dc \max}$ dla mppt1 / MPPT2)	25 A / 12,5 A		
Maks. prąd zwarciovowy dla pola modułów (MPPT1/MPPT2)	37.5 A / 18.75 A		
Zakres napięcia wejściowego ($U_{dc \min}$ - $U_{dc \max}$)	80 V - 1,000 V		
Znamionowe napięcie wejściowe ($U_{dc,r}$)	610 V		
Napięcie rozpoczęcia pracy ($U_{dc \text{ start}}$)	80 V		
Użyteczny zakres napięć MPP	80 V - 800 V		
Ilość podłączeń DC (MPPT1 / MPPT2)	2 / 1		
Maks. moc generatora PV ($P_{dc \max}$)	9 kW _{peak}	12 kW _{peak}	15 kW _{peak}
DANE WYJŚCIOWE	SYMO GEN24 6.0 PLUS	SYMO GEN24 8.0 PLUS	SYMO GEN24 10.0 PLUS
Moc znamionowa AC ($P_{ac,r}$)	6,000 W	8,000 W	10,000 W
Maks. moc wyjściowa	6,000 VA	8,000 VA	10,000 VA
Maks. prąd na wyjściu ($I_{ac \max}$)	16.4 A		
Przyłącze sieciowe (zakres napięcia)	3~NPE 400 V / 230 V or 3~NPE 380 V / 220 V (+ 20 % / - 30%)		
Częstotliwość (zakres częstotliwości)	50 Hz / 60 Hz (45 Hz - 66 Hz)		
Współczynnik zawartości harmoniczných THD	< 3.5 %		
Współczynnik mocy ($\cos \phi_{ac,r}$)	0.7 - 1 ind. / poj.		

Zasilanie awaryjne	3~NPE 400 V / 230 V		
DANE WYJŚCIOWE FUNKCJI PV POINT / FULL BACKUP ¹	SYMO GEN24 6.0 PLUS	SYMO GEN24 8.0 PLUS	SYMO GEN24 10.0 PLUS
Nominalna moc wyjściowa PV Point / full backup	3,000 VA / 6,000 VA	3,000 VA / 8,000 VA	3,000 VA / 10,000 VA
Nominalna moc na fazę full backup	3.68 kVA		
Przyłącze sieciowe (zakres napięcia) PV Point	1 ~ NPE 220 V / 230 V		
Przyłącze sieciowe (zakres napięcia) full backup	3~NPE 400V/230V or 3~NPE 380V/220V		
Czas przełączenia	< 90 sekund		
PODŁĄCZENIE AKUMULATORA	SYMO GEN24 6.0 PLUS	SYMO GEN24 8.0 PLUS	SYMO GEN24 10.0 PLUS
Ilość podłączeń DC 1	1		
Maks. prąd wejściowy (I _{dc} max)	22 A		
Zakres wejściowego napięcia DC (U _{dc} min - U _{dc} max)	160V - 500V		
Maks. moc wejściowa/wyjściowa ²⁾	6,220 W	8,260 W	10,300 W
Maks. moc ładowania od strony AC	6,000 W	8,000 W	10,000 W
DANE OGÓLNE	SYMO GEN24 6.0 PLUS	SYMO GEN24 8.0 PLUS	SYMO GEN24 10.0 PLUS
Wymiary (wysokość x szerokość x głębokość)	595 x 529 x 180 mm		
Waga (falownik / z opakowaniem))	23,4 / 28,5 kg		
Stopień ochrony	IP 66		
Klasa ochronności	1		
Zużycie energii w nocy	< 10 W		

Kategoria przepięciowa (DC/AC) ³⁾	2 / 3
Topologia falownika	Beztransformatorowy
Chłodzenie	Regulowana wymuszona wentylacja
Montaż	Montaż wewnątrz lub na zewnątrz budynków
Zakres temperatur otoczenia	-25 - +60 °C
Dopuszczalna wilgotność powietrza	0 - 100 %
Emisja hałasu	< 47 dB (A)
Maks. wysokość montażu	3,000 m / 4,000 m (nieograniczony / ograniczony zakres napięcia)
Zaciski przyłączeniowe DC do PV	3x DC+ oraz 3x DC- wtykowe zaciski sprężynowe 2.5 - 10 mm ²
Zaciski przyłączeniowe DC do akumulatora	1x BATT+ oraz 1x BATT- wtykowe zaciski sprężynowe 2.5 - 10 mm ²
Zaciski przyłączeniowe AC	5x AC wtykowe zaciski sprężynowe 1.5 - 10 mm ² 3x zasilanie awaryjne wtykowe zaciski sprężynowe 1.5mm ² - 10mm ² 5x PE-zaciski śrubowe 2.5 - 16 mm ²
Certyfikaty i zgodność z normami	IEC 62109, IEC 62116, IEC 61727, IEC 62909, VDE 0126, VDE AR-N4105, AS/NZS 4777.2, EN 50549, CEI 0-21, G 98, R25
Funkcje zasilania rezerwowego	PV Point lub Full Backup
Kompatybilne typy akumulatorów	BYD Battery-Box Premium HVS/HVM ⁵⁾

Źródło: https://www.fronius.com/~/downloads/Solar%20Energy/Datasheets/SE_DS_Fronius_Symo_GEN24_PL.pdf, dostęp: 01.12.2021 r.

Do zaproponowanego falownika można także zakupić dedykowaną stację ładowania o mocy do 22 kW wyposażoną w gniazda Type 2 – rozwiązanie może zostać wykorzystane do pojazdów obsługujących jednostki organizacyjne miasta lub spółek komunalnych. W przypadku autobusów konieczne jest podłączenie stacji ładowania większej mocy.

6.8 AKUMULATORY

Do systemu fotowoltaicznego można opcjonalnie podłączyć akumulatory energii, które zgromadzą nadmiar energii zamiast oddać ją do sieci zewnętrznej. Dla omawianego przypadku dedykowane są dwa rozwiązania: akumulatory BYD oraz akumulatory LG Chem.

Akumulatory wysokonapięciowe BYD Battery-Box Premium można dostosować do indywidualnego zapotrzebowania za pomocą pojedynczych modułów bateryjnych. Z falownikami GEN24 Plus można łączyć następujące modele:

- Battery-Box Premium HVS (5,12 do 10,24 kWh)
- Battery-Box Premium HVM (11,04 do 22,08 kWh)

Akumulatory LG Chem RESU7H oraz RESU10H są zgodne z z powyższą instalacją oraz stosunkowo niedrogim, bezpiecznym i skutecznym rozwiązaniem. Warto natomiast pamiętać, że to rozwiązanie potrzebuje Checkboxa aby system mógł bezpiecznie pracować.

Zdjęcie 83 Akumulator firmy LG Chem



Zdjęcie 84 Akumulator, typ Battery-Box Premium.



Źródło: <https://www.soltekenenergy.com.au/product-cat/battery-installation/>, dostęp: 01.12.2021 r.

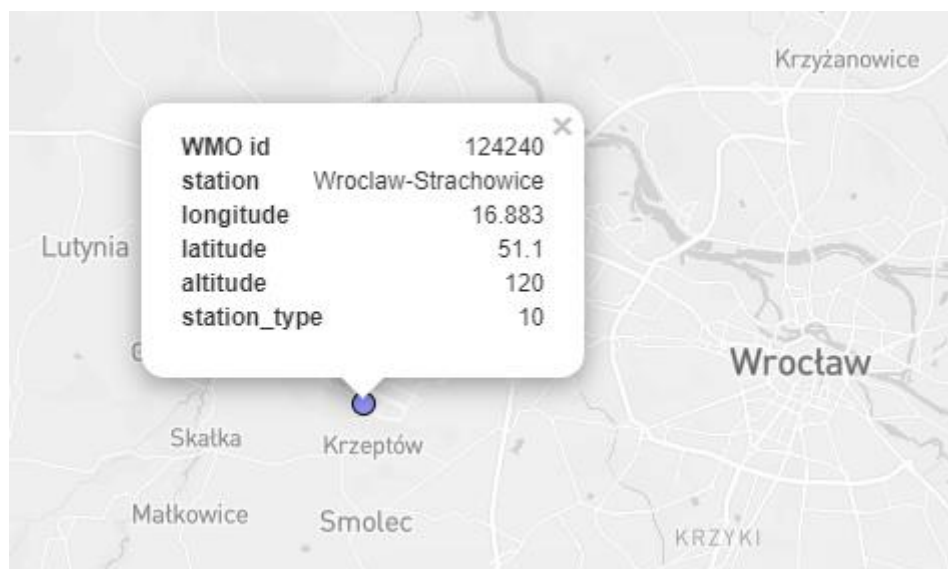
Źródło: <https://solar-distribution.bayware.com.au/en/products/byd>, , dostęp: 01.12.2021 r.

6.9 ILOŚĆ ENERGII, MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA I CZAS ŁADOWANIA AUTOBUSÓW.

Kluczowym zagadnieniem związanym z wiatą są jej możliwości w zakresie produkcji energii oraz wykorzystania jej do ładowania autobusów elektrycznych. Uzyski z instalacji fotowoltaicznych zostały przeprowadzone za pośrednictwem zaawansowanych programów do doboru instalacji fotowoltaicznych (PvSol, SolarEdge Designer, Fronius Configurator oraz Solar Creator). Analiza

produkcji i możliwości wykorzystania promieniowania słonecznego została oparta na danych pogodowych z Meteonorm 7.1.

Rysunek 30 Rzut z map przedstawiających lokalizację stacji pogodowe



Źródło: <https://meteonorm.com/en/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Poniżej przedstawiono możliwości w produkcji energii dla dwóch rozwiązań wiat. Rozwiązania te opierają się na ustawieniu dachu wiaty w kierunku wschód-zachód. Oprócz przedstawionej analizy ilości wyprodukowanej energii w skali roku z rozbiem na poszczególne miesiące w obliczeniach zawarto redukcję emisji dwutlenku węgla (CO₂) oraz ekwiwalent w ilości posadzonych drzew.

W przypadku Wiaty PV 12 system fotowoltaiczny ma moc DC 9,12kWp i 8kW mocy AC.

Wykres 10 Analiza produkcji energii i redukcji zanieczyszczeń dla Wiaty PV 12

WYNIKI SYMULACJI


Zainstalowana Moc DC
9,12 kWp

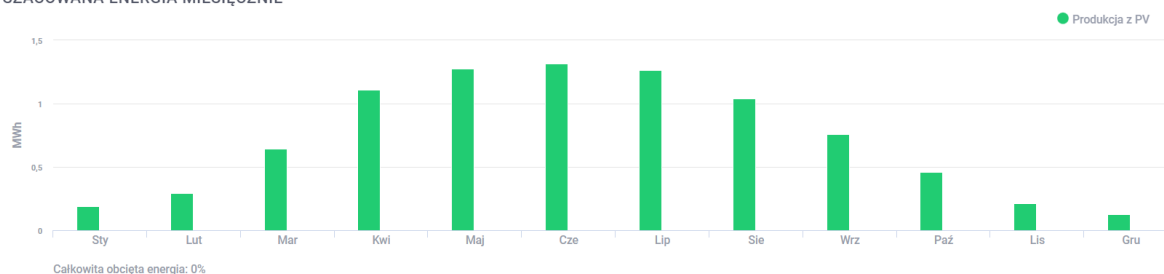

Maksymalna Osiągalna Moc AC
8,00 kW


Roczna Produkcja Energii
8,68 MWh


Redukcja Emisji CO₂
6,71 t


Ekwiwalent Posadzonych Drzew
308

SZACOWANA ENERGIA MIESIĘCZNIE



Źródło: Opracowanie własne

Dla Wiaty PV 18 system fotowoltaiczny ma moc DC 13,68kWp i 10kW mocy AC.

Wykres 11 Analiza produkcji energii i redukcji zanieczyszczeń dla Wiaty PV 18

WYNIKI SYMULACJI


 Zainstalowana Moc DC
13,68 kWp

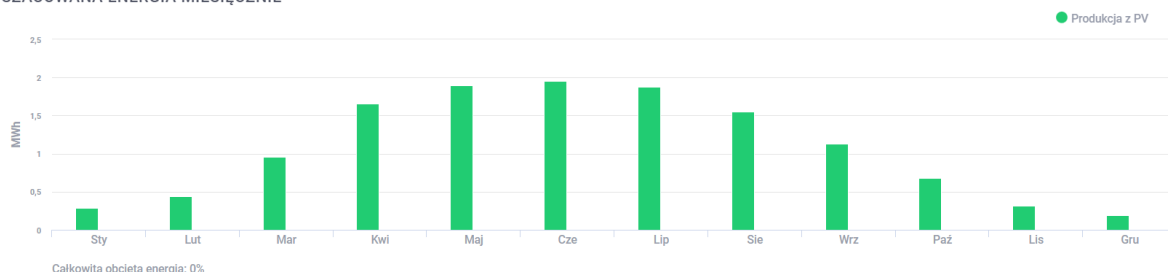
 Maksymalna Osiągalna Moc AC
10,00 kW

 Roczna Produkcja Energii
12,94 MWh

 Redukcja Emisji CO₂
10 t

 Ekwivalent Posadzonych Drzew
459

SZACOWANA ENERGIA MIESIĘCZNIE



Źródło: Opracowanie własne

Znając możliwości w produkcji energii z systemu fotowoltaicznego i pojemności baterii w autobusach elektrycznych, przeanalizowano możliwość wykorzystania OZE dla danego rozwiązania. Przyjęto ilość pełnych naładowań autobusu w skali produkcji całorocznej oraz roczną liczbę możliwych przejechanych kilometrów na energii elektrycznej pochodzącej z energii słonecznej (założono zużycie energii na poziomie 1,5 kWh/km dla autobusów MAXI oraz 2,0 kWh dla autobusów MEGA18). Wyniki przedstawiono w poniższej tabeli na podstawie, której można stwierdzić, że system fotowoltaiczny w formie wiaty może jedynie wspomóc ładowanie autobusów elektrycznych.

Tabela 17 Porównanie możliwości elektrycznych wiat

Autobus	Solaris Urbino 12 Electric	Solaris Urbino 18 Electric
Pojemność baterii	170 kWh	220 kWh
Ilość energii z PV/rok	8680 kWh	12940 kWh
Maksymalna ilość pełnych ładowań z energii słonecznej	51,1	58,8
Możliwy roczny dystans do pokonania na energii elektrycznej pochodzącej z energii słonecznej	5 786,7 km	6 470,0 km

Źródło: Opracowanie własne

6.10 ANALIZA FINANSOWO-EKONOMICZNA WIATY FOTOWOLTAICZNEJ

6.10.1 ANALIZA FINANSOWO-EKONOMICZNA

Wdrożenie koncepcji wiat fotowoltaicznych wiąże się z budową i montażem wiaty dostosowanej do umieszczenia modułów fotowoltaicznych, zakupem całej instalacji włącznie

z falownikiem i akumulatorem energii (założono 22 kWh). Nakład inwestycyjny w zależności od wielkości wiaty wynosi od 178,8 tys. zł do 216,8 tys. zł za sztukę.

Tabela 18 Wysokość nakładów inwestycyjnych na wdrożenie koncepcji wiat fotowoltaicznych w zł netto

Nakład inwestycyjny	Wiata PV12	Wiata PV18
Koszt wiaty z uwzględnieniem kosztem konstrukcji stalowej razem z zabezpieczeniem korozyjnym i montażem oraz wykonaniem fundamentów	84 834,00	115 658,00
Koszt modułów PV	14 455,68	21 683,52
Falownik	12 000,00	
Akumulator energii 22 kWh	63 000,00	
Koszt wykonania montażu instalacji PV	4500,00	
Łącznie	178 789,68	216 841,52

Źródło: Opracowanie własne

W analizie finansowo-ekonomicznej wzięto pod uwagę także koszty operacyjne. W celu obliczenia prognozowanych kosztów operacyjnych, jakie będą ponoszone w kolejnych latach okresu operacyjnego uwzględniono podstawowe koszty związane z utrzymaniem paneli fotowoltaicznych. Łączny koszt utrzymania wyniesie w zależności od zakresu utrzymania w danym roku oraz wielkości wiaty od 3 do 4,2 tys. zł.

Tabela 19 Wysokość kosztów utrzymania instalacji PV

Koszt utrzymania	Wiata PV12	Wiata PV18
Przegląd serwisowy instalacji	500 zł/ 2 lata	
Mycie paneli fotowoltaicznych	700 zł/rok	1000 zł/rok
Odśnieżanie instalacji PV	500 zł/rok	
Przegląd gwarancyjny	400 zł/3 lata	
Ubezpieczenie instalacji PV	1800 zł/ rok	

Źródło: Opracowanie własne

Obliczono także oszczędności z tytułu zmniejszonego zakupu energii elektrycznej przy cenie 0,5076 zł/kWh³ i zakładanej możliwym dystansie do pokonania na energii elektrycznej

³ Na podstawie cennika TAURON Dystrybucja i danych MPK Wrocław sp. z o.o.

pochozącej z energii słonecznej. Oszczędności wynikają z przeznaczenia 100% wygenerowanej energii na potrzeby własne.

Tabela 20 Oszczędności z tytułu zmniejszonego zakupu energii elektrycznej

Oszczędność energii	Wiata PV12	Wiata PV18
	4 406,49 zł/ rok	6 569,12 zł/ rok

Źródło: Opracowanie własne

Ostatnim krokiem przed obliczeniem efektywności finansowej i ekonomicznej wdrożenia koncepcji wiaty fotowoltaicznej było wyznaczenie wartości rezydualnej, która jest wartością nieumorzonych środków trwałych (po odliczeniu odpisów amortyzacyjnych) zakupionych w ramach wariantów inwestycyjnych w ostatnim roku analizy. W analizie przyjęto amortyzację liniową według założonych stawek 7% dla instalacji fotowoltaicznej oraz 4,5% dla konstrukcji wiaty.

Tabela 21. Wartość rezydualna

Pozycja	Wiata PV12	Wiata PV18
Wartość brutto środków trwałych	178 789,68 zł	216 841,52 zł
Umorzenie środków trwałych	95 214,85 zł	112 252,11 zł
Wartość rezydualna	83 574,83 zł	104 589,41 zł

Źródło: Opracowanie własne

Wynikiem analizy finansowej jest przedstawienie efektywności finansowej na podstawie przepływów finansowych związanych z nakładami inwestycyjnymi, odtworzeniowymi, wartością rezydualną oraz kosztami operacyjnymi. Do oceny wykorzystuje się wskaźniki FNPV oraz FRR, które zostały przedstawione w poniższej tabeli. Analizę efektywności finansowej przeprowadzono przy stopie dyskontowej wynoszącej 4%, okresie analizy 2022-2030 oraz cenach stałych netto, tj. bez uwzględnienia inflacji oraz z wyłączeniem podatku VAT z uwzględnieniem analizy rynkowej.

Tabela 22. Efektywność finansowa projektu wymiany taboru na autobusy zeroemisyjne

Wskaźnik	Wiata PV12	Wiata PV18
FNPV	-110 574,746 zł	-120 730,814 zł
FRR	-8,24%	-6,84%

Źródło: Opracowanie własne

Ujemna wartość wskaźnika FNPV w obu wariantach oznacza, że inwestycja w koncepcję pojedynczej wiaty fotowoltaicznej jest nieopłacalna pod względem finansowym. W przypadku wskaźnika FRR jego wartość nie przekroczyła założonej stopy dyskontowej, co oznacza brak opłacalności finansowej inwestycji. Warto podkreślić, że projekty z zakresu transportu

publicznego zwykle nie odnotowują dodatnich wyników FNPV oraz FRR. Ujemna wartość wskaźników wskazuje też, że aktualna wartość przyszłych dochodów nie pokrywa poniesionych kosztów na wdrożenie koncepcji.

6.10.2 ANALIZA SPOŁECZNO-EKONOMICZNA

Eksploatacja autobusów elektrycznych wykorzystujących odnawialne źródła energii powoduje zmniejszenie emisji szkodliwych substancji do atmosfery, powstającej w wyniku produkcji energii elektrycznej w elektrowniach wykorzystujących paliwa konwencjonalne. Zmniejszoną roczną emisję szkodliwych substancji w wyniku wdrożenia koncepcji wiaty fotowoltaicznej przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 23. Zmniejszona emisja szkodliwych substancji w tonach w ciągu 1 roku

Pozycja	Wiąta PV12	Wiąta PV18
CO ₂	6,24096	9,30386
HC	0,00004	0,00006
NO _x	0,00500	0,00667
PM	0,00025	0,00034
SO ₂	0,00444	0,00591

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 24 Korzyści ze zmniejszonej emisji w całym okresie analizy

Pozycja	Wiąta PV12	Wiąta PV18
Korzyści ekonomiczne	22 142,08 zł	31 280,69 zł

Po skwantyfikowaniu korzyści społecznych przeprowadzono analizę efektywności ekonomicznej. W odróżnieniu od analizy finansowej koszty i korzyści są dyskontowane społeczną stopą procentową na poziomie 4,5%⁴. Dodatkowo w analizie ekonomicznej stosuje się współczynniki konwersji do przepływów finansowych. Współczynniki konwersji zostały przedstawione w poniższej tabeli.

Tabela 25. Współczynniki konwersji przepływów finansowych w analizie społeczno-ekonomicznej

⁴ Centrum Unijnych Projektów Transportowych, Analiza kosztów i korzyści projektów transportowych współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej, [w:] „Vademecum Beneficjenta”, 2016.

Pozycja finansowa	Współczynnik konwersji i obszar
Nakłady inwestycyjne i odtworzeniowe, wartość rezydualna	0,83 – infrastruktura
Koszty operacyjne	0,78 – infrastruktura

Źródło: Niebieska Księga. Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach, Jaspers, 2015

Ostatecznym wynikiem analizy kosztów i korzyści jest sprawdzenie efektywności ekonomicznej projektu inwestycyjnego na podstawie skorygowanych przepływów finansowych oraz wycenionej emisji szkodliwych substancji do atmosfery oraz hałasu. Do oceny wykorzystuje się wskaźniki ENPV, ERR, które zostały przedstawione w poniższej tabeli.

Tabela 26. Efektywność finansowa projektu wymiany taboru na autobusy zeroemisyjne

Wskaźnik	Wiąta PV12	Wiąta PV18
ENPV	-50 293,76 zł	-43 673,24 zł
ERR	-9,72%	-8,11%

Źródło: Opracowanie własne

Ujemna wartość wskaźnika ENPV oznacza, że inwestycja jest nieopłacalna pod względem ekonomicznym. W przypadku wskaźnika ERR jego wartość nie przekroczyła założonej społecznej stopy dyskontowej na poziomie 4,5%, co oznacza brak opłacalności ekonomicznej inwestycji. Negatywny wynik analizy wynika w dużym stopniu z konieczności poniesienia wysokich nakładów inwestycyjnych na posadowienie wiaty fotowoltaicznej. Zwiększenie efektywności finansowej można uzyskać w wyniku montażu modułów fotowoltaicznych na istniejących budynkach, a także poprzez zwiększenie skali przedsięwzięcia – powodując zmniejszenie kosztów wykonania robót budowlanych, kosztów niezbędnych prac utrzymaniowych oraz serwisowych. Warto zaznaczyć, że analiza obejmuje jedynie 8 lat eksploatacji a przewidywana trwałość modułów fotowoltaicznych wynosi 25 lat. Oznacza to, że rosnące z czasem koszty jednostkowe emisji powinny spowodować rentowność ekonomiczną inwestycji w dłuższym okresie. Warto także podkreślić, że transformacji energetycznej nie da się przeprowadzić bez poniesienia dodatkowych nakładów inwestycyjnych a rosnące ceny energii powinny przyczynić się do zwiększenia rentowności we własne źródła energii dla lokalnych potrzeb.

7 Analiza budowy farm fotowoltaicznych

7.1 DANE METEOROLOGICZNE DLA AGLOMERACJI WROCŁAWSKIEJ

7.1.1 DANE ŹRÓDŁOWE

Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne, niezbędne do wykonania szczegółowej analizy energetycznej, zostały opracowane na podstawie zbiorów danych z bazy Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Zawierają one dane źródłowe z okresu trzydziestu lat (1971-2000) dla wybranych stacji meteorologicznych na terenie Polski dla których zarchiwizowano ciąg danych o rozdzielczości trzygodzinnej z okresu co najmniej dziesięciu lat. W przypadku Wrocławia jest to trzydzieści pełnych lat.

Wspomniane dane źródłowe, na podstawie których opracowano: typowe lata meteorologiczne, parametry statystyczne, a także zagregowane dane klimatyczne, ujmują w swym zapisie zmierzone lub zaobserwowane parametry meteorologiczne takie jak:

- kod stacji,
- rok,
- miesiąc,
- dzień,
- godzina,
- zachmurzenie ogólne,
- zachmurzenie w czterech warstwach chmur,
- kierunek wiatru,
- prędkość wiatru,
- opad za sześć godzin,
- temperatura termometru suchego,
- wilgotność względna powietrza,
- ciśnienie barometryczne,
- parametr pogody bieżącej,
- parametr pogody ubiegłej,
- wartości promieniowania całkowitego na powierzchnię poziomą.

7.1.2 TYPOWY ROK METEOROLOGICZNY

Typowy rok meteorologiczny dla miasta Wrocławia został wyznaczony przy pomocy programów TMY.EXE oraz MIP.EXE autorstwa dra inż. Piotra Narowskiego zgodnie ze standardem ISO. Plik tekstowy z danymi meteorologicznymi⁵ zawiera:

- typ danych meteorologicznych,
- kod stacji WMO,
- nazwę miejscowości,
- szerokość geograficzna północna,
- długość geograficzna wschodnia,
- wysokość na poziomie morza,
- strefę czasową od zera na wschód,
- liczbę dni danych meteorologicznych po dwadzieścia cztery rekordy,
- numer wersji pliku danych meteorologicznych.

Następnie w każdym rekordzie można wyróżnić:

- numer godziny roku (N),
- miesiąc (M),
- dzień (D),
- godzina UTC (H),
- temperaturę termometru suchego (DBT),
- wilgotność względna (RH),
- zawartość wilgoci (HR),
- prędkość wiatru (WS),
- kierunek wiatru w trzydziestu sześciu sektorach (WD),
- całkowite natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą (ITH),
- bezpośrednie natężenie promieniowania na powierzchnię poziomą (IDH),
- rozproszone natężenie promieniowania na powierzchnię poziomą (ISH),
- temperaturę promieniowania niebosłonu (TSKY),
- całkowite natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą (kierunek N pochylenie 0°) (N_0),
- całkowite natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię o orientacji N, NE, E, SE, S, SW, W, NW oraz nachyleniu do poziomu 30°, 45°, 60°, 90° (N_30, NE_30, ...).

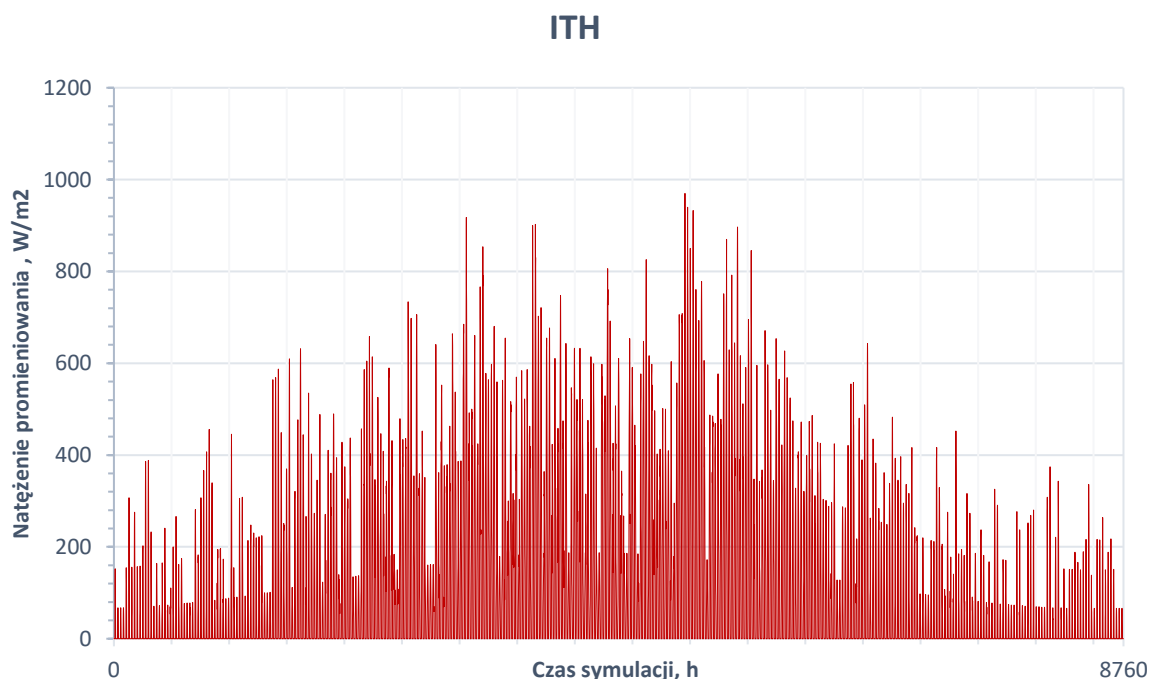
⁵ <https://www.gov.pl/documents/33377/436740/wmo124240iso.txt>

Do odczytania kierunku wiatru należy posługiwać się kluczem kierunku wiatru (wartość klucza: kierunek wiatru w stopniach):

- 0 : cisza,
- 1 : 5°-15°,
- 2 : 15°-25°,
- 3 : 25°-35°,
- 4 : 35°-45°,
- ... : ...,
- 35 : 345°-355°,
- 36 : 355°-5°,
- 99 : zmienny.

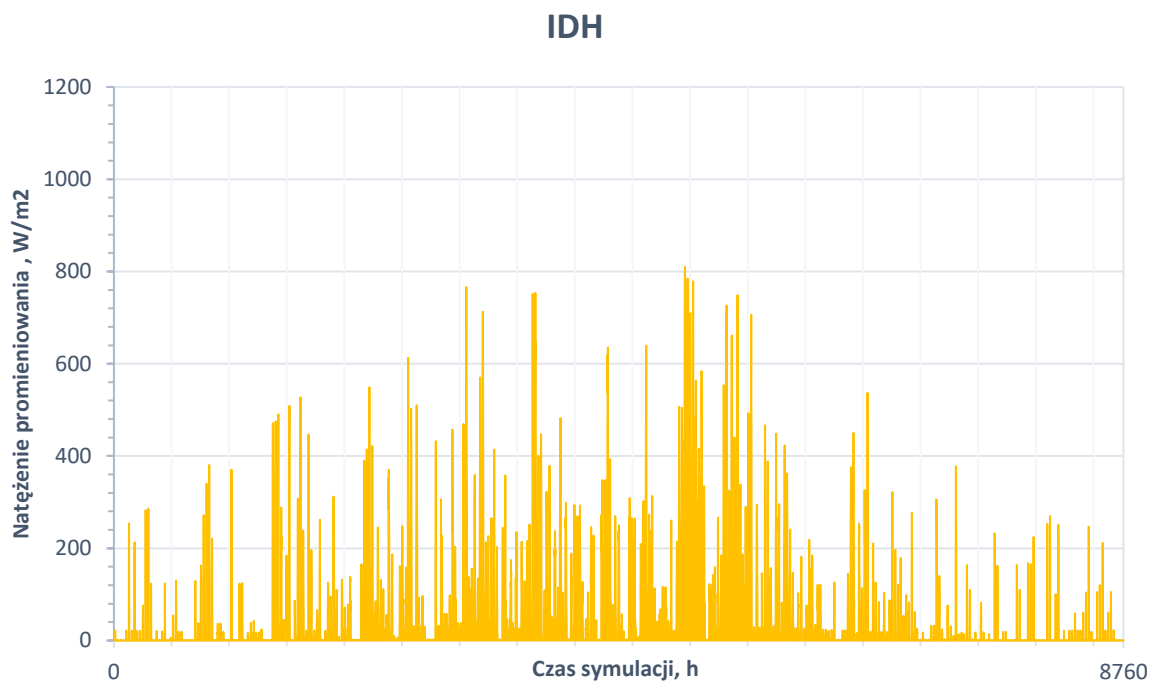
Na podstawie danych dotyczących typowego roku meteorologicznego dla miasta Wrocław sporządzono charakterystyki natężenia promieniowania słonecznego: całkowitego (rysunek poniżej), bezpośredniego (rysunek poniżej) i rozproszonego (rysunek poniżej) na powierzchnię horyzontalną, aby rozpoznać potencjał solarny rozpatrywanej lokalizacji.

Wykres 12 Całkowite natężenie promieniowania na powierzchnię poziomą (ITH)



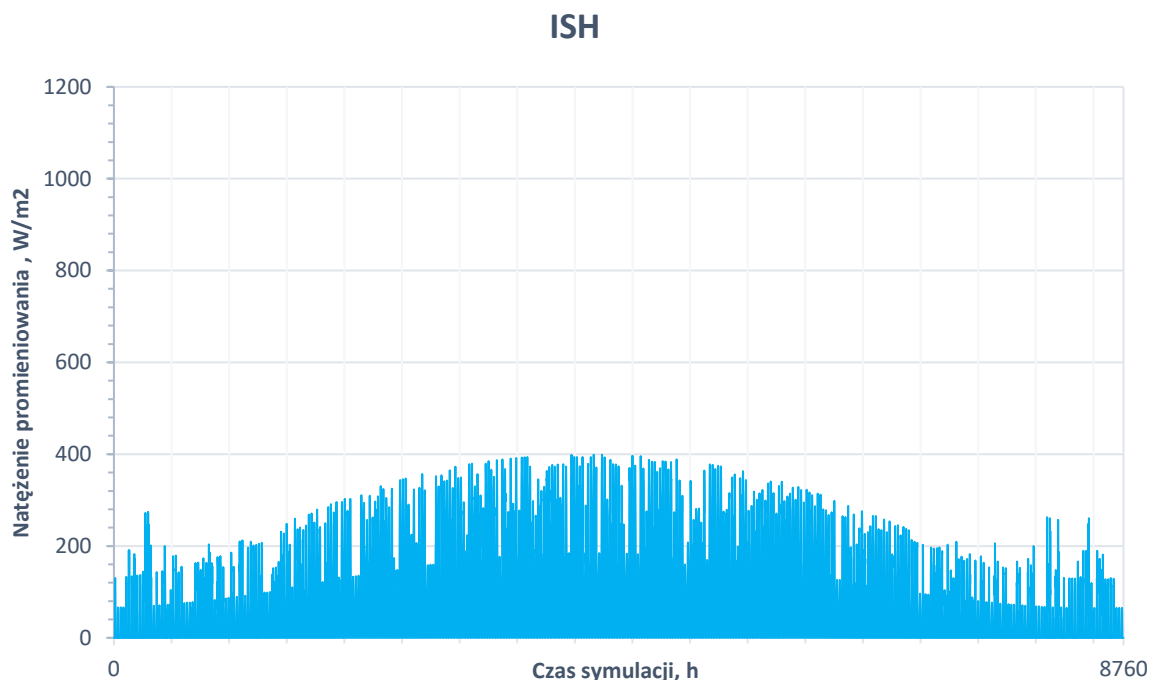
Źródło: Opracowanie własne

Wykres 13 Bezpośrednie natężenie promieniowania na powierzchnię poziomą (IDH)



Źródło: Opracowanie własne

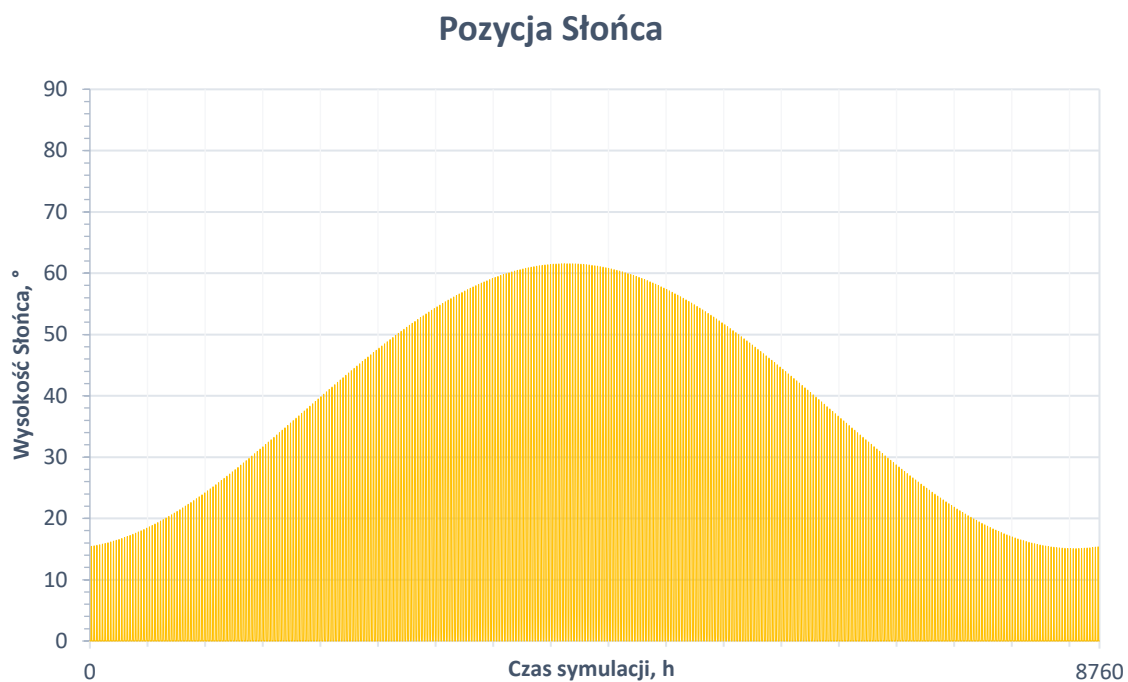
Wykres 14 Rozproszone natężenie promieniowania na powierzchnię poziomą (ISH)



Źródło: Opracowanie własne

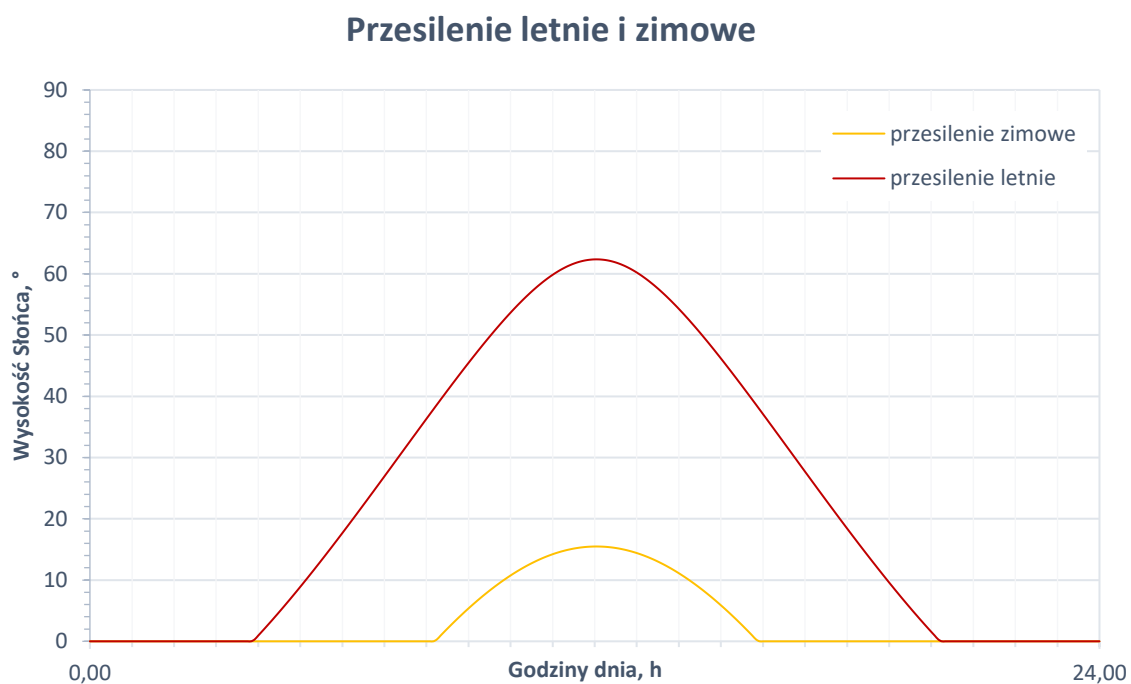
Na rysunkach poniżej zaprezentowano wykresy pozycji słońca: roczny, w czasie przesilenia letniego oraz przesilenia zimowego. Dopełniając obrazu warunków pogodowych panujących we Wrocławiu w ciągu roku zilustrowano również chwilową temperaturę otoczenia oraz wilgotność względną powietrza.

Wykres 15 Wykres pozycji słońca w ciągu roku



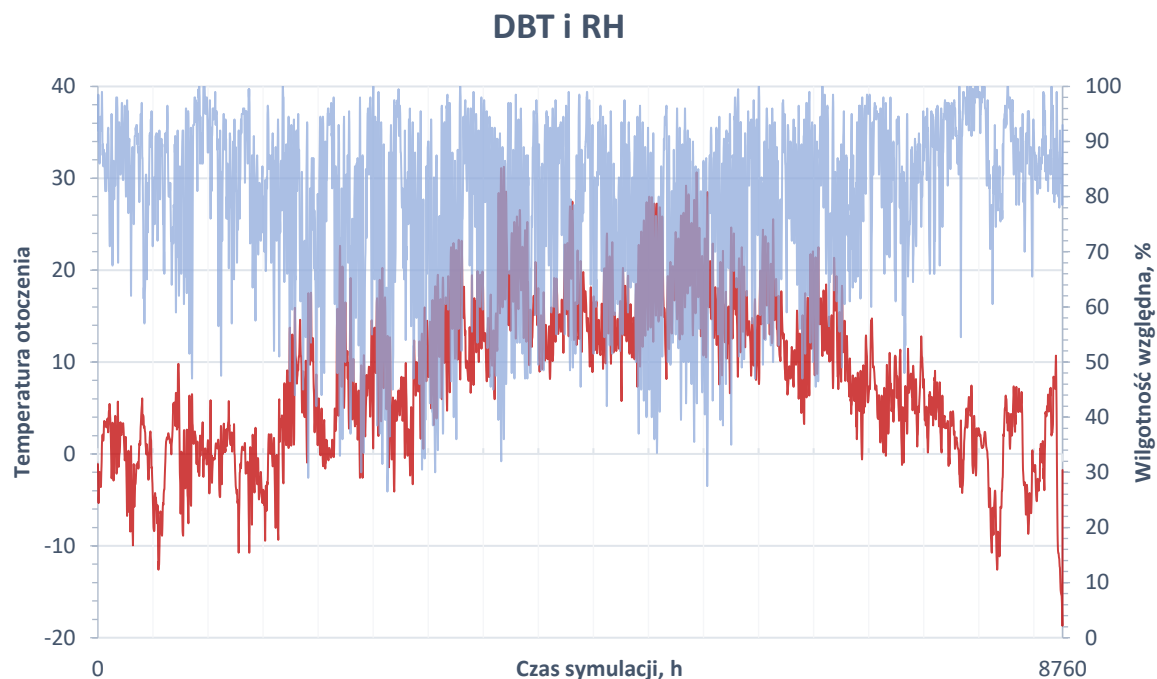
Źródło: Opracowanie własne

Wykres 16 Wykres pozycji słońca w czasie przesilenia letniego oraz przesilenia zimowego



Źródło: Opracowanie własne

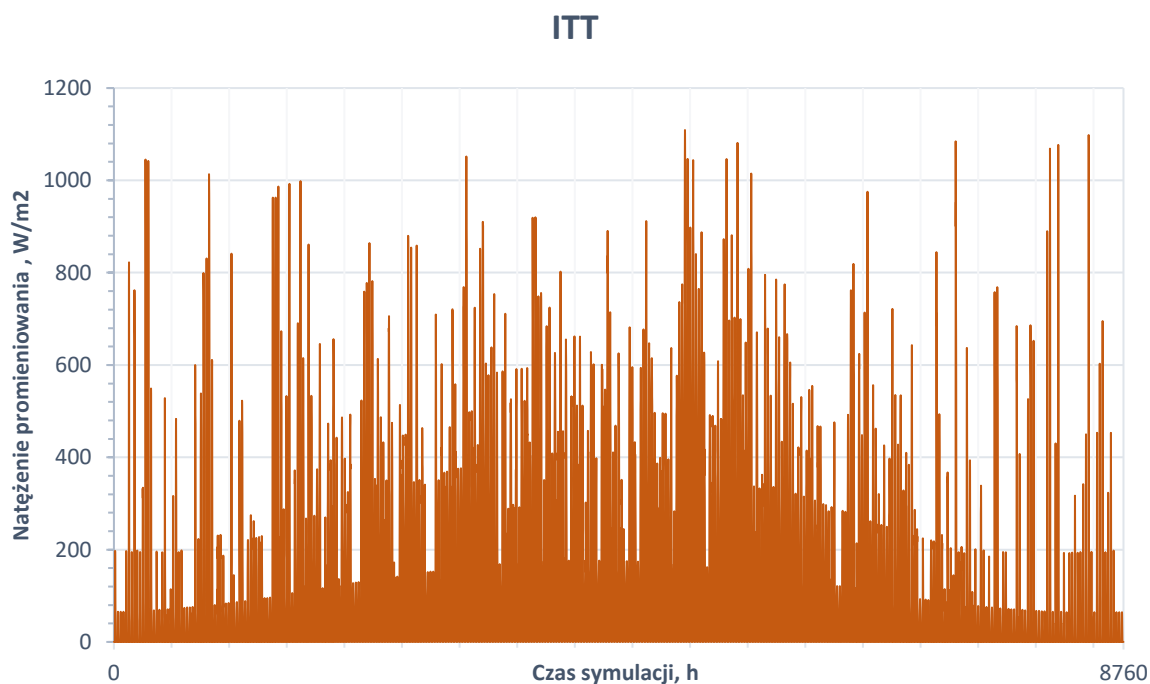
Wykres 17 Chwilowa temperatura otoczenia i wilgotność względna powietrza



Źródło: Opracowanie własne

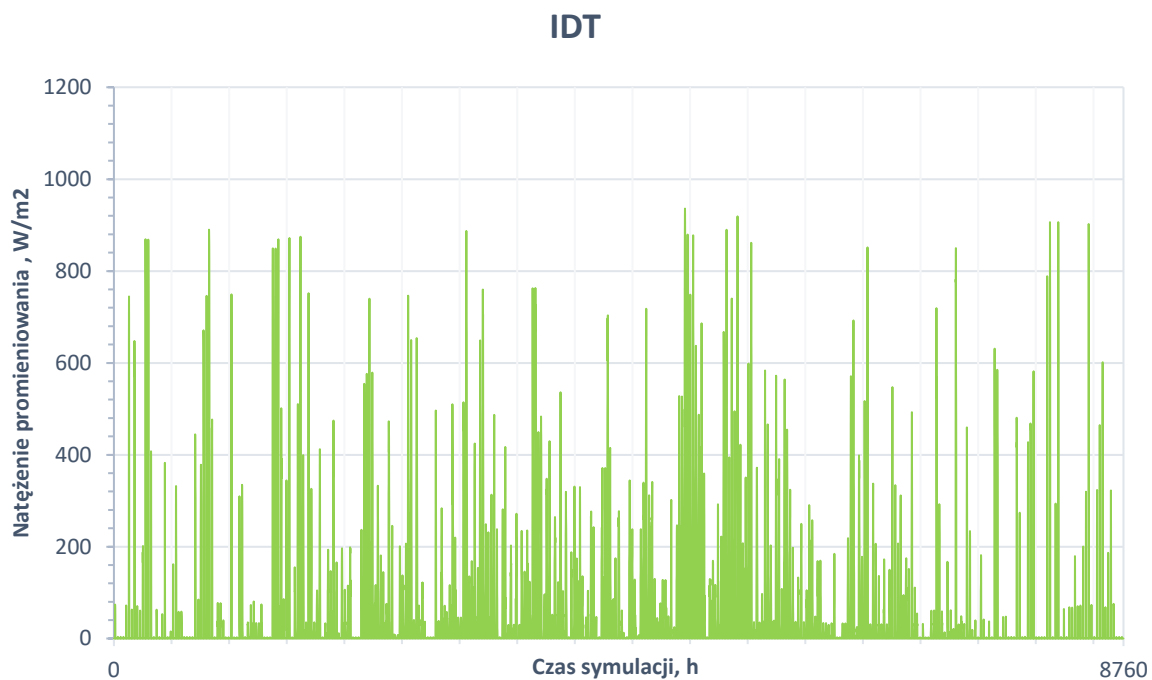
Wstępna analiza numeryczna natężenia promieniowania słonecznego: całkowitego, bezpośredniego i rozproszonego (rysunki poniżej), na powierzchni paneli fotowoltaicznych nachylonych pod kątem 33° w celu zmaksymalizowania zysków energii elektrycznej w ciągu roku.

Wykres 18 Całkowite natężenie promieniowania na powierzchnię nachyloną (ITT)



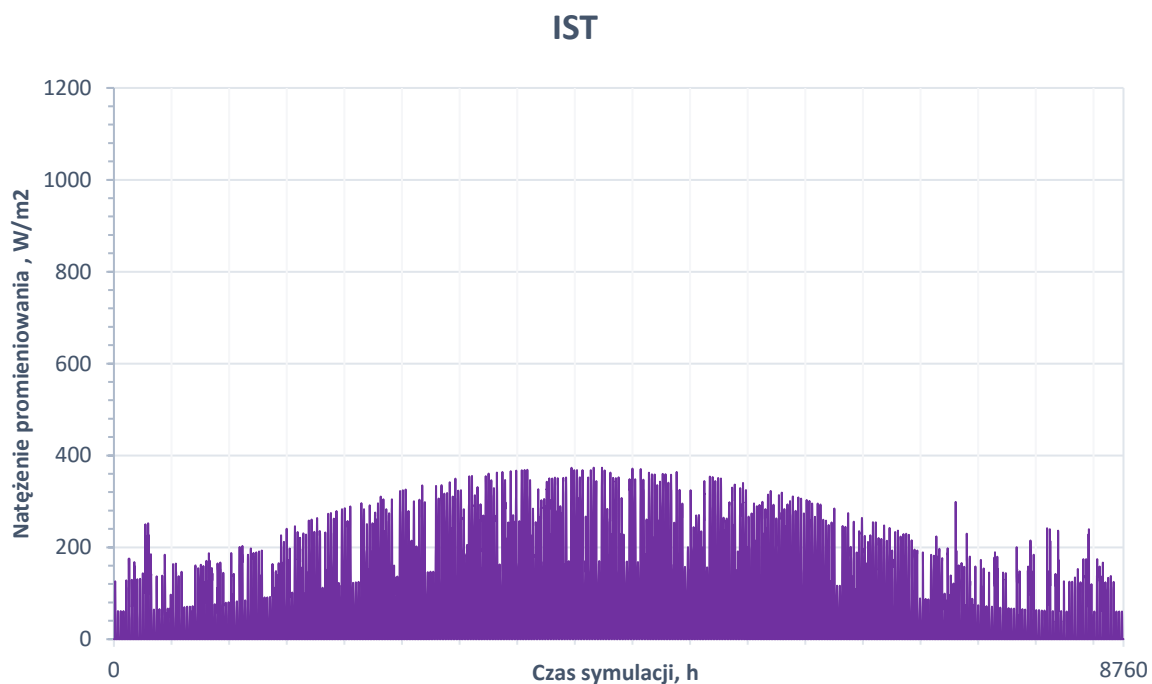
Źródło: Opracowanie własne

Wykres 19 Bezpośrednie natężenie promieniowania na powierzchnię nachyloną (IDT)



Źródło: Opracowanie własne

Wykres 20 Rozproszone natężenie promieniowania na powierzchnię poziomą (IST)



Źródło: Opracowanie własne

7.1.3 STATYSTYCZNE DANE KLIMATYCZNE

Statystyczne dane klimatyczne obejmują dane miesięczne dla Wrocławia, obliczone podczas wyznaczania typowego roku meteorologicznego. Plik statystyk miesięcznych⁶ uwzględnia: typ danych meteorologicznych

- kod stacji WMO
- nazwę miejscowości
- numer wersji pliku danych meteorologicznych
- W kolejnych rekordach można odczytać:
- miesiąc (M),
- średnią miesięczną temperaturę termometru suchego (MDBT),
- minimalną miesięczną temperaturę termometru suchego (MINDBT),
- maksymalną miesięczną temperaturę termometru suchego (MAXDBT),
- średnią miesięczną temperaturę niebosłonu (MTSKY),
- sumę całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą (ITH),
- sumę bezpośredniego natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą (IDH),
- sumę rozproszonego natężenia promieniowania słonecznego (ISH),
- sumę całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą (kierunek N pochylenie 0°) (I_N_0),
- sumę całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię o orientacji N, NE, E, SE, S, SW, W, NW oraz nachyleniu do poziomu 30°, 45°, 60°, 90° (N_N_30, I_NE_30, ...)

W rozpatrywanym opracowaniu - statystyczne dane klimatyczne dla miasta Wrocław - można również odnaleźć informacje odnośnie:

- średniej rocznej temperatury termometru suchego,
- minimalnej średniej miesięcznej temperatury termometru suchego,
- maksymalnej średniej miesięcznej temperatury termometru suchego,
- rocznej amplitudy średniej miesięcznej temperatury termometru suchego.

Tabela poniżej podaje w usystematyzowany sposób statystyczne dane klimatyczne dla aglomeracji wrocławskiej.

⁶ https://www.gov.pl/documents/33377/436740/wmo124350iso_stat.txt

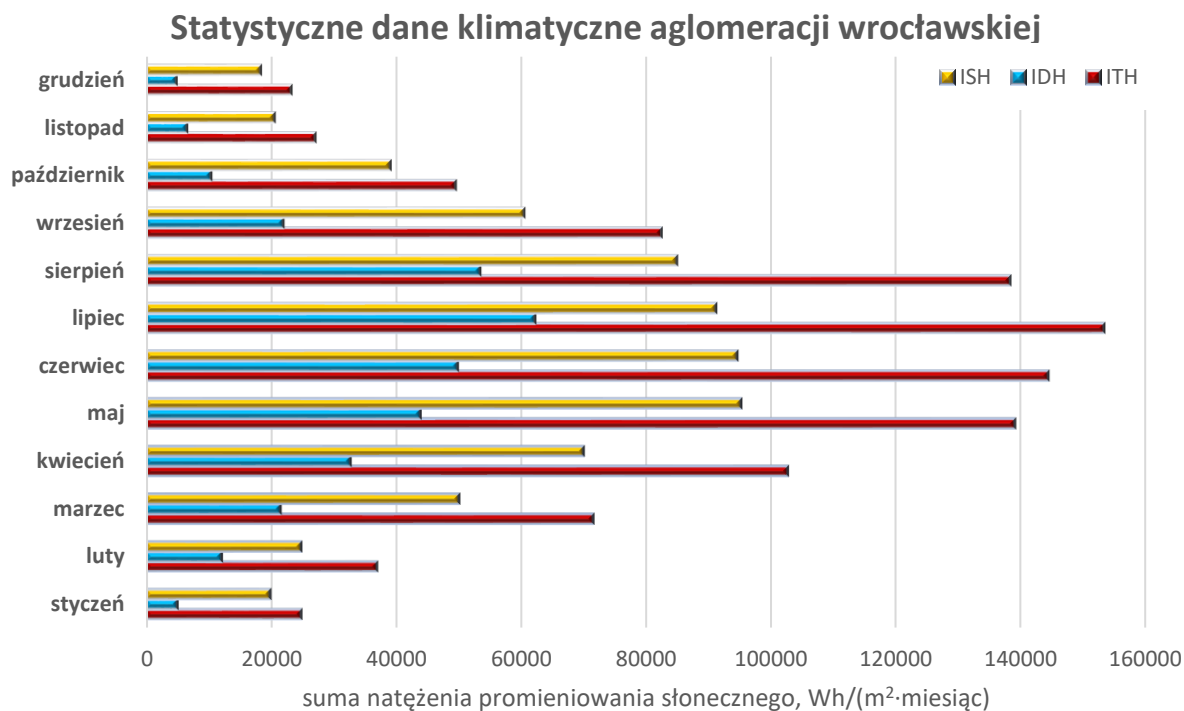
Tabela 27 Statystyczne dane klimatyczne aglomeracji wrocławskiej

Miesiąc	MDBT	MINDBT	MAXDBT	MTSKY	ITH	IDH	ISH
	°C	°C	°C	°C	Wh/(m ² miesiąc)	Wh/(m ² miesiąc)	Wh/(m ² miesiąc)
styczeń	-0.4	-12.8	9.8	-9.8	24812	4987	19825
luty	-0.7	-11.2	6.5	-10.6	36895	12074	24820
marzec	2.8	-10.1	17.7	-6.9	71510	21460	50049
kwiecień	7.3	-4.2	22.8	-2.4	102623	32666	69956
maj	12.7	0.2	24	4.4	139016	43853	95163
czerwiec	17.3	8.1	31.3	10.6	144339	49808	94531
lipiec	16	5.4	28.2	7.9	153278	62151	91127
sierpień	17.8	6	30.9	9.6	138258	53396	84862
wrzesień	13.4	3.2	25.7	5.4	82402	21919	60482
październik	8.9	-0.7	21.4	0.6	49474	10400	39073
listopad	3.8	-4.4	13	-4.8	27052	6524	20527
grudzień	-1.1	-18.8	10.9	-10.5	23203	4856	18346

Źródło: Opracowanie własne

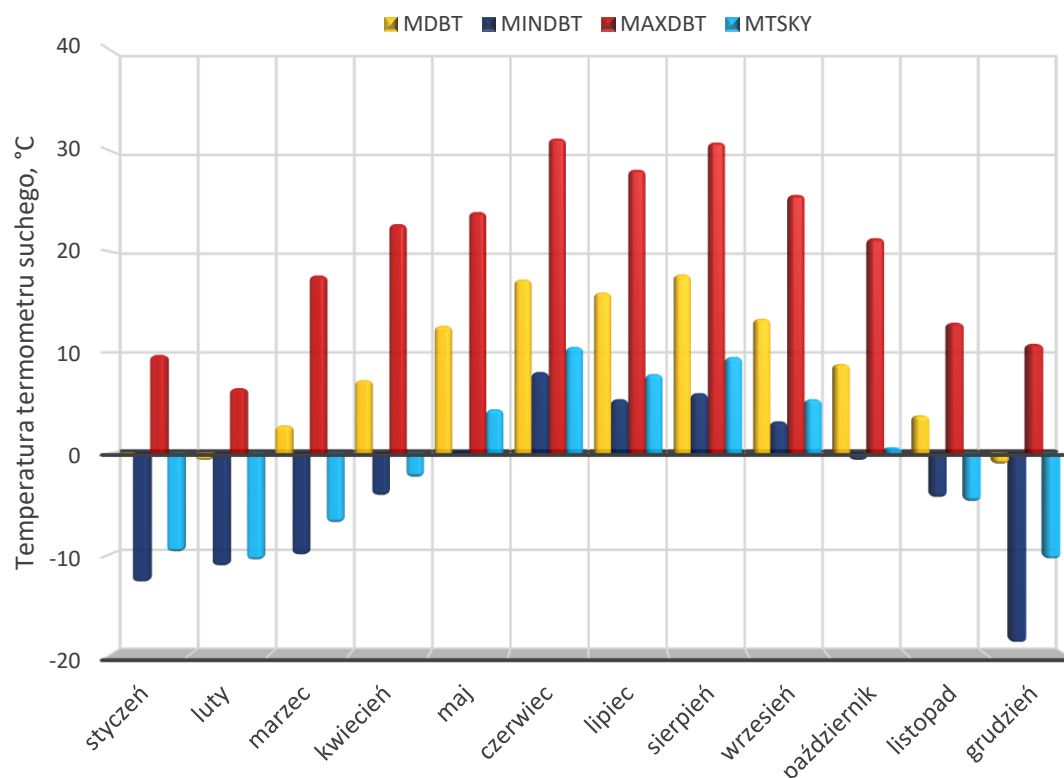
Wzorując się na danych zamieszczonych w tabeli, zaprezentowano w postaci graficznej sumy natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię horyzontalną. W następnej kolejności zestawiono temperatury termometru suchego: średnią, minimalną i maksymalną oraz temperaturę niebosłonu (rysunki poniżej).

Wykres 21 Sumy natężenia promieniowania słonecznego: całkowitego (ITH), bezpośredniego (IDH) i rozproszonego (ISH) na powierzchnię horyzontalną dla poszczególnych miesięcy



Źródło: Opracowanie własne

Wykres 22 Temperatury termometru suchego: średnia (MDBT), minimalna (MINDBT) i maksymalna (MAXDBT) oraz temperatura nieboskłonu (MTSKY)



Źródło: Opracowanie własne

Średnia roczna temperatura termometru suchego: 8.1°C

Minimalna średnia miesięczna temperatura termometru suchego: -1.1°C

Maksymalna średnia miesięczna temperatura termometru suchego: 17.8°C

Roczna amplituda średniej miesięcznej temperatury termometru suchego: 9.4°C

7.2 ANALIZA NASŁONECZNIEŃ PANELI FOTOWOLTAICZNYCH

Do wyznaczenia zmienności nasłonecznienia trafiającego na dowolną powierzchnię płaską (w zależności od jej usytuowania względem kierunku południowego oraz kąta pochylenia względem ziemi), wykorzystano bazę danych atmosferycznych PVGIS. Sposób wyznaczania nasłonecznienia dla powierzchni dowolnie usytuowanej w przestrzeni opisano m.in. w publikacji Cholewiński M., Fąfara J.-M., *Numerical assessment of energy generation from photovoltaic cells using the CM-SAF PVGIS database*, "Archives of Electrical Engineering" 2021, Vol. 71, No. 1. W obliczeniach pominięto obecność promieniowania odbitego (zależnego m.in. od okolicznej infrastruktury) oraz możliwość cieniowania ogniw fotowoltaicznych.

Znając wartość strumienia docierającego do powierzchni panelu, wartość mocy chwilowej E_{PV} oszacowano ze wzoru:

$$E_{PV} = H_t \frac{A_{PV}}{P_{PV(STC)}} Z_T Z_{AR} V_L V_a V_u = H_t a_p a_e Z V$$

gdzie:

H_t – nasłonecznienie padające na zadaną powierzchnię,

A_{PV} – pole powierzchni zajmowanej przez ogniwa fotowoltaiczne (nie jest to powierzchnia czołowa paneli),

$P_{PV(STC)}$ – deklarowana moc paneli w kWp (odniesiona do warunków STC),

Z_T – temperaturowy współczynnik spadku/wzrostu mocy,

Z_{AR} – współczynnik uwzględniający straty związane z odbiciem promieniowania,

V_L – współczynnik strat mocy podczas przesyłu energii elektrycznej,

V_a – współczynnik strat mocy ze względu na tzw. niedopasowanie strat (ang. *mismatching losses*)

V_u – współczynnik strat mocy podczas jej magazynowania (w akumulatorach)

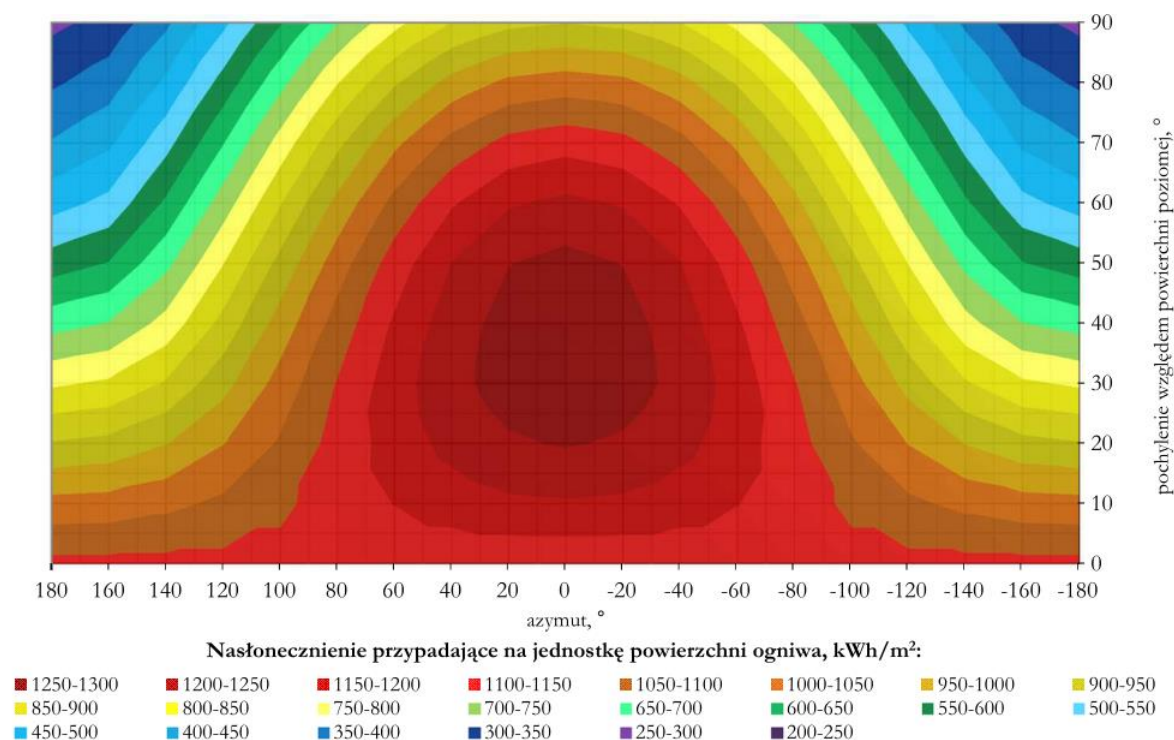
a_P – współczynnik reprezentujący stosunek pola powierzchni ogniw PV (nie samych paneli lub też zajmowanej powierzchni) i mocy deklarowanej w kWp w zadanych warunkach (najczęściej w zakresie od 5 do 15 m²/kWp)

a_e – współczynnik ujmujący pole powierzchni ogniw PV do pola powierzchni czołowej całego panelu bądź konstrukcji, na której umieszczono ogniwa,

Z – współczynnik mocy wynikający z temperatury ogniw i zjawiska odbicia promieniowania od powierzchni panelu,

V – współczynnik strat związanych z przesyłem i magazynowaniem.

Wykres 23 Nasłonecznienie roczne przypadające na jednostkę powierzchni ogniw PV we Wrocławiu w funkcji azymutu oraz pochylenia powierzchni względem powierzchni poziomej

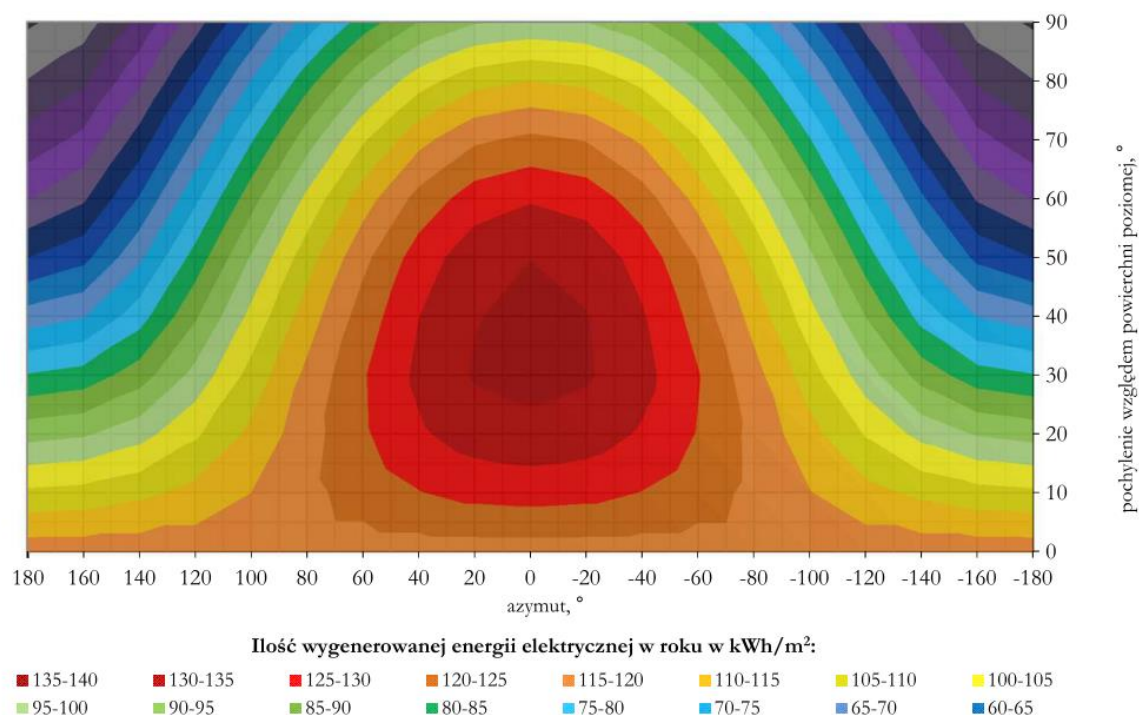


Źródło: Opracowanie własne

Do analiz przyjęto południową część Wrocławia, Bielany Wrocławskie, wykorzystując pomiary satelitów meteorologicznych MFG i MSG z pierwszych dwóch dekad XXI wieku. W szacunkach założono stałe straty przesyłowe i magazynowe równe 14% ($V = 0,86$) oraz średnie straty związane z czynnikiem temperatury i odbicia równe, kolejno, 7,9% i 3,0%. Analizom podlegały panele krzemowe z krzemu monokrystalicznego (c-Si, ang. *Crystalline silicon*). Wyniki dotyczące nasłonecznienia – dla miasta Wrocławia – zaprezentowano na rysunku powyżej.

Zakładając, że współczynnik a_p wynosi $7,2 \text{ m}^2/\text{kWp}$, ustalić można uzysk energii z każdego m^2 ogniw PV. Wyniki przedstawiono na poniżej.

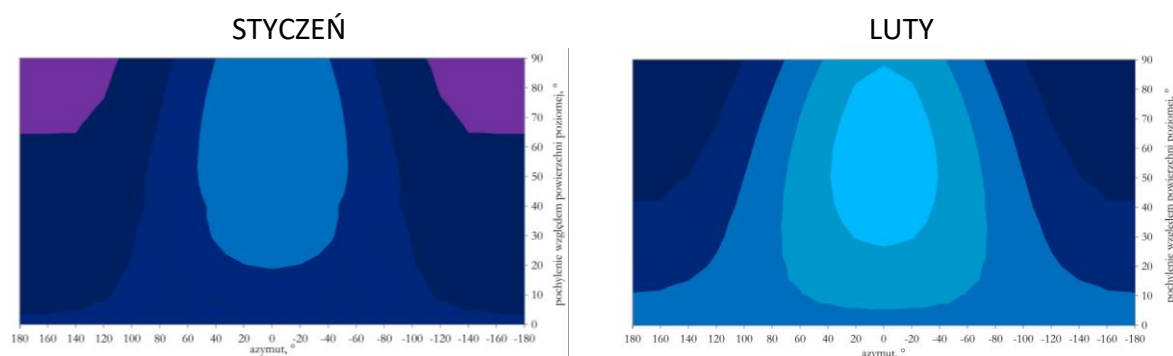
Wykres 24 Roczna generacja energii z jednostki powierzchni ogniwa PV we Wrocławiu w funkcji azymutu oraz pochylenia powierzchni względem powierzchni poziomej – dla przypadku $\alpha_p = 7,2 \text{ m}^2/\text{kWp}$



Źródło: Opracowanie własne

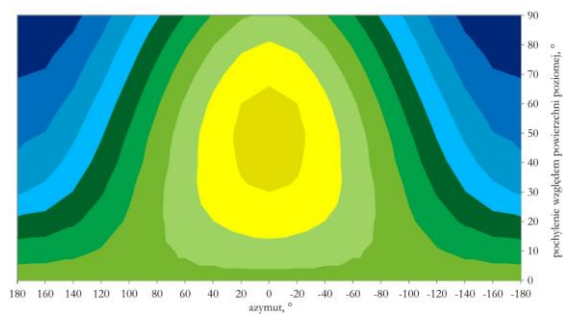
W celu określenia zmienności nasłonecznienia padającego na powierzchnię panelu w skali roku, w rozbiciu na poszczególne miesiące, przygotowano rysunki poniżej. Wynika z nich wyraźna zmienność podaży ze strony instalacji PV, zmuszająca do inwestycji w infrastrukturę magazynową (akumulatory, magazyny wodoru lub sprężonego powietrza) bądź też zasilania sieci ze źródeł zewnętrznych w celu utrzymania jednakowego lub zbliżonego wykorzystania zielonej energii w miesiącach zimowych. Podane na rysunku poniżej wartości nie uwzględniają bowiem faktu potrzeby przenoszenia części obciążenia pomiędzy poszczególne miesiące, co jest pokłosiem wspomnianej zmienności warunków nasłonecznienia.

Wykres 25 Nasłonecznienie miesięczne padające na jednostkową powierzchnię ogniwa PV we Wrocławiu w funkcji azymutu oraz pochylenia powierzchni względem powierzchni poziomej

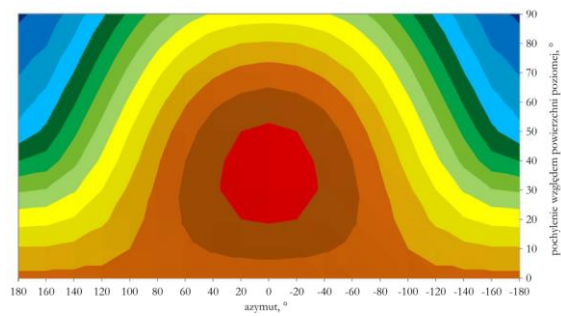


ANALIZA MOŻLIWOŚCI POWIĄZANIA ZASILANIA MIEJSKIEGO TRANSPORTU ZBIOROWEGO
ZE ŹRÓDEŁ ZIELONEJ ENERGII - OZE

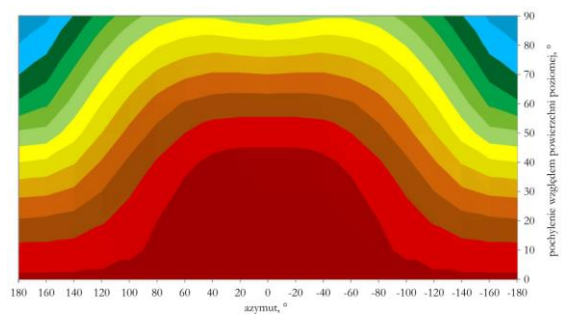
MARZEC



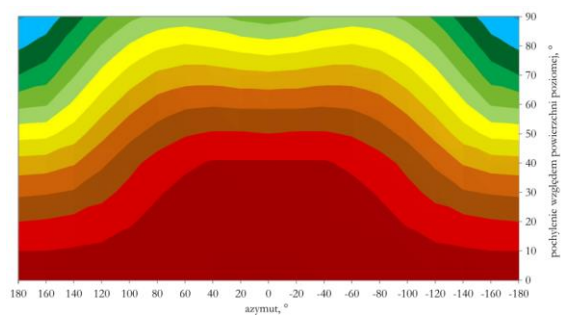
KWIECIEŃ



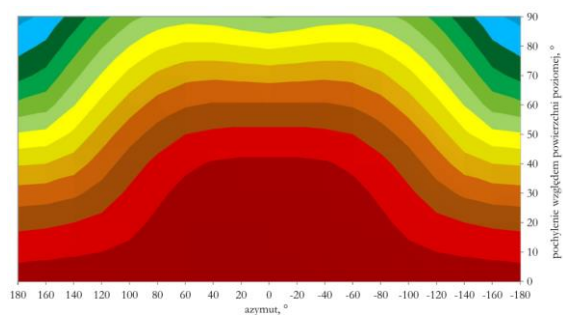
MAJ



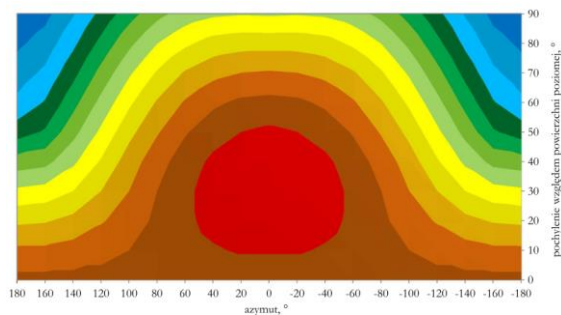
CZERWIEC



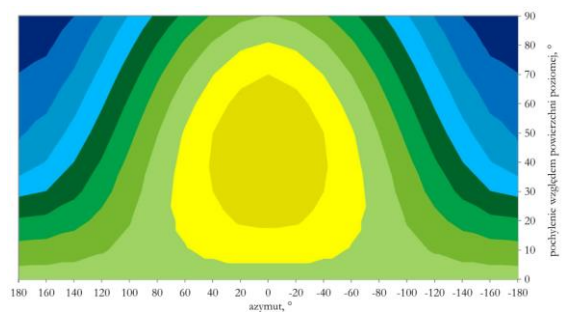
LIPIEC



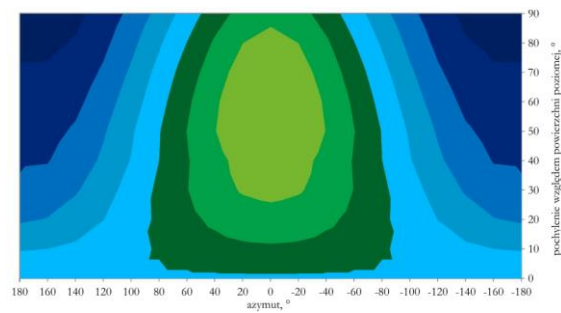
SIERPIEŃ

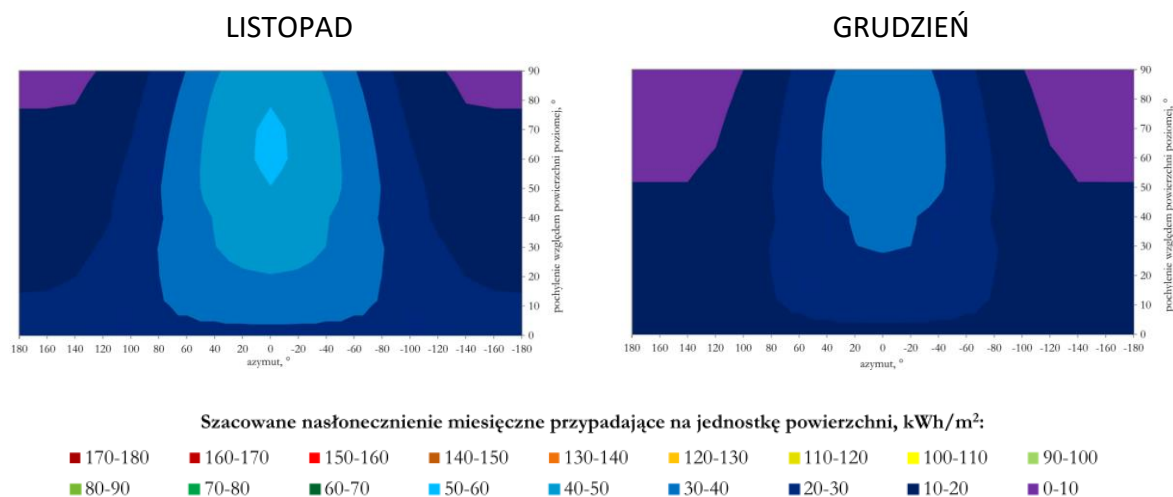


WRZESIEŃ



PAŹDZIERNIK

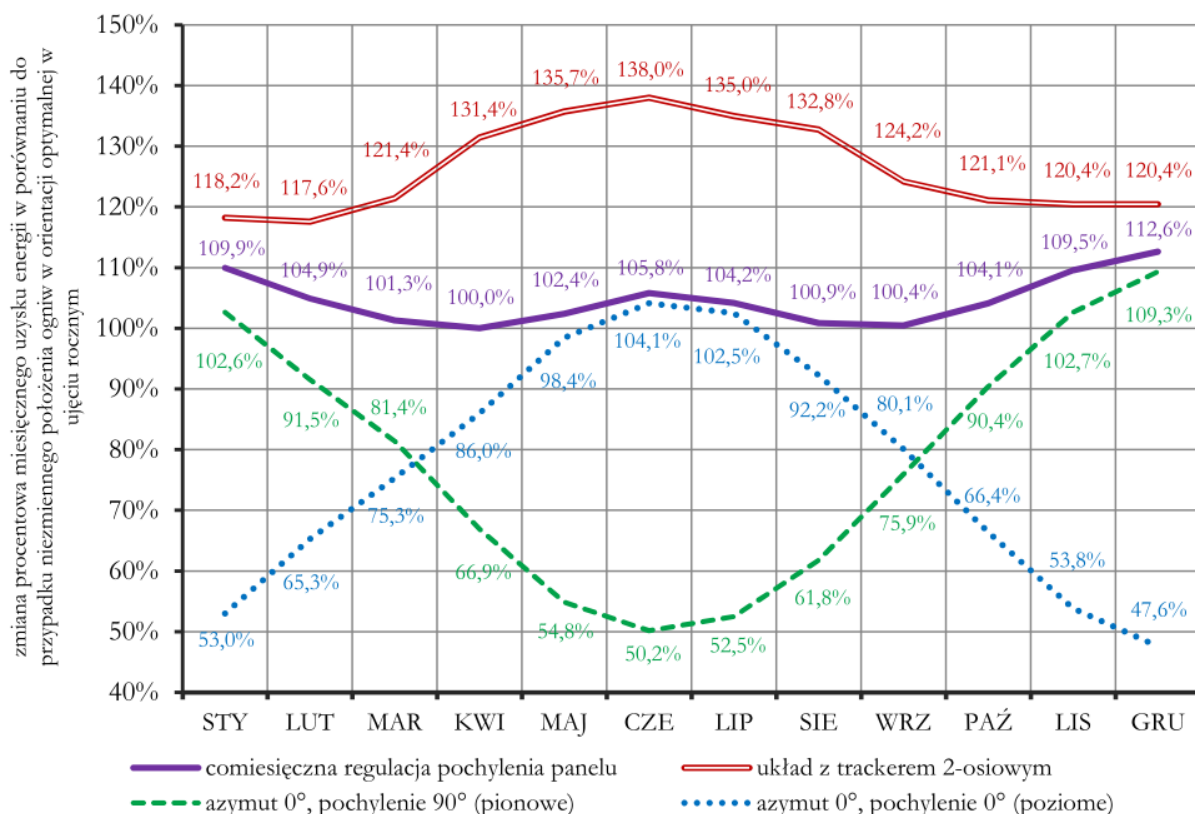




Źródło: Opracowanie własne

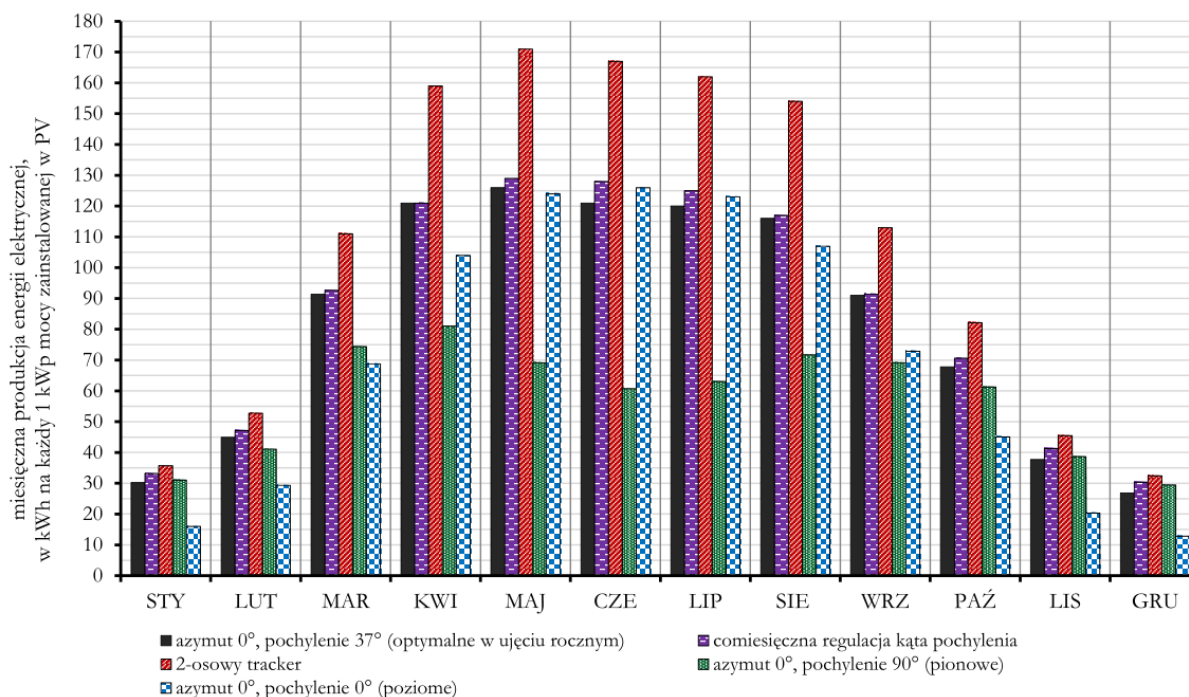
Podczas analiz koncepcyjnych zweryfikowano także celowość ingerencji w położenie paneli fotowoltaicznych w kolejnych dniach roku. Na rysunku poniżej przedstawiono procentową zmianę miesięcznej produkcji z danej instalacji w momencie przejścia z montażu ogniw w stałym, optymalnym – w ujęciu rocznej podaży na energię elektryczną – położeniu na jedną z 4 opcji: comiesięcznej, ręcznej regulacji pochylenia paneli (z wykorzystaniem wartości optymalnej w ujęciu miesięcznej produkcji), wykorzystania automatycznych trackerów 2-osiowych, przejścia na położenie pionowe (np. na ścianie budynku) oraz przejścia na położenie poziome (na płaskim dachu) – bez zmiany azymutu w przypadku pierwszej i trzeciej opcji. Jak wykazano, wykorzystane systemów związanych z korektą położenie przynosi zyski energetyczne – w szczególności widoczne w przypadku trackerów 2-osiowych, gdzie spodziewać się można nawet 30-40% wzrostu produkcji energii elektrycznej. Zastosowanie z kolei położenia pionowego skutkuje wyraźnym spadkiem produkcji energii w miesiącach letnich (nawet do 40-50%), jednak kosztem wyrównania rocznej krzywej produkcji (w kWh na każdy 1 kWp mocy zainstalowanej, tj. 7,2 m² powierzchni czynnej ogniw PV).

Wykres 26 Zmiana procentowa miesięcznego uzysku energii w porównaniu do przypadku niezmiennego położenia ogniw w orientacji optymalnej w ujęciu rocznym



Źródło: Opracowanie własne

Wykres 27 Uzysk energetyczny w kolejnych miesiącach, w kWh na 1 kWp mocy zainstalowanej, dla 5 analizowanych przypadków



Źródło: Opracowanie własne

Tabela 28 Kąty optymalne pochylenia panelu względem powierzchni poziomej w ujęciu miesięcznym

miesiąc	STY	LUT	MAR	KWI	MAJ	CZE	LIP	SIE	WRZ	PAŹ	LIS	GRU
kąt opt.	65	57	48	36	22	15	18	31	44	56	64	68

Źródło: Opracowanie własne

7.3 ANALIZA POWIĄZANIA FARM FOTOWOLTAICZNYCH Z INFRASTRUKTURĄ MPK

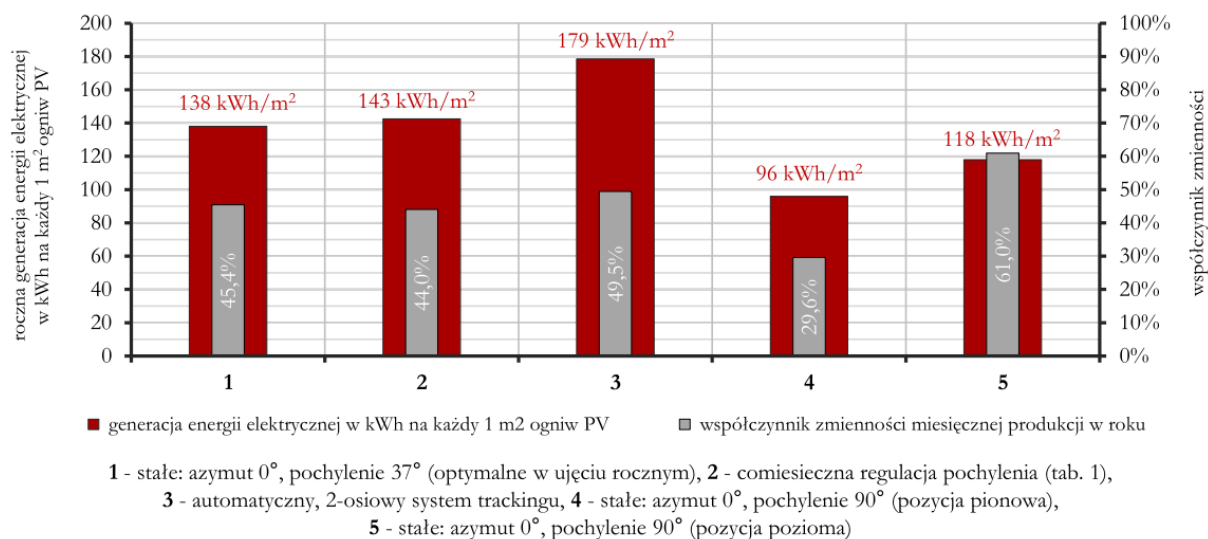
Celowość wykorzystania, w możliwie największym stopniu, dostępnej powierzchni dachów, ścian czy też płotów, znajdujących się w posiadaniu MPK Wrocław, potwierdzają obserwowane na świecie, w szczególności w przestrzeniach miejskich, próby kojarzenia nowopowstających instalacji solarnych z już istniejącą infrastrukturą. Tworzenie farm fotowoltaicznych na nieużytkach jest popularne, jednak dość ograniczone w gęstej zabudowie, a w przypadku przesyłu na dalsze odległości – narażone na straty, dodatkowe koszty i utrudnienia organizacyjne (np. z racji dostępu do wolnych obszarów).

Przykładem wykorzystania zabudowań lokalnego przewoźnika miejskiego na potrzeby energetyki solarnej jest Szanghaj (ponad 18 tys. autobusów w użyciu), gdzie na jednej z zajezdni stworzono, na dachu hali, instalację PV o mocy 195 kWp, zajmującą ok. 2000 m². Wg doniesień medialnych daje ona pełne podstawy do jednoczesnego ładowania 6 autobusów i produkcji do 20 MWh energii elektrycznej rocznie (przy czym część z niej jest oddawane do sieci, gwarantując dodatkowy zysk)⁷.

Jak wykazały dotychczas przywołane analizy, zarówno orientacja (wraz z ewentualną korektą w zależności od pory roku), jak i pole powierzchni działających na poczet elektrobusów oraz tramwajów ogniów, zdeterminują roczny uzysk energii elektrycznej oraz jej zmienność, wynikającą przede wszystkim z różnic nasłonecznienia w poszczególnych dniach roku. Zestawienie łącznego uzysku netto z instalacji fotowoltaicznych – w przeliczeniu na 1 m² ogniów PV, przy współczynniku $a_p = 7,2 \text{ m}^2/\text{kWp}$ – zawarto na poniższym rysunku.

⁷ <https://goexplorer.org/buses-go-truly-zero-emission-with-solar-power/>, dostęp: 01.12.2021 r.

Wykres 28 Porównanie uzysku energetycznego i zmienności miesięcznej generacji energii elektrycznej dla 5 analizowanych przypadków (dla $a_p = 7,2 \text{ m}^2/\text{kWp}$)



Źródło: Opracowanie własne

Zakładając:

- zapotrzebowanie na energię elektryczną do pokrycia potrzeb gospodarczych Przedsiębiorstwa oraz do zasilania floty tramwajów w roku w ilości 74 698 296 kWh (szacunek na rok 2021),
- jednostkowe zapotrzebowanie do pokrycia napędu autobusów elektrycznych równe 175 kWh na każde 100 km, co w przypadku 100% elektryfikacji floty przebywającej rocznie 28 986 320 km (jest to przebyty dystans łączny przez autobusy MPK, firmy Michalczewski i firmy Mobilis w 2020 roku) daje 50 726 060 kWh rocznie,

powierzchnia paneli fotowoltaicznych o współczynniku $a_p = 7,2 \text{ m}^2/\text{kWp}$, przy pełnym magazynowaniu chwilowej energii nadmiarowej (niezależnie od dnia wygenerowania, chwilowa energia nadmiarowa z paneli dostępna jest w każdym pozostałym dniu roku), wyniosłaby, w kolejności przypadków przywołanych na powyższym rysunku, następująco: 90,3 ha; 87,97 ha; 70,25 ha; 130,78 ha; 106,35 ha.

Tabela 29 Powierzchnia farmy fotowoltaicznej przy pełnym magazynowaniu chwilowej energii nadmiarowej.

Przypadek	1	2	3	4	5
Powierzchnia w m^2	903 018	879 742	702 547	1 307 828	1 063 544
Powierzchnia w ha	90,30	87,97	70,25	130,78	106,35
Liczba standardowych boisk piłkarskich o wymiarach 105	126,47	123,31	98,40	183,17	148,96

m x 68 m, tj. o pow. 7140 m ²					
---	--	--	--	--	--

Źródło: Opracowanie własne

Zakładając, że obciążenie tramwajów i autobusów jest równomiernie rozłożone we wszystkich miesiącach roku i wynosi 10 452 029 kWh/m-c, to, przy oszacowanym uzysku jednostkowym w poszczególnych miesiącach (rys. 5, $a_p = 7,2 \text{ m}^2/\text{kWp}$) i miesięcznej regulacji popytu i podaży (posiadane panele mają zagwarantować pełne pokrycie potrzeb przedsiębiorstwa w każdym miesiącu), przy braku zakupu interwencyjnego ze źródeł zewnętrznych, pole powierzchni zainstalowanych paneli winno wynosić, dla kolejnych przypadków z powyższego rysunku, kolejno: 279,75 ha, 248,37 ha, 232,27 ha, 255,97 ha, 587,93 ha. Wartości te odpowiadają wymaganiom związanym z grudniowym zapotrzebowaniem na energię elektryczną i uzmysławiają celowość skojarzenia instalacji PV z magazynami energii o pojemności pozwalającej na regulację w zakresie co najmniej 6-miesięcznym. Posiadanie przewymiarowanej w ujęciu pozostałych miesięcy (poza grudniem) instalacji skutkować będzie nadmiarem generowanej energii w pozostałych miesiącach, która to może zostać sprzedawana np. do sieci krajowej lub też innych zakładów przemysłowych bądź też zostać zmagazynowana.

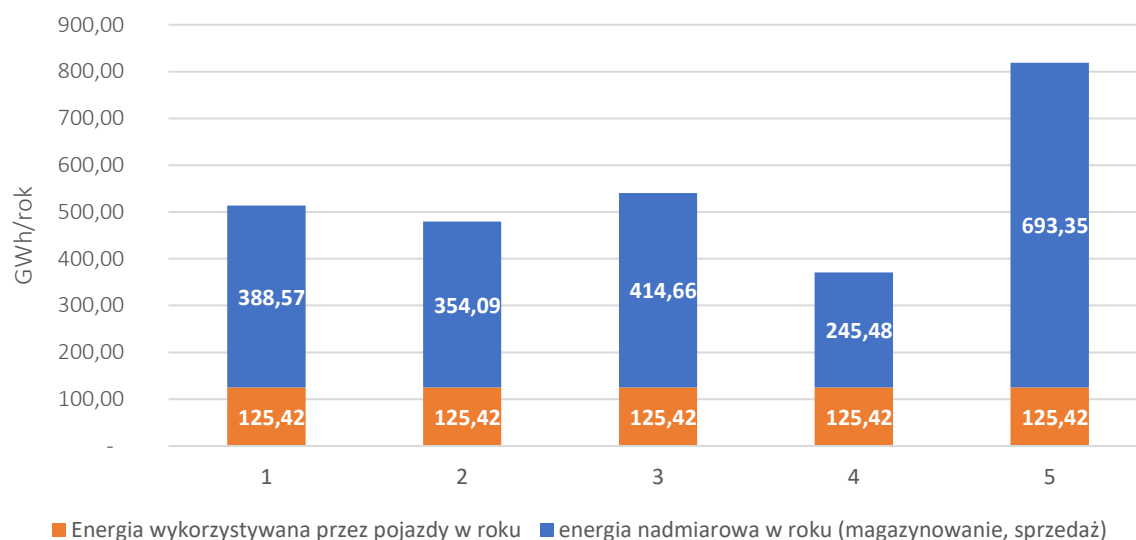
Tabela 30 Powierzchnia farmy fotowoltaicznej przy uzysku w najmniej korzystnym miesiącu

Przypadek	1	2	3	4	5
Powierzchnia w m ²	2 797 569	2 483 650	2 322 673	2 559 681	5 879 266,57
Powierzchnia w ha	279,76	248,37	232,27	255,97	587,93
Liczba standardowych boisk piłkarskich o wymiarach 105 m x 68 m, tj. o pow. 7140 m ²	391,82	347,85	325,30	358,50	823,43

Źródło: Opracowanie własne

Ilość generowanej energii nadmiarowej, przy przyjęciu powierzchni niezbędnej do pokrycia potrzeb komunikacji miejskiej w grudniu, przedstawiono na wykresie poniżej. Pokazuje on potrzebę przenoszenia (magazynowania) lub wymiany usług energetycznych z podmiotami zewnętrznymi (np. Tauron Dystrybucja) z miesięcy letnich (wyraźny naddatek energii) na zimowe (wyraźny niedostatek energii). Łączne potrzeby energetyczne wynikające z zasilania jedynie pojazdów elektrycznych – tramwajów i elektrobusów przy założonym zapotrzebowaniu MPK Wrocław na energię elektryczną w 2021 roku oraz wykonaną pracę eksploatacyjną autobusów w 2020 roku przy 100% elektryfikacji floty wyniosłoby 125,42 GWh. Uśredniając niezbędną do uzyskania energię na 8000 godzin w roku (8760 godzin pomniejszone o czas na serwis i naprawy), moc alternatywnego źródła zasilania o stałej mocy (np. biogazowni) wyniosłaby 14,32 MW.

Wykres 29 Ilość wykorzystywanej i nadmiarowej energii w ciągu roku w momencie instalacji paneli wynikającej z potrzeb najmniej korzystnego – z punktu widzenia nasłonecznienia – miesiąca w roku (grudnia)



Źródło: Opracowanie własne

Dla porównania, największa farma fotowoltaiczna w Polsce (gm. Brudzew) ma moc 70 MWp i zajmuje ok. 100 ha terenu. Koszt inwestycji wyniósł 163,8 mln zł netto i został całkowicie pokryty ze środków firm prywatnych. Warto dodać, że inwestycja została zrealizowana w ciągu 355 od rozpoczęcia prac do uzyskania pozwolenia na tymczasowe użytkowanie. Rocznie elektrownia ma produkować ok. 68,2 tys. MWh.

8 Podsumowanie i wnioski

Wrocław - obserwując rozwój elektromobilności w komunikacji miejskiej w innych polskich miastach oraz zdobywane przez ich przewoźników doświadczenia – ma podstawy organizacyjne i techniczne do rozpoczęcia eksploatacji autobusów elektrycznych i wodorowych oraz wykorzystania odnawialnych źródeł energii do ich zasilania.

Kwestią do rozwiązania pozostaje sposób pokrywania potrzeb energetycznych elektrobusów. Poza konwencjonalnym zakupem energii z sieci krajowej, interesującą alternatywą pozostaje budowa własnych centrów energetycznych opartych na ogniwach fotowoltaicznych – w różnej skali, począwszy od pojedynczych wiat przystankowych, przez większe instalacje na krańcówkach czy też zagospodarowanie dachów zajezdni i innych budynków użyteczności publicznej, na dedykowanych farmach wiatrowych na obrzeżach miasta kończąc. Jak wykazały przeprowadzone analizy, zapewnienie pełnej niezależności energetycznej może być niezwykle trudne – ze względu na skalę przedsięwzięcia (wymagane do pokrycia zapotrzebowania na poziomie 125 GWh rocznie), braki w infrastrukturze do magazynowania energii czy też koszty inwestycyjne. Niemniej, jak wskazują ostatnie lata, rynek polski stopniowo otwiera się – ekonomicznie, technicznie, organizacyjnie – na rozwiązania proekologiczne, elektryczne, czego przejawem są kolejne inicjatywy z zakresu elektromobilności. Z ich doświadczeń skorzystać powinien także Wrocław, budując tym samym trwałe fundamenty zmian ekologicznych w swoich strukturach oraz stanowiąc lidera lokalnego z zakresu eksploatacji odnawialnych źródeł energii.

Spis tabel, wykresów, rysunków i zdjęć

SPIS TABEL

TABELA 1 KRAJOWE EMISJE SO ₂ , NO _x , CO, NH ₃ , NMLZO, PYŁÓW, METALI CIĘŻKICH I TZO W POLSCE W 2019 ROKU (Z PODZIAŁEM NA ŹRÓDŁA ZANIECZYSZCZEŃ WG NFR).....	21
TABELA 2 WSKAŹNIKI EMISJI DLA ENERGII ELEKTRYCZNEJ PRODUKOWANEJ W INSTALACJACH DO SPALANIA PALIW (ŚREDNIA WARTOŚĆ Z PRODUKCJI 149,42 TWh)	23
TABELA 3 BILANS ENERGETYCZNY MPK WROCŁAW W LATACH 2019 I 2020 ORAZ SZACUNKI NA ROK 2021	25
TABELA 4 STADIONY PIŁKARSKIE WYPOSAŻONE W OGNIWA FOTOWOLTAICZNE W POŁOWIE 2018 ROKU	58
TABELA 5 DANE TECHNICZNE MODUŁU SŁONECZNEGO OFFGRIDTEC 150W MONO 12V	65
TABELA 6 DANE TECHNICZNE MODUŁU SŁONECZNEGO TYPU 150W 12V CL150-12P:	66
TABELA 7 DANE TECHNICZNE REGULATORY ŁADOWANIA LUMIAX 4SUN 30A 12V/24V MPPT	67
TABELA 8 PODSTAWOWE DANE AKUMULATORA AGM - OFFGRIDTEC AGM 260AH20HR12V	69
TABELA 9 SPECYFIKACJA WIATY KWPOM009	71
TABELA 10 DANE TECHNICZNE MODUŁU FOTOWOLTAICZNEGO FLEXI 160W 12V ELASTYCZNY VOLT POLSKA	72
TABELA 11 SPECYFIKACJA TECHNICZNA PRZYKŁADOWEJ LAMPY HYBRYDOWEJ	73
TABELA 12 OSZACOWANA POWIERZCHNIA OGNIW PV W OBRĘBIE ANALIZOWANYCH WIAT PRZYSTANKOWYCH	76
TABELA 13 PODSTAWOWE DANE AUTOBUSÓW ELEKTRYCZNYCH PRZYJĘTYCH DO KONCEPCJI WIATY	86
TABELA 14 ZALEŻNOŚĆ UZYSKÓW Z INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ DLA RÓŻNYCH KĄTÓW NACHYLENIA I AZYMUTU	87
TABELA 15 PARAMETRY TECHNICZNE MODUŁÓW FOTOWOLTAICZNYCH TYPU LR4-60HBD-380M	93
TABELA 16 DANE TECHNICZNE FALOWNIKÓW TYPU SYMO GEN24.....	99
TABELA 17 PORÓWNIANIE MOŻLIWOŚCI ELEKTRYCZNYCH WIAT.....	104
TABELA 18 WYSOKOŚĆ NAKŁADÓW INWESTYCYJNYCH NA WDROŻENIE KONCEPCJI WIAT FOTOWOLTAICZNYCH W ZŁ NETTO	105
TABELA 19 WYSOKOŚĆ KOSZTÓW UTRZYMANIA INSTALACJI PV	105
TABELA 20 OSZCZĘDNOŚCI Z TYTUŁU ZMNIJSZONEGO ZAKUPU ENERGII ELEKTRYCZNEJ	106
TABELA 21. WARTOŚĆ REZYDUALNA	106
TABELA 22. EFEKTYWNOŚĆ FINANSOWA PROJEKTU WYMIANY TABORU NA AUTOBUSY ZEROEMISYJNE.....	106
TABELA 23. ZMNIJSZONA EMISJA SZKODLIWYCH SUBSTANCJI W TONACH W CIĄGU 1 ROKU	107
TABELA 24 KORZYŚCI ZE ZMNIJSZONEJ EMISJI W CAŁYM OKRESIE ANALIZY	107
TABELA 25. WSPÓŁCZYNNIKI KONWERSJI PRZEPŁYWÓW FINANSOWYCH W ANALIZIE SPOŁECZNO-EKONOMICZNEJ	107
TABELA 26. EFEKTYWNOŚĆ FINANSOWA PROJEKTU WYMIANY TABORU NA AUTOBUSY ZEROEMISYJNE.....	108
TABELA 27 STATYSTYCZNE DANE KLIMATYCZNE AGLOMERACJI WROCŁAWSKIEJ	117
TABELA 28 KĄTY OPTIMALNE POCHYLENIA PANELU WZGLĘDEM POWIERZCHNI POZIOMEJ W UJĘCIU MIESIĘCZNYM.....	126
TABELA 29 POWIERZCHNIA FARMY FOTOWOLTAICZNEJ PRZY PEŁNYM MAGAZYNOWANIU CHWILOWEJ ENERGII NADMIAROWEJ.....	127
TABELA 30 POWIERZCHNIA FARMY FOTOWOLTAICZNEJ PRZY UZYSKU W NAJMNIJ KORZYSTNYM MIESIĄCU	128

SPIS WYKRESÓW

WYKRES 1. EMISJE CO ₂ W CYKLU ŻYCIA POJAZDU.....	20
WYKRES 2 WYNIKI INWENTARYZACJI NAJWAŻNIEJSZYCH ZANIECZYSZCZEŃ ATMOSFERYCZNYCH W POLSCE W 2019 ROKU.....	21
WYKRES 3 SPODZIEWANY WZROST KOSZTÓW ZWIĄZANYCH Z ZAKUPEM OLEJU NAPĘDOWEGO ORAZ ENERGII ELEKTRYCZNEJ W RAMACH DZIAŁALNOŚCI MPK WROCŁAW	30
WYKRES 4 MIESIĘCZNE UZYSKI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W kWh/M ² Z OGNIWA PV ZAMONTOWANEGO PIONOWO, WE WROCŁAWIU, W FUNKCJI POŁOŻENIA (NORMALNA DO POWIERZCHNI PANELU) WZGLĘDEM AZYMUTU (DLA AP = 5 M ² /kWp)	77
WYKRES 5 MIESIĘCZNE UZYSKI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W kWh/M ² Z OGNIWA PV ZAMONTOWANEGO POD KĄTEM 10° DO POWIERZCHNI, WE WROCŁAWIU, W FUNKCJI POŁOŻENIA (NORMALNA DO POWIERZCHNI PANELU) WZGLĘDEM AZYMUTU (DLA AP = 5 M ² /kWp)	78
WYKRES 6 SZACOWANE, MIESIĘCZNE UZYSKI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W kWh Z WIATY CYRKON 203 – 2M, WE WROCŁAWIU, W FUNKCJI POŁOŻENIA (WEJŚCIE POD WIATĘ) DLA AP = 5 M ² /kWp	78
WYKRES 7 SZACOWANE, MIESIĘCZNE UZYSKI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W kWh Z WIATY CYRKON 205 – 4M, WE WROCŁAWIU, W FUNKCJI POŁOŻENIA (WEJŚCIE POD WIATĘ) DLA AP = 5 M ² /kWp	79
WYKRES 8 SZACOWANE, ROCZNE UZYSKI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W kWh Z ANALIZOWANYCH WIAT, WE WROCŁAWIU, W FUNKCJI POŁOŻENIA (WEJŚCIE POD WIATĘ) DLA AP = 5 M ² /kWp	79
WYKRES 9 SZACOWANE WSPÓŁCZYNNIKI ZMIENNOŚCI MIESIĘCZNEJ PRODUKCJI ENERGII W ROKU Z ANALIZOWANYCH WIAT, WE WROCŁAWIU, W FUNKCJI POŁOŻENIA (WEJŚCIE POD WIATĘ) DLA AP = 5 M ² /kWp	79
WYKRES 10 ANALIZA PRODUKCJI ENERGII I REDUKCJI ZANIECZYSZCZEŃ DLA WIATY PV 12	103
WYKRES 11 ANALIZA PRODUKCJI ENERGII I REDUKCJI ZANIECZYSZCZEŃ DLA WIATY PV 18	104
WYKRES 12 CAŁKOWITE NATĘŻENIE PROMIENIOWANIA NA POWIERZCHNIĘ POZIOMĄ (ITH)	111
WYKRES 13 BEZPOŚREDNIE NATĘŻENIE PROMIENIOWANIA NA POWIERZCHNIĘ POZIOMĄ (IDH)	112
WYKRES 14 ROZPROSZONE NATĘŻENIE PROMIENIOWANIA NA POWIERZCHNIĘ POZIOMĄ (ISH)	112
WYKRES 15 WYKRES POZYCJI SŁOŃCA W CIĄGU ROKU	113
WYKRES 16 WYKRES POZYCJI SŁOŃCA W CZASIE PRZESILENIA LETNIEGO ORAZ PRZESILENIA ZIMOWEGO	113
WYKRES 17 CHWILOWA TEMPERATURA OTOCZENIA I WILGOTNOŚĆ WZGLĘDNA POWIETRZA.....	114
WYKRES 18 CAŁKOWITE NATĘŻENIE PROMIENIOWANIA NA POWIERZCHNIĘ NACHYLONĄ (ITT)	114
WYKRES 19 BEZPOŚREDNIE NATĘŻENIE PROMIENIOWANIA NA POWIERZCHNIĘ NACHYLONĄ (IDT)	115
WYKRES 20 ROZPROSZONE NATĘŻENIE PROMIENIOWANIA NA POWIERZCHNIĘ POZIOMĄ (IST).....	115
WYKRES 21 SUMY NATĘŻENIA PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO: CAŁKOWITEGO (ITH), BEZPOŚREDNIEGO (IDH) I ROZPROSZONEGO (ISH) NA POWIERZCHNIĘ HORYZONTALNĄ DLA POSZCZEGÓLNYCH MIESIĘCY.....	118
WYKRES 22 TEMPERATURY TERMOMETRU SUCHEGO: ŚREDNIA (MDBT), MINIMALNA (MINDBT) I MAKSYMALNA (MAXDBT) ORAZ TEMPERATURA NIEBOSKŁONU (MTSKY)	118
WYKRES 23 NASŁONECZNIECIE ROCZNE PRZYPADAJĄCE NA JEDNOSTKĘ POWIERZCHNI OGNIWA PV WE WROCŁAWIU W FUNKCJI AZYMUTU ORAZ POCHYLENIA POWIERZCHNI WZGLĘDEM POWIERZCHNI POZIOMEJ.....	120
WYKRES 24 ROCZNA GENERACJA ENERGII Z JEDNOSTKI POWIERZCHNI OGNIWA PV WE WROCŁAWIU W FUNKCJI AZYMUTU ORAZ POCHYLENIA POWIERZCHNI WZGLĘDEM POWIERZCHNI POZIOMEJ – DLA PRZYPADKU AP = 7,2 M ² /kWp	122
WYKRES 25 NASŁONECZNIECIE MIESIĘCZNE PADAJĄCE NA JEDNOSTKOWĄ POWIERZCHNIĘ OGNIWA PV WE WROCŁAWIU W FUNKCJI AZYMUTU ORAZ POCHYLENIA POWIERZCHNI WZGLĘDEM POWIERZCHNI POZIOMEJ	122
WYKRES 26 ZMIANA PROCENTOWA MIESIĘCZNEGO UZYSKU ENERGII W PORÓWNIANIU DO PRZYPADKU NIEZMIENNEGO POŁOŻENIA OGNIW W ORIENTACJI OPTIMALNEJ W UJĘCIU ROCZNYM	125
WYKRES 27 UZYSK ENERGETYCZNY W KOLEJNYCH MIESIĄCACH, W kWh NA 1 kWp MOCY ZAINSTALOWANEJ, DLA 5 ANALIZOWANYCH PRZYPADKÓW.....	125

WYKRES 28 PORÓWNANIE UZYSKU ENERGETYCZNEGO I ZMIENNOŚCI MIESIĘCZNEJ GENERACJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ DLA 5 ANALIZOWANYCH PRZYPADKÓW (DLA AP = 7,2 M2/KWP).....	127
WYKRES 29 ILOŚĆ WYKORZYSTYWANEJ I NADMIAROWEJ ENERGII W CIĄGU ROKU W MOMENCIE INSTALACJI PANELI WYNIKAJĄCEJ Z POTRZEB NAJMNIEJ KORZYSTNEGO – Z PUNKTU WIDZENIA NASŁONECZNIENIA – MIESIĄCA W ROKU (GRUDNIA)	129

SPIS RYSUNKÓW

RYSUNEK 1 POTENCJAŁ SOLARNY WROCŁAWIA	26
RYSUNEK 2 PARKINGI PARK & RIDE WE WROCŁAWIU	27
RYSUNEK 3 SCHEMAT SIECI TOROWISK TRAMWAJOWYCH	28
RYSUNEK 4 SCHEMAT ZASILANIA I SEKCYJONOWANIA SIECI TRAKCYJNEJ MIASTA WROCŁAWIA – STAN NA 17.02.2021	28
RYSUNEK 5 ELEKTRYFIKACJA LINII AUTOBUSOWYCH ORAZ LOKALIZACJA PUNKTÓW ŁADOWANIA W PRZYPADKU OPŁACALNOŚCI PRZEDSIĘWZIĘCIA LUB POZYSKANIA ZEWNĘTRZNEGO DOFINANSOWANIA	29
RYSUNEK 6 KONCEPCJA MODERNIZACJI POJAZDÓW SPALINOWYCH W PEŁNI ELEKTRYCZNE	41
RYSUNEK 7 WYKORZYSTANIE MAŁEJ INSTALACJI ORC DO ODZYSKU ENERGII Z CIEPŁA ODPADOWEGO.....	46
RYSUNEK 8 PRZYKŁADEM ZADASZONEGO WĘZŁA PRZESIADKOWEGO, KTÓRY MÓGŁBY ZOSTAĆ WYKORZYSTANY DO UMIESZCZENIA INSTALACJI PV JEST RONDO REAGANA O POTENCJALNE SOLARNYM NA POZIOMIE 1,47 GWh BEZ UWZGLĘDNIENIA SPRAWNOŚCI INSTALACJI.....	52
RYSUNEK 9 PŁYTA CHODNIKOWA ZBUDOWANA Z HARTOWANEGO I ANTYPÓŚLIZGOWEGO SZKŁA, OGNIWA FOTOWOLTAICZNEGO ORAZ KOMPOZYTOWEGO POLIMERU OTRZYMANEGO Z RECYKLINGU	53
RYSUNEK 10 KONCEPCJA „PARASOLA SOLARNEGO” OPRACOWANA PRZEZ STUDENTÓW POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ	55
RYSUNEK 11 POTENCJAŁ SOLARNY STADIONU MIEJSKIEGO WE WROCŁAWIU	57
RYSUNEK 12 SCHEMAT INSTALACJI OFF-GRID 12V DC	62
RYSUNEK 13 WIATA PRZYSTANKOWA WT/KP-A.	63
RYSUNEK 14 WYMIARY WIAT M2, M3 I M4.	64
RYSUNEK 15 ROZMIARY WIAT.	70
RYSUNEK 16 PRZYKŁAD WIATY DUŻEJ	70
RYSUNEK 17 KONCEPCJA WYKORZYSTANIA MAŁEJ WIATY AUTOBUSOWEJ/SERWISOWEJ DO GENERACJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ ZA POMOCĄ POLIKRYSTALICZNYCH OGNIW PV (PODZIAŁ NA PANELE ORAZ ICH WYMIARY - ORIENTACYJNE)	74
RYSUNEK 18 WYMIARY WIATY CYRKON 203 – 2M (KOD PROD. PRWC203PP@CL) W WARIANCIE „PEŁNYM” ŚCIANEK BOCZNYCH. 75	
RYSUNEK 19 WYMIARY WIATY CYRKON 205 – 3M (KOD PROD. PRWC205PP@CL) W WARIANCIE „PEŁNYM” ŚCIANEK BOCZNYCH. 75	
RYSUNEK 20 Rys. 115. WYMIARY WIATY CYRKON 207 – 4M (KOD PROD. PRWC207PP@CL) W WARIANCIE „PEŁNYM” ŚCIANEK BOCZNYCH.....	76
RYSUNEK 21 PRZYKŁAD WIATY TYPU SM	83
RYSUNEK 22 PRZYKŁADOWA KONSTRUKCJA WIATY WYKONANEJ Z DREWNA	89
RYSUNEK 23 KONCEPCJA WIATY DLA AUTOBUSÓW – PRZEKRÓJ PIONOWY	91
RYSUNEK 24 KONCEPCJA WIATY DLA AUTOBUSÓW – RZUT Z GÓRY DLA DWÓCH ROZWIĄZAŃ.....	92
RYSUNEK 25 DANE TECHNICZNE MODUŁÓW FOTOWOLTAICZNYCH TYPU LR4-60HBD-380M	93
RYSUNEK 26 WIZUALIZACJA POSZYCIA DACHOWEGO DLA WIATY PV 12	96
RYSUNEK 27 WIZUALIZACJA POSZYCIA DACHOWEGO DLA WIATY PV 18	97
RYSUNEK 28 POŁĄCZENIE DWÓCH WIAT TYPU „PV 12”	97
RYSUNEK 29 MOŻLIWOŚCI MODUŁOWEGO ŁĄCZENIA WIAT	98

RYSunek 30 RZUT Z MAP PRZEDSTAWIAJĄCYCH LOKALIZACJĘ STACJI POGODOWE	103
---	-----

SPIS ZDJĘĆ

ZDJĘCIE 1 INSTALACJA PV O MOCY 1,4 MWP NA ANTALYA ARENA W TURCJI	32
ZDJĘCIE 2 WOLNOSTOJĄCA INSTALACJA PV Z TRACKEREM SOLARNYM	32
ZDJĘCIE 3 6-METROWY AUTOBUS ELEKTRYCZNY FIRMY ANKAI	32
ZDJĘCIE 4 AUTOBUS MOVITAS – POMYSŁ FIRMY TRIBUS	32
ZDJĘCIE 5 POJAZD OBSŁUGUJĄCY „ZIELONĄ LINIĘ” W BUCKINGHAMSHIRE	33
ZDJĘCIE 6 AUTOBUS BYD ADL ENVIRO200EV W GLASGOW	33
ZDJĘCIE 7 SYSTEM MONITORINGU PRACY INSTALACJI PV	33
ZDJĘCIE 8 PRZYKŁAD SOLARNEJ (10,8 kWp) ŁÓDZI DLA 80 PASAŻERÓW Z ROSTOKU	34
ZDJĘCIE 9 ŁÓDŹ ELEKTRYCZNA W TAJLANDII (EGAT)	34
ZDJĘCIE 10 ŁÓDŹ SOLARNA STUDENTÓW KOŁA NAUKOWEGO PWR SOLAR BOAT TEAM Z POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ	34
ZDJĘCIE 11 MAŁA, AUTONOMICZNA, KOMERCYJNA ŁÓDŹ SOLARNA.....	34
ZDJĘCIE 12 KOMERCYJNA, SOLARNA (1,3 kWp) STACJA ŁADOWANIA ROWERÓW ELEKTRYCZNYCH WRAZ Z DODATKOWYM WYPOSAŻENIEM (CHARMAX).....	35
ZDJĘCIE 13 KOMERCYJNA, SOLARNA (3x 195 Wp) STACJA ŁADOWANIA ROWERÓW ELEKTRYCZNYCH	35
ZDJĘCIE 14 ELEKTRYCZNY DRON TOWAROWY.....	36
ZDJĘCIE 15 TRÓJKOŁOWY, TOWAROWY (POJ. 500 DM3) POJAZD ELEKTRYCZNY	36
ZDJĘCIE 16 WYKORZYSTANIE DACHU JEDNEJ Z ZAJEZDNI AUTOBUSOWEJ W SZANGHAJU (MOC SUMARYCZNA PANELI PV - 195 kWp) .	36
ZDJĘCIE 17 WYKORZYSTANIE OGNIW POLIKRYSTALICZNYCH NA WIELOSTANOWISKOWYM PARKINGU/PRZYSTANKU AUTOBUSOWYM	37
ZDJĘCIE 18 ZADASZENIE SOLARNE ZAJEZDNI AUTOBUSÓW SZKOLNYCH W PALO ALTO	37
ZDJĘCIE 19 ZADASZENIE STACJI AUTOBUSOWEJ W BUDAPESZCIE (MOC INSTALACJI - 200 kWp)	38
ZDJĘCIE 20 SEKCJE AKUMULATORÓW W ELEKTRYCZNYM AUTOBUSIE KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ.....	39
ZDJĘCIE 21 OGNIWA PV NA DACHACH CHIŃSKICH, ELEKTRYCZNYCH AUTOBUSÓW MIEJSKICH	39
ZDJĘCIE 22 OGNIWO PEROWSKITOWE Z NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY O SPRAWNOŚCI 18,13%	39
ZDJĘCIE 23 . KONCEPCJA ZASILANIA MAŁEGO POJAZDU ELEKTRYCZNEGO ZA POMOCĄ PEROWSKITÓW (CASE WESTERN RESERVE UNIVERSITY)	39
ZDJĘCIE 24 MIEJSKA STACJA ŁADOWANIA POJAZDÓW WODOROWYCH	40
ZDJĘCIE 25 ZIELONY WODÓR – MAGAZYN PRZYSZŁOŚCI W PRZYPADKU ENERGII POWSTAJĄCEJ Z OZE	40
ZDJĘCIE 26 ROZWIĄZANIE ŁĄCZĄCE PRODUKCJĘ ENERGII ELEKTRYCZNEJ Z INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ PRZEZNACZONEJ DO PRODUKCJI WODORU W ELEKTROLIZERZE ORAZ TANKOWANIA WODORU	40
ZDJĘCIE 27 BEZZAŁOGOWE STATKI POWIETRZE JAKO PODSTAWOWY ELEMENT GMSPAIO NETWORK MONITORING SYSTEM – SYTEMU SŁUŻĄCEGO DO MONITORINGU ŚRODOWISK MIEJSKICH I PRZEMYSŁOWYCH	41
ZDJĘCIE 28 ROUTE 66 EV MUSEUM W ARIZONIE – MUZEUM POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH	42
ZDJĘCIE 29 THE BRITISH MOTOR MUSEUM	42
ZDJĘCIE 30 PANELE FOTOWOLTAICZNE NA WAGONACH KOLEJOWYCH W INDIACH	42
ZDJĘCIE 31 PROJEKT MONTAŻU 4,5 TYS. M2 PANELI PV W NORWESTKIM DRAMMEN	42

ANALIZA MOŻLIWOŚCI POWIĄZANIA ZASILANIA MIEJSKIEGO TRANSPORTU ZBIOROWEGO ZE ŹRÓDEŁ ZIELONEJ ENERGII - OZE

ZDJĘCIE 32 MONITORING INSTALACJI OZE JAKO PODSTAWA PRZYSZŁYCH SYSTEMÓW ENERGETYCZNYCH RÓŻNYCH MOCY, TAKŻE W OBRĘBIE MIAST.....	43
ZDJĘCIE 33 FILTR CZĄSTEK STAŁYCH W AUTOBUSIE MIEJSKIM Z SILNIKIEM Z ZAPŁONEM SAMOCZYNNYM	43
ZDJĘCIE 34 BADANIA POZIOMÓW EMISJI Z POJAZDÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ.....	43
ZDJĘCIE 35 PROFESJONALNY SERWIS PANELI FOTOWOLTAICZNYCH JAKO PODSTAWA DO ICH WYDAJNEJ I WIELOLETNIEJ EKSPLOATACJI .	44
ZDJĘCIE 36 KONTROLA PARAMETRÓW PRACY PANELI PV	44
ZDJĘCIE 37 PRZYKŁAD POJAZDU ELEKTRYCZNEGO DO ZASPOKAJANIA POTRZEB KOMUNIKACYJNYCH NA NIEWIELKICH ODLEGŁOŚCIACH ..	44
ZDJĘCIE 38 WYKORZYSTANIE POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH PRZEZ SŁUŻBY MIEJSKIE W MIELCU	44
ZDJĘCIE 39 SZEROKIE MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA OGNIW PV W OBRĘBIE POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH	45
ZDJĘCIE 40 WSPÓŁPRACA Z NAUKOWCAMI Z ZAKRESU ROZWOJU OZE TO PODSTAWA ŚWIADOMEGO ROZWOJU ELEKTROMOBILNOŚCI WE WSPÓŁCZESNYCH CZASACH.....	45
ZDJĘCIE 41 SYSTEM DO ODZYSKU ENERGII Z PROCESÓW HAMOWANIA POJAZDÓW.....	45
ZDJĘCIE 42 POMPA CIEPŁA DEDYKOWANA DO ZASTOSOWANIA W OBRĘBIE AUTOBUSÓW MIEJSKICH (KONVEKTA).....	45
ZDJĘCIE 43 GIĘTKIE OGNIWO TERMoeLEKTRYCZNE (FLEXTEG;OSAKA UNIVERSITY).....	46
ZDJĘCIE 44 MOŻLIWOŚĆ WSPÓŁDZIELENIA STACJI ŁADOWANIA POJAZDÓW Z UŻYTKOWNIKAMI ELEKTRYCZNYCH SAMOCHODÓW OSOBOWYCH	46
ZDJĘCIE 45 PRZYKŁAD DUŻEJ STACJI MIEJSKIEJ ŁADOWANIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH.....	46
ZDJĘCIE 46 ENERGOOSZCZĘDNE OŚWIETLENIE LED PODSTAWĄ DO OGRANICZANIA ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ W DUŻYCH ZAKŁADACH PRZEMYSŁOWYCH	47
ZDJĘCIE 47 MAGAZYN Y ENERGII – PODSTAWA W PRZYPADKU ROZWOJU RYNKU OZE ORAZ REGULACJI POPYTU I PODAŻY	47
ZDJĘCIE 48 KILKUNASTOOSOBOWY BUS ELEKTRYCZNY.....	47
ZDJĘCIE 49 KONCEPCJA DUŻEJ FORMY FOTOWOLTAICZNEJ	47
ZDJĘCIE 50 PRZYKŁAD MAŁEJ TURBINY WIAТРOWEJ O PIONOWEJ OSI OBROTU, SKOJARZONEJ Z PANELEM PV, WYKORZYSTUJĄCEJ STRUMIENIE POWIETRZA GENEROWANE PRZEZ PRZEJEŻDŻAJĄCE AUTOBUSY W TURCJI	48
ZDJĘCIE 51 TURBINA WIAТРOWA O PIONOWEJ OSI OBROTU, SKOJARZONA Z LAMPĄ OŚWIETLENIOWĄ NA PASIE ZIELENI	48
ZDJĘCIE 52 ZNAJOMOŚĆ KRZYWEJ POPYTU TO PODSTAWA DO UMIEJĘTNEJ REGULACJI RYNKU ENERGII ZE ŹRÓDEŁ ODNAWIALNYCH	49
ZDJĘCIE 53 NAJLEPSZA ENERGIA TO TAKA, KTÓREJ NIE BYŁO TRZEBA GENEROWAĆ I JEDNOCZEŚNIE BEZ KTÓREJ UDAŁO ZREALIZOWAĆ SIĘ WSZYSTKIE CELE.....	49
ZDJĘCIE 54 STACJA DO PRODUKCJI WODORU ZE ŹRÓDEŁ ODNAWIALNYCH (OGNIWA PV, TURBINY WIAТРOWE).....	49
ZDJĘCIE 55 WODÓR JAKO PRZYSZŁY NOŚNIK ENERGII Z OZE (TAKŻE W SEKTORZE TRANSPORTU).....	49
ZDJĘCIE 56 BIOGAZOWNIA ROLNICZA – SPOŚÓB NA ODZYSK ENERGII Z ODPADÓW ORAZ REGULACJĘ PODAŻY ZE ŹRÓDEŁ ODNAWIALNYCH	50
ZDJĘCIE 57 . BIOGAZ I BIOMETAN WYSYPISKOWY JAKO PALIWO ALTERNATYWNE O CORAZ WIĘKSZYM POTENCJALE.....	50
ZDJĘCIE 58 AUTOBUS BĘDĄCY PRZEDMIOTEM OFERTY LEASINGU OPERACYJNEGO	50
ZDJĘCIE 59 GOSPODARKA ODPADAMI TO SEKTOR O ZNA CZNYM POTENCJALE W PRODUKCJI BIOPALIW I PALIW ALTERNATYWNYCH, TAKŻE TYCH TRANSPORTOWYCH	51
ZDJĘCIE 60 WSPÓŁPRACA WIELU LOKALNYCH PODMIOTÓW JEST WSKAZANA W PRZYPADKU ROZWOJU RYNKU ELEKTROMOBILNOŚCI.....	51
ZDJĘCIE 61 SOLARNE PARKINGI AUTOBUSOWE – WRAZ ZE STACJAMI ŁADOWANIA – W AMERYKAŃSKIM FALMOUTH.....	51
ZDJĘCIE 62 WYKORZYSTANIE DACHÓW PARKINGÓW MIEJSKICH DO GENERACJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ ZA POMOCĄ OGNIW PV	51
ZDJĘCIE 63 ŚCIEŻKA ROWEROWA WYKONANA Z PANELI SŁONECZNYCH W HOLANDII FUNKCJONUJĄCA W LATACH 2014-2020. W 2020 ROKU ZOSTAŁA ZASTĄPIONA NORMALNYM ASFALTEM ZE WZGLĘDU NA LICZNE USZKODZENIA WARSTWY FOTOWOLTAICZNEJ	53

ZDJĘCIE 64 ZDJĘCIE MODUŁU SŁONECZNEGO OFFGRIDTEC 150W MONO 12V	65
ZDJĘCIE 65 ZDJĘCIE MODUŁU SŁONECZNEGO TYPU 150W 12V CL150-12P	66
ZDJĘCIE 66 PRZYKŁAD REGULATORA ŁADOWANIA LUMIAX 4SUN	67
ZDJĘCIE 67 PRZYKŁAD AKUMULATORA AGM - OFFGRIDTEC AGM 260AH20HR12V	69
ZDJĘCIE 68 MODUŁ FOTOWOLTAICZNY FLEXI 160W 12V ELASTYCZNY VOLT POLSKA	71
ZDJĘCIE 69 PRZYKŁAD LAMPY HYBRYDOWEJ.....	73
ZDJĘCIE 70 PRZYKŁAD ZINTEGROWANEJ WIATY SOLARNEJ	80
ZDJĘCIE 71 SOLARNA WIATA PRZYSTANKOWA (MODEL VENUS), KTÓRA ZDOBYŁA WYRÓŻNIENIE W KONKURSIE INNOWATOR ŚLĄSKA 2020	81
ZDJĘCIE 72 SOLARNA WIATA PRZYSTANKOWA MODEL AE030-XL	82
ZDJĘCIE 73 PRZYKŁAD SOLARNEJ WIATY MIEJSKIEJ	82
ZDJĘCIE 74 SOLARNA WIATA PRZYSTANKOWA W RZESZOWIE	83
ZDJĘCIE 75 PRZYKŁAD ZIELONEGO PRZYSTANKU W RADOMIU	84
ZDJĘCIE 76 SOLARNA WIATA PRZYSTANKOWA – MODEL HSS	84
ZDJĘCIE 77 PRZYKŁAD PYLONU Z ROZKŁADEM JAZDY WYPOSAŻONEGO W MODUŁ FOTOWOLTAICZNY	85
ZDJĘCIE 78 STAWIANIE KONSTRUKCJI WSPORCZEJ ZE STRUNOBETONU POD FARMĘ FOTOWOLTAICZNĄ.....	88
ZDJĘCIE 79 PRZYKŁADOWA KONSTRUKCJA WIATY STALOWEJ	89
ZDJĘCIE 80 PRZYKŁADOWA KONSTRUKCJA WIATY STALOWEJ	90
ZDJĘCIE 81 PRZYKŁAD PROFILU MONTAŻOWEGO ZACHOWUJĄCEGO SZCZELNOŚĆ MIĘDZY MODUŁAMI PV	95
ZDJĘCIE 82 PRZYKŁAD ELEMENTÓW SYSTEMU MONTAŻOWEGO EASYROOF EVOLUTION	95
ZDJĘCIE 83 AKUMULATOR FIRMY LG CHEM	102
ZDJĘCIE 84 AKUMULATOR, TYP BATTERY-BOX PREMIUM.	102