

POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA, GEOMATYKI
I ENERGETYKI

Kierunek – Odnawialne Źródła Energii

Praca Dyplomowa Magisterska

Ocena możliwości zastosowania odnawialnych źródeł
energii do interaktywnego oświetlenia tras rowerowych

**Assessment of the possibility of using interactive lighting for a bicycle
route powered by renewable energy sources**

Karolina Galek

Numer albumu: 086161

Opiekun pracy: prof. dr hab. inż. Dariusz Ozimina

Kielce 2022

Spis treści

1.	Wstęp	6
2.	Cel i zakres pracy	7
3.	Infrastruktura rowerowa.....	8
3.1	Podstawa prawna.....	8
3.2	Rodzaje nawierzchni	10
3.3	Wytyczne dotyczące oświetlenia	15
3.4	Urządzenia wyposażenia dróg rowerowych i ich bliskiego otoczenia.....	16
4.	Źródła energii.....	18
4.1	Nieodnawialne źródła energii	18
4.2	Odnawialne źródła energii	19
5.	Energia słoneczna.....	22
5.1	Energia wodorowa	23
6.	Ogniwa fotowoltaiczne	27
6.1	Zasada działania ogniwa fotowoltaicznego.....	27
6.2	Podział materiałowy.....	28
6.3	Ogniwa krzemowe	28
6.4	Ogniwa z dodatkiem grafenu	31
6.5	Ogniwa perowskitowe.....	33
7.	Ogniwa paliwowe	37
7.1	Budowa i zasada działania	37
7.2	Podział ogniw paliwowych	39
7.3	Wady i zalety ogniw paliwowych.....	41
8.	Zjawisko luminescencji.....	42
8.1	Luminofory	44
8.2	Diody LED.....	45
9.	Projekt trasy rowerowej	50
9.1	Komponenty instalacji interaktywnego oświetlenia trasy rowerowej.....	54
9.2	Elektryczne ogrzewanie przeciwośloneczne	60

10.	Zasilanie instalacji oświetlenia i podgrzewania drogi rowerowej.....	63
10.1	Magazynowanie energii	72
10.2	Recykling elementów instalacji	75
11.	Podsumowanie	77
12.	Literatura.....	78
13.	Wykaz tabel.....	86
14.	Wykaz rysunków.....	87
15.	Wykaz załączników	89
16.	Streszczenie.....	90

1. Wstęp

Droga rowerowa jest to ciąg komunikacyjny przeznaczony dla ruchu rowerowego. Może obejmować ona wydzieloną drogę rowerową, drogę pieszo-rowerową, ulicę o ruchu uspokojonym, pasy rowerowe w jezdniach w tym kontrapasy. Wydzielona droga rowerowa jest najlepszym, najwygodniejszym i najbezpieczniejszym dla rowerzystów rozwiązaniem. Wpływa na to zarówno rodzaj nawierzchni jak i sposób jej oświetlenie.

W niniejszej pracy dokonano *oceny możliwości zastosowania odnawialnych źródeł energii do interaktywnego oświetlenia tras rowerowych*. Dodatkowo przedstawiono projekt modernizacji trasy rowerowej zlokalizowanej na terenie Politechniki Świętokrzyskiej, biegnącej wzdłuż ulicy Warszawskiej na długości 140 m. Zaproponowano wymianę nawierzchni na betonową z eksponowanym kruszywem luminescencyjnym, które pochłania światło słoneczne i oddaje je wraz z zapadnięciem zmroku oraz montaż elementów z żywicy o dużym współczynniku tarcia, z oświetleniem poziomym, zasilanym diodami LED wzdłuż trasy.

Zasilanie będzie pochodziło ze źródeł OZE, głównie z ogniwa paliwowego oraz paneli fotowoltaicznych zlokalizowanych na terenie Politechniki Świętokrzyskiej. Zaprojektowano również zastosowanie zasilania awaryjnego. Oświetlenie jak i modernizacja nawierzchni drogi rowerowej pozwoli na pokazanie możliwości wykorzystania OZE, promocję *zielonej energii* oraz na poprawę bezpieczeństwa rowerzystów.

2. Cel i zakres pracy

Celem niniejszej pracy jest poszerzenie i wykorzystanie wiedzy z zakresu zastosowania OZE w systemach zasilania i eksploatacji obiektów technicznych na podstawie oceny możliwości zastosowania odnawialnych źródeł energii do interaktywnego oświetlenia trasy rowerowej.

Zakres pracy obejmował:

- przegląd literaturowy na temat pojęć związanych z infrastrukturą rowerową, źródłami oraz nośnikami energii, ogniwami paliwowymi i fotowoltaicznymi, zjawiskiem luminescencji,
- charakterystykę wymagań dla instalacji oświetleniowych tras rowerowych na podstawie istniejących norm i rozporządzeń,
- analizę możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii do oświetlenia tras rowerowych,
- przegląd komponentów dostępnych na rynku i dobór do projektowanej instalacji,
- obliczenie zapotrzebowania na energię elektryczną instalacji i dobór sposobów zasilania,
- uwzględnienie metod magazynowania energii i alternatywnego zasilania,
- przedstawienie sposobów recyklingu poszczególnych elementów instalacji,
- podsumowanie przedstawiające zasadność projektu.

3. Infrastruktura rowerowa

Infrastruktura rowerowa umożliwia ruch rowerzystów, a sposób jej projektowania znacznie oddziałuje na bezpieczeństwo oraz użyteczność ruchu rowerowego. Odpowiednie zaplanowanie tras rowerowych jest priorytetowym działaniem, które wpływa na ich efektywne i bezpieczne wykorzystanie przez rowerzystów. Z uwagi na fakt, iż rower jest najkorzystniejszym energetycznie pojazdem, niepotrzebującym żadnych produktów paliwowych do działania, co skutkuje tym, że jest zeroemisyjny i ekologiczny [79], dlatego też jazda na rowerze powinna być szeroko promowana. Warto więc zadbać, aby trasa rowerowa była komfortowa i atrakcyjna dla użytkowników oraz spełniała określone stosownymi przepisami warunki bezpieczeństwa.

3.1 Podstawa prawna

Droga dla rowerów jest to pas terenu przeznaczona wyłącznie dla rowerzystów (Dz. U. 2017, poz. 1260) [66]. Oznaczona jest znakami pionowymi C-13 (droga dla rowerów, Rys.1) oraz znakami poziomymi P-23 (rower, Rys.2).



Rys. 1 Znak pionowy C-13 Droga dla rowerów [121]



Rys. 2 Znak poziomy P-23 Rower [122]

Prawo budowlane określa drogę dla rowerów mianem ścieżki rowerowej (Dz. U. 2016, poz. 124) [52]. Ścieżka może być jedno- lub dwukierunkowa, powinna umożliwiać wygodne mijanie się i wyprzedzanie pojazdów, a w przypadku braku ograniczeń terenowych także jazdę obok siebie w parach.

Infrastruktura rowerowa jest integralnym elementem infrastruktury komunikacyjnej, co znaczy, że powinna być budowana podobnie do infrastruktury dla innych środków transportu, według obowiązujących przepisów prawnych. W procesie inwestycyjnym szczególna uwaga powinna zostać poświęcona:

- bezpiecznemu i wygodnemu użytkowaniu,
- trwałości rozwiązań pod względem fizycznym i technicznym
- odwodnieniu i oświetleniu,
- odporność na warunki atmosferyczne.

Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i związana z nimi infrastruktura budowlana oraz jej usytuowanie, zostały określone w rozporządzeniu do ustawy *Prawo budowlane Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne*

i ich usytuowanie (Dz.U. z 2016 r. poz. 124) [52]. Warunki te są ściśle powiązane z regulacjami prawnymi dotyczącymi organizacji ruchu drogowego zawartymi w:

- *ustawie z dnia 20 czerwca 1997 r. - Prawo o ruchu drogowym (Dz.U. z 2017 r. poz. 1260, z późn. zm.) [66],*
- *rozporządzeniu Ministrów Infrastruktury oraz Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 31 lipca 2002 r. w sprawie znaków i sygnałów drogowych (Dz.U. Nr 170, poz. 1393, z późn. zm.) [53],*
- *rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach (Dz.U. nr 220, poz. 2181, z późn. zm.) [51],*
- *rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 23 września 2003 r w sprawie szczegółowych warunków zarządzania ruchem na drogach oraz wykonywania nadzoru nad tym zarządzaniem (Dz.U. z 2017 r. poz. 784) [50].*

Szerokość drogi dla rowerów nie może być mniejsza niż:

- 1,5 m – w przypadku drogi jednokierunkowej,
- 2,0 m – w przypadku drogi dwukierunkowej,
- 2,5 m – w przypadku, gdy z drogi dla rowerów mogą korzystać również piesi.

Polskie przepisy mówią o indywidualnym ustalaniu szerokości drogi dla rowerów, jeśli pełni ona inne funkcje oprócz prowadzenia ruchu rowerowego [52]. Natomiast nie została określona prawnie maksymalna szerokość drogi rowerowej ani jej korelacja z natężeniem ruchu.

3.2 Rodzaje nawierzchni

Jednym z najistotniejszych kryteriów, które wpływa na wykorzystanie danej trasy jest rodzaj oraz stan nawierzchni. Nieodpowiedni stan techniczny nawierzchni, który utrudnia ruch rowerzystów, sprawia, że rowerzyści rezygnują z korzystania z takich dróg. Najważniejsze cechy, które powinna spełniać poprawna droga rowerowa z perspektywy cyklisty to [13]:

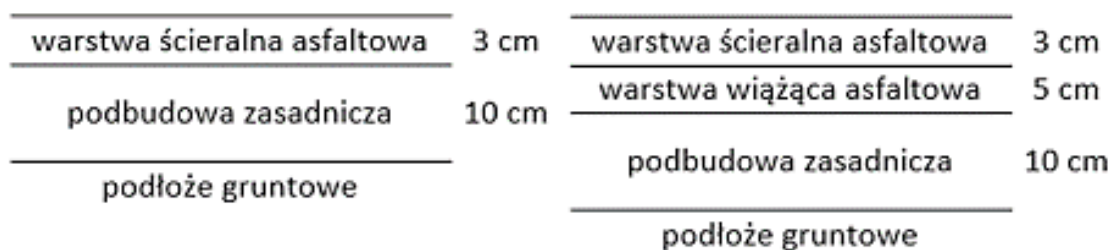
- równość, która skutkuje brakiem wstrząsów, z uwagi na brak przeszkód, oraz małymi oporami toczenia,
- szorstkość, ułatwiająca pokonywanie zakrętów, a także hamowanie w bezpieczny sposób, w szczególności, gdy nawierzchnia drogi rowerowej jest mokra,

- odpowiednie odwodnienie, gwarantujące bezpieczną jazdy, gdyż woda opadowa szybko spływa z drogi rowerowej, z powodu odpowiedniego materiału oraz wykorzystania pochyleń,
- niewielkie opory toczenia, które zmniejszają wysiłek energetyczny rowerzysty, obniżają poziom wibracji oraz hałas.

Rodzaj nawierzchni powinien charakteryzować się trwałością oraz odpornością na oddziaływanie warunków atmosferycznych, przede wszystkim niskiej temperatury. Należy tak dobrać technologię, aby ryzyko powstawania pęknięć było zminimalizowane. Na drodze rowerowej nie powinny powstawać koleiny ani spękania zmęczeniowe, o ile nie korzystają z niej samochody, w szczególności ciężarowe. Na nośność nawierzchni decydujący wpływ ma warstwa podbudowy oraz podłoże gruntowe, które powinno zapewniać należyta nośność i mrozoodporność. Zależnie od głębokości przemarzania oraz jakości podłoża powinna być zastosowana odpowiednia grubość konstrukcji. Trzeba także zwrócić uwagę na niszczące oddziaływanie istniejących roślin, np. korzeni drzew i je wyeliminować [6]. Zastosowana nawierzchnia ma wpływ na estetykę drogi dla rowerów, a także całego krajobrazu, toteż być wkomponowana w otoczenie, poprzez zastosowanie odpowiedniej technologii oraz barwy.

Z uwagi na rodzaj materiału użytego do pokrycia drogi rowerowej można je podzielić na cztery grupy:

- nawierzchnie asfaltowe,
- nawierzchnie gruntowe,
- nawierzchnie betonowe,
- nawierzchnie prefabrykowane.



Rys. 3 Typowa konstrukcja nawierzchni drogi rowerowej podstawowej i wzmocnionej [5]

Obecnie najpopularniejszym rozwiązaniem dotyczącym dróg rowerowych są nawierzchnie asfaltowe. Dopasowanie nawierzchni zależy również od tego, czy będą się

po niej poruszać także pojazdy mechaniczne. W związku z tym wyróżniamy dwa rodzaje nawierzchni: podstawową i wzmocnioną dodatkową warstwą asfaltową wiążącą [5].

Przedstawione konstrukcje charakteryzuje zastosowanie mieszanek mineralno-asfaltowych. Mieszanki te muszą być zgodne z normą PN-3N 13108, natomiast szczegółowe wymagania zawarto w dokumencie WT-2 2014 [30]. Składają się z mieszanki mineralnej, asfaltu oraz ewentualnych dodatków, w przypadku projektowanego rozwiązania jest to kruszywo z dodatkiem luminoforów. W skład mieszanki mineralnej wchodzi kruszywa takie jak grys, piasek oraz wypełniacze w odpowiednich proporcjach [5]. Nawierzchnie asfaltowe spełniają wszelkie wymagania dotyczące dobrej drogi rowerowej. Ponadto są dość tanie, łatwe i szybkie w wykonaniu, dostępne są także różne technologie wytwarzania, przez co można wykonywać nawierzchnie w różnych kolorach. Z zalet można wymienić trwałość, równą powierzchnię, małe opory toczenia a także brak wibracji [4] [22] [40] [42] [43].



Rys. 4 Asfaltowa ścieżka rowerowa [20]

Nawierzchnie gruntowe cechuje zdecydowanie niższy standard niż nawierzchnie asfaltowe. Stosuje się je na terenach zielonych, gdyż dopasowują się do krajobrazu, są także tanie i szybkie w wykonaniu. Niestety, są nierówne oraz bardzo podatne na zmienne warunki atmosferyczne. Wpływa to w konsekwencji na znaczne zmniejszenie ich

trwałości eksploatacyjnej. Konstrukcja nawierzchni gruntowej to dwie warstwy gruntu – górna, o grubości w granicach 8-10 cm, wykonana z gruntu rodzimego, kruszywa łamanego bądź zagęszczonego żwiru, a dolna to ulepszone podłoże lub grunt o nośności nie mniejszej niż 10 % z grupy G1 [3].



Rys. 5 Gruntowa ścieżka rowerowa [95]

Nawierzchnie betonowe są bardzo rzadko stosowaną technologią. Istnieje kilka rodzajów nawierzchni betonowych, tj. z betonu cementowego, betonu wałowanego lub nawierzchnię betonową wodoprzepuszczalną, np. żywiczną. Nawierzchnia z betonu cementowego ma podbudowę drenażową. Charakteryzuje się dużą trwałością, natomiast czas wymagany na budowę i pielęgnację jest długi, wymaga dodatkowo teksturowania celem uzyskania dużego współczynnika tarcia. Zdecydowanym minusem takiej drogi są szczeliny, które znacznie obniżają komfort jazdy. Nawierzchnia z betonu wałowanego powstaje przy zastosowaniu ciężkich walców, które rozkładają równomiernie materiał. Zaletą tej technologii jest jej zmechanizowanie, natomiast nie zapewnia ona równej powierzchni. Nawierzchnie wodoprzepuszczalne są trwałe, równe oraz zapewniają niskie opory toczenia. Odprowadzanie wody z powierzchni nawierzchni znacznie wpływa na poprawę bezpieczeństwa rowerzystów w czasie deszczu, jednakże w trakcie eksploatacji

wodoprzepuszczalność pogarsza się ze względu na zabrudzenia. Przedstawiona technologia dodatkowo jest bardzo kosztowna [3].



Rys. 6 Betonowa ścieżka rowerowa [61]

Z kolei nawierzchnie prefabrykowane składają się z kostki bądź płyt. Obecnie raczej odchodzi się od tego rozwiązania, mimo że jest ono proste, nie wymaga specjalnych maszyn, a materiały są ogólnodostępne. Natomiast takie nawierzchnie cechują się dużymi wibracjami obniżającymi komfort jazdy, małą trwałością z uwagi na nierówną powierzchnię a także podatnością na rozwój roślinności pomiędzy pojedynczymi elementami, co zwiększa także koszty utrzymania [35] [38] [57] [58] [71].



Rys. 7 Droga rowerowa wykonana z kostki brukowej [110]

Z niektórych miast to rozwiązanie zostało zupełnie wycofane. Istniejące szczeliny oraz różnice wysokości między krawędziami poszczególnych kostek bądź płyt znacznie obniżają bezpieczeństwo i komfort jazdy użytkowników.

3.3 Wytyczne dotyczące oświetlenia

Odpowiednie oświetlenie dróg rowerowych ma znaczący wpływ na bezpieczeństwo i komfort rowerzystów, ponadto poprawia orientację w terenie. Optymalne oświetlenie przebiegu trasy znacznie zmniejsza liczbę kolizji, gdyż ewentualne przeszkody oraz oznaczenia trasy są widoczne. Problem oświetlenia, obok przepisów ruchu drogowego [66], warunków technicznych określających drogi publiczne i ich usytuowanie [52] oraz znaków i sygnałów drogowych i warunków ich umieszczenia [49] regulują prawo energetyczne [45] i Polska Norma EN 13201 2017 Oświetlenie dróg [41]. Reguły oświetlenia dróg rowerowych są także zawarte w *Wytycznych organizacji bezpiecznego ruchu pieszego – wytycznych prawidłowego oświetlenia przejść dla pieszych* [14] i *Wytycznych technicznych dla projektantów oświetlenia przejść dla pieszych na drogach krajowych woj. małopolskiego* [70] [10], a zasady tam przyjęte,

z uwagi na zbliżoną formę infrastruktury, można bezpośrednio wykorzystać przy projektowaniu oświetlenia ścieżek rowerowych.

Zgodnie z zasadami wynikającymi z powyższych dokumentów, oświetlenie infrastruktury dla rowerzystów powinno być obecne na całej długości zarówno w obszarze zabudowanym jak i poza nim. Drogi rowerowe o małym natężeniu ruchu mogą być oświetlone wyłącznie na przeszkodach, skrzyżowaniach i łukach. W obszarze niezabudowanym dopuszcza się brak oświetlenia w przypadku, gdy nie istnieją przeszkody i uszkodzenia nawierzchni. Infrastruktura rowerowa powinna być odpowiednio oświetlona zwłaszcza w miejscach, gdzie łączą się różne typy infrastruktury i zmienia się organizacja ruchu.

Zastosowane światło powinno być równomierne na całej długości, mocne i polichromatyczne. Dopuszcza się różnice w natężeniu światła docierającego do nawierzchni do 30 %. Natężenie zastosowanego światła na poziomie nawierzchni powinno oscylować w granicach 5-7 luksów w przypadku dróg głównych i zbiorczych. Natomiast wartość 2-5 luksów jest odpowiednia w przypadku tras lokalnych. Światło emitowane przez lampy uliczne, zlokalizowane wzdłuż drogi rowerowej nie powinno być ograniczone poprzez gałęzie drzew, reklamy itp. Wszelkie elementy drogi, które wystają ponad nawierzchnię ścieżki rowerowej powinny być zawsze oznaczone elementami odblaskowymi pomagającymi zachować rowerzyście orientację nawet w złym świetle. Ponadto należy rozpatrzyć zamontowanie oddzielnych lub dodatkowych lamp skierowanych w stronę drogi rowerowej, gdy oddziela ją od jezdni pas zieleni, wybierać dobre jakościowo, estetyczne, energooszczędne elementy oświetlenia w obszarze drogi rowerowej [10].

3.4 Urządzenia wyposażenia dróg rowerowych i ich bliskiego otoczenia

Urządzenia wyposażenia dróg rowerowych, m.in. znaków drogowych, lamp ulicznych, elementów małej architektury, mają wpływ na bezpieczeństwo oraz estetykę przestrzeni i powinny być umieszczane wzdłuż dróg zgodnie z obowiązującymi przepisami, tj.:

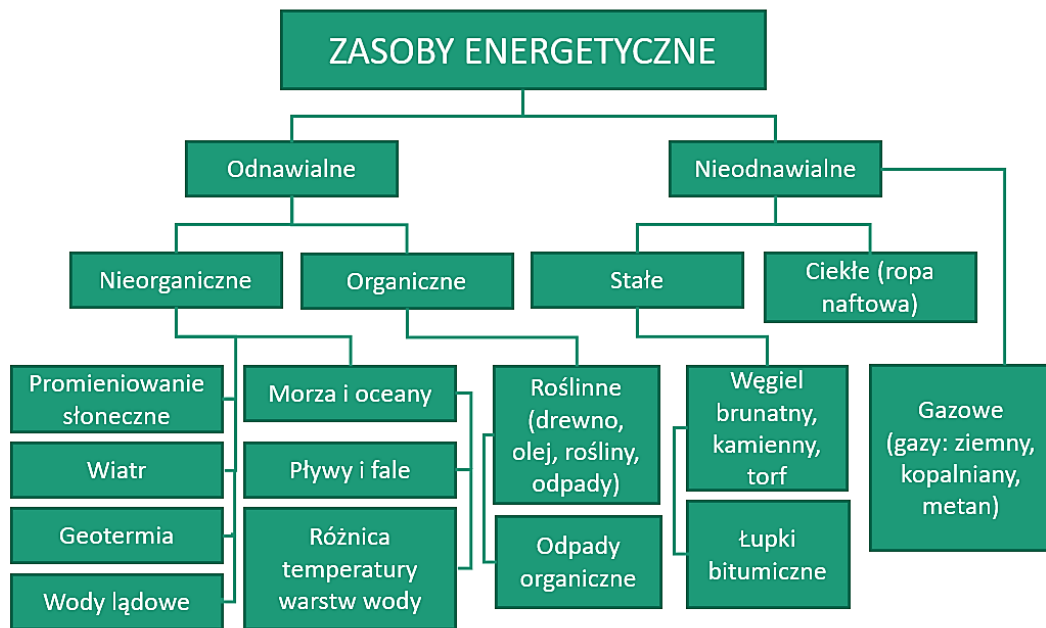
- *Rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, (Dz.U. 2016 r. poz. 124) [52],*
- *Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz*

urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach (Dz. U. 2003, poz. 2181 z późn. zm.) [51], (Dz.U. 2015 poz. 1314) [50].

Podobnie jak oświetlenie, zieleń ma pozytywny wpływ na estetykę i bezpieczeństwo indywidualne rowerzystów, jednakże ważna jest jej odpowiednia ilość i odległość od drogi rowerowej. Według istniejących wytycznych dotyczących zieleni w zagospodarowaniu przestrzeni wokół ścieżek rowerowych, pas zieleni pomiędzy nimi a jezdnią powinien być pokryty roślinnością gęstą, na przykład żywopłotem oddalonym od ścieżki na minimum 1 m, która uniemożliwia ochłapanie rowerzystów błotem z jezdni. Zastosowana zieleń nie może wykazywać tendencji do szybkiego rozrastania się, aby nie ograniczać przestrzeni, nie powinna mieć również kolców, a system korzeniowy powinien być słabo rozbudowany. W okolicach łuków powinno się wykorzystywać roślinność niższą.

4. Źródła energii

Istnieją konwencjonalne i odnawialne źródła energii. Dalszego podziału można dokonać biorąc pod uwagę źródło pochodzenia, czyli organiczne bądź nieorganiczne, a także uwzględniając stan skupienia: źródła stałe, ciekłe oraz gazowe. Można to zobrazować następująco (Rys. 8):



Rys. 8 Podział zasobów energetycznych [opracowanie własne na podstawie [55]]

Niniejszy rozdział został poświęcony rodzajom energii i wyodrębnieniu najlepszego źródła zasilania dla projektowanej instalacji.

4.1 Nieodnawialne źródła energii

W obecnych czasach energia nieodnawialna jest filarem światowej produkcji energii. Paliwa kopalne są podstawą wielu gałęzi przemysłu, energetyki czy transportu. Nośniki energii konwencjonalnej to:

- węgiel kamienny i brunatny,
- gaz ziemny,
- ropa naftowa,
- paliwa nuklearne [8].

Pozyskiwanie energii ze źródeł nieodnawialnych ma zdecydowanie szereg zalet, tj. dostępność, niska cena, dobrze opanowana technologia spalania oraz duża energia

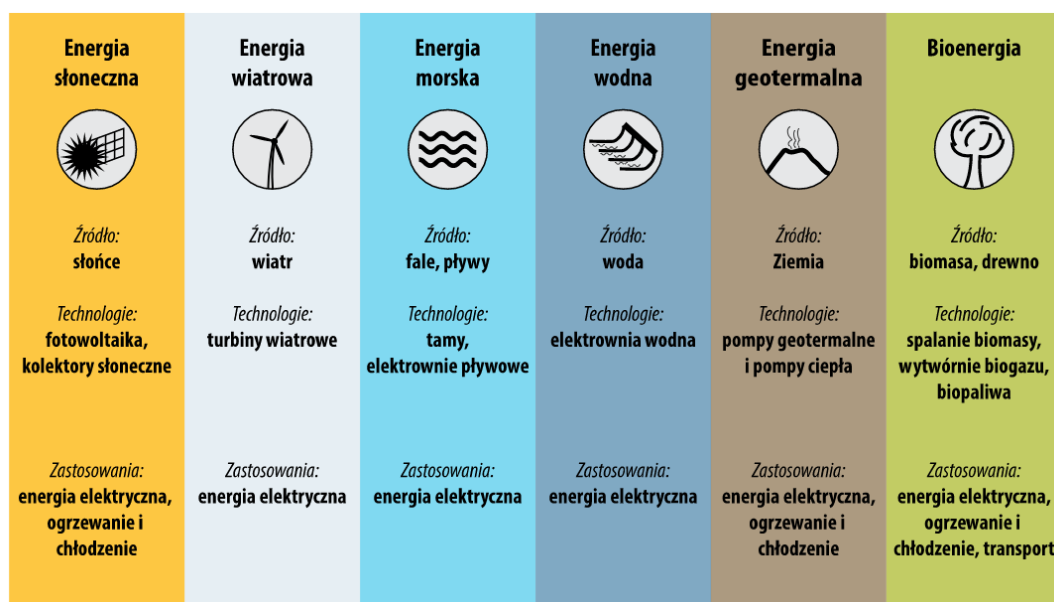
przypadająca na jednostkę masy czy objętości. Równolegle występuje też ogrom wad – produkty powstałe w procesie spalania znacznie zanieczyszczają środowisko oraz uniemożliwiają wtórne pozyskiwanie energii. Kolejnym problemem jest także fakt, iż złoża tych nośników są ograniczone i maleją w zatrważającym tempie. Biorąc pod uwagę jednoczesny wzrost zapotrzebowania energetycznego, jak również deficyt surowców pierwotnych, zdecydowanie należy szukać innych rozwiązań w tej dziedzinie opierających się na paliwach alternatywnych, czyli pochodzących z odnawialnych źródeł energii [55].

4.2 Odnawialne źródła energii

Pozyskiwanie energii z odnawialnych źródeł w związku z brakiem spalania nie wiąże się z powstawaniem zanieczyszczających środowisko spalinowych gazów odlotowych SGO. To właśnie proces spalania generuje różnego rodzaju gazy oraz pyły, które mają destrukcyjny wpływ na środowisko. Odnawialne źródła energii to:

- energia słoneczna,
- energia wiatrowa,
- energia wodna,
- energia pływów i fal,
- energia geotermalna,
- energia z biomasy i biogazu [46],
- inne odnawialne np. energia wodorowa.

Grafika poniżej przedstawia zastosowanie oraz sposoby przetwarzania konkretnych źródeł energii (Rys.9):



Rys. 9 Zastosowanie i przetwarzanie źródeł energii [113]

Zasoby odnawialnych źródeł energii są niewyczerpywalne, a ich uzupełnianie następuje poprzez naturalne procesy przyrodnicze. Ograniczenie nośników konwencjonalnych na rzecz odnawialnych wpływa na poprawę stanu środowiska naturalnego, z uwagi na ograniczenie emisji zanieczyszczeń oraz odpadów, a także uniezależnia państwa od importu paliw kopalnych [55].

Wybrane źródło zasilania projektowanej instalacji musi być optymalne ze względów zarówno ekonomicznych jak i społecznych. Z uwagi na lokalizację instalacji w centrum miasta, na terenie Politechniki Świętokrzyskiej, produkcja energii nie może być w żaden sposób uciążliwa dla mieszkańców pobliskich osiedli, studentów oraz pracowników uczelni. Dlatego też nie może wiązać się z generowaniem hałasu, odoru ani stwarzaniem innych niedogodnych warunków. Z ekonomicznego punktu widzenia najlepszym rozwiązaniem jest korzystanie z już istniejącej infrastruktury oraz wybieranie takich źródeł, których cena jest adekwatna do wydajności i dostępności. Ważna jest również kwestia wydajnego i łatwego pozyskiwania nośnika bądź jego efektywny transport.

Z uwagi na uwarunkowania geograficzne wykorzystanie energii morskiej jest niemożliwe. Podobnie jest w przypadku energii morskiej, jądrowej i biomasy - elektrownie tego typu w pobliżu instalacji nie istnieją. Energia geotermalna jest natomiast źródłem bardzo drogim i wymagającym dużej ingerencji w środowisko w postaci głębokich odwiertów.

Wykorzystanie OZE zlokalizowanych na terenie Politechniki Świętokrzyskiej jest rozwiązaniem opłacalnym i znacznie zmniejszającym koszt całej inwestycji. Wykorzystanie już istniejących modułów fotowoltaicznych bądź zamontowanie dodatkowych na dachu budynku ENERGIS jest rozwiązaniem łatwym w realizacji i stosunkowo tanim. Możliwość zagospodarowania dachu budynku do montażu modułów ułatwia ich ułożenie pod optymalnym kątem, dodatkowo nie istnieje problem zacienienia, więc ich praca jest wysoce wydajna.

Energia wodorowa jest rozwiązaniem bardzo nowoczesnym, a rozwijanie technologii z nią związanych jest szeroko wspierane przez UE. Polska również podjęła kroki aby rozwijać tę gałąź energetyki poprzez przyjęcie „Polskiej Strategii Wodorowej do roku 2030 z perspektywą do 2040”. Agregaty prądotwórcze zasilane paliwem wodorowym oraz zestawy ogniw paliwowych są niewielkich rozmiarów. Wobec powyższego można je umieścić w budynku ENERGIS Politechniki Świętokrzyskiej. Praca takich instalacji nie jest w żaden sposób uciążliwa dla otoczenia. Wodór można dostarczać na wiele sposobów bądź go generować, a jego cena oscyluje w granicach 2-6 dolarów za kg w zależności od sposobu wytwarzania.

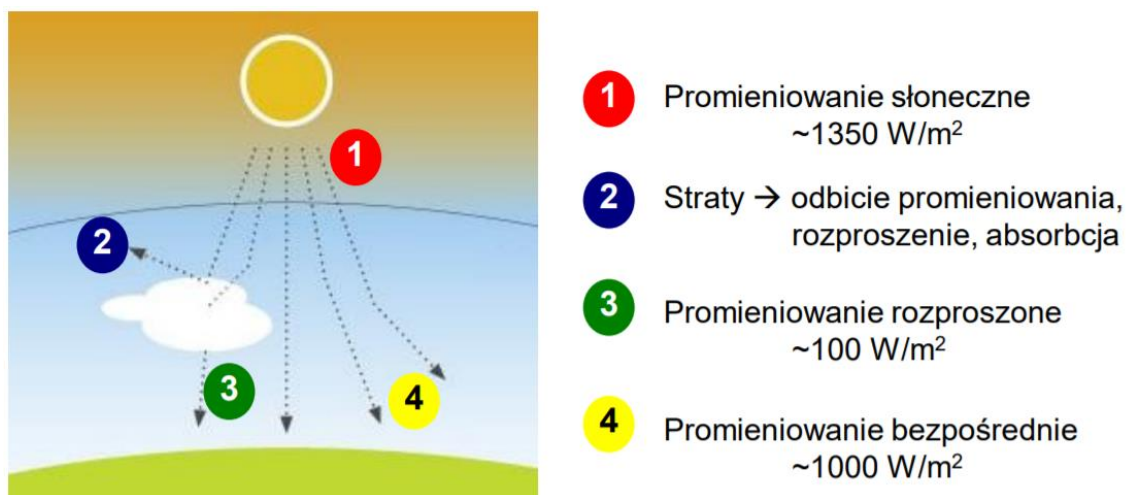
Z uwagi na powyższe uwarunkowania, najlepszym rozwiązaniem jest układ hybrydowy energii słonecznej oraz instalacji opartej na paliwie wodorowym. Jest to krok ku nowoczesności i innowacyjności, z jednoczesnym uzyskaniem efektów ekonomicznych i społecznych. Kolejne rozdziały zostały poświęcone wymienionym sposobom pozyskiwania energii OZE.

5. Energia słoneczna

Energia słoneczna dociera do Ziemi jako promieniowanie zapewniające światło i ciepło wszystkim żyjącym na niej organizmom. Energia słoneczna jest promieniowaniem elektromagnetycznym Słońca i szacuje się, że będzie ono istniało jeszcze przez około 4,5 miliarda lat. Powstaje w wyniku reakcji fuzji jądrowych, które zachodzą w jego wnętrzu. Występuje na całej powierzchni Ziemi w różnym natężeniu, a człowiek wykorzystuje je od wieków do ogrzewania bądź uprawy roślin. Obecnie to niewątpliwie jedno z najważniejszych odnawialnych źródeł energii, które coraz częściej zostaje przekształcane w energię elektryczną na różne sposoby. Energia słoneczna jest niewyczerpywalna, dostępna w każdym miejscu na Ziemi i całkowicie darmowa. Jej pozyskiwanie odbywa się w przyjazny dla środowiska sposób oraz ma szerokie spektrum wykorzystania – może być konwertowana zarówno na energię cieplną jak i elektryczną [83]. Wartość natężenia promieniowania słonecznego, docierającego do górnych granic atmosfery określone jest mianem stała słoneczna i wynosi dla średniej odległości Słońca od Ziemi około 1350 W/m^2 . Pomimo nazwy nie jest to wartość stała, jednak z uwagi na zmienność odległości Słońca od Ziemi na poziomie $\pm 3,4 \%$ przyjmuje się jej wartość średnią [8].

Do powierzchni Ziemi dociera 5000 razy więcej energii niż obecne zapotrzebowanie na nią ludzkości. Jest to najobfitsze, ale również najbardziej rozproszone źródło energii odnawialnej [63]. Promieniowanie słoneczne, jest sumą następujących parametrów:

- Promieniowania bezpośredniego, dochodzącego z widocznej tarczy słonecznej,
- Promieniowania rozproszonego np. poprzez przeszkody, czyli chmury bądź cząstki pyłów obecne w powietrzu,
- Promieniowania odbitego, powstającego w wyniku odbicia od elementów otoczenia.



Rys. 10 Składowe promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi [119]

Energię ze słońca można pobierać i przetwarzać za pomocą wielu urządzeń. Jednym z nich są kolektory słoneczne, które wykorzystują energię cieplną ze Słońca. Kolektory absorbują promieniowanie słoneczne, a następnie przekazują ciepło poprzez określony nośnik, czyli ciecz bądź gaz. Najczęściej wykorzystywane są do podgrzewania wody użytkowej w gospodarstwach domowych.

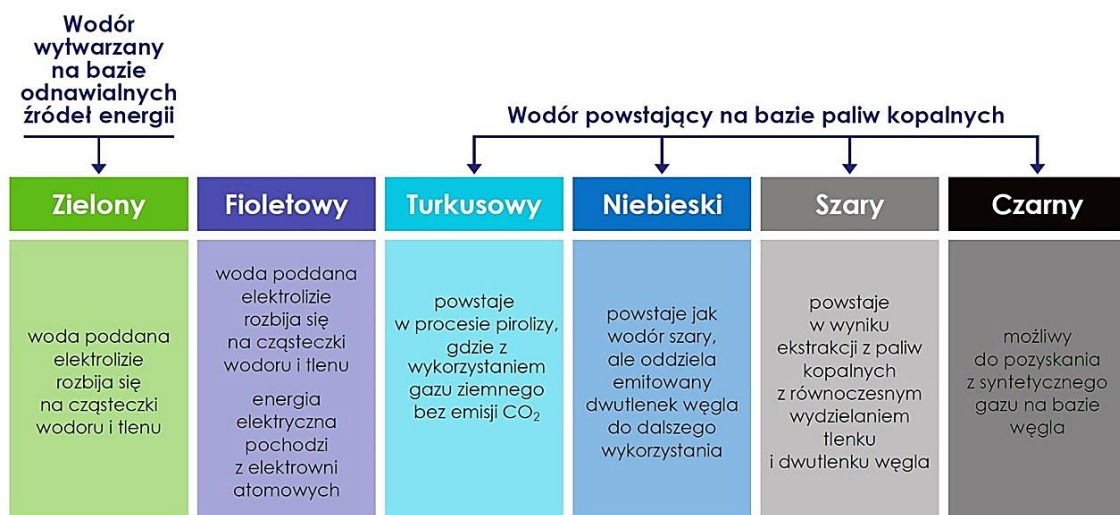
Ogniwa fotowoltaiczne działają natomiast na podstawie wewnętrznego efektu fotowoltaicznego, czyli zjawiska powstawania napięcia elektrycznego na skutek działania promieniowania świetlnego. Ogniwom fotowoltaicznym w niniejszej pracy został poświęcony rozdział 5.

5.1 Energia wodorowa

Woda jest substancją oprócz powietrza zdecydowanie niezbędną do życia. Poza tymi właściwościami, od niedawna do jej kolejnych zalet dołączył również kontekst energetyczny i nie ma to związku z elektrowniami wodnymi, lecz mowa o pozyskiwaniu energii z samej wody. Ten proces to elektroliza rozdzielająca wodę na wodór i tlen, czyli zmiana struktury chemicznej substancji zachodząca na skutek wykorzystania procesów elektrochemicznych z wykorzystaniem prądu stałego [31] [118]. Procesem tym zajmowało się wielu chemików już od XVIII wieku, natomiast określenie „elektroliza” wprowadził brytyjski chemik Michael Faraday. Ojciec energetyki wiatrowej, Poul la Cour, w XIX wieku wykorzystywał energię z turbiny wiatrowej do elektrolizy, w wyniku której powstały wodór był wykorzystywany do oświetlenia gazowego [11].

Wodór aktualnie określany jest mianem „paliwa przyszłości”. Nie jest on pierwotnym źródłem energii, tylko jej nośnikiem – aby go wytworzyć potrzebna jest energia ze źródeł zewnętrznych. Zasoby wodoru są praktycznie niewyczerpywalne, według szacunków Wszechświat jest złożony w 90 % z wodoru. Można go pozyskiwać z różnych surowców wieloma metodami na dużą skalę. Spalanie wodoru nie generuje szkodliwych zanieczyszczeń, jedynym produktem ubocznym jest woda. Ponadto, kaloryczność wodoru jest ponad czterokrotnie wyższa od kaloryczności czystego węgla. Kolejną zaletą paliwa wodorowego jest jego ciężar właściwy – wodór jest najlżejszym istniejącym pierwiastkiem, a w przypadku wybuchu ulatnia się, zamiast gromadzić w niskich warstwach powietrza. W przyrodzie w największym stopniu występuje jako związek chemiczny z innymi substancjami, więc aby go wykorzystać należy go oddzielić od innych pierwiastków za pomocą np. wcześniej wspomnianego procesu elektrolizy. Metody pozyskiwania wodoru wiążą się z wykorzystaniem energii zewnętrznej z wyjątkiem procesów biologicznych. Może to być wadą energii wodorowej [62]. Wodór cechuje łatwość przechowywania i duży potencjał energetyczny, żeby zastąpić paliwa kopalne praktycznie wszędzie. Jego transport może się odbywać poprzez rurociągi, jednakże obecnie nie istnieje jeszcze zaawansowana technicznie sieć transportu, magazynowania i dystrybucji wodoru [59].

Wodór, w zależności od sposobu powstawania jest oznakowany w sposób następujący:



Rys. 11 Nomenklatura wodoru w zależności od sposobu wytwarzania [36]

W przemyśle najczęściej wykorzystywany jest tzw. szary wodór, wytwarzany w procesie reformingu parowego gazu ziemnego lub gazyfikację węgla. W procesie tym do środowiska uwalniane są gazy cieplarniane. Niebieski wodór jest także produkowany z konwencjonalnych źródeł energii, lecz powstały dwutlenek węgla jest wychwytywany, a kolejno składowany lub ponownie wykorzystywany. Wodór turkusowy powstaje na skutek pirolizy metanu, gdzie metal jest podgrzewany do wysokiej temperatury, a produktem tej reakcji obok wodoru jest węgiel w stanie stałym.

Najczystszy wodór wytwarzany jest w procesie elektrolizy wody. Jeżeli prąd potrzebny do tego procesu pochodzi z odnawialnych źródeł energii jest to wodór zielony, natomiast jeśli z reaktorów jądrowych – fioletowy.

Obecnie wodór zielony stanowi tylko 5 % światowej produkcji [85]. Wodór może być spalany bezpośrednio w silniku lub zasilać ogniwo paliwowe. Rozdział 6 został poświęcony właśnie temu zagadnieniu.

Energia pozyskiwana z paliwa wodorowego jest szansą dla wielu państw, w tym Polski, na uniezależnienie się od dostawców ropy czy gazu ziemnego. Zielony Ład, czyli unijna strategia, której celem jest neutralność klimatyczna, zakłada spadek emisji gazów cieplarnianych do zera do 2050 roku - dla porównania w 2019 łączna emisja gazów cieplarnianych wszystkich krajów UE wynosiła łącznie 4065462 kiloton ekwiwalentu CO₂. Plan działań UE zakłada transformację wielu sektorów gospodarki - żywnościowego, energetycznego, transportowego, przemysłowego, budowlanego. Według specjalistów z Bain & Company, produkcja wodoru do 2050 roku ma szansę wzrosnąć aż trzykrotnie, a działania Unii Europejskiej zdecydowanie się do tego przyczyniają. Unia Europejska opracowała „Strategię wodorową dla neutralnej klimatycznie Europy”, która została opublikowana w lipcu 2020 roku. W tejże dyrektywie zielony wodór jest kluczowym nośnikiem energii, który do 2050 roku ma być zeroemisyjny oraz ogólnodostępny w UE, a jego wykorzystanie może znacznie ułatwić realizację założeń Europejskiego Zielonego Ładu [12]. Wiele państw opracowuje swoje plany działania, które wspierają technologie wodorowe, rośnie też liczba sektorów dotyczących tych zmian. Konkretnie strategie oraz dotacje przedstawiło ponad 60 krajów. Wsparcie rozwoju technologii wodorowych oferuje przede wszystkim Unia Europejska, ale również kilka państw tj. Niemcy, Wielka Brytania, Holandia, Dania i Polska [99].

W Monitorze Polskim 7 grudnia 2021 r. została opublikowana „Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040”, która konkretyzuje działania na

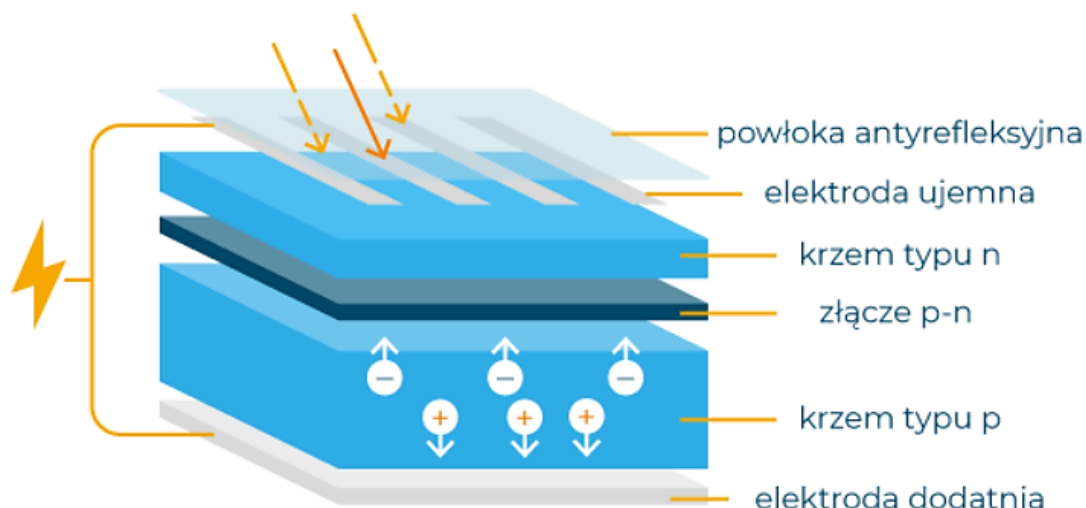
cel budowy gospodarki wodorowej w Polsce, a kolejno jej rozwój i konkurencyjność. Jednym z działań Polski ma być tworzenie Dolin Wodorowych w poszczególnych obszarach kraju, co przyczyni się do rozwoju przemysłu wodorowego – 19 maja 2021 roku został podpisany przez premiera Mateusza Morawieckiego oraz władze samorządowe list intencyjny dotyczący stworzenia pierwszej Doliny Wodorowej w Rzeszowie [85]. PSW dąży do budowy w Polsce zeroemisyjnej gospodarki, przyspieszenia procesu dekarbonizacji, stworzenia nowych miejsc pracy oraz wzrostu gospodarczego kraju w sposób zrównoważony.

6. Ogniwa fotowoltaiczne

W ogniwie fotowoltaicznym następuje bezpośrednia konwersja promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Wytwarzany prąd cechuje relatywnie niskie napięcie, a jego wartość podobnie jak mocy generowanej przez ogniwo zależy od tego, ile promieniowania dociera do ogniwa. W celu optymalizacji działania, ogniwa współpracują z dodatkowymi układami sterowania. Układy te umożliwiają wyłączanie częściowo zacienionych ogniw i jednocześnie poprawiają warunki eksploatacyjne pozostałych [39].

6.1 Zasada działania ogniwa fotowoltaicznego

Podstawowym elementem ogniwa fotowoltaicznego zazwyczaj jest krzem. Na górnej powierzchni płytki krzemowej umieszcza się elektrody ujemne, natomiast na dolnej dodatnie. Warstwy te oddziela od siebie złącze p-n, czyli półprzewodnik. Padające na ogniwo promieniowanie słoneczne można traktować jako strumień fotonów mających określoną energię. Podczas zderzenia się fotonów z elektronami, przekazują one swoją energię i następuje efekt fotoelektryczny. Elektron pochłania energię fotonu i przenosi się do pasma przewodnictwa, wywołując tym samym siłę elektromotoryczną. Gdy światło słoneczne pada na fotoogniwo, następuje reakcja fizyczna, czego skutkiem jest powstanie prądu stałego [103].



Rys. 12 Budowa ogniwa fotowoltaicznego [100]

Do współpracy ogniw z siecią elektroenergetyczną niezbędne są inwertery jedno- bądź trójfazowe w zależności od wielkości instalacji, przekształcające prąd stały na zmienny o wymaganej częstotliwości, za pomocą wbudowanego w nie układu przetwarzającego. Ponadto inwerter jest wyposażony w układy wejściowe, które łączy się z modułami fotowoltaicznymi, układy sterujące i zabezpieczające wpływające na wydajność i bezpieczeństwo współpracy urządzenia z siecią. Kolejnym elementem systemu jest układ śledzenia maksymalnego punktu pracy modułów, który pomaga w optymalizacji pracy urządzenia. Ponadto, inwerter odpowiada za kontrolę i monitorowanie parametrów sieci, a w przypadku odchyień od normy reaguje poprzez odłączenie się od sieci [84].

6.2 Podział materiałowy

Podziału istniejących technologii wytwarzania ogniw fotowoltaicznych można dokonać w następujący sposób, uwzględniając wykorzystany materiał:

- ogniwa I generacji – monokrystaliczne, złożone z dużych, jednolitych kryształów krzemu lub polikrystaliczne (do produkcji wystarcza proces krystalizacji krzemu), mają największą sprawność na poziomie nawet 20 %,
- ogniwa II generacji – cienkowarstwowe, ich budowa nie opiera się na krystalicznym krzemie, a ich budowa opiera się na tellurku kadmu, krzemie amorficznym bądź mieszaninie miedzi, galu, indu oraz selenu; ich sprawność oscyluje w granicach 7-15 %,
- ogniwa III generacji – są pozbawione złącza p-n, natomiast wykorzystują multizłączowe ogniwa złożone z różnych materiałów półprzewodnikowych o innych przerwach energetycznych ułożonych jedno na drugim; zbudowane są z materiałów organicznych bądź polimerów [86].

6.3 Ogniwa krzemowe

Krzem jest głównym pierwiastkiem stosowanym do budowy ogniw fotowoltaicznych. Jest on również najszerszej dostępny na Ziemi, zaraz po tlenie. Odkrycia krzemu i identyfikacji go jako pierwiastek dokonał w 1787 roku Francuz Antoine Lavoisier. Krzem jest klasyfikowany jako metaloid, gdyż mimo, że nie jest metalem wykazuje własności metaliczne. Występuje w stałym stanie skupienia, ma szarą barwę i strukturę krystaliczną diamentu. Gęstość krzemu wynosi 2330 kg/m^3 [21].



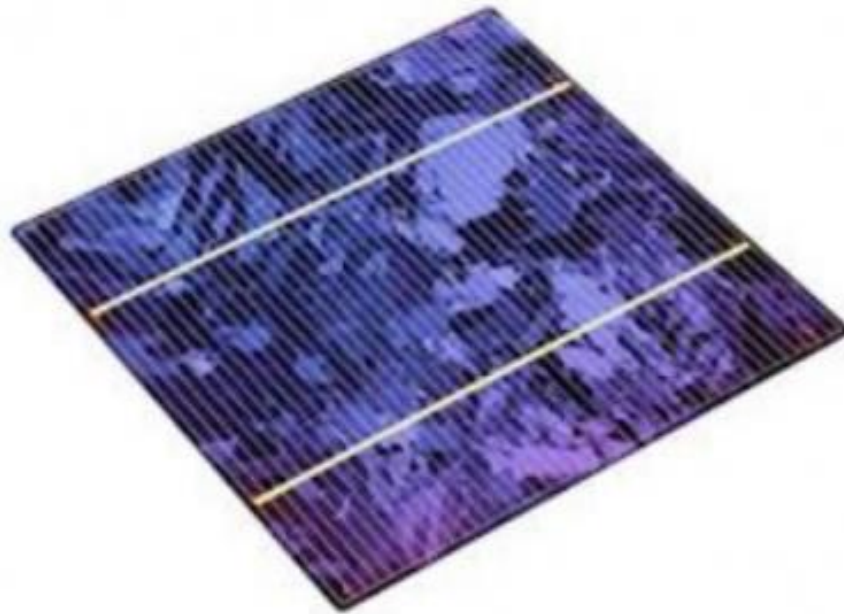
Rys. 13 Krzem w formie surowej [91]

Ogniwa krzemowe monokrystaliczne wytwarza się z monokryształów otrzymywanych metodą Jana Czochralskiego w formie walców. Kolejno, powstałe walce są laserowo przycinane w kwadratowe płytki o zaokrąglonych narożnikach. Ogniwa monokrystaliczne mają zarówno najwyższą cenę jak i sprawność.



Rys. 14 Moduł krzemowy monokrystaliczny [72]

Materiałem wyjściowym dla ogniw polikrystalicznych jest blok krzemu, ukształtowany w wyniku krystalizacji i topnienia, przycinany kolejno do prostokątnych lub kwadratowych płytek. Kolejnym etapem jest szlifowanie lub nałożenie elektrod oraz warstwy antyrefleksyjnej. Ogniwa formuje się w piecu w wyniku krystalizacji i topnienia bloku krzemu, który przycina się następnie na kwadratowe lub prostokątne płytki. W kolejnych etapach płytki podlegają szlifowaniu oraz nałożeniu elektrod i warstwy antyrefleksyjnej. Ogniwa polikrystaliczne są tańsze, lecz ich sprawność również jest niższa.

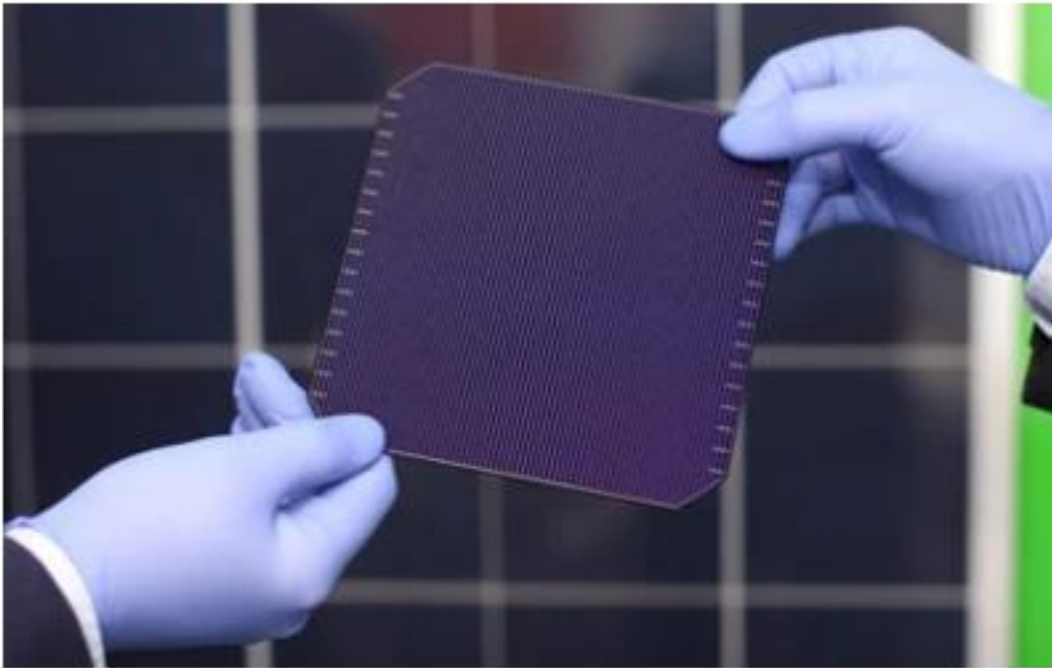


Rys. 15 Moduł krzemowy polikrystaliczny [72]

Ogniwa cienkowarstwowe, powstałe z krzemu amorficznego, wytwarza się poprzez nanoszenie cienkich warstw krzemu na szkło bądź stal nierdzewną. W tym przypadku warstwa półprzewodnika to około kilka mikronów. Ogniwa uczulane barwnikiem również zalicza się do ogniw cienkowarstwowych. Ich działanie jest analogiczne do procesu fotosyntezy zachodzącej w roślinach. Są tanie w produkcji, jednak ich sprawność jest niewielka. Produkuje się je za pomocą sitodruku, a dzięki temu, że przepuszczają część promieniowania słonecznego, po nałożeniu na szklane podłoże mogą pełnić rolę szyb okiennych [29].

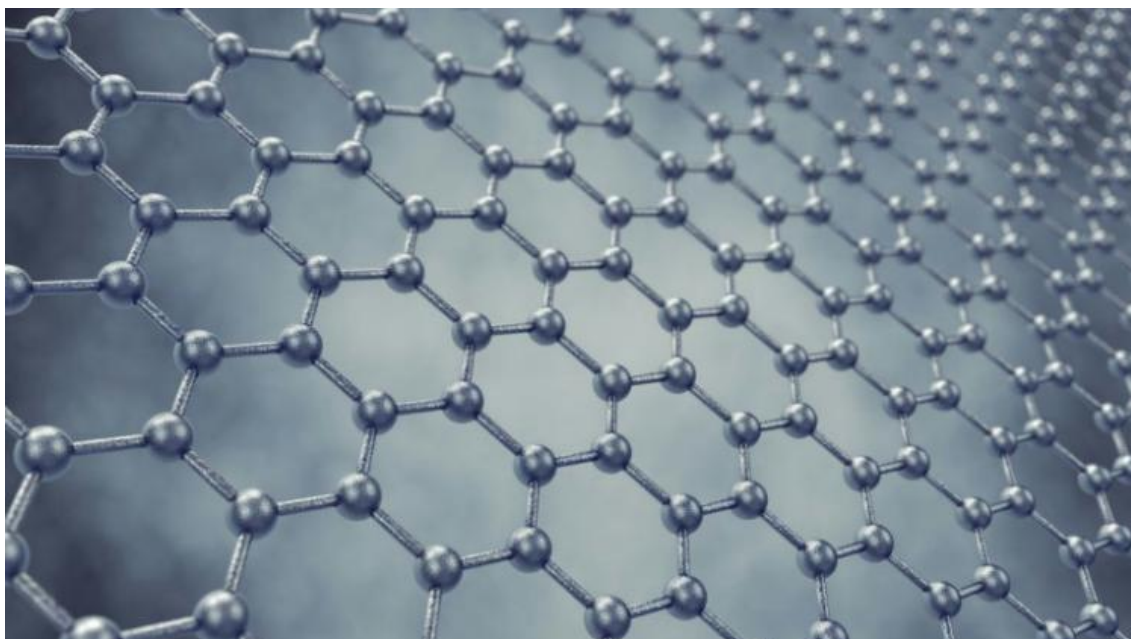
6.4 Ogniwa z dodatkiem grafenu

Warto również wspomnieć o innowacyjnej technologii opatentowanej przez polską firmę FreeVolt – moduły PV Graf. Jest to technologia hybrydowa, łącząca w sobie ultra cienką folię grafenową i krzem krystaliczny. Moduły PV Graf są zdecydowanie mniej podatne na mikro pęknięcia, a zostaną uszkodzone nadal działają z niemal niezmienną wydajnością. Znacznie lepiej reagują na słabe bądź rozproszone światło, a całkowite zacinienie niektórych ogniw nie ma wpływu na wydajność pozostałych.



Rys. 16 Ogniwo PV Graf [107]

Grafen został wytworzony po raz pierwszy w 2004 roku. Jest to pojedyncza warstwa atomów węgla w strukturze 2D, mająca unikatowe właściwości - jest prawie przezroczysty (absorbuje 2,3 % światła), bardzo wytrzymały i jednocześnie elastyczny (blisko 200 razy mocniejszy niż stal), bardzo dobrze przewodzi ciepło [34].



Rys. 17 Trójwymiarowy model strukturalny grafenu [89]

W 2011 roku Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, na czele którego stał prof. Włodzimierz Strupiński opracował technologię, która umożliwiała pozyskiwanie elementów o dużej powierzchni. Była to unikalna i stosunkowo tania metoda, której jednak nie udało się skomercjalizować, gdyż spółka zajmująca się produkcją przemysłową grafenu zamknęła swoją działalność, a tym samym idea „polskiego grafenu” upadła [33] [82].

6.5 Ogniwa perowskitowe

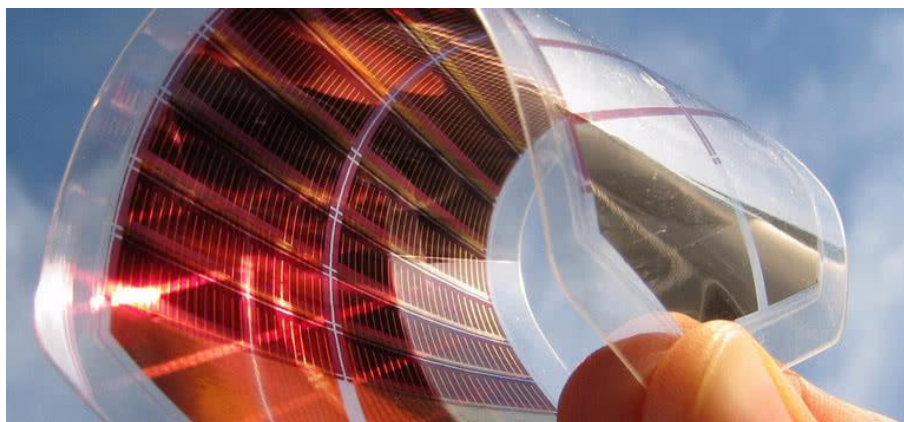
Ogniwa perowskitowe są zdecydowanym kamieniem milowym w dziedzinie fotowoltaiki. Perowskit jest to minerał, który ma strukturę krystaliczną i składa się z wapnia, tytanu i tlenu. Naturalnie występuje w przyrodzie, został odkryty w górach Ural w 1838 roku. Jego nazwa pochodzi od nazwiska rosyjskiego mineraloga – Lwa Perowskiego. Do produkcji pozyskuje się go w warunkach laboratoryjnych na drodze syntezy [27] [28].



Rys. 12 Minerał perowskitu [94]

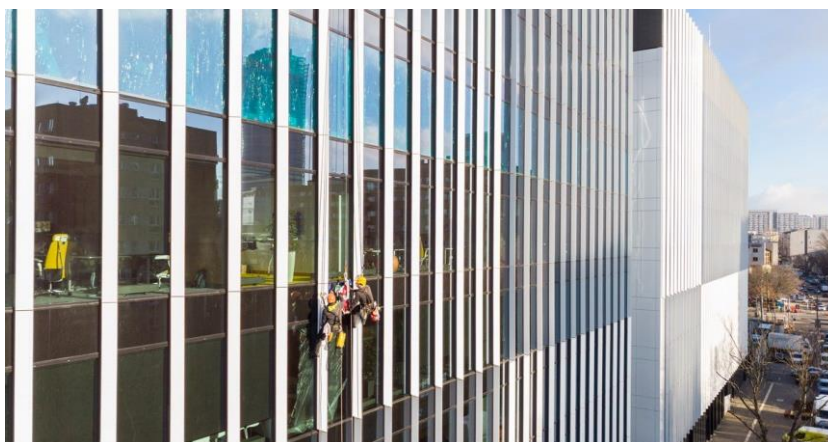
Dopiero w 2009 roku pochodzący z Japonii Tsutomu Miyasaka odkrył takie zastosowanie perowskitów, a kolejno polska fizyk dr Olga Malinkiewicz dokonała przełomu w tej dziedzinie i opracowała niskotemperaturową metodę wytwarzania ogniw perowskitowych za pomocą druku, co umożliwia stosowanie ich na rozmaitych powierzchniach, na przykład na folii PET. W porównaniu do ogniw krzemowych, te wykonane z perowskitów są lekkie, wytrzymałe, elastyczne, ultra cienkie i półprzezroczyste. Zastosowanie ogniw perowskitowych jest nieograniczone i mogą być wykorzystane wszędzie tam, gdzie ogniwa krzemowe nie mają szansy się sprawdzić. Funkcjonują wydajnie także wtedy, gdy światło nie pada na nie pod optymalnym kątem. Generują energię nie tylko ze światła słonecznego, ale także ze sztucznego oświetlenia. Są tanie w produkcji, a ich wydajność jest porównywalna do ogniw krzemowych, tj. około 25 %.

Można nimi pokrywać np. karoserie samochodowe, okna, smartfony, ładowarki – zastosowań jest nieskończenie wiele [28].



Rys. 18 Ogniwo perowskitowe [81]

Dr Olga Malinkiewicz jest dyrektorem technicznym firmy Saule Technologies, która ma siedzibę we Wrocławiu. Końcem 2018 roku przedsiębiorstwo budowlane Skanska zainstalowało na fasadzie budynku biurowego w Warszawie ogniwa perowskitowe w ramach współpracy z Saule Technologies, która miała na celu opracowanie najlepszych rozwiązań, pozwalających zintegrować moduł perowskitowy z fasadą budynku bez szkód dla procesów projektowych i budowlanych. Obydwie firmy dążyły do komercjalizacji rozwiązania, aby móc obniżyć koszty konsumowanej energii w budynkach. Ostateczna komercyjna wersja modułu perowskitowego, powstała w 2021 może zasilać oświetlenie miejsca pracy jednego pracownika bądź jeden komputer przez 8 godzin [108].



Rys. 19 Ogniwa perowskitowe zainstalowane na biurowcu, będącego siedzibą firmy Skanska [117]

W październiku 2020 roku Saule Technologies zaprezentowało swój kolejny wynalazek, czyli lamele z ogniwami perowskitowymi, automatycznie zmieniające swoje ułożenie na optymalne względem padania światła. „Łamacze światła”, bo tak określono produkt, zainstalowano w oknach budynku Aliplast w Lublinie. Są one ochroną dla budynku zarówno przed przegrzaniem i wychłodzeniem, a z uwagi na fakt, że produkują energię ze Słońca zmniejszają koszty utrzymania budynku, tj. ogrzewania czy klimatyzacji. Lamele są zintegrowane ze stacją pogodową, zamieszczoną na dachu budynku, co pozwala na dostosowanie ułożenia względem Słońca, aby zoptymalizować działanie. Jest to pierwszy tego typu produkt komercyjny na świecie [48].



Rys. 20 "Łamacze światła" z ogniwami perowskitowymi produkcji Saule Technologies w Lublinie [48]

Obecnie firma Saule Technologies drukuje ogniwa perowskitowe, które są wykorzystywane w sektorze IoT (Internet of Things – jest to cyfrowa sieć zintegrowanych ze sobą przedmiotów połączonych dodatkowo ze światem fizycznym) [23], konkretniej w projekcie inteligentnego systemu obsługi etykiet elektronicznych,

zasilanych ogniwem perowskitowym. Opracowane etykiety PESL oprócz ogniwa perowskitowego są wyposażone w wyświetlacz e-ink oraz moduł komunikacji bezprzewodowej. Wyświetlacz oprócz ceny może pokazywać również dodatkowy tekst i grafikę. Możliwości tego rozwiązania są nieograniczone – centralnie i synchronicznie można zmieniać ceny w tysiącach sklepów. Na wprowadzenie tej technologii zdecydował się Polski Koncern Naftowy PKN ORLEN [24].



Rys. 21 Etykiety PESL zasilane ogniwem perowskitowym [24]

Technologia oparta na perowskitach wykracza daleko poza IoT. Może być również źródłem energii dla rozwiązań z obszaru BAPV (Building Applied Photovoltaics, montaż systemów fotowoltaicznych poprawiających bilans energetyczny budynku, na budynkach już istniejących), BIPV (Building Integrated Photovoltaic, zamiana tradycyjnych materiałów budowlanych na elementy fotowoltaiczne), e-mobility oraz wielu innych sektorów biznesu.

7. Ogniwa paliwowe

Ogniwo paliwowe jest rozwiązaniem, które z powodzeniem służy do wytwarzania energii elektrycznej z wodoru. Jest to ogniwo elektrochemiczne, które generuje ładunek elektryczny, na skutek reakcji utleniania paliwa. Reakcja zachodzi w sposób ciągły, dopóki są doprowadzane do niego reagenty, a produkty reakcji odprowadzane. Energia chemiczna jest bezpośrednio zamieniana w elektryczną oraz ciepło [62].

7.1 Budowa i zasada działania

Ogniwo paliwowe złożone jest z dwóch elektrod – anody i katody. Między tymi elektrodami znajduje się elektrolit, który przepuszcza jony tylko w jedną stronę. Do anody doprowadzany jest wodór, natomiast do katody wprowadzany jest utleniacz, czyli tlen. Katalizator znajdujący się na anodzie prowokuje rozbitcie atomów wodoru na protony i elektrony. Bezpośrednio do katody trafiają jedynie protony, natomiast elektrony przemieszczają się do niej zewnętrznym obwodem, generując tym samym prąd elektryczny. Na katodzie protony i elektrony łącząc się z tlenem tworzą wodę, która jest produktem ubocznym reakcji [62]. Reakcja elektrochemiczna wodoru i tlenu generuje prąd elektryczny, wodę oraz ciepło.

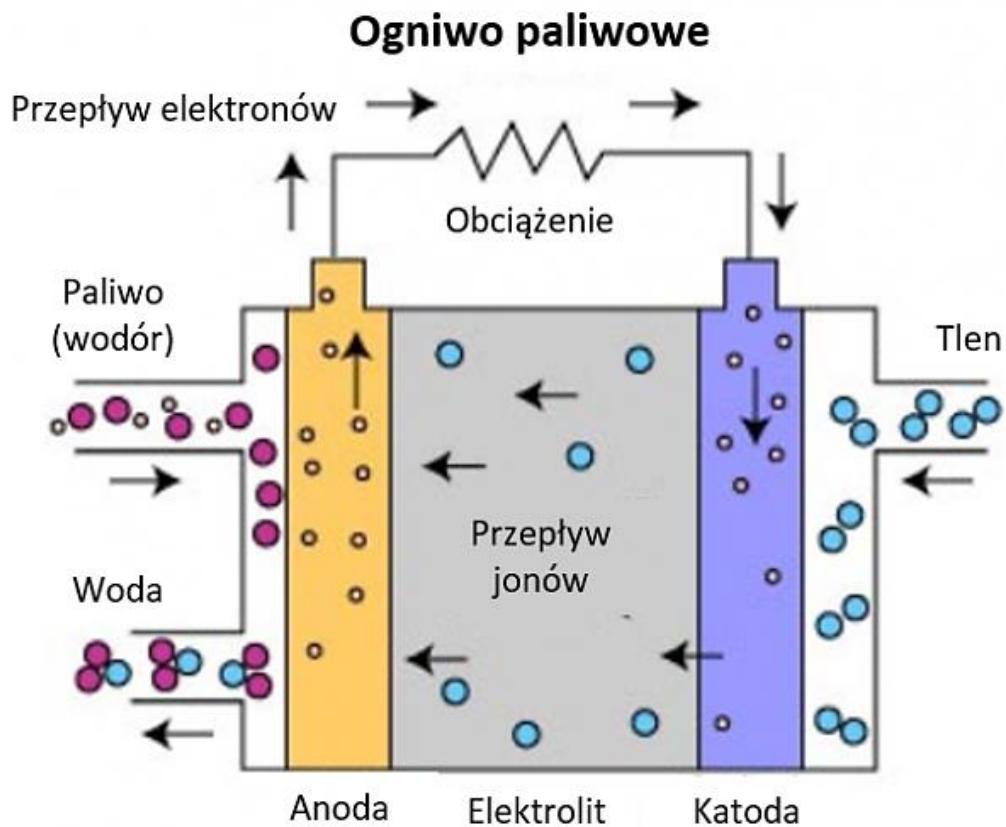
Na anodzie zachodzi następująca reakcja:



Na katodzie tlen pod wpływem reakcji z elektronami tworzy jony tlenowe, które wraz z jonami wodoru tworzą wodę:

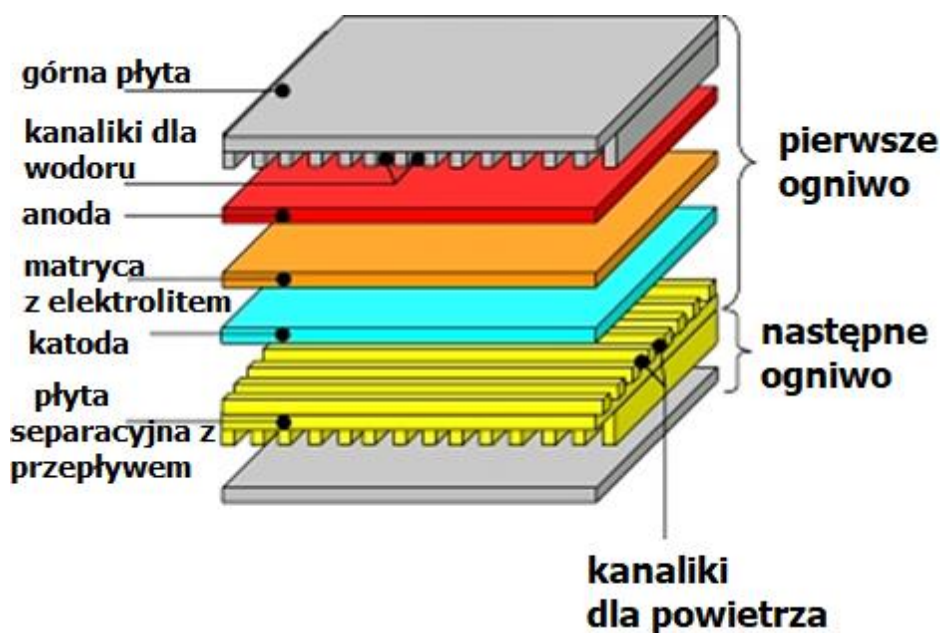


[56] Zasada działania ogniwa paliwowego została zwizualizowana na rysunku poniżej [Rys.16]:



Rys. 22 Schemat budowy i działania paliwowego ogniwa alkalicznego [104]

Pojedyncze ogniwo paliwowe wytwarza niskie napięcie, poniżej 1 volta z każdego centymetra kwadratowego powierzchni ogniwa. Dlatego też, aby wytworzyć wymaganą ilość energii, pojedyncze ogniwa łączy się ze sobą w tzw. stosy ogniw paliwowych połączonych szeregowo.



Rys. 23 Schemat ideowy ogniwa paliwowego typu płytkowego [112]

Jak pokazuje powyższy rysunek [Rys. 17] ogniwo paliwowe złożone jest z pojedynczych elementów. Każdy element składa się z anody, katody oraz matrycę z elektrolitem. Poszczególne elementy oddzielone są od siebie bipolarnymi płytami, wyposażonymi w specjalne kanały umożliwiające dopływ reagentów [54]. Wydajnością ogniw określa się stosunek energii prądu wytwarzanego przez ogniwo do zawartości cieplnej paliwa.

7.2 Podział ogniw paliwowych

Ogniwa paliwowe można podzielić według kilku parametrów, na podstawie których można określić do jakich celów konkretne ogniwo paliwowe może być przeznaczone. Kryteria podziału to:

- temperatura pracy,
- zastosowany elektrolit,
- ciśnienie pracy,
- stan skupienia paliwa,
- substancja będąca utleniaczem,
- obszar zastosowania.

Podział ogniw paliwowych według temperatury pracy:

- niskotemperaturowe (25-100 °C),
- średniotemperaturowe (100-500 °C),
- wysokotemperaturowe (500-1000 °C).

Podział według zastosowanego elektrolitu:

- elektrolit alkaiczny AFC (ang. Alkaline Fuel Cell),
- membrana polimerowa PEMFC / DMFC (ang. Proton Exchange Membrane Fuel Cell / ang. Direct-Methanol Fuel Cell)
- kwas fosforowy PAFC (ang. Phosphoric Acid Fuel Cell),
- stopione węglany MCFC (ang. Molten Carbonate Fuel Cell),
- stałe tlenki metali SOFC (ang. Solid Oxide Fuel Cell).

Podział według ciśnienia:

- atmosferyczne,
- ciśnieniowe.

Podział według stanu skupienia paliwa:

- gazowe,
- ciekłe,
- stałe.

Podział według rodzaju utleniacza:

- tlen,
- powietrze,
- powietrze + CO₂,

Podział według obszaru zastosowania:

- motoryzacja,
- transport,
- urządzenia przenośne,
- energetyka,
- zastosowanie specjalne [36].

7.3 Wady i zalety ogniw paliwowych

Ogniwa paliwowe niewątpliwie mają wiele zalet. Charakteryzują się wysoką sprawnością produkcji energii elektrycznej oraz możliwością pracy w trybie ciągłym, przy szerokim zakresie obciążeń. Ogniwa paliwowe nie generują hałasu, a brak części ruchomych, pracujących w trudnych warunkach sprawia, że są bardziej wytrzymałe. Zdecydowanym plusem tego rozwiązania jest brak emisji niebezpiecznych substancji podczas procesu spalania, takich jak tlenki siarki i azotu, więc technologia jest neutralna dla środowiska – jedynym produktem ubocznym procesu jest woda. Kolejną zaletą jest możliwość stosowania różnych paliw.

Z wad można wymienić to, że z pojedynczego ogniwa pozyskiwane jest niskie napięcie, około 1V, z modułu również uzyskuje się stosunkowo niską moc. Ogniwa paliwowe są także nieodporne na zanieczyszczenia zawarte w paliwie, które znacznie zmniejszają ich żywotność, zatykając pory elektrod – tym samym zmniejsza się ich wydajność prądowa. Kolejną wadą jest wysoka cena materiałów, z których wykonane są katalizatory do ogniw paliwowych.

Ogniwa paliwowe wytwarzają jedynie prąd stały, co może być równocześnie wadą i zaletą [36].

8. Zjawisko luminescencji

Luminescencja jest zjawiskiem emisji światła przez substancję z dowolnej przyczyny za wyjątkiem wzrostu temperatury. Według Siergieja Wawilowa, czyli rosyjskiego fizyka badającego to zjawisko: „*Luminescencja to nadwyżka promieniowania ciała nad promieniowaniem temperaturowym tego samego ciała w danej części widmowej i w danej temperaturze, która ponadto charakteryzuje się skończonym czasem świecenia, to znaczy nie zanika natychmiast po przerwaniu wzbudzenia.*” Przyczyny tego wzbudzenia mogą być różne. Rodzaje luminescencji można podzielić według dwóch kryteriów – ze względu na czynnik wzbudzający promieniowanie oraz czas świecenia.

Podział ze względu na czynnik wzbudzający promieniowanie:

- Chemiluminescencja – jest spowodowana reakcją chemiczną, np. promieniowanie podczas utlenienia białego fosforu lub luminolu,
- Rentgenoluminescencja – powstaje na skutek działania promieniowaniem rentgenowskim na substancję, taką właściwość wykazuje wolframian wapnia CaWO_4 ,
- Triboluminescencja (z greckiego *tribein* to trzeć) - spowodowana czynnikiem mechanicznym, czyli tarciem, zginaniem, uderzeniem, ściskaniem itp., przykładem jest promieniowanie powstałe przy zgniataniu kostki cukru,
- Radioluminescencja - wywoływana przez promieniowanie α , β , γ , promieniowanie kosmiczne lub fragmenty rozszczepień jąder atomowych,
- Sonoluminescencja – powstaje poprzez działaniu ultradźwięków,
- Elektroluminescencja - luminescencja zachodząca pod wpływem wyładowania elektrycznego w przypadku gazów bądź działaniem pola elektrycznego w ciałach stałych, zjawisko to wykorzystuje się np. w kondensatorach elektroluminescencyjnych,
- Elektronoluminescencja (katodoluminescencja) – następuje pod wpływem elektronów przyspieszonych napięciem między elektrodami, co ma zastosowanie w kineskopach lub mikroskopach elektronowych,
- Termoluminescencja – następuje wskutek naświetlenia substancji i późniejszym jej ogrzaniu, substancja najpierw gromadzi energię a kolejno ją wypromieniowuje; tą zdolność wykazuje fluorek wapnia CaF_2 , stosuje się go do budowy dozymetrów,

- Bioluminescencja - jest odmianą chemiluminescencji, polegającą na emitowaniu światła przy zachodzeniu reakcji biochemicznych; zdolność tą posiadają wszystkie żywe organizmy, jednak jest ona bardzo słaba i tym samym niezauważalna,
- Fotoluminescencja – wywołuje ją pochłanianie ultrafioletu, podczerwieni lub promieniowania elektromagnetycznego z obszaru widzialnego, wykazuje ją wiele substancji, np. organiczne barwniki używane do produkcji odblaskowych flamastrów oraz luminofory stosowane w świetlówkach.



Rys. 24 Świecenie luminolu pod wpływem hemoglobiny [91]

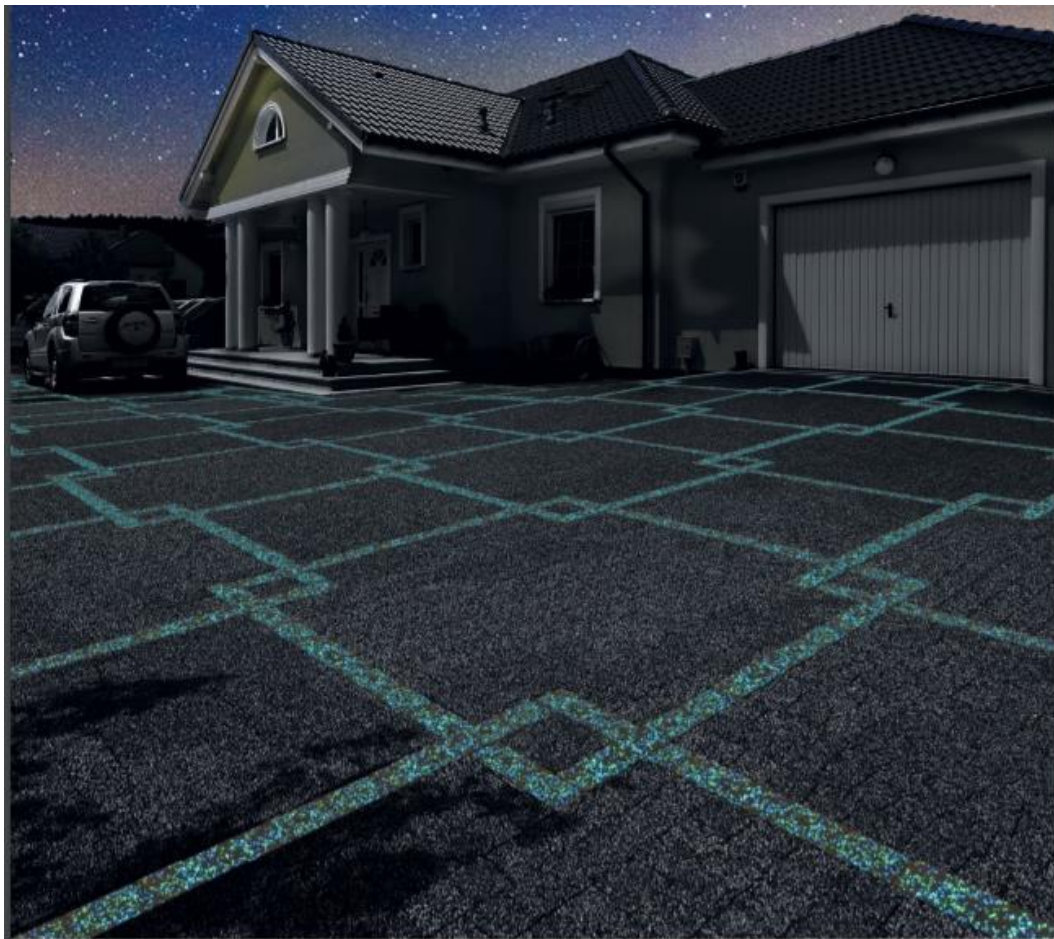
Zjawisko fotoluminescencji można podzielić na dwie grupy, w zależności od tego, jak długi czas mija od momentu pochłonięcia do emisji energii. Podział jest następujący:

- Fluorescencja to świecenie krótkotrwałe, gdzie czas pomiędzy pochłonięciem a emisją energii wynosi nie więcej niż 10-8 s, występuje przy samorzutnym przejściu z wyższego na niższy poziomu energetycznego elektronu,
- Fosforescencja to świecenie długotrwałe, gdzie czas pomiędzy pochłonięciem a emisją energii wynosi ponad 8 s i może trwać nawet kilka dni, powstaje przy udziale energii cieplnej ośrodka, jeśli istnieje metastabilność [17] [65].

8.1 Luminofory

Luminofory są to substancje syntetyczne, wykazujące luminescencję. Można je podzielić na organiczne i nieorganiczne. Do luminoforów nieorganicznych należą:

- wolframiany, np. wolframian wapnia CaWO_4 ,
- krzemiany, np. krzemian cynku i berylu $\text{ZnSiO}_4 + \text{BeSiO}_4$,
- siarczki, np. siarczek wapnia CaS ,
- selenki, np. selenek cynku ZnSe ,
- tellurki, np. tellurek cynku ZnTe ,
- tlenki, np. tlenek cynku ZnO ,
- halofosforany wapnia,
- inne (np. platynocyjanek baru, tantalanian itru).



Rys. 25 Kostka betonowa z kruszywa z dodatkiem luminforów Polbruk Lumia [44]

Luminofory organiczne to pochodne diksantylenu, benzodialdazyn, naftodialdazyn, rodaminy, eozyny, fluoresceiny, uraniny.

8.2 Diody LED

Dioda elektroluminescencyjna (ang. light-emitting diode) składa się z niewielkiego elementu, będącego monokrystalicznym półprzewodnikiem p-n, przymocowanym do podstawki z doprowadzeniami, która jest pokryta osłoną z żywicy. Materiały półprzewodnikowe są zbudowane z pierwiastków III i V grupy układu okresowego, czyli pierwiastków ziem rzadkich. Jej działanie oparte jest na zjawisku rekombinacji promienistej, czyli przejścia elektronu z wyższego poziomu energetycznego na niższy, przy jednoczesnym oddaniu energii w formie promieniowania. Zjawisko luminescencji, a konkretniej elektroluminescencja, następuje pod wpływem przepływu prądu w diodzie p-n, która jest spolaryzowana w kierunku przewodzenia [2] [17] [18] [37].



Rys. 26 Diody LED [92]

Istnieje kilka rodzajów diod LED, a ich podziału można dokonać na podstawie wyglądu oraz sposób montażu. Każdy rodzaj charakteryzuje się inną wydajnością poszczególnych diod, stopniem regulacji kąta padania światła, wartością współczynnika

CRI (współczynnik oddawania barw, maksymalna wartość to 100), czy możliwością zmiany barwy światła. Podział wygląda następująco:

- DIP LED (Dual In-Line Package)

Jest to najstarszy i najtańszy rodzaj diod, dostępny na rynku od ponad 50 lat. Pierwsze żarówki i lampy LED powstały przy użyciu właśnie diod DIP LED. Cechą tego rodzaju diod jest względnie duża sprawność, przy jednocześnie niewysokich parametrach świetlnych i małej wydajności. Maksymalny strumień świetlny osiągany przez diody DIP LED oscyluje w granicach 5-6 [lm]. Mogą pracować do 30 tysięcy godzin. Charakteryzują się niską wartością współczynnika CRI, przez co nie oddają naturalnych barw. Z zalet niewątpliwie można wymienić wytrzymałość, łatwy montaż oraz energooszczędność. Niestety są dość awaryjne, z uwagi na ich nieumiejętne wykorzystanie oraz zbyt duże wartości narzucane przez producentów. Obecnie są wykorzystywane w różnych wyświetlaczach LED, natomiast w produktach stricte oświetleniowych zamieniono je na diody SMD.



Rys. 27 Dioda DIP LED [116]

- SMD LED (Surface Mounted Device)

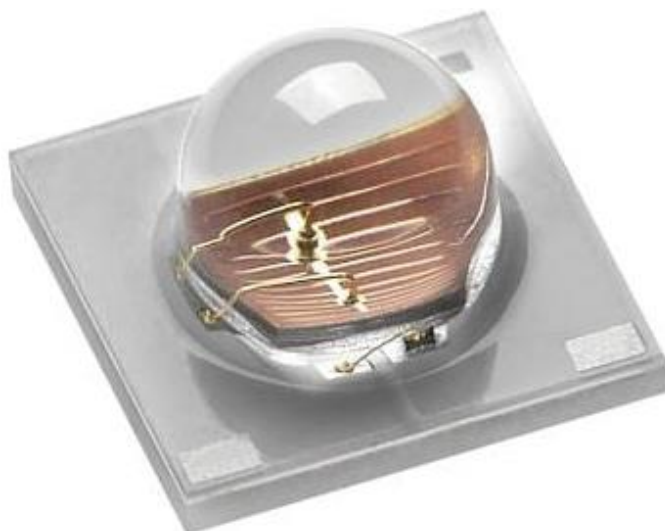
Jest to dioda o najbardziej wszechstronnym zastosowaniu. Cechuje się dobrą wydajnością i lepszymi parametrami świetlnymi, a jednocześnie dużo mniejszymi rozmiarami od diod DIP. Ma duży strumień świetlny, który sięga kilku lumenów, a także wysoki współczynnik CRI. Średni czas pracy takiej diody to około 50 tysięcy godzin, o ile ciepło jest odprowadzane w odpowiedni sposób. Diody SMD charakteryzuje szeroki kąt świecenia, dochodzący do 180 stopni.



Rys. 28 Dioda SMD LED [98]

- High Power LED

Diody z tego rodzaju charakteryzuje wysoki pobór mocy pojedynczego chipu. Pojedyncza dioda generuje moc na poziomie 1 W lub więcej. Ta technologia umożliwia zastosowanie dowolnej soczewki, co daje duże możliwości w dziedzinie aranżacji oświetleniowych. Dawniej były stosowane w przemyśle, jednakże w dużej mierze zostały wyparte przez diody SMD.



Rys. 29 Dioda High Power LED [114]

- LED RGB (Red Green Blue)

Diody te mają możliwość emitowania trzech barw światła – czerwonej, zielonej i niebieskiej. Z połączenia tych trzech kolorów uzyskuje się barwę białą. Sterowanie odbywa się poprzez sterownik, a zastosowanie odpowiedniej kombinacji daje możliwość uzyskania dowolnej barwy. Diody RGB stosuje się w żarówkach lub taśmach LED.



Rys. 30 Diody LED RGB [102]

- COB (Chip On Board)

Ich nazwa nawiązuje do sposobu montażu, bezpośrednio w kontakcie z podłożem. Charakteryzują się dużą powierzchnią, na której znajduje się kilka chipów pod jednolitą warstwą luminoforu. Ich cechą jest duża intensywność światła a także jego większa jednolitość [98].

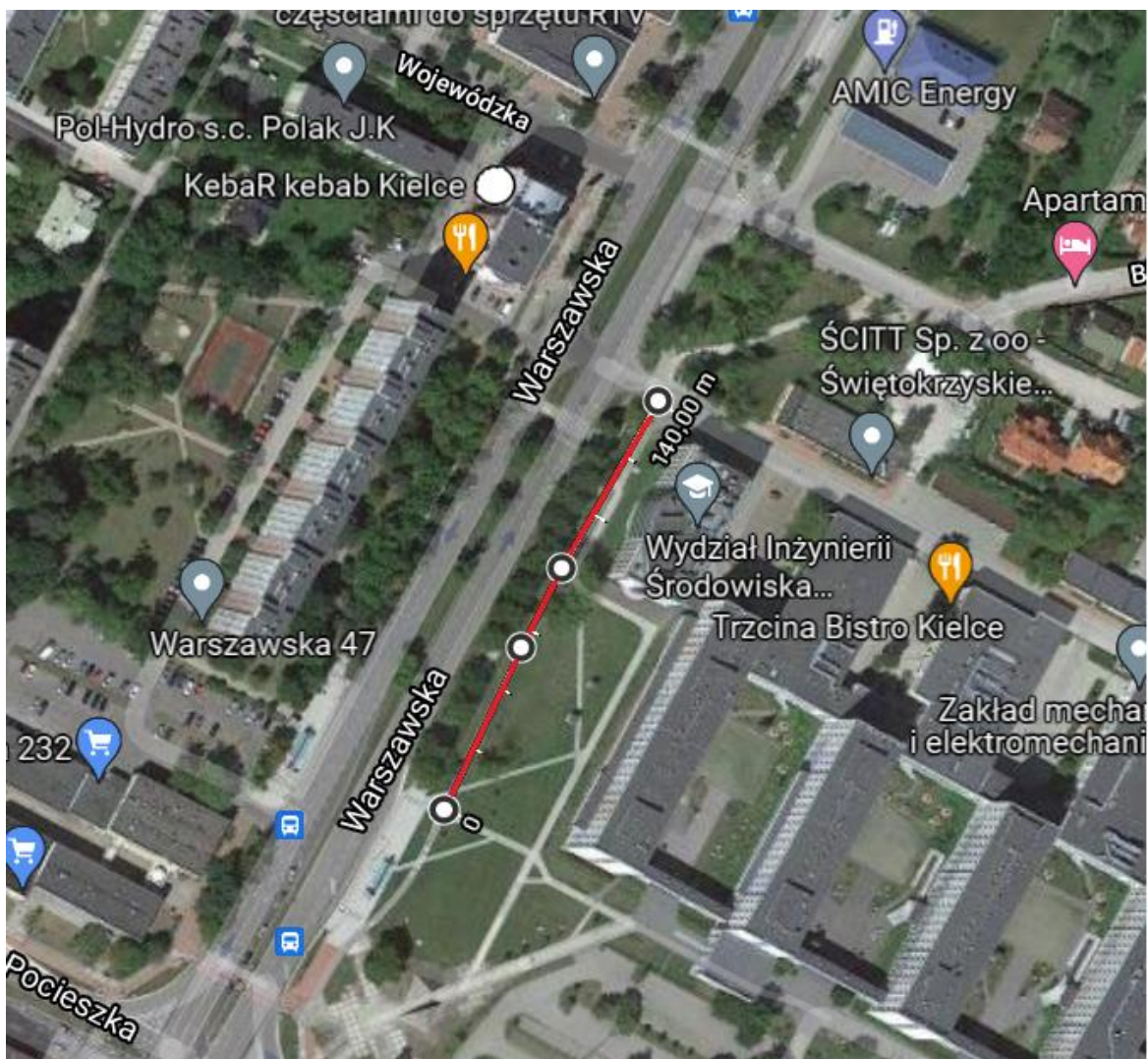


Rys. 31 Dioda LED COB [111]

W niniejszym projekcie wykorzystano diody LED RGB, które są zatopione w poliestrowych kostkach. Dokonano takiego wyboru z uwagi na mały pobór mocy diod oraz możliwość zmiany koloru w zależności od zadanych parametrów.

9. Projekt trasy rowerowej

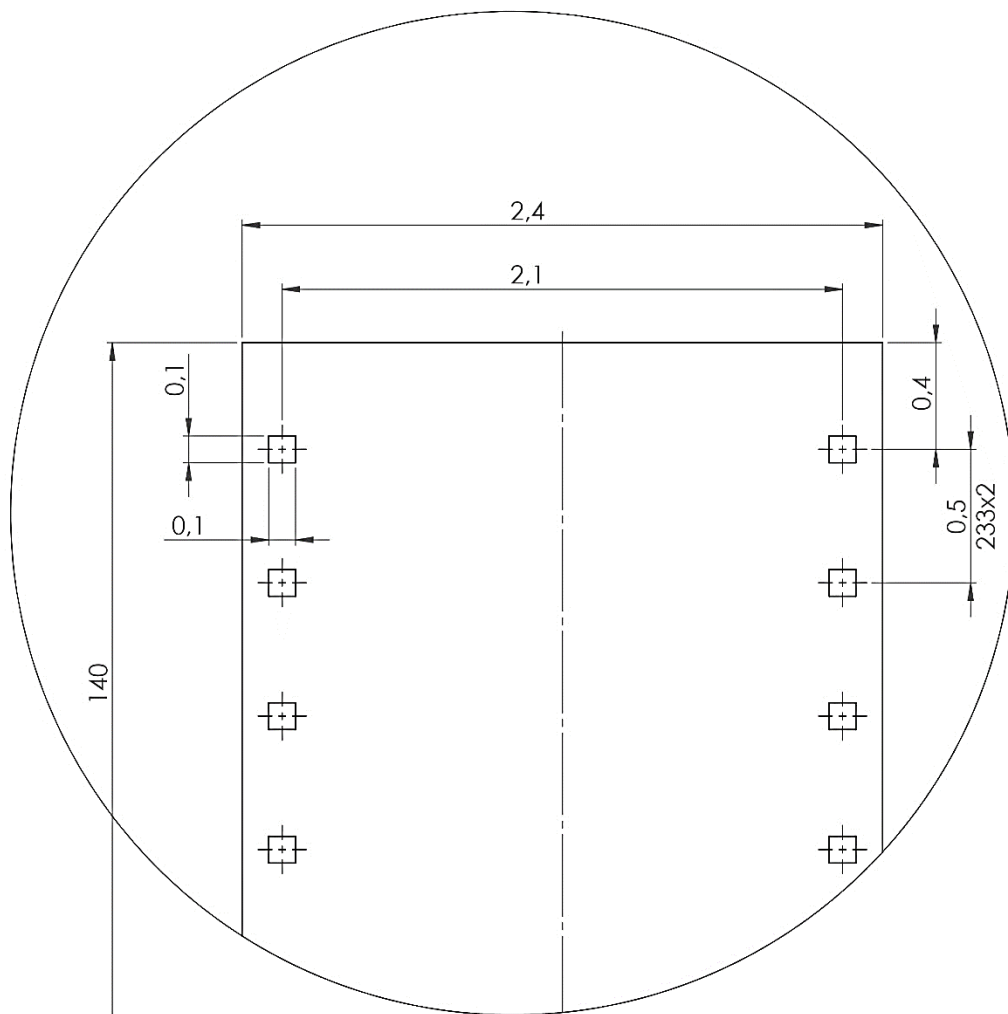
Projektowana ścieżka rowerowa jest zlokalizowana na terenie Politechniki Świętokrzyskiej i biegnie wzdłuż ulicy Warszawskiej. Składa się z warstwy dekoracyjnego betonu z dodatkiem luminoforów, lśniącego niebieskim światłem po zapadnięciu zmroku oraz 466 sztuk świecących kostek LED RGB wykonanych z odlewu z żywicy poliestrowej z zatopioną elektroniką. Elementy instalacji zostały dobrane w sposób uwzględniający warunki eksploatacji.



Rys. 32 Przebieg projektowanej trasy w terenie [opracowanie własne]

Ułożenie kostki jest dowolne, można tworzyć różne wzory, dopasowane do otoczenia. W projektowanym rozwiązaniu kostki LED są ułożone po obu stronach trasy

w równych odległościach. Długość projektowanej ścieżki rowerowej wynosi 140 m, natomiast szerokość to 2,40 m. Rysunek zaprojektowano w programie SolidWorks.



Rys. 33 Schemat rozmieszczenia kostek LED na trasie rowerowej [opracowanie własne]

Barwa kostek ledowych jest uzależniona od jakości powietrza w okolicy, tj. zawartości pyłów zawieszonych w powietrzu, czyli $PM_{2.5}$ i PM_{10} . Są to główne składniki smogu – siarczany, amoniak, tlenki glinu, tlenki żelaza, węgiel i sole. Powstają na skutek spalania paliw. Dopuszczalne stężenie cząstek PM_{10} na przestrzeni dwudziestu czterech godzin to $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_{2.5}$ – $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [105]. W warunkach, gdy kostki świecą na zielono oznacza to, że jakość powietrza jest bardzo dobra, na pomarańczowo – dostateczna, natomiast na czerwono zła. Kostki LED są połączone ze sterownikiem zarządzanym zdalnie domeną internetową monitorującą jakość powietrza, który dopasowuje barwę świecenia do zarejestrowanych danych dotyczących zawartości cząstek stałych

w powietrzu. Dodatkowo na całej powierzchni ścieżki zastosowano wysokotemperaturowe przewody grzejne w izolacji mineralnej, które zostały zatopione w asfaltowej nawierzchni. Podgrzewanie ścieżki przeciwdziała oblodzeniu i zaleganiu śniegu, umożliwiając komfortowe poruszanie się po niej w okresie zimowym oraz zmniejsza ilość wypadków.

Na potrzeby niniejszej pracy zostało wykonane zdjęcie dronem, przedstawiające przebieg ścieżki.

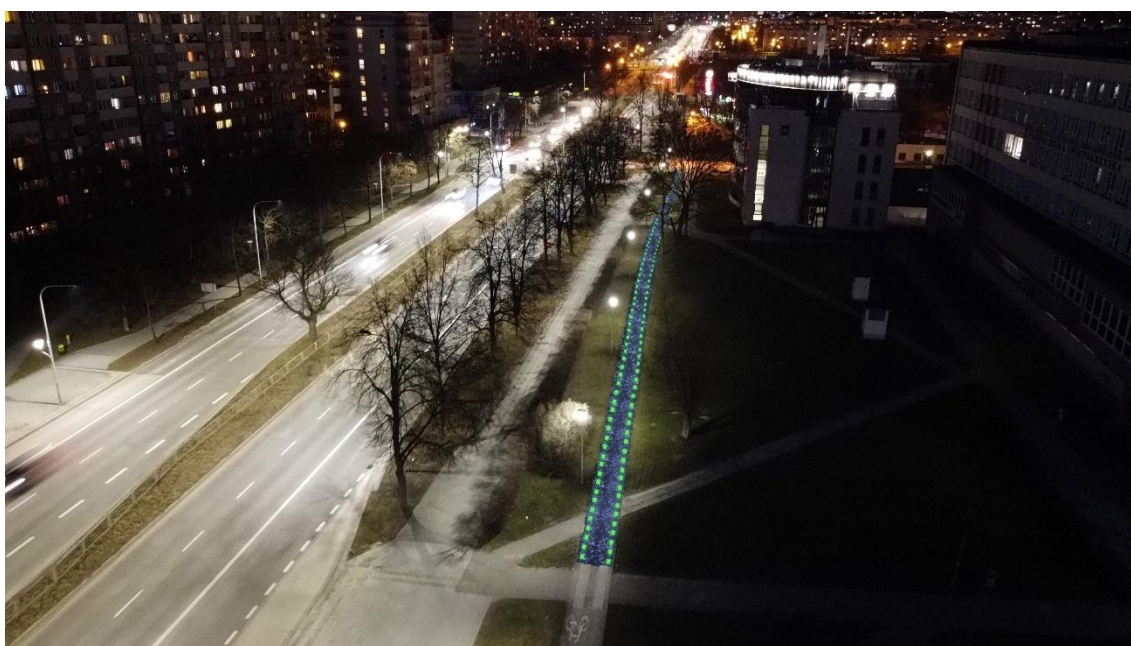


Rys. 34 Przebieg istniejącej ścieżki rowerowej [opracowanie własne]

Zmodernizowana trasa rowerowa została zwizualizowana w istniejącym krajobrazie zarówno w dzień jak i w nocy za pomocą programu Photoshop.



Rys. 35 Wizualizacja zmodernizowanej trasy rowerowej w dzień [opracowanie własne]



Rys. 36 Wizualizacja zmodernizowanej trasy rowerowej w nocy [opracowanie własne]

Niniejszy rozdział szczegółowo opisuje zastosowane komponenty, zasilanie oraz rozwiązuje problem magazynowania nadmiarowej energii. Omówiono także recykling poszczególnych zastosowanych elementów i materiałów.

Cała koncepcja instalacji jest stworzona w myśl Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo Ochrony Środowiska [67].

9.1 Komponenty instalacji interaktywnego oświetlenia trasy rowerowej

Wszystkie komponenty składające się na innowacyjną ścieżkę rowerową zostały wyselekcjonowane z rozwiązań dostępnych na rynku, na podstawie parametrów technicznych. Wykorzystane produkty muszą być odporne na działanie czynników atmosferycznych.

a) Podłoże

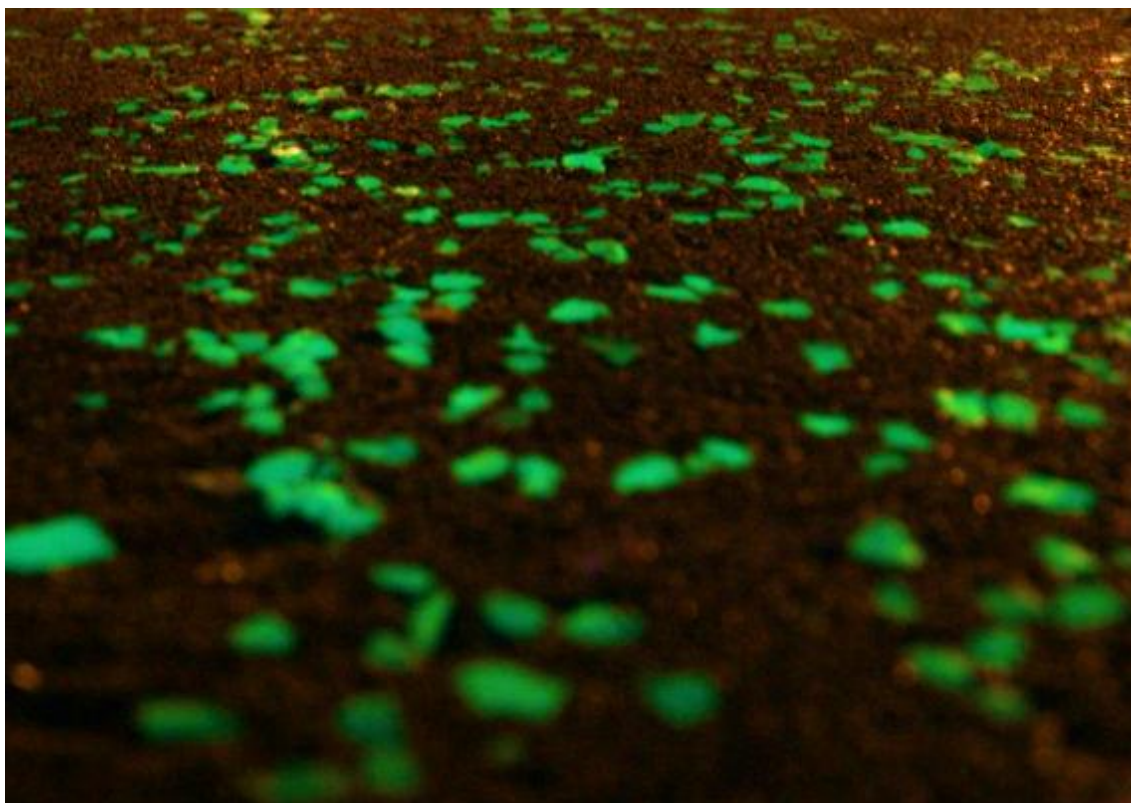
Odpowiednie podłoże jest kluczowym elementem, który zapewnia trwałość i stabilność powierzchni, a także wyrównuje poziom bruku. Jej przygotowanie powinno być poprzedzone odpowiednimi badaniami geotechnicznymi, które określą jaki jest stan oraz rodzaj gruntu, na którym będzie układana kostka. Po określeniu tych parametrów można sprecyzować informacje o nośności gruntu, a tym samym ustalić, w jakim stopniu należy go utwardzić. Pod wykorzystany beton dekoracyjny grunt musi mieć nośność na poziomie G1, czyli musi być zaliczone do niewysadzinowego podłoża, gdzie wskaźnik nośności jest większy bądź równy 10 %. Odpowiedni podkład chroni nawierzchnię przed uszkodzeniami, które mogą być powodowane działaniem niskiej temperatury. Sprawia także, że obciążenia z bruku na grunt są rozkładane równomiernie, co znacznie poprawia wytrzymałość oraz trwałość nawierzchni [88] [97].

Przed wykonaniem nawierzchni należy zapobiec odciąganiu wody z betonu przez podłoże, poprzez nawilżenie gruntu wodą lub pokrycie folią PE o grubości minimalnej 0,2 mm [9].

Kolejnym elementem przygotowawczym jest szalunek, który może być drewniany, ze sklejki, bądź z elementów kostki brukowej. Bezpośrednio przed ułożeniem betonu należy je zwilżyć wodą.

b) Nawierzchnia

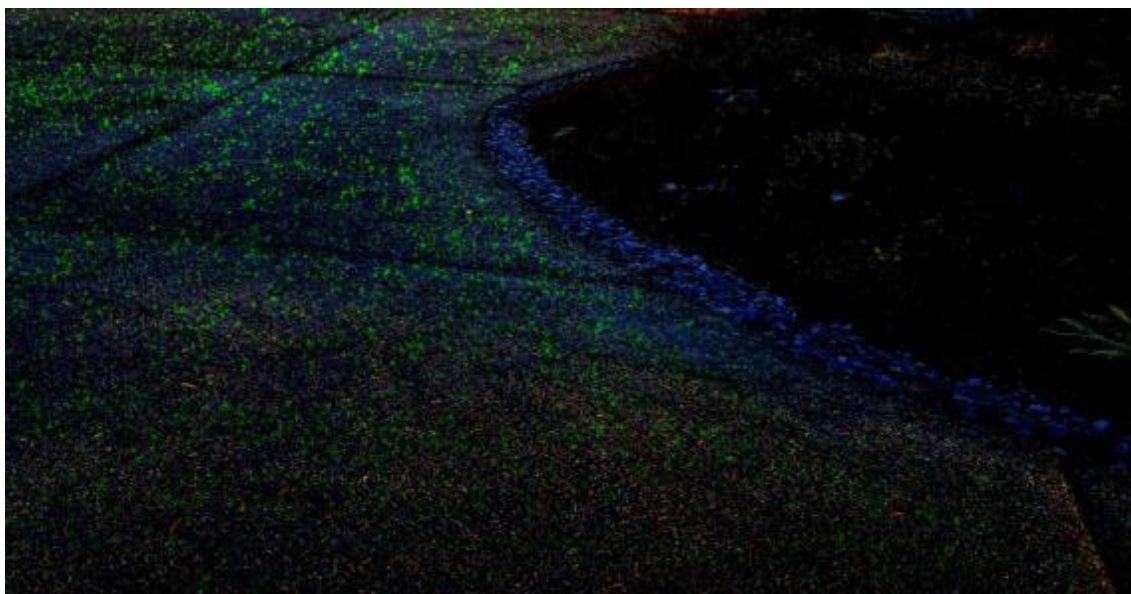
Zastosowano produkt Deco Stello firmy CEMEX, czyli beton dekoracyjny z dodatkiem kruszywa luminescencyjnego. Luminescencyjne ziarna sprawiają, że nawierzchnia po zmroku jest bardzo efektowna i widoczna dla użytkowników trasy rowerowej. Jest to mieszanka betonowa, która idealnie sprawdzi się jako pokrycie ścieżki rowerowej, z uwagi na swoje właściwości.



Rys. 37 Dekoracyjny beton z eksponowanym kruszywem luminescencyjnym Deco Stello [74]

Jest mrozoodporna, wysoce wytrzymała i odporna na koleinowanie. Ponadto składniki są dobrane w taki sposób, aby nie przerastała zielenią. Kolejnym jej atutem jest szybkie układanie, które może się odbywać za pomocą pompy do betonu oraz brak konieczności stosowania obrzeży betonowych. Warstwa betonu powinna mieć grubość 12 cm, aby zapewnić odpowiednią nośność. Ważnym elementem tego rozwiązania są dylatacje, które mogą być wykonane piłą do betonu.

Cena nawierzchni to 250 zł/m², zatem koszt nawierzchni na modernizowanej trasie oscylowałby w granicy około 84 000 zł.



Rys. 38 Nawierzchnia DECO STELLO z widocznymi dylatacjami [74]

c) Kostka brukowa LED

Zastosowano kostkę brukową Bruklux wykonaną z poliestru w formie odlewu z żywicy o wymiarach 10x10mm. W środku zatopiona jest dioda LED wraz z potrzebną elektroniką. Kostka ma chropowatą powierzchnię, jest bardzo odporna na działanie niekorzystnych czynników zewnętrznych takich jak zmienna temperatura (zakres działania to od -40 °C do +50 °C), wilgotność oraz obciążenie. Stopień ochrony to IP67, natomiast twardość i ścieralność jest porównywalna do betonu. Produkt charakteryzuje się długą żywotnością – 100 000 godzin. Moc pojedynczej kostki różni się w zależności od koloru.

W niniejszym projekcie wykorzystano 466 sztuk kostki Bruklux Holland LED RGB, które są równomiernie ułożone po obu krawędziach ścieżki, w odstępach 0,5 m od siebie i 0,1 m od krawędzi. Świecące się kostki wyznaczają tor trasy rowerowej.

Kostka może się świecić na różne kolory w zależności od czynników narzuconych przez projektanta. W przypadku niniejszego projektu kolor kostki zmienia się na zielony, pomarańczowy bądź czerwony, w zależności od jakości powietrza w okolicy, a konkretniej zawartości cząstek pyłów PM_{2.5} i PM₁₀, gdyż system jest zintegrowany ze specjalnym sterownikiem GSM.

Tabela 1 Wartości napięcia, natężenia i mocy elektrycznej w zależności od koloru kostki LED RGB[19]

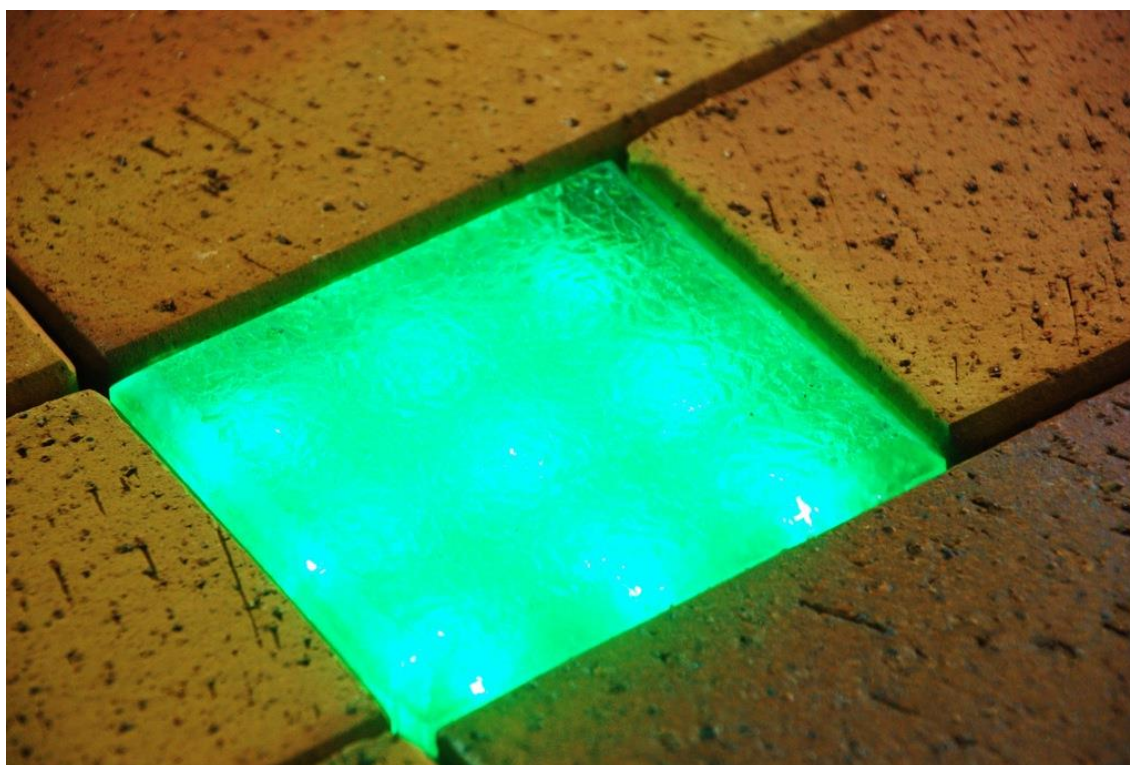
KOLOR	U_n napięcie	I_n prąd	P_n moc
R (czerwony)	12 VCD	38 mA	0,46 W
G (zielony)	12 VCD	42 mA	0,5 W
B (niebieski)	12 VCD	40 mA	0,48 W

Poniżej przedstawiono obliczenia, które obrazują całkowite zużycie energii wszystkich kostek w zależności od koloru. Barwa pomarańczowa powstaje w wyniku połączenia barwy czerwonej i zielonej.

$$P_{RED} = 0,46 W \cdot 466 szt = 214,36 W$$

$$P_{GREEN} = 0,5 W \cdot 466 szt = 233 W$$

$$P_{ORANGE} = P_{RED} + P_{GREEN} = 214,36 W + 233 W = 447,36 W = 0,45 kW$$

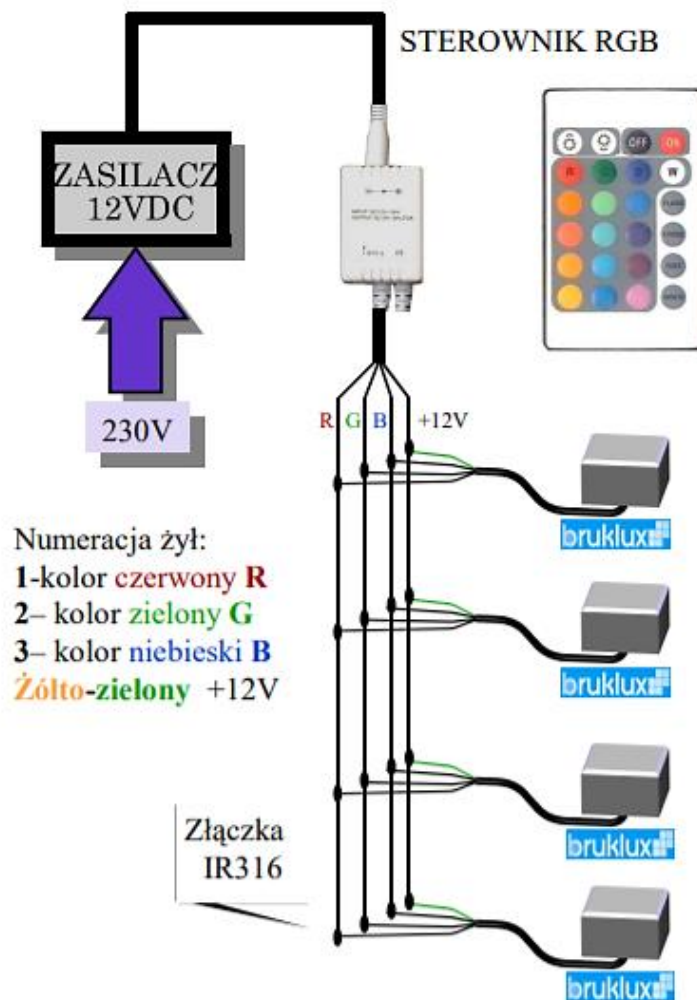


Rys. 39 Kostka brukowa LED Bruklux RGB [19]

Zasilanie kostki LED odbywa się za pomocą zasilacza ze stabilizacją napięcia. Do podłączenia zastosowano przewody miedziane w izolacji, o średnicy 1,5 mm². Do

podłączenia kostki stosuje się złączki typu Scotchlok 316 IR, które są odporne na wilgoć i charakteryzują się dużą wytrzymałością mechaniczną [19].

Poniżej przedstawiono schemat zasilania świecącej kostki brukowej LED.



Rys. 40 Schemat zasilania kostki LED [19]

Zasilanie diod odbywa się za pomocą trzech zasilaczy o mocy 150 W. Dobrano zasilacze hermetyczne, które są zamknięte w specjalnej obudowie o klasie szczelności IP67.



Rys. 41 Zasilacz hermetyczny 150 W [102]

Sterowanie kolorami diod odbywa się za pomocą internetowego sterownika GSM LED RGB K110 SIM, który umożliwia zdalne zarządzanie poprzez przeglądarkę internetową.



Rys. 42 Sterownik GSM LED K110SIM [90]

Do wybranego sterownika zaprojektowano domenę internetową, w której zaimplementowano algorytm sterujący kolorami diod, uzależniony od strony

internetowej www.smogkielce.pl, pobierający dane z czujnika jakości powietrza w centrum ulicy Warszawskiej.

9.2 Elektryczne ogrzewanie przeciwołodziowe

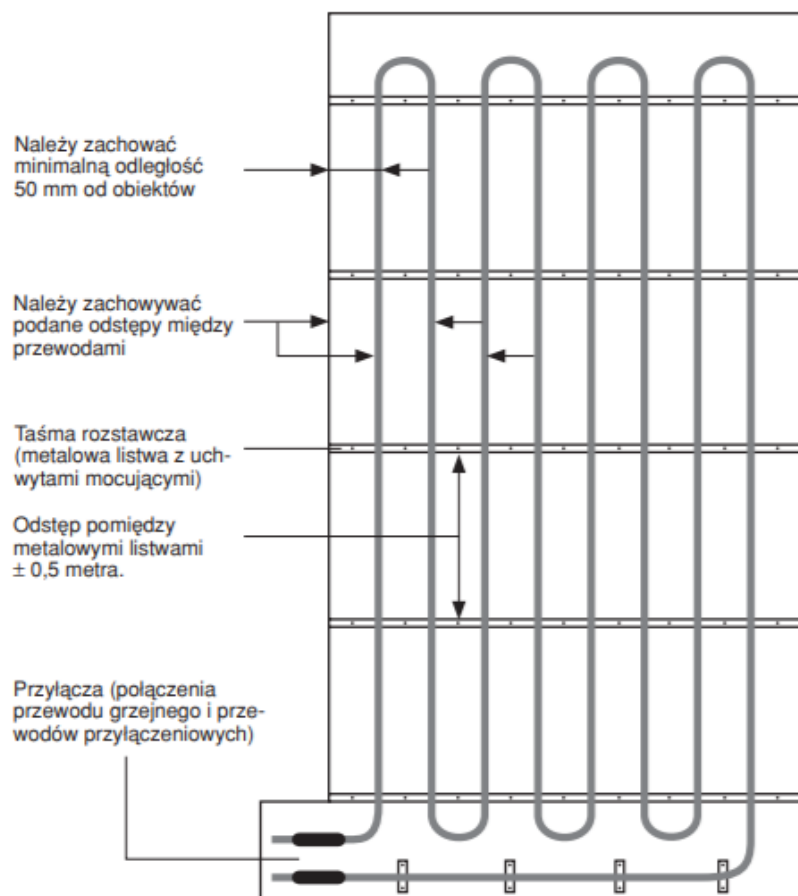
Podgrzewanie trasy rowerowej z wykorzystaniem energii elektrycznej, w przypadku pojawienia się śniegu lub oblodzenia jest bezobsługową metodą, która zapewnia bezpieczne poruszanie się rowerzystów w okresie zimowym. Poprawnie zaprojektowany i wykonany system podgrzewania jest w stanie zminimalizować koszty napraw uszkodzeń nawierzchni powstałych w wyniku zamarzającej wody. Jest przyjazny środowisku, gdyż całkowicie redukuje używanie substancji chemicznych stosowanych do rozmrażania. System pracuje jedynie wtedy, gdy czujnik wykryje ujemną temperaturę oraz wzrost wilgotności. Dobry system podgrzewania to nVent RAYCHEM EM-MI, który można układać w gorącej mieszance, gdyż przewody są pokryte izolacją mineralną, na którą nie wpływa wysoka temperatura [87]. Zaproponowane rozwiązanie jest energooszczędne, wyposażone w inteligentną jednostkę sterującą i monitorującą, zapewniającą wysoką wydajność energetyczną.



Rys. 43 Ogrzewanie przeciwołodziowe [80]

Przewody grzejne wydzielają ciepło równomiernie na całej powierzchni, z mocą 180 W/m^2 . Pojedynczy przewód jest złożony z metalowej żyły grzejnej, która jest pokryta

izolacją mineralną. Obydwa elementy są zabezpieczone miedzianą powłoką oraz z tworzywa niezawierającego PCV, co skutkuje dużą odpornością na uszkodzenia mechaniczne. Przewody grzejne mocuje się za pomocą taśm rozstawczych, które pomagają zachować równe odstępy między poszczególnymi przewodami. Instalacja jest wyposażona w miernik rezystancji izolacji 1000 V, omomierz, panel sterowania z wbudowanym sterownikiem a także wyłącznikami nadmiarowymi i różnicowo-prądowymi. Przewody należy układać na powierzchni wyrównanej i wolnej od ostrych przedmiotów w możliwie długie pętle w równych odstępach.



Rys. 44 Schemat ułożenia przewodów grzejnych nVent RAYCHEM EM-MI [32]

Prawidłowy odstęp między przewodami powinien wynosić nie mniej niż 55 mm, niedopuszczalne jest ich zachodzenie na siebie bądź krzyżowanie. Minimalny promień gięcia to 35 mm. Czujnik należy zamontować na w pozycji pionowej środkiem pętli grzewczej, a jego przewód powinien być zabezpieczony metalową rurką ochronną [32].

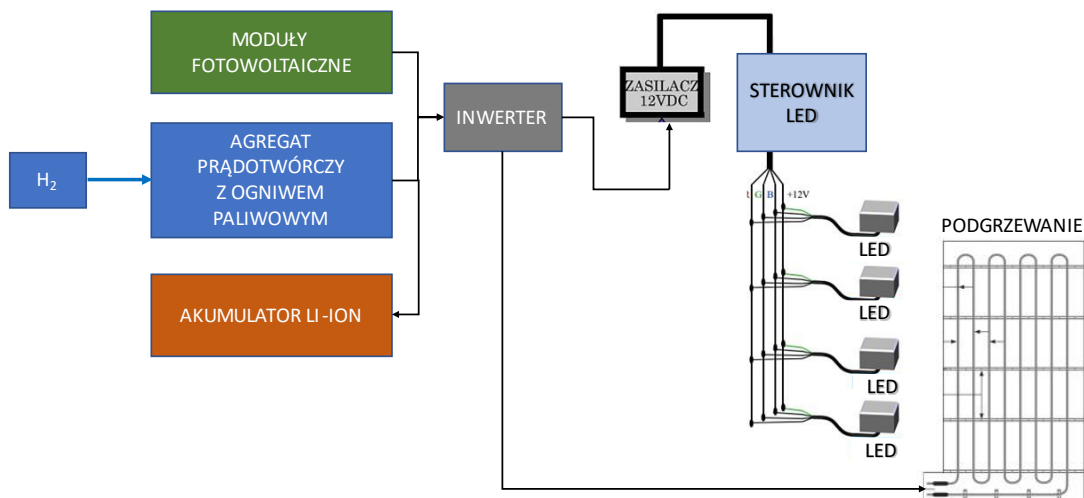
Maksymalna moc jaką można pozyskać z instalacji na całej powierzchni trasy to ponad 60 kW, jednak jest to moc która będzie potrzebna do podgrzania ścieżki w przypadku temperatury zewnętrznej na poziomie -40 °C i wysokiej wilgotności.

$$P_{OG. max} = 180 \frac{W}{m^2} \cdot (140 \cdot 2,4 m) = 60480 W$$

Z uwagi na panujący w Kielcach klimat i fakt, iż temperatury zewnętrzne w zimie osiągają aktualnie minimalną wartość do około -20 °C, obliczono, że wystarczy zaprojektować instalację działającą na połowę mocy do 30,24 kW.

10. Zasilanie instalacji oświetlenia i podgrzewania drogi rowerowej

Zasilanie instalacji, tj. kostek LED oraz systemu przeciwoślodzeniowego odbywa się za pomocą dwóch źródeł energii – 70 % zapotrzebowania instalacji pokrywają agregaty prądotwórcze z ogniwami paliwowymi zasilane wodorem, natomiast pozostałe 30 % pokrywają moduły fotowoltaiczne. Do zasilania można wykorzystać system już istniejący: moduły fotowoltaiczne i turbinę wiatrową zlokalizowaną na terenie Politechniki Świętokrzyskiej.



Rys. 45 Schemat instalacji [opracowanie własne]

Moc do zasilenia całej instalacji z uwzględnieniem działania ogrzewania trasy wynosi:

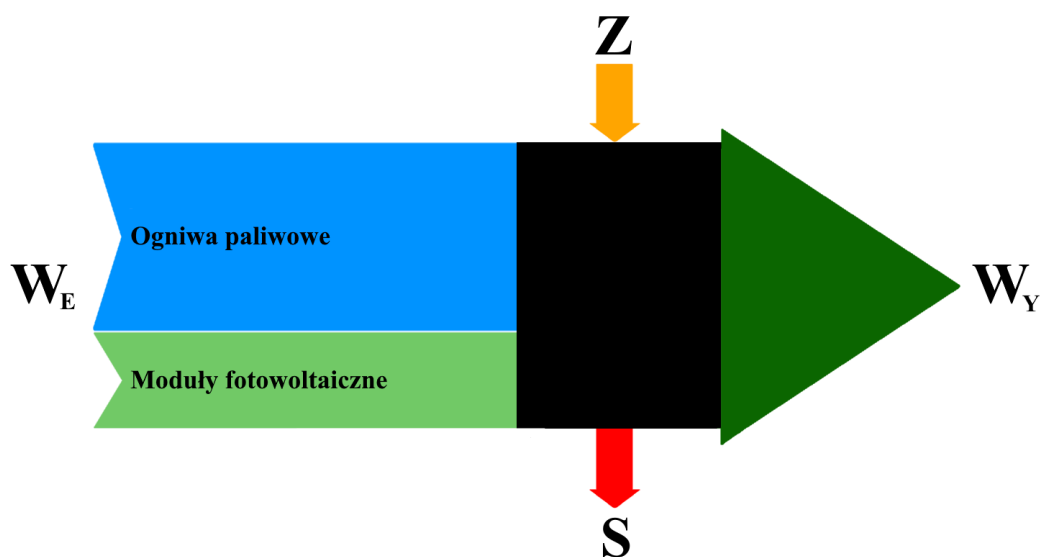
$$P_{max} = 30,24 \text{ kW} + 0,45 \text{ kW} = 30,69 \text{ kW}$$

Założona moc generowana z agregatów prądotwórczych z ogniwem paliwowym:

$$P_A = 30,69 \cdot 70\% = 21,48 \text{ kW}$$

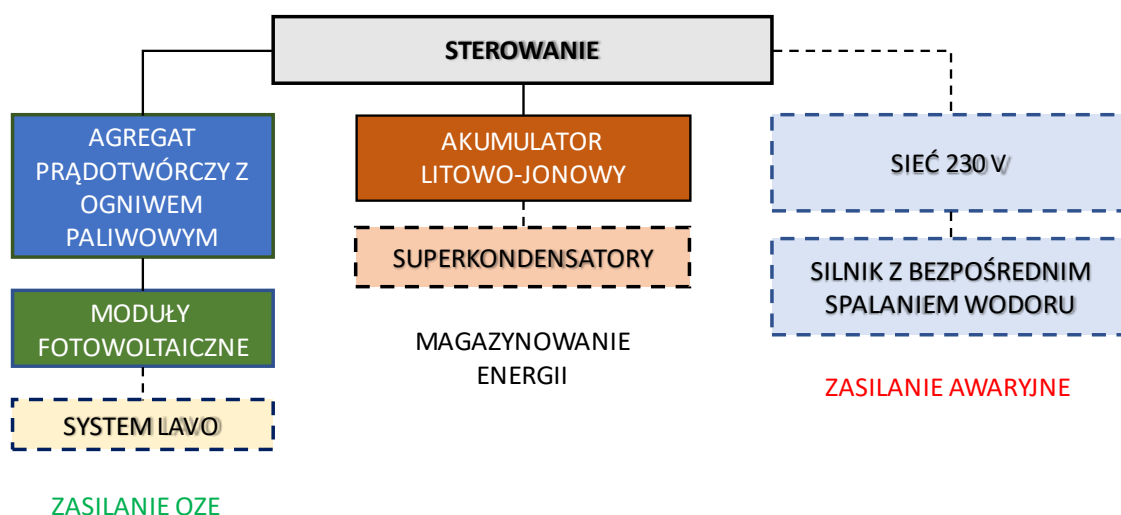
Założona moc generowana z modułów fotowoltaicznych:

$$P_M = 30,69 \cdot 30\% = 9,2 \text{ kW}$$



Rys. 46 Wykres Sankey'a dla projektowanej instalacji, gdzie S – straty, Z - zakłócenia [własne]

Powyższy wykres prezentuje bilans energetyczny projektowanej instalacji. Moc wejściowa W_E przedstawia udział ogniw paliwowych (70 %) i modułów fotowoltaicznych (30 %) w produkcji energii potrzebnej do zasilania układu. Moc wyjściowa W_Y jest sumą składowych.



Rys. 47 Schemat blokowy zasilania i magazynowania energii instalacji oświetlenia i ogrzewania trasy rowerowej [opracowanie własne]

Powyższy schemat ilustruje zależność pomiędzy poszczególnymi komponentami układu. Jak można zauważyć sterowanie kolorami kostek LED oraz ogrzewaniem ścieżki jest ściśle połączone z elementami zasilającymi – agregatem z ogniwem paliwowym oraz modułami fotowoltaicznymi, a także akumulatorem litowy-jonowym. Linia przerywaną zaznaczono natomiast elementy alternatywne. Opcjonalnie zamiast akumulatora Li-ion można zastosować superkondensatory. System LAVO zastępuje ogniwa paliwowe i akumulator. Zasilaniem awaryjnym zaproponowanym w projekcie jest sieć miejska oraz silnik z bezpośrednim spalaniem wodoru sprzężony z agregatem prądotwórczym.

Aktualnie na trasie zainstalowano już nowoczesne oświetlenie w formie 6 opraw świetlnych LED osadzonych na słupach aluminiowych. Pojedyncza oprawa świetlna tego rodzaju wymaga zasilania na poziomie 40 W, a wszystkie lampy potrzebują do działania 2,4 kW. Istnieje możliwość zmiany obecnego zasilania lamp z sieci miejskiej – na elementy zaproponowane w niniejszym projekcie czyli generatorów z ogniwami paliwowymi i modułami fotowoltaicznymi.

Poniżej przedstawiono konkretne produkty zasilające instalację.

a) Agregat prądotwórczy z ogniwem paliwowym

Do zasilania wybrano agregat prądotwórczy z ogniwem paliwowym GreenHub PRO, który umożliwia produkcję energii elektrycznej w zupełnie bezemisyjny, bezpieczny dla środowiska sposób, wykorzystując wodór jako paliwo. Wodór do ogniw paliwowych można dostarczać na różne sposoby, poprzez firmę AirProducts. Firma oferuje kilka rozwiązań, tj. dostarczanie wodoru w butlach lub zbiornikach kriogenicznych, system CryoEase, który umożliwia uzupełnienie gazu na miejscu u klienta bądź system PRISM do wytwarzania wodoru w miejscu jego wykorzystywania. Ewentualną możliwością jest instalacja do pozyskiwania wodoru zielonego z wykorzystaniem turbiny wiatrowej na budynku Energis Politechniki Świętokrzyskiej. Moc znamionowa agregatu wynosi 2550 W. Dopasowane urządzenie jest niewielkich rozmiarów: 86 x 64 x 22 cm. Tak jak wcześniej zakładano, agregaty prądotwórcze z ogniwem paliwowym mają zapewnić 70 % mocy potrzebnej do zasilania instalacji, czyli około 22 kW.

Poniżej obliczono ilość agregatów A_A potrzebnych do tego, aby zapewnić taką wartość mocy:

$$A_A = \frac{21,48 \text{ kW}}{2,55 \text{ kW}} = 8 \text{ szt}$$

Z powyższego obliczenia wynika, iż zaprojektowana instalacja potrzebuje do zasilania 8 agregatów.

Do zasilania istniejących na trasie lamp z oprawami oświetleniowymi LED wymagane jest zastosowanie dodatkowego agregatu, który pokrywałby w całości ich zapotrzebowanie na energię elektryczną.

b) Moduły fotowoltaiczne

Do zasilania instalacji dobrano również moduły fotowoltaiczne monokrystaliczne JUSTSolar Mono JST550M-144 klasy A. Są to wysokowydajne moduły wyposażone w 144 ogniw połączone w 9 szyn zbiorczych. Technologia ta zapewnia maksymalną wydajność i minimalne straty, nawet gdy moduł jest zacieniony. Moc maksymalna jaką może zapewnić 1 moduł to 550 W. Wymiary pojedynczego modułu to 2279 mm x 1134 mm x 35 mm. Produkt może być łączony zarówno z akumulatorami najnowszej generacji jak i tradycyjnymi [15].



Rys. 48 Moduł fotowoltaiczny 550 W JUSTSolar JST550M-144 Mono [15]

Z uwagi na to, iż założono, że moduły fotowoltaiczne będą pokrywać 9,2 kW zapotrzebowania energetycznego, obliczono ilość potrzebnych modułów A_M :

$$A_M = \frac{9,2}{0,55} kW = 17 \text{ szt}$$

Założono działanie w pełnym słońcu, moduły fotowoltaiczne zostały zamontowane na dachu budynku Energis Politechniki Świętokrzyskiej pod optymalnym kątem. Problem zacienienia został zredukowany do zera. Do zamontowania paneli fotowoltaicznych została wykorzystana konstrukcja w formie stojaka wykonanego z aluminiowych profili. Dodatkowo do instalacji został dołączony falownik hybrydowy SOFAR SOLAR 8.8KTL-X, który przekształca prąd stały w prąd zmienny. Falownik posiada ekran LCD a stopień ochrony IP65 umożliwia montaż zewnętrzny. Produkt jest odporny zarówno na niskie i wysokie temperatury. Posiada wszystkie niezbędne zabezpieczenia przed wypadkiem trybem pracy, odwróconą polaryzacją, przegrzaniem, prądem upływu oraz ochronę napięciową i nadprądową [15].

Aby pokryć zapotrzebowanie na energię istniejącego obecnie na trasie oświetlenia w formie standardowych lamp LED wymagane byłoby zastosowanie dodatkowych czterech modułów fotowoltaicznych.

c) System LAVO - zintegrowany system zasilający i magazynujący energię elektryczną

System zasilania można ograniczyć do jednego systemu, który wyklucza obecność agregatów prądotwórczych z ogniwami paliwowymi, falownika do modułów fotowoltaicznych oraz problem magazynowania energii. System LAVO jest innowacyjnym systemem opracowanym przez australijską firmę, pierwszą na świecie zintegrowaną hybrydową baterię wodorową, która łączy się z panelami fotowoltaicznymi, co zapewnia zrównoważoną i odnawialną energię. System ten jednocześnie może magazynować energię w akumulatorach wykonanych z opatentowanego wodoru metalu LAVO™. Akumulatory zawierające w sobie ten związek chemiczny mają żywotność trzy razy dłuższą od akumulatorów litowo-jonowych w podobnej cenie. Woderek LAVO™ energooszczędny, neutralny dla środowiska, bezpieczny i niepalny. System LAVO jest zaprojektowany tak, aby wszystkie komponenty można było poddać recyklingowi.

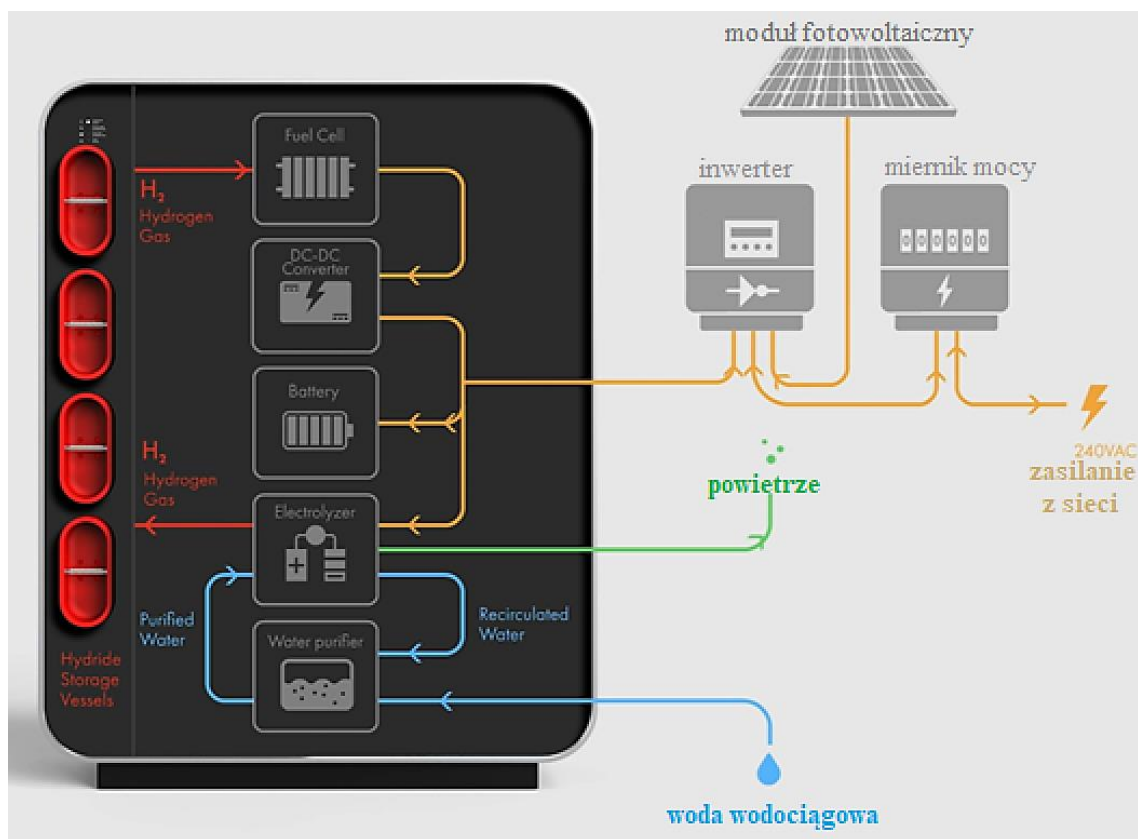
Budowę systemu LAVO oraz charakterystykę poszczególnych komponentów przedstawiono na poniższym rysunku.



Rys. 49 Elementy systemu LAVO [25]

- 1→ Ogniwo paliwowe, służące do konwersji energii zgmagazynowanej w wodrze z powrotem w energię elektryczną. Ta energia elektryczna jest uwalniana z magazynu do przechowywania wodoru poprzez łączenie wodoru z magazynu z tlenem z powietrza, produkt odpadowy stanowi woda,
- 2→ system konwersji mocy służy do regulacji mocy elektrycznej z ogniwa paliwowego akumulatora wodorowego. Moc elektryczna z ogniwa paliwowego jest zmienna. Przetwornica prądu stałego DC reguluje to, zwiększając napięcie z wyjścia ogniwa paliwowego do poziomu odpowiadającego napięciu oczekiwanemu na wejściu falownika hybrydowego,
- 3→ system LEVO zawiera również mały, tradycyjny akumulator litowo-jonowy zapewniający szybki czas reakcji. Hybrydowy system magazynowania energii zapewnia korzyści obu technologii magazynowania energii,

- 4→ falownik hybrydowy zarządza przepływem energii elektrycznej między ogniwami słonecznymi, urządzeniem LAVO i odbiorcą energii, czyli w przypadku projektowanego rozwiązania – oświetleniem ścieżki rowerowej,
- 5→ elektrolizer przekształca nadmiar energii elektrycznej z układu słonecznego poprzez elektrolizę, podczas której woda jest rozszczepiana na wodór i tlen. energia jest magazynowana jako wodór, a tlen jest uwalniany do atmosfery,
- 6→ oczyszczacz wody. Elektrolizer do procesu elektrolizy wymaga wody zdemineralizowanej. Zintegrowany oczyszczacz wody oczyszcza dopływającą wodę wodociągową, umożliwiając pracę elektrolizera przy użyciu standardowego źródła wody,
- 7→ wodorek LAVO™ - opatentowany stop metali, który przechowuje i reguluje wodór pod ciśnieniem 30 bar. W 100 % nadający się do recyklingu wodorek zapewnia 20000 cykli magazynowania i ładowania.



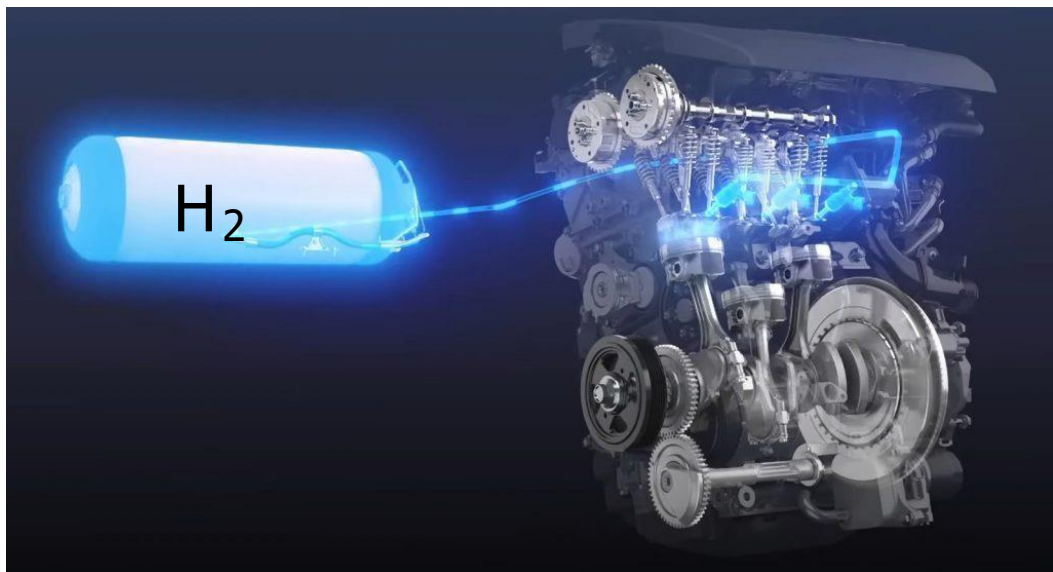
Rys. 50 Schemat działania systemu LAVO [25]

Koszt systemu LAVO najnowszej generacji dostępnej we wrześniu 2022 roku to 29 450 dolarów, czyli blisko 118 tysięcy złotych.

d) Alternatywne zasilanie

Alternatywnym zasilaniem instalacji jest sieć miejska oraz silnik bezpośrednio spalający wodór. Można zastosować silnik tłokowy, który spala mieszanekę wodoru z innymi substancjami, np. metanolem. Takie rozwiązanie ma wiele zalet, tj.:

- niemal stuprocentowa bezemisyjność w stosunku do napędów elektrycznych,
- łatwa i tańsza technologia oraz wyższa sprawność w porównaniu do zasilania wodorowych ogniw paliwowych,
- niskie wymagania dotyczące czystości wodoru,
- możliwe stosowanie w napędach hybrydowych wraz z silnikiem elektrycznym,
- ekonomiczność rozwiązania,
- krótki czas zaimplementowania z obecną infrastrukturą,
- wodór może zasilać zarówno silniki iskrowe i samoczynne,
- zasadność rozwiązania w odniesieniu do konieczności dywersyfikacji stosowanych technologii w związku z ekologią.



Rys. 51 Tłokowy silnik spalinowy MAN Serii TGX z silnikiem H4576LF Deutz zasilany wodorem [120]

Ważną kwestią w tego rodzaju silnikach jest chłodzenie. Jest to niezbędne do utrzymania wydajności na wysokim poziomie. Odpowiedni system chłodzenia baterii BTMS umożliwia utrzymanie optymalnej temperatury roboczej przez cały czas

użytkowania i zapobiega zniszczeniom w przypadku jej przekroczenia. Chłodzenie może odbywać się za pomocą:

- powietrza, wykorzystując zasadę konwekcji, jednak ten sposób nie jest zbyt wydajny,
- cieczy w systemie pasywnym z wykorzystaniem wymiennika typu ciecz/powietrze, bądź aktywnym z użyciem wymiennika typu ciecz/ciecz,
- materiału o przemianie fazowej, który pochłania energię cieplną zmieniając swój stan skupienia,
- rurek cieplnych, które przejmują bezpośrednio ciepło z akumulatora, z którym się stykają, a kolejno jest ono oddawane do systemu rozpraszania ciepła,
- chłodzenia termoelektrycznego, za pomocą elementu termoelektrycznego konwertującego różnicę temperatur na napięcie elektryczne i odwrotnie [60].

Niemiecka firma Deutz wprowadza do produkcji również silnik w 100 % zasilany wodorem. Jest to technologia, która spełnia wszelkie kryteria UE dotyczące zerowej emisji CO₂. Głównym problemem w tego typu produktach jest tzw. kruchość wodorowa, czyli korozja naprężeniowa indukowana wodorem. Jest to zjawisko, które znacznie wpływa na elementy złączne w silnikach. Atomy wodoru oddziałują na metal tworząc uszkodzenia przesunięte w czasie, tj. pojawiające się po kilku godzinach, tygodniach lub miesiącach od zainstalowania elementu. Parametry mechaniczne obniżają się na skutek łączenia się zaabsorbowanych atomów wodoru w cząsteczki w sieci krystalicznej żelaza. W wyniku tego powstaje ciśnienie prowadzące do wewnętrznych naprężeń w strukturze stali i pękania elementów. Z uwagi na naturę tego procesu szanse na wykrycie przyczyny uszkodzeń podczas sprawdzania jakości produktu są niewielkie [96].

Dodatkowo jako alternatywę można wykorzystać także turbinę gazową bezpośrednio spalającą wodór. Unia Europejska zainicjowała program Horyzont 2020, w ramach którego powstało konsorcjum dotyczące możliwości wykorzystania wodoru do produkcji energii elektrycznej za pomocą turbiny gazowej. Elektrolizer umożliwia zamianę nadwyżki energii odnawialnej pochodzącej z modułów fotowoltaicznych w wodór, a kolejno wykorzystanie go do produkcji energii i ciepła w turbinie gazowej. Głównym celem programu noszącego nazwę Hyflexpower, jest odpowiednie magazynowanie nadprogramowej energii elektrycznej, która dotychczas ma relatywnie niską efektywność. Z uwagi na początkowe pomniejszenie w procesie zamiany energii w wodór, a kolejno zamiany wodoru z powrotem w energię elektryczną.

W przedsięwzięcie zaangażowała się firma Siemens, a inwestycja ma powstać w 2023 roku [109].

10.1 Magazynowanie energii

- **Akumulator litowo-jonowy Li-ion**

Akumulatory są niezbędną częścią składową instalacji off-grid, czyli niepodłączonej do sieci elektrycznej. Są pewnego rodzaju zabezpieczeniem w instalacji fotowoltaicznej, kiedy nie jest ona w stanie wyprodukować wystarczającej ilości energii z powodu małego nasłonecznienia bądź zachmurzenia. Nadprogramowa energia jest magazynowana w akumulatorze, a w razie potrzeby jest bezpiecznie wykorzystywana, np. w porze nocnej do zasilenia instalacji. Akumulator litowo-jonowy jest zbudowany z dwóch elektrod – jednej wykonanej z tlenków metali, drugiej z węgla. Występuje w nim płynny elektrolit w formie roztworu z organicznych rozpuszczalników z solami litowymi. Taki rodzaj akumulatora cechuje się bardzo dobrym stosunkiem możliwości przechowywania energii do masy, dzięki czemu ma szerokie zastosowanie. Szybko się ładuje, jednakże jego cena jest dość wysoka. Dobrano akumulator Sonar Li ion 3S o pojemności 100 Ah.



Rys. 52 Akumulator litowo-jonowy o pojemności 120 Ah [1]

Produkt posiada BMS, czyli elektroniczny system ochrony kontrolujący jego działanie a także charakteryzuje się brakiem tzw. efektu pamięciowego, zatem można go doładować w każdej chwili i nie trzeba ładować go do pełna. Ponadto system może pracować w szerokim zakresie temperatur, od -120 do +50 °C.

- **Superkondensatory**

Superkondensator w projektowanej instalacji jest substytutem akumulatora litowo-jonowego. Superkondensator jest rodzajem kondensatora elektrolitycznego, złożonego z dwóch elektrod z węgla aktywnego o strukturze gąbki i elektrolitu. Elektroda charakteryzuje się dużą powierzchnią czynną, co osiąga się poprzez użycie nanorurek węglowych o dużym przewodnictwie cieplnym i wytrzymałości. Obydwie elektrody węglowe oddziela od siebie porowata membrana zapobiegająca bezpośredniemu zwarceniu elektrod. Nie stanowi ona jednak bariery dla przechodzących jonów w przypadku działania napięcia zewnętrznego. Superkondensator dzięki zastosowaniu nanorurek ma bardzo dużą pojemność elektryczną, jest trwały i może wydajnie pracować w szerokim zakresie temperaturowym i łączy w sobie cechy kondensatora i akumulatora. Tak jak kondensator szybko pobiera i oddaje duże wartości mocy, a tak jak akumulator jest w stanie gromadzić dużą energię. Szczególnie sprawdza się w systemach zasilania podlegających losowym intensywnym wahaniom mocy obciążeń, gdy następuje przejściowy stan pracy poszczególnych urządzeń lub związanych z kumulacją ładunku elektrycznego. W takich sytuacjach wykorzystywane są jako bufony energii elektrycznej, które są przystosowane do przyjęcia krótkotrwałych uderzeń mocy i podtrzymania napięcia, gdy energia w sieci zasilającej zanika. Superkondensatory można łączyć szeregowo, co pozwala na osiągnięcie wyższego napięcia zasilania [64].

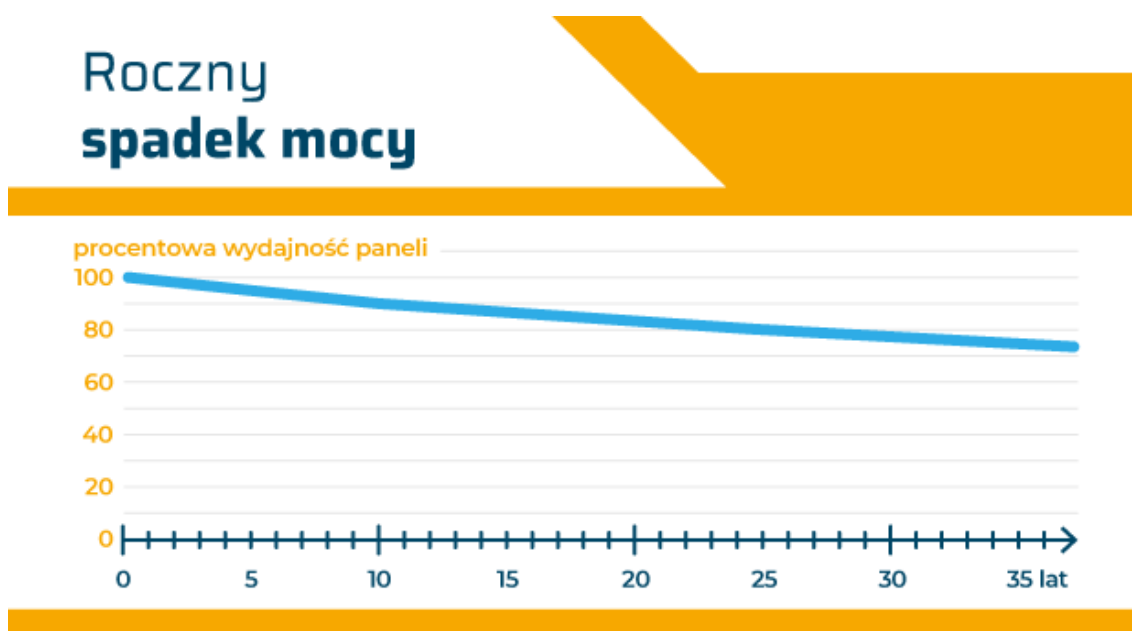


Rys. 53 Superkondensator LS Mton [26]

Odpowiednim produktem do projektowanej instalacji jest superkondensator LS Mton 002R7C EA o pojemności znamionowej 3000 F. Produkt ten może pracować w zakresie temperatur od -40 do +65 °C.

10.2 Recykling elementów instalacji

Pod koniec 2020 roku na świecie działały elektrownie słoneczne generujące ponad 770 GW. Moduły fotowoltaiczne mają żywotność około 25 lat, później ich wydajność diametralnie spada.



Rys. 54 Spadek wydajności modułów fotowoltaicznych w czasie [101]

Szacuje się, że do 2025 roku w Polsce zostanie zainstalowanych 420000 ton paneli fotowoltaicznych, które po okresie użyteczności stają się uciążliwym odpadem. Obecnie proces recyklingu modułów fotowoltaicznych polega na usunięciu aluminiowych ram, z których odzyskuje się około 16 do 18 % czystego aluminium, które z powodzeniem można ponownie wykorzystać bez utraty właściwości. Okablowanie także trafia do ponownego użycia. Pozostałe elementy modułu, zawierające szkło, miedź, krzem oraz plastik zostają zmielone, a kolejno poddawane są obróbce termicznej, gdzie plastik odparowuje i staje się źródłem ciepła do dalszej modyfikacji. Szkło, które jest budulcem modułu fotowoltaicznego w 65 % w stosunku do całej masy, może bez przeszkód zostać ponownie przetworzone w 95 %. Częstki krzemu są dalej uszlachetniane i wytrawiane kwasem. Powstałe wafle krzemowe roztopia się, ułatwiając ich dalsze wykorzystanie. Technologia ta pozwala na recykling krzemu w 85 % [7] [68] [69].

Obecnie nie istnieje technologia która umożliwia stuprocentowy recykling ogniw krzemowych. 19 kwietnia 2021 roku spółka technologiczno-badawcza 2loop Tech wraz

z Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie podpisała umowę konsorcjum zakładającą opracowanie metody, która będzie na to pozwalała – komercjalizacja innowacyjnej metody ma nastąpić w 2023 roku. Krzem odzyskiwany opracowywaną metodą ma czystość na poziomie 99,99 % [73] [106].

Naukowcy prowadzą liczne badania dotyczące kwestii recyklingu ogniw paliwowych, gdyż nie istnieje żadna strategia recyklingu materiałów i elementów ogniw paliwowych. Unia Europejska w 2015 roku przedstawiła projekt HYTECHCYCLING – cel tego przedsięwzięcia to obniżenie zawartości surowców krytycznych (takich jak platyna występująca w katalizatorach ogniw paliwowych), które są wykorzystywane w technologiach wytwarzania wodoru oraz ogniw paliwowych oraz propagowanie recyklingu. Rozważane możliwości recyklingu to między innymi selektywne rozpuszczanie elektrochemiczne, pozwalające na odzysk platyny a także jej nośnika węglowego [78].

Diody LED także podlegają recyklingowi. Żywica poliestrowa, z której złożona jest obudowa diody może być 8-krotnie przetwarzana, pod warunkiem odpowiedniej utylizacji, gospodarowania i technologii przetwarzania. Po przetworzeniu może być dodawana do składu odzieży. Odzyskiwanie pierwiastków ziem rzadkich, które są obecne w luminoforach nadających kolor diodom LED, jest niestety problematyczne, a technologie na to pozwalające są dopiero wdrażane. Na terenie Europy nie wydobywa się na szerszą skalę tych surowców, wobec powyższego ich ponowne odzyskiwanie jest wręcz niezbędne, a obecnie wynosi jedynie 1 %. Unia europejska sfinansowała projekty pozwalające na opracowanie wydajnych systemów recyklingu odpadów elektronicznych z myślą o odzyskiwaniu pierwiastków ziem rzadkich, są to programy RECLAIM, REMANENCE oraz cycLED. Zespoły opracowały zaawansowaną technikę detekcji oraz mechanicznej separacji materiałów do odzyskiwania tych pierwiastków [75] [76] [77].

Recykling okablowania polega przede wszystkim na odzyskiwaniu miedzi. Kable są na początku segregowane, a kolejno rozkruszone i przesiewane. Po tych etapach następuje mielenie do granulatu, który jest wykorzystywany do produkcji innych elementów. Złom miedziany jest umieszczany w piecu i w ten sposób roztapiany. Po wpływie wysokiej temperatury zachodzi redukcja miedzi. Roztopioną miedź wylewa się w formy otrzymując kęsy lub sztabki. Z uwagi na to, że jest to droga i pracochłonna technologia, przeprowadza się ją w przypadku wysokiej jakości miedzi. W przeciwnym razie surowiec jest poddawany elektrorafinacji. [115].

11. Podsumowanie

Przedstawione w pracy porównanie dostępnych odnawialnych źródeł i nośników energii elektrycznej pozwoliło na ocenę możliwości ich wykorzystania do interaktywnego oświetlania tras rowerowych i dobór optymalnego rozwiązania dla wybranej trasy rowerowej z uwzględnieniem wszelkich czynników środowiskowych, ekonomicznych i społecznych.

Dobór źródła energii dokonano na przykładzie trasy rowerowej na terenie Politechniki Świętokrzyskiej. Wykonano również projekt modernizacji i oświetlenia tej trasy.

Zaprojektowano wymianę nawierzchni na nawierzchnię betonową o wysokim współczynniku tarcia wraz z instalacją przeciwoślizgową. Nawierzchnię pokrywa luminofor, który po zapadnięciu zmroku emituje światło. Na obrzeżach trasy umieszczono dodatkowe kostki LED, które współpracują ze stacją pogodową i pokazują jakość powietrza poprzez zmianę barwy światła.

Instalację oświetleniową zasila generator z ogniwnem paliwowym oraz moduł fotowoltaiczny co pozwala na ograniczenie do zera emisji toksycznych substancji do atmosfery. Jednocześnie zastosowanie ogniwa paliwowego jest zgodne z propagowaniem wykorzystania technologii wodorowych w myśl „Polskiej Strategii Wodorowej do roku 2030 z perspektywą do 2040”.

Proponowane w projekcie rozwiązania są innowacyjne i możliwe do wykorzystania w innych lokalizacjach. Zapewniają one bezpieczeństwo oraz komfort użytkownikom trasy rowerowej, nawet w trudnych warunkach atmosferycznych.

12. Literatura

1. Akumulator litowy Li-ion 3S 100Ah 12V + BMS – Karta katalogowa
2. Balter A., „Pomiar stopnia polaryzacji luminescencji cząsteczek organicznych w zależności od lepkości roztworu” – instrukcja do ćwiczenia z II PF
3. Bańkowski W., Beblacz D., Kamiński P., Kornalewski L., Krzysztofowicz J., Malasek J., Rymsza B., Projektowanie i budowa dróg i szlaków rowerowych, IBDiM, Warszawa 2014, ser.”S”, zeszyt 73
4. Bańkowski W., Hodecka R., Kolorowe polskie drogi, „Polskie drogi” , nr 3/2000
5. Bańkowski W., Nawierzchnie dróg rowerowych, Inżynier budownictwa, Wydawnictwo Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa Sp. z o.o., Warszawa 2016
6. Bańkowski W., Red., Projektowanie i budowa dróg i szlaków rowerowych, tom 73, Warszawa: Instytut Badawczy Dróg i Mostów, 2014
7. Biernaciak E., Recykling paneli fotowoltaicznych, czyli ekologiczna utylizacja fotowoltaiki, Enerad.pl, Warszawa 2022
8. Buxton C., Alternative Energy Technologies, CRC Press, Moon Township 2015
9. Cemex Deco STELLO – karta katalogowa
10. Empfehlungen für Fußgänger verkehrsanlagen (EFA 2002/288), Köln: Forschungsgesellschaft für Strassen Und Verkehrswesen, 2002
11. Fedorska A., Wodór nowym globalnym źródłem energii, Rzeczpospolita, EnergiaNews, Warszawa 2020
12. Grendys A., Sposoby na neutralność klimatyczną, czyli o co chodzi w Zielonym Ładzie, Platforma Przemysłu Przyszłości, Radom 2021
13. Groot De R., Red., Design Manual for Bicycle Traffic, Revised edition, Ede, The Netherlands: CROW 2016
14. Jamroz K. i inni, Wytyczne organizacji bezpiecznego ruchu pieszych - wytyczne prawidłowego oświetlenia przejść dla pieszych, Warszawa: Ministerstwo Infrastruktury, Sekretariat Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, 2017
15. JUSTSOLAR Halfcut 182mm MONO MODULE – Karta katalogowa
16. Kamiński T., Wodorowy silnik firmy Deutz, AutoŚwiat, Gdańsk 2021
17. Kawski I., „Fotoluminescencja roztworów”, PWN, Warszawa 1992
18. Kawski I., Kubicki A., „Aparatura i metody badań luminescencji”, Gdańsk 1987
19. Kostka LED RGB Bruklux Holland – Karta katalogowa

20. Krawczyk B., Kielce rozbudowują ścieżki rowerowe, Portal komunalny, Kielce, 2017
21. Krupka K., „Krzem pierwiastek życia”, Wydawnictwo Instytutu Energomedica, Łódź 2012
22. Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń w drogach publicznych, Wymagania techniczne WT-1 2014
23. Kulik W., Internet Rzeczy – co to jest? Przykłady urządzeń IoT, Komputronik, 2021
24. Kurdyła K., Saule Technologies i perowskity. Pokazano pierwszy komercyjny produkt, Antyweb, Warszawa 2021
25. LAVO™ Energy Storage System – Karta katalogowa
26. LS ULTRACAPACITOR – Karta katalogowa
27. Łukasik P., Ogniwa perowskitowe – czym są perowskity i jakie mają zastosowanie w fotowoltaice?, Synteza. Odnawialne Źródła Energii, Lublin 2021
28. Mańkowska S., Perowskity. Energia przyszłości dostępna już dziś, Columbus Energy, Kraków 2021
29. Masłowski A., Rodzaje ogniwo fotowoltaicznych, Poradnik Projektanta, 2015
30. Mieszanki mineralno-asfaltowe, Wymagania techniczne, WT-2 2014, GDDKiA, 2014
31. Nowak-Woźny D., Mazur M., Some aspects of renewable Energy Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011
32. nVent RAYCHEM EM-MI - Karta katalogowa
33. Oksińska B., Ojciec polskiego grafenu: Boli mnie, że rządzący nie mają wizji, jak rozwijać grafen, Rzeczpospolita, Cyfrowa, Warszawa 2019
34. Opinia o innowacyjności technologii PV Graf wydana przez Polskie Towarzystwo Fotowoltaiki, Bydgoszcz 2017
35. Opinia w sprawie typowych nawierzchni dróg rowerowych, GDDKiA, 2012
36. Ozimina D., Wykład z przedmiotu: Eksploatacja systemów OZE - Ogniwa paliwowe, Kielce, 2020
37. Pankove J.I., „Zjawiska optyczne w półprzewodnikach”, WNT, Warszawa 1974
38. Pawłowski P., Roliński T., Utkin M., Nawierzchnia dróg rowerowych i jej wpływ na zdrowie i bezpieczeństwo rowerzystów, Bruel & Kjffir, IPPT, BDiK UMStW, Warszawa 2009

39. Pluta Z., Słoneczne instalacje energetyczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006
40. PN-EN 13043 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu
41. PN-EN 13201: 2016 Oświetlenie dróg, Polski Komitet Normalizacyjny
42. PN-EN 13924-2 Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Zasady kwalifikacji asfaltów drogowych i specjalnych – Część 2: Asfalty drogowie wielorodzajowe
43. PN-EN 14023 Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Zasady kwalifikacji asfaltów modyfikowanych polimerami
44. Polbruk LUMIA – Karta katalogowa
45. Prawo energetyczne, Dz. U. z 2017 poz. 650, 685, 771, 775, 1000, 2017
46. Przyjazne środowisku źródła energii, red. W. Niemiec, Wydawnictwo Fundacja Nauka dla Przemysłu i Środowiska, Rzeszów 2002
47. Ratajczak J., Wrocławskie perowskity na Orlenie i w Google. Zobacz, jak zmienia handel, Przedsiębiorczy Wrocław 2030, Wrocław 2021
48. Rogala B., Przełomowe ogniwa perowskitowe w Lublinie. To pierwsza taka instalacja na świecie, 300 GOSPODARKA, 2021
49. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 3 lipca 2015 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach, Dz.U. 2015 poz. 1314
50. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 23 września 2003 r w sprawie szczegółowych warunków zarządzania ruchem na drogach oraz wykonywania nadzoru nad tym zarządzaniem, Dz.U. z 2017 r. poz. 784, 2017
51. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach, Dz. U. Nr 220, poz. 2181, z późn. zm., 2003
52. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, Dz.U. z 2016 r. poz. 124 z późn. zm., 2016

53. Rozporządzenie Ministrów Infrastruktury oraz Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 31 lipca 2002 r. w sprawie znaków i sygnałów drogowych, Dz.U. Nr 170, poz. 1393, z późn. zm., 2002
54. Rozproszone zasoby energii w systemie elektroenergetycznym, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, pod redakcją Eugeniusza Mokrzyckiego, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2011
55. Sobierajski J., Starzomska M., Piotrowski J., Odnawialne Źródła Energii: wiadomości ogólne, Wyd. 1, Wyd. PŚk, Kielce 2009
56. Sorensen B., Renewable Energy Conversion, Transmission and storage, Academic Press in an imprint of ElsevierCalifornia, 2007
57. Standardy projektowe i wykonawcze dla systemu rowerowego w m.st. Warszawie, Urząd m.st. Warszawy, 2009
58. Standardy projektowe i wykonawcze systemu rowerowego miasta Szczecin, UM, Szczecin 2012
59. Staude J., Sauberer Brennstoff der Zukunft, Deutschland.de Fazit Communication GmbH, Frankfurt am Main 2020
60. Stępień Z., Skibińska A., Żółty M., Systemy chłodzenia baterii pojazdów elektrycznych – płyny chłodzące, Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy, Zakopane 2021
61. Śmiertka G., Czy tylko nawierzchnie asfaltowe sprzyjają aktywnemu wypoczynkowi na rowerze?, Inżynier budownictwa, Wyd. Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa Sp. z o.o., Warszawa 2017
62. Taubman J., Węgiel i alternatywne źródła energii. Prognozy na przyszłość, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2011
63. Tobota A., Jakie są odnawialne źródła energii?, Dziennik Gazeta Prawna, 2021
64. Tomaszewski D., Superkondensator jako zapasowe źródło zasilania, Portal branżowy Elektronika B2B, Warszawa, 2019
65. Turbak P., Winiarski T., „Luminescencja cienkich warstw i kryształów” – instrukcja do ćwiczenia
66. Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. - Prawo o ruchu drogowym, Dz.U. z 2017 r. poz. 1260, z późn. zm., 2017
67. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. - Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2017 r. poz. 519)

68. Vekony A.T., The Opportunities of Solar Panel Recycling, GreenMatch, London 2021
69. Wandas M., Recykling fotowoltaiki skuteczny prawie w 100 proc. Obiecuje to polska firma we współpracy z AGH, smogLAB, Kraków 2021
70. Wytyczne techniczne dla projektantów oświetlenia przejść dla drogach krajowych woj. małopolskiego, Kraków: Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad Oddział w Krakowie, 2016
71. Zarządzenie nr 2103/2004 Prezydenta Miasta Krakowa z dnia 26 listopada 2004 r. w sprawie wprowadzenia do stosowania „Standardów technicznych dla infrastruktury rowerowej Miasta Krakowa”, Kraków 2004

Wykorzystane źródła internetowe:

72. <http://www.baltic-energy.pl/panele-monokrystaliczne-polikrystaliczne> [dostęp: 24.01.2022]
73. <https://2loop.tech/utworzenie-konsorcjum-z-akademia-gorniczo-hutnicza-w-krakowie/> [dostęp: 5.02.2022]
74. <https://betonnadom.pl/posadzki/nawierzchnie-dekoracyjne/deco-stello-dekoracyjne/> [dostęp: 26.01.2022]
75. <https://cordis.europa.eu/article/id/169549-new-technology-to-boost-rare-earths-recycling/pl> [dostęp: 6.02.2022]
76. <https://cordis.europa.eu/article/id/190653-better-recycling-for-leds/pl> [dostęp: 6.02.2022]
77. <https://cordis.europa.eu/article/id/207378-rare-earth-elements-reclaimed-from-electronics-waste/pl> [dostęp: 6.02.2022]
78. <https://cordis.europa.eu/article/id/395023-fuelling-fuel-cell-commercialisation-via-effective-recycling-and-dismantling-strategies/pl> [dostęp: 5.02.2022]
79. <https://edroga.pl/inzynieria-ruchu/infrastruktura-rowerowa-niewidzialna-23023580> [dostęp: 10.01.2022]
80. <https://elektrocieplo.pl/art/181/gruntowe-instalacje-przeciwozblodzeniowe.html> [dostęp: 30.01.2022]
81. <https://elektronikab2b.pl/biznes/50307-polskie-ogniwa-perowskitowe-na-biurowcu-skanska-w-warszawie> [dostęp: 25.01.2022]
82. <https://fabrykiwpolsce.pl/polski-grafen-stracona-szansa/> [dostęp: 24.01.2022]

83. <https://flexipowergroup.pl/energia-sloneczna-jak-powstaje-jak-ja-pobierac/>
[dostęp 11.01.2022]
84. <https://fotowoltaika.bruk-bet.pl/blog/porady-techniczne/falownik-inwerter/>
[dostęp: 22.01.2022]
85. <https://magazynieplsystemowego.pl/rynek/zielony-wodor-szansa-na-zeroemisyjna-gospodarke/> [dostęp: 14.01.2022]
86. <https://multisun.pl/generacje-ogniw-fotowoltaicznych/> [dostęp: 23.01.2022]
87. <https://murator-dom.pl/ogrod/nawierzchnie/elektrycznie-podgrzewany-podjazd-ile-kosztuje-jak-go-zrobic-aa-pZft-2gzj-po9X.html> [dostęp: 30.01.2022]
88. <https://murator-dom.pl/ogrod/nawierzchnie/nawierzchnie-z-kostki-brukowej-przygotowanie-podbudowy-pod-kostke-aa-md4j-i1zz-5J3S.html> [20.01.2022]
89. <https://naukawpolsce.pl/aktualnosci/news%2C77921%2Cgrafen-zatrzymacieplo.html> [dostęp: 24.01.2022]
90. https://oswietlenie-led.biz/pl/p/K110-SIM-STEROWNIK-GSM-TASM-CYFROWYCH-LED-RGB-/6828?fbclid=IwAR2I8nsYDFxCfEoS4JGhw_jKNJlr2d5tV5Ns1q0wq64tK8JSVw5Ob_z_tmA [dostęp: 30.01.2022]
91. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Chemiluminescencja#/media/Plik:Luminol.jpg>
[dostęp: 20.01.2022]
92. https://pl.wikipedia.org/wiki/Dioda_elektroluminescencyjna#/media/Plik:RBG-LED.jpg [dostęp: 20.01.2022]
93. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Krzem> [dostęp: 23.01.2022]
94. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Perowskit#/media/Plik:Perovskite-155026.jpg>
[dostęp: 25.01.2022]
95. <https://pomorska.pl/nowa-sciezka-rowerowa-w-powiecie-brodnickim-gdzie-w-lesie/ar/6445982> [dostęp: 10.01.2022]
96. <https://portal-cynkowniczy.pl/qa/26-co-rozumiemy-pod-pojeciem-krucosci-wodorowej/> [dostęp: 12.02.2022]
97. <https://pozbruk.pl/wpis/podbudowa-pod-kostke-brukowa-krotki-poradnik/#>
[dostęp: 20.01.2022]
98. https://pro-led.com.pl/PORADNIKI/19_rodzaje-diod-led.html [dostęp: 25.01.2022]
99. <https://ptsp.pl/czy-polska-ma-potencjal-wodorowy/?gclid=CjwKCAiAlrSPBhBaEiwAuLSDUN4N->

- DqPfcF7DeNYXodpQowb9WafGF3AOe6CpmMbPWvOx2s2NPByVBoCndQQ
AvD_BwE [dostęp: 21.01.2022]
100. <https://stiloenergy.pl/budowa-ogniwa-fotowoltaicznego-i-zasada-dzialania/>
[dostęp: 21.01.2022]
 101. <https://stiloenergy.pl/parametry-paneli-pv-co-oznaczaja-i-jak-nalezy-je-rozumiec/>
[dostęp: 10.02.2022]
 102. <https://sts-sklep.pl/product-pol-8589-Tasma-LED-RGB-300-x-SMD-5050-14-4W-m-5m-IP20.html> [dostęp: 26.01.2022]
 103. <https://vosti.pl/aktualnosci/ogniwo-fotowoltaiczne/> [dostęp: 21.01.2022]
 104. <https://wmgaz.pl/gazownictwo-dzis-i-jutro/artukul/gazowe-ogniwa-paliwowe?fbclid=IwAR0gKy5YPr6NhjRwbHi1xaWe0Hhvf45xArqL3RuUp4k-Q2uTeaZ1xboObSU> [dostęp 9.02.2022]
 105. <https://www.afprofilters.com/pl/ekspertyza/ochrona-przed-pm1/> [dostęp: 5.02.2022]
 106. <https://www.agh.edu.pl/nauka/info/article/innowacyjny-recykling-paneli-fotowoltaicznych-w-agh> [dostęp: 5.02.2022]
 107. <https://www.freevolt.pl/moduly-technologie-pv-graf/> [dostęp: 24.01.2022]
 108. <https://www.gramzielone.pl/energia-sloneczna/33718/skanska-testuje-polskie-ogniwa-perowskitowe> [dostęp: 30.01.2022]
 109. <https://www.gramzielone.pl/magazynowanie-energii/103153/siemens-i-enge-za-sila-turbine-gazowa-wodorem-pozyskanym-z-oze> [dostęp: 10.02.2022]
 110. <https://www.infokatowice.pl/2020/09/08/koniec-kostki-brukowej-na-sieczkach-rowerowych-w-katowicach-decyzje-podjal-prezydent/> [dostęp: 10.01.2022]
 111. https://www.ledkia.com/pl/kup-tasmy-led-ciecie-co-50-cm/85007-tasma-led-cob-sciemnialna-220v-ac-320-ledm-biala-ciepla-ip65-na-zamowienie-ciecie-co-50cm.html?id_c=170474&gclid=Cj0KCQiArt6PBhCoARIsAMF5wajpwut0R_UqowweHS2gxP2PIKgJBxEx7tB4i6 [dostęp: 26.01.2022]
 112. <https://www.mae.com.pl/oferta-mae/baza-wiedzy/odnawialne-zrodla-energii/ogniwa-paliwowe?fbclid=IwAR3Cjl2f27yqc8KiJtVV5YRDJEMnJkYtyjZUctLgEGBxM3aq59hLfvMSYo> [dostęp: 9.02.2022]
 113. <https://www.mbgs.es/derecho-industrial/energia/energias-renovables/?v=9b7d173b068d> [dostęp 11.01.2022]

114. <https://www.mouser.pl/ProductDetail/Luminus-Devices/SST-10-G-B130-F530?qs=byeeYqUIh0OokHrdApKItA%3D%3D&mgh=1&vip=1> [dostęp: 25.01.2022]
115. <https://www.pkt.pl/artykul/na-czym-polega-recykling-kabli-17001> [dostęp: 28.01.2022]
116. <https://www.sedna.lighting/types-of-led-chip-dip-vs-smd-vs-cob/> [dostęp: 25.01.2022]
117. <https://www.skanska.pl/o-skanska/media/informacje-prasowe/227820/Skanska-i-Saule-Technologies-rozpoczynaja-testy-rewolucyjnych-paneli-slonecznych> [dostęp: 1.02.2022]
118. <https://www.teraz-srodowisko.pl/sloownik-ochrona-srodowiska/definicja/elektroliza.html> [dostęp: 13.01.2022]
119. https://www.viessmann.edu.pl/wp-content/uploads/SOLAR1_1__TT_19_03_2020.pdf [dostęp: 11.01.2022]
120. <https://www.vroom.be/fr/tag/hydrogene> [dostęp: 10.02.2022]
121. <https://znaki.edu.pl/index.php/10-nakazy/375-c-1316> [dostęp: 10.01.2022]
122. <https://znaki.edu.pl/index.php/15-pozioime/411-p-175#16> [dostęp: 10.01.2022]

13. Wykaz tabel

Tabela 1 Wartości napięcia, natężenia i mocy elektrycznej w zależności od koloru

kostki LED RGB [19] 57

14. Wykaz rysunków

Rys. 1 Znak pionowy C-13 Droga dla rowerów [121]	8
Rys. 2 Znak poziomy P-23 Rower [122]	9
Rys. 3 Typowa konstrukcja nawierzchni drogi rowerowej podstawowej i wzmocnionej [5]	11
Rys. 4 Asfaltowa ścieżka rowerowa [20]	12
Rys. 5 Gruntowa ścieżka rowerowa [95]	13
Rys. 6 Betonowa ścieżka rowerowa [61]	14
Rys. 7 Droga rowerowa wykonana z kostki brukowej [110]	15
Rys. 8 Podział zasobów energetycznych [opracowanie własne na podstawie [55]]	18
Rys. 9 Zastosowanie i przetwarzanie źródeł energii [113]	20
Rys. 10 Składowe promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi [119]	23
Rys. 11 Nomenklatura wodoru w zależności od sposobu wytwarzania [36]	24
Rys. 12 Budowa ogniwa fotowoltaicznego [100]	27
Rys. 13 Krzem w formie surowej [91]	29
Rys. 14 Moduł krzemowy monokrystaliczny [72]	29
Rys. 15 Moduł krzemowy polikrystaliczny [72]	30
Rys. 16 Ogniwo PV Graf [107]	31
Rys. 17 Trójwymiarowy model strukturalny grafenu [89]	32
Rys. 18 Ogniwo perowskitowe [81]	34
Rys. 19 Ogniwa perowskitowe zainstalowane na biurowcu, będącego siedzibą firmy Skanska [117]	34
Rys. 20 "Łamacze światła" z ogniwami perowskitowymi produkcji Saule Technologies w Lublinie [48]	35
Rys. 21 Etykiety PESL zasilane ogniwem perowskitowym [24]	36
Rys. 22 Schemat budowy i działania paliwowego ogniwa alkalicznego [104]	38
Rys. 23 Schemat ideowy ogniwa paliwowego typu płytkowego [112]	39
Rys. 24 Świecenie luminolu pod wpływem hemoglobiny [91]	43
Rys. 25 Kostka betonowa z kruszywa z dodatkiem luminforów Polbruk Lumia [44] ..	44
Rys. 26 Diody LED [92]	45
Rys. 27 Dioda DIP LED [116]	46
Rys. 28 Dioda SMD LED [98]	47

Rys. 29 Dioda High Power LED [114].....	48
Rys. 30 Diody LED RGB [102].....	48
Rys. 31 Dioda LED COB [111].....	49
Rys. 32 Przebieg projektowanej trasy w terenie [opracowanie własne].....	50
Rys. 33 Schemat rozmieszczenia kostek LED na trasie rowerowej [opracowanie własne]	51
Rys. 34 Przebieg istniejącej ścieżki rowerowej [opracowanie własne].....	52
Rys. 35 Wizualizacja zmodernizowanej trasy rowerowej w dzień [opracowanie własne]	53
Rys. 36 Wizualizacja zmodernizowanej trasy rowerowej w nocy [opracowanie własne]	53
Rys. 37 Dekoracyjny beton z eksponowanym kruszywem luminescencyjnym Deco Stello [74].....	55
Rys. 38 Nawierzchnia DECO STELLO z widocznymi dylatacjami [74]	56
Rys. 39 Kostka brukowa LED Bruklux RGB [19]	57
Rys. 40 Schemat zasilania kostki LED [19]	58
Rys. 41 Zasilacz hermetyczny 150 W [102].....	59
Rys. 42 Sterownik GSM LED K110SIM [90].....	59
Rys. 43 Ogrzewanie przeciwooblodzeniowe [80]	60
Rys. 44 Schemat ułożenia przewodów grzejnych nVent RAYCHEM EM-MI [32].....	61
Rys. 45 Schemat instalacji [opracowanie własne].....	63
Rys. 46 Wykres Sankey'a dla projektowanej instalacji [własne].....	64
Rys. 47 Schemat blokowy zasilania i magazynowania energii instalacji oświetlenia i ogrzewania trasy rowerowej [opracowanie własne].....	64
Rys. 48 Moduł fotowoltaiczny 550 W JUSTSolar JST550M-144 Mono [15].....	66
Rys. 49 Elementy systemu LAVO [25]	68
Rys. 50 Schemat działania systemu LAVO [25]	69
Rys. 51 Tłokowy silnik spalinowy MAN Serii TGX z silnikiem H4576LF Deutz zasilany wodorem [120]	70
Rys. 52 Akumulator litowo-jonowy o pojemności 120 Ah [1]	72
Rys. 53 Superkondensator LS Mton [26]	74
Rys. 54 Spadek wydajności modułów fotowoltaicznych w czasie [101].....	75

15. Wykaz załączników

- Załącznik 1. Karta katalogowa betonu dekoracyjnego CEMEX Deco Stello
- Załącznik 2. Karta katalogowa kostki LED RGB Bruklux Holland
- Załącznik 3. Karta katalogowa sterownika GSM LED RGB K110SIM
- Załącznik 4. Karta katalogowa nVent RAYCHEM EM-MI
- Załącznik 5. Karta katalogowa agregatu GreenHub PRO
- Załącznik 6. Karta katalogowa modułu fotowoltaicznego JUSTSolar Mono JST550M-144
- Załącznik 7. Karta katalogowa inwertera hybrydowego SOFAR SOLAR 8.8KTL-X
- Załącznik 8. Karta katalogowa systemu LAVO
- Załącznik 9. Karta katalogowa akumulatora Sonar Li ion 3S 100 Ah BMS
- Załącznik 10. Karta katalogowa superkondensatora LS Mton

16. Streszczenie

W niniejszej pracy poddano analizie możliwości zastosowania odnawialnych źródeł energii do interaktywnego oświetlenia trasy rowerowej zlokalizowanej na terenie Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. W tym celu zaprojektowano drogę rowerową z interaktywnym oświetleniem zmieniającym barwę w zależności od jakości powietrza, zasilanym generatorami z ogniwami paliwowym oraz modułami fotowoltaicznymi.

Nawierzchnia trasy składa się z mieszanki betonowej z luminescencyjnym kruszywem, wzdłuż trasy zatopione są kostki LED RGB. Wraz z zapadnięciem zmroku luminofory zawarte w kruszywie emitują niebieskie światło, natomiast diody LED dodatkowo oświetlają przebieg trasy. Ponadto trasa pokryta jest elektrycznym systemem przeciwoślodzeniowym w formie przewodów grzejnych.

Część teoretyczna została poświęcona pojęciom związanym z infrastrukturą rowerową – przybliżono wymagania dotyczące oświetlenia i nawierzchni trasy rowerowej. Kolejno scharakteryzowano istniejące źródła energii konwencjonalnej i odnawialnej, ze szczególnym naciskiem na energię słoneczną i wodorową, z których korzysta projektowana instalacja. Opisano budowę, sposób działania i zastosowanie modułów fotowoltaicznych oraz ogniw paliwowych. Omówiono zjawisko luminescencji, a także scharakteryzowano pojęcie luminoforów i istniejące rodzaje diod LED.

Część projektowa zawiera model drogi rowerowej, uwzględniający ułożenie punktów oświetleniowych na całej trasie. Zaprojektowane rozwiązanie zostało zwizualizowane w istniejącym krajobrazie. Opisano wyselekcjonowane z dostępnych na rynku komponenty, uwzględniając warunki eksploatacji. Obliczono zapotrzebowanie na moc instalacji i omówiono zasilanie awaryjne oraz sposoby magazynowania nadmiarowej energii. Przybliżono sposoby recyklingu poszczególnych elementów instalacji.

Rozwiązania są wysoce estetyczne i znacznie poprawiają komfort i bezpieczeństwo rowerzystów.

Abstract

The final project involved designing an interactive cycle track's lighting powered using fuel cells and photovoltaic panels. The cycle track is located in Warszawska Street in Kielce. Track is covered with luminescent structure and cubes with embedded RGB light-emitting diodes. The thesis is divided into two main parts: theoretical and design-based. The theoretical chapter discusses the main concepts and regulations concerning cycle infrastructure. Different renewable energy sources are considered, with a focus on hydrogen and solar energy. This chapter also describes the design, types and application of fuel cells and photovoltaic cells. The chapter concerned with the design of the interactive pedestrian crossing includes a 2D drawing of RGB cubes' setup developed using SolidWorks. Commercially available components were selected for the system on the basis of the predetermined technical parameters. The design of the powering system required calculating the power demand. For comparative purposes, an alternative type of energy was analyzed.