

**Andrzej Lechowicz**  
Politechnika Opolska, Opole

## **MODERNIZACJA OŚWIETLENIA ULICZNEGO PRZY ZASTOSOWANIU TECHNOLOGII LED SZANSĄ NA ZWIĘKSZENIE ZASOBÓW ENERGII ELEKTRYCZNEJ POTRZEBNEJ DO ŁADOWANIA SAMOCHODÓW ELEKTRYCZNYCH**

### **MODERNIZATION OF STREET LIGHTING WITH THE USE OF LED TECHNOLOGY AS AN OPPORTUNITY TO INCREASE THE AMOUNT OF ELECTRICITY NEEDED TO CHARGE ELECTRIC CARS**

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono analizę potencjalnych możliwości pozyskiwania energii do ładowania samochodów elektrycznych. Obecnie największym problemem rozwoju rynku pojazdów elektrycznych jest brak odpowiedniej infrastruktury do ich ładowania. W związku z tym oprócz budowy nowej infrastruktury należy rozważyć również inne pośrednie metody poprawy efektywności i przepustowości obecnej sieci dystrybucji energii w szczególności w miejscach, gdzie wykorzystywane są samochody elektryczne, czyli ulice miast. Jednym z takich sposobów jest modernizacja oświetlenia ulicznego poprzez nowoczesne rozwiązania oparte na technologii LED. Zaoszczędzoną w ten sposób energię będzie można wykorzystać do ładowania samochodów elektrycznych. W prezentowanej pracy przedstawiono metody ograniczenia zużycia energii w sieci oświetlenia drogowego oraz przeprowadzono analizę potencjalnych możliwości wykorzystania zaoszczędzonej tam energii elektrycznej do ładowania samochodów elektrycznych. W ramach tej analizy przeprowadzono również oszacowanie kosztów i zwrotu takiej inwestycji.

**Abstract:** The article presents an analysis of the potential for deriving energy for electric cars charging. Currently, the biggest problem in the development of the electric vehicle market is associated with the lack of adequate infrastructure that enables their charging. Therefore, in addition to building new infrastructure, we should also consider other indirect methods of improving the efficiency and capacity of the current energy distribution network, in particular in the locations where electric cars are utilized, i.e. city streets. One of such methods can be based on the modernization of street lighting for modern solutions based on LED technology. The energy saved in this way can be used to charge electric cars. The presented work presents methods for reducing energy consumption in the network applied for road lighting and analysis of the potential use of electricity saved there for charging electric cars. As part of this analysis, an estimation of the costs and return of such an investment was also carried out.

**Słowa kluczowe:** oświetlenie LED, oświetlenie uliczne, pojazd elektryczny, ładowania, optymalizacja zużycia energii

**Keywords:** LED lighting, street lighting, electric vehicle, charging, optimization of consumption

### **1. Wstęp**

Samochody elektryczne to obecnie jeden z najsilniejszych trendów w motoryzacji. Resort energii planuje, że do 2025 roku po polskich drogach będzie jeździło milion pojazdów elektrycznych. Według tych założeń rozwój elektromobilności ma umożliwić powstanie nowych branż oraz pobudzić rozwój krajowego przemysłu. Od ubiegłego roku obowiązuje ustawa, która ma kompleksowo uregulować tę branżę, jak również wprowadza szereg zachęt dla nabywców samochodów elektrycznych. Rząd liczy, że elektromobilność pobudzi innowacje i nowe technologie w polskim przemyśle. Jednak czy wystarczy w kraju energii do zasilania

tych wszystkich pojazdów elektrycznych. Do naładowania jednego miliona samochodów elektrycznych, o których mówi resort energii potrzeba będzie wygospodarować około 2 –3 GW dodatkowej mocy. Mimo, iż przedstawiciele Polskich Sieci Energetycznych zapewniają, że obecna sytuacja z energią elektryczną jest pod kontrolą i zwiększenie zapotrzebowania mocy o kilka GW nie powinno zbyt mocno wpłynąć na pracę sieci energetycznej. Problem może jednak stanowić przepustowość sieci w danym regionie. Energię potrzebną do ładowania samochodów elektrycznych trzeba przesłać kablami i to okazuje się dużym wy-

zwaniem. Zwłaszcza, gdy weźmiemy pod uwagę centra miast lub małe miejscowości oddalone od głównych linii przesyłowych. W takim przypadku duża liczba ładowarek będzie stanowić spore wyzwanie dla sieci dystrybucyjnej, która nie była przygotowana na tak duże zapotrzebowanie energii elektrycznej. Sukcesywnie można poprowadzić nowe linie zasilające, jednak wiąże się to z dodatkowymi pracami budowlanymi i pozwoleniami, co w konsekwencji znacznie zwiększa koszt i wydłuża czas powstawania nowych punktów ładowania samochodów elektrycznych.

## 2. Analiza potencjalnych możliwości pozyskiwania energii do ładowania samochodów elektrycznych

Jak już wcześniej wspomniano największym problemem rozwoju rynku pojazdów elektrycznych jest brak lub zbyt wolno rozwijająca się sieć punktów ładowania. W związku z tym oprócz budowy nowej infrastruktury należy rozważyć również inne pośrednie metody poprawy efektywności i przepustowości obecnej sieci dystrybucji energii, w szczególności w miejscach, gdzie wykorzystywane są samochody elektryczne, czyli ulice miast. Najbardziej rozprzestrzenioną wzdłuż ulic i parkingów jest infrastruktura zasilania oświetlenia ulicznego. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej podaje, że w Polsce znajduje się ponad 3,3 mln ulicznych opraw oświetleniowych [11]. Według szacunków, sodowe oświetlenie uliczne pochłania nawet 50-60% łącznego zużycia energii w całej miejscowości. W ciągu roku infrastruktura oświetlenia ulicznego w Polsce zużywa ok. 1,7 TWh energii. Koszty utrzymania infrastruktury drogowej, zwłaszcza jeśli chodzi o wydatki związane z oświetleniem, są obecnie jedną z najbardziej istotnych pozycji w każdym budżecie samorządowym. Modernizacja oświetlenia ulicznego przy zastosowaniu inteligentnych źródeł światła LED może znacznie ograniczyć zużycie energii i przynieść duże oszczędności dla samorządów. Natomiast zaoszczędzoną w ten sposób energię będzie można wykorzystać do ładowania samochodów elektrycznych. Nad takim połączeniem infrastruktury oświetleniowej z infrastrukturą ładowania samochodów elektrycznych pracuje Politechnika Lubelska i spółka PGE Dystrybucja [6]. Ich celem jest opracowanie dwukierunkowej stacji ładowania pojazdów elektrycznych połączonej z infrastrukturą oświetleniową. Jak

widać takie połączenie jest uzasadnione, gdyż obie te sieci znajdują się wzdłuż wszystkich dróg, osiedli mieszkaniowych i parkingów, czyli tam, gdzie samochody elektryczne mogą doładować swoje akumulatory. Ponadto zaoszczędzoną w ten sposób energię będzie można przeznaczyć bezpośrednio do zasilania lokalnych stacji ładowania. Rynek oświetleniowy w ostatnich latach przeżywa bardzo dynamiczny rozwój, w szczególności w zakresie nowoczesnego oświetlenia LED. Źródła inteligentnego światła LED oprócz wysokiej efektywności, pozwalają również na precyzyjne sterowanie strumieniem świetlnym [4]. Takie sterowanie pozwala precyzyjnie załączać, wyłączać, przyćmieniać oraz kontrolować stan pracy poszczególnych źródeł światła. Dzięki temu system oświetlenia ulicznego oparty na inteligentnej technologii LED pozwala na znaczne oszczędności związane z niskim zużyciem energii elektrycznej oraz kontrolą elektroniczną ich poziomu świecenia, np. w zależności od pory nocy [1,5].

## 3. Metody sterowania mocą oświetlenia ulicznego

Na rynku znanych jest kilka metod redukcji strumienia świetlnego źródeł światła i opraw LED: rozwiązanie **stand-alone, autonomiczne sieci redukcji mocy** oraz **inteligentne systemy sterowania oświetleniem** [3]. Najprostszym i wciąż najbardziej popularnym rozwiązaniem jest system **stand-alone** znany również pod nazwą **inteligentny system adaptacyjny**. W systemie tym sterownik zainstalowany jest w oprawie [3] lub winnym rozwiązaniu procesor wbudowany jest w samo źródło światła LED [1]. Taki adaptacyjny inteligentny system wbudowany w źródło światła LED mierzy czas świecenia i na tej podstawie precyzyjnie określa charakterystykę redukującą moc źródła światła w nocnym cyklu świecenia. Redukcja mocy występuje najczęściej w godzinach nocnych, kiedy ruch jest bardzo mały (np. od 23 do 04:30 źródła światła LED obniżają moc do 40%). Charakterystyki redukujące moc mogą być na stałe zapisane w samym źródle światła LED lub programowane przez podłączenie komputera bezpośrednio do oprawy. Jednak takie niezależne przeprogramowanie każdej oprawy wiąże się ze znacznymi kosztami, nie dając przy tym znacząco większej oszczędności użytkownika systemu. Producenci systemu stand-alone mają w ofercie kilka możli-

wych charakterystyk redukcji mocy [1,2,3] i to jest w zupełności wystarczające rozwiązanie, które umożliwia zarządcy drogi lub inwestorowi wybrać odpowiedni program dopasowany do kategorii drogi lub wymagań danego rejonu (droga krajowa, droga gminna, osiedle, park, parkingi).

**Autonomiczne sieci redukcji** mocy pozwalają lokalnie lub grupowo sterować pracą reduktorów za pomocą komunikacji ze sterownikami lokalnymi np. za pośrednictwem sieci bezprzewodowej. Rozwiązanie takie pozwala również na wykorzystanie danych z czujnika zmierzchowego lub detektora ruchu podłączonego do sterownika lokalnego.

**Inteligentne systemy sterowania oświetleniem** są obecnie najbardziej zaawansowanymi i przez to również najdroższymi rozwiązaniami spotykanymi na rynku. System może składać się ze sterowników zainstalowanych w szafach sterowniczych lub oprawach oraz serwera połączonego z bazą danych i stroną internetową. Główną zaletą systemu jest możliwość zdalnej konfiguracji poziomu świecenia dopasowanego do potrzeb danej drogi. Mimo, iż taki system ma wiele zalet, to funkcjonalność jaką zapewnia jest często zbyt rozbudowana i niepotrzebna dla normalnego funkcjonowania oświetlenia ulicznego w miastach. Przy istniejącym stanie sieci, takie inteligentne sterowanie niestety wiąże się z dużymi kosztami utrzymania, zatrudnienia dodatkowego personelu, co może doprowadzić do tego, że oszczędności wynikające z ograniczenia mocy mogą być niewystarczające do pokrycia kosztów instalacji i utrzymania takiego systemu. Stąd też władze samorządów kierują się bardziej w stronę tanich, prostych i bezawaryjnych systemów, które ograniczą koszty utrzymania infrastruktury drogowej i zapewnią długie i bezawaryjne użytkowanie systemu. W związku z tym, jednym z najlepszych sposobów na ograniczenia kosztów energii elektrycznej jest modernizacja/wymiana starych, nieefektywnych energetycznie systemów oświetleniowych na nowoczesne inteligentne oświetlenie LED. Szacuje się, że przez wymianę samego źródła sodowego na odpowiednik oświetlenia LED można zredukować koszt energii elektrycznej o ok. 50-60%. Dodatkowe 45-50% tej energii można jeszcze zaoszczędzić redukując moc źródeł światła w nocy (np. między 23:00 i 04:30). Takie inteligentne zredukowanie mocy oświetlenia LED może zmniejszyć całkowite

zużycie energii nawet o ok. 75% w stosunku do oświetlenia sodowego.

#### **4. Analiza potencjalnych metod wykorzystania zaoszczędzonej energii elektrycznej z inteligentnego oświetlenia ulicznego LED**

Z przeprowadzonej analizy metod sterowania wynika, że zastosowanie oświetlenia LED wraz z adaptacyjnym sterowaniem mocą oświetlenia ulicznego (stand-alone) może przynieść znaczne oszczędności energii, którą będzie można wykorzystać na przykład do ładowania samochodów elektrycznych. Warto przy tym dodać, że jest to moc dostępna lokalnie bez instalowania dodatkowych linii zasilających.

Do oszacowania potencjału zaoszczędzonej energii przyjmijmy do obliczeń miasto, w którym 2 tys. lamp sodowych zostanie wymienione na nowoczesne inteligentne źródło światła LED z adaptacyjną regulacją mocy świecenia (75 % oszczędności w stosunku do lamp sodowych). Średnia moc lamp ulicznych w Polsce wynosi około 130 W, uwzględniając 75% oszczędności energii wynikającej ze sterowania mocą oświetlenia LED, to pobór mocy zmniejszy się w przypadku modernizacji 2 tys. lamp o 195 kW. W takim przypadku przez całą noc (11 godzin) można będzie zaoszczędzić energię elektryczną równą ponad 2 MWh. Taka energia elektryczna wystarczy do naładowania, co noc „za darmo”, około 80 samochodów, co w skali roku przełoży się na naładowania ponad 29 tys. samochodów elektrycznych. Do obliczeń przyjęto, że samochód elektryczny będziemy ładować w nocy (11 godzin) ze zwykłego gniazdka mocą około 2 kW, a sprawność ładowarki i sprawność samego procesu ładowania akumulatorów wyniesie 80%. Zmagazynowana w ten sposób energia w akumulatorach samochodów elektrycznych (ok. 22 kWh) umożliwi w sumie przejechanie dziennie prawie 12 tys. km, co w skali roku wyniesie prawie 4,3 mln km. W przedstawionych powyżej obliczeniach przyjęto zużycie energii samochodu równe 15 kW/100 km. Jak wiadomo samochody elektryczne nie emitują żadnych związków toksycznych w przeciwieństwie do samochodów z silnikiem spalinowym. Jeśli przyjmujemy, że oszacowany przebieg 12 tys. km przejedziemy samochodami elektrycznymi zamiast samochodami spalinowymi to dodatkowo dziennie zmniejszymy lokalnie emisję o 1,6 tony CO<sup>2</sup>, rocznie to ponad 584 tony CO<sup>2</sup> (przyjęto

141 g CO<sup>2</sup>/km, co odpowiada 6 litrów/100 km). Ponadto zmniejszyły lokalnie również emisję innych związków toksycznych tlenków azotu (NO<sub>x</sub>), węglowodorów (HC), tlenków węgla (CO) i cząstek stałych (PM) trafiających do atmosfery. Jak widać korzyści wynikające z modernizacji oświetlenia przy zastosowaniu inteligentnego i adaptacyjnego rozwiązania LED są bardzo duże. Zaoszczędzoną w ten sposób energię można wykorzystać do ładowania samochodów elektrycznych, co również przyczyni się do poprawy jakości powietrza w danym regionie, w którym będą użytkowane. Jednak jak wiadomo nie stanie się to w ciągu najbliższych lat. Proces przesiadania się Polaków do samochodów elektrycznych będzie systematycznie postępował. Jednak bez zapewnienia do tego odpowiedniej infrastruktury rynek ten będzie rozwijał się znacznie wolniej.

### 5. Koszt modernizacji oświetlenia

Sama idea modernizacji oświetlenia ulicznego jak widać jest bardzo dobrą propozycją, jednak samorządy i zarządcy dróg, parkingów, garaży muszą wiedzieć ile to będzie kosztowało i kiedy taka inwestycja może się zwrócić. Na tym etapie trudno jest jednoznacznie oszacować koszt takiej modernizacji. Analizując koszty modernizacji na podstawie audytów energetycznych z polskich miast [2,12,13,14] oraz cenników dostawców tego typu rozwiązań wynika, że koszt modernizacji jednego punktu oświetlenia ulicznego kształtuje się między 400 zł za punkt [2] do nawet 12500 zł za punkt. Uzależnione jest to przede wszystkim od stanu opraw i infrastruktury w danym rejonie lub ulicy. Jeśli modernizacja wymaga jedynie wymiany samego źródła światła zachowując istniejącą oprawę, to koszt nie powinien przekroczyć 400 zł. za punkt. Natomiast, gdy modernizacja obejmuje wykonanie projektu, wymianę oprawy, słupa, poprowadzenia nowej linii zasilającej, to koszt może wzrosnąć nawet powyżej 12,5 tys. zł za punkt. Na podstawie obserwacji stanu obecnych opraw ulicznych i wyników audytów przeprowadzonych w polskich miastach, można zaobserwować, że wiele lamp zostało niedawno zmodernizowane i mimo, że najczęściej są to lampy sodowe, to same oprawy uliczne są jeszcze w bardzo dobrym stanie. W takim przypadku wystarczy wymienić jedynie samo źródło światła. Koszt takiej inwestycji nie powinien przekroczyć 400zł za wymianę jednego punktu wraz z kosztami wymiany,

a zwrot inwestycji powinien nie przekroczyć 15-18 miesięcy. Jest to bardzo dobra perspektywa, gdyż modernizacja na nowe inteligentne i adaptacyjne źródła światła LED oprócz oszczędności zużycia energii ograniczą również koszty wymiany i serwisowania tych punktów, gdyż obecnie producenci dają nawet od 5 do 7 lat gwarancji. Dla przykładu przy wymianie 2 tys. źródeł światła przez same oszczędności zużycia energii będzie można zaoszczędzić rocznie w budżecie samorządu nawet 345 tys. zł (przyjęto koszt energii 0,44 zł/kWh, czas świecenia w ciągu roku to 4024 godziny). Samorządy zaoszczędzone w ten sposób środki finansowe będą mogły przeznaczyć na kolejne modernizacje i przystosowanie infrastruktury do dalszych modernizacji lub instalacji nowych stacji ładowania. Takie działanie w przyszłości może znacząco podnieść jakość życia i powietrza w danym regionie. Dodatkowo środki na kompleksową modernizację oświetlenia samorządy mogą uzyskać z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, który prowadzi nabór wniosków o dofinansowanie w ramach programu priorytetowego „SOWA – oświetlenie zewnętrzne”, którego celem jest ograniczenie emisji zanieczyszczeń powietrza oraz uzyskanie oszczędności energii elektrycznej poprzez dofinansowanie przedsięwzięć poprawiających efektywność energetyczną systemów oświetlenia zewnętrznego [11].

### 6. Podsumowanie i wnioski

Podsumowując na dzień dzisiejszy rozwój technologii, w szczególności napędów elektrycznych i nowoczesnych inteligentnych źródeł oświetlenia pozwala efektywniej wykorzystywać dostępną energię elektryczną. Oszczędności wynikające z użytkowania inteligentnych źródeł światła LED mogą przyczynić się do rozwoju nowej dziedziny elektromobilności. Ambitne plany rządu na milion pojazdów elektrycznych nie spełnią się, gdy dostawcy energii, samorządy, producenci oświetlenia, oraz zarządcy infrastruktury nie wytworzą korzystnych warunków do rozwoju elektromobilności w naszych miastach. Chyba każdy z nas chciałby doczekać czasów, gdy zniknie problem jakości powietrza. Aby uświadomić sobie skalę tego problemu, to należy wziąć pod uwagę również zakres globalny kraju, w którym znajduje się ponad 3,3 mln. ulicznych opraw oświetleniowych. Czysto teoretycznie, gdyby wymieniono wszystkie te oprawy na inteligentne źródła

światła LED to zaoszczędzona energia wystarczyłaby na naładowania, co noc ponad 140 tys. samochodów elektrycznych, co pozwoli na przejechanie w dzień ok. 580 mln. km. Te liczby przedstawiają, jaki potencjał oszczędności energii jest w tym zakresie i jak można efektywnie wykorzystać istniejące zasoby energii do wspomagania rozwoju nowej i czystej technologii napędu elektrycznego. Nie dziwi fakt, że zalety płynące z modernizacji oświetlenia ulicznego przy zastosowaniu inteligentnej technologii LED są coraz częściej doceniane. Niestety wiele polskich miast rozpoczęło już serię wymian i modernizacji ulicznych lamp oświetleniowych przy zastosowaniu nieinteligentnych opraw LED, bez redukcji mocy. Takie rozwiązanie nie gwarantuje znaczących efektów ekonomicznych. Na dzień dzisiejszy najoszczędniejszym i najtańszym rozwiązaniem jest zastosowanie inteligentnego i adaptacyjnego źródła światła LED w istniejącej oprawie sodowej [1]. Inteligentne źródła światła LED można zastosować w prawie każdej oprawie sodowej, wykonane są z gwintem E27 i E40 o mocach 55W, 75W, 100W, 125W, 150W, 175W. Dla przykładu żarówkę sodową o mocy 150 W można zastąpić źródłem światła LED o mocy 75W, przy zastosowaniu redukcji mocy to średnia moc świecenia wyniesie 35-50W (w zależności od charakterystyki redukcji mocy). Ponadto, oświetlenie LED przynosi szereg innych korzyści, takich jak poprawa widoczności i komfortu użytkowników, co bezpośrednio przekłada się na ich bezpieczeństwo. Jednak eksperci ostrzegają przed wyborem słabej jakości rozwiązań oświetlenia LED spotykanych na naszym rynku [4,5,8]. Przy wyborze danego rozwiązania należy przede wszystkim brać pod uwagę sprawność zasilania źródła światła LED, jego skuteczność świetlną (np. rzeczywisty wskaźnik lm/W) oraz współczynnik mocy biernej  $\cos\varphi > 0,94$ . Bardzo często w konsekwencji redukcji mocy oprawy lub źródła światła LED znacznie pogarsza się współczynnik mocy biernej, powodując pobór mocy biernej przez system oświetlenia. Dlatego powinno się zadbać o wybór takich rozwiązań na rynku, które nie przekraczają dopuszczalnego poziomu mocy biernej. W naszym wspólnym interesie jest dbanie o dobrą jakość energii w sieci. Mijają już czasy, w których dostawca energii nie rozlicza odbiorców z mocy biernej. Po przekroczeniu  $\cos\varphi < 0,93$  ( $tg\varphi > 0,4$ ) dystrybutor energii ele-

ktrycznej może naliczać dodatkową opłatę za pobór mocy biernej. W takim przypadku oszczędności wynikające ze zmniejszenia zużycia energii elektrycznej mogą zostać zredukowane przez naliczanie kar związanych z poborem mocy biernej.

## 7. Literatura

- [1]. Auto Power Electronic, Nowoczesne oświetlenie LED w oprawach sodowych, Konferencja Oświetlenie Drogowe – sposoby zarządzania systemami oświetlenia, str. 139-140.
- [2]. <http://ledoowka.pl/>.
- [3]. Schreder Polska., Rola oświetlenia w nowoczesnych miastach, XIII Konferencja Oświetlenie Drogowe – sposoby zarządzania systemami oświetlenia, str. 7- 16.
- [4]. Górczewska M. Oświetlenie dróg i ulic- wybrane zagadnienia, XIII Konferencja Oświetlenie Drogowe – sposoby zarządzania systemami oświetlenia, str. 57-66.
- [5]. Gizicki K., Moderniacja oświetlenia ulicznego w gminie stary sącz, XIII Konferencja Oświetlenie Drogowe – sposoby zarządzania systemami oświetlenia, str. 77-82.
- [6]. Jędrzychowski R., Integracja infrastruktury oświetleniowej ze stacją szybkiego ładowania pojazdów elektrycznych, XIII Konferencja Oświetlenie Drogowe – sposoby zarządzania systemami oświetlenia, str. 101-110.
- [7]. Kotulski L., Smart Lighting – nowe spojrzenie na oświetlenie uliczne. System dynamicznego oświetlenia ulic- przykład rozwiązań SmartCity Oświetlenie dróg i ulic- wybrane zagadnienia, XIII Konferencja Oświetlenie Drogowe – sposoby zarządzania systemami oświetlenia, str. 67-75.
- [8]. Pabiańczyk W., Audyty i projekty oświetlenia drogowego jako podstawa efektywnej realizacji inwestycji drogowej- wymagania i ograniczenia praktyczne, XIII Konferencja Oświetlenie Drogowe – sposoby zarządzania systemami oświetlenia.
- [9]. A. Szumanowski "Hybryd Electric, Vehicle Driver Design", *Wydawnictwo ITEE*, Warszawa – Radom 2006.
- [10]. A. Szumanowski "Teoria ruchu Akumulacja energii w pojazdach", *Wydawnictwo Komunikacji i Łączności*, Warszawa 1983.
- [11]. [http://www.nfosigw.gov.pl/gfx/nfosigw/userfiles/files/aktualnosci/2012/12/materialy\\_prasowe\\_so\\_wagazela.pdf](http://www.nfosigw.gov.pl/gfx/nfosigw/userfiles/files/aktualnosci/2012/12/materialy_prasowe_so_wagazela.pdf).
- [12]. Audyt energetyczny efektywności wykorzystania energii elektrycznej oświetlenia ulicznego dla Programu Priorytetowego NFOŚiGW-SOWA, Miasto Cieszyn.
- [13]. Audyt energetyczny systemu oświetlenia ulic i dróg miasta Gliwice.
- [14]. Audyt energetyczny oświetlenia ulicznego przygotowany dla Gminy Bodzechów.

