LOGISTYKA I TRANSPORT

Irena WIŚNIEWSKA, Diana PUCHACZ, Jacek KROM

POLSKI RYNEK TRANSPORTU

Publikacja ma na celu scharakteryzowanie polskiego rynku transportu, zdefiniowanie pojęcia transportu i infrastruktury transportowej w odniesieniu do naszego kraju. Ponadto, wskazano na otoczenie makroekonomiczne, w którym rynek transportu funkcjonuje i realizuje swoje zadania, a także dokonano klasyfikacji transportu na transport drogowy, kolejowy, morski i lotniczy.

Definicja transportu i infrastruktury transportowej

Wraz ze zmianami zachodzącymi w gospodarce, również warunki transportu podlegają cały czas ewolucji. Nie sposób wyobrazić sobie świata, w okresie globalizacji współczesnej gospodarki, bez gęstej sieci połączeń transportowych, umożliwiających uczestnikom rynku: producentom, eksporterom i importerom, swobodne zawieranie kontraktów, bez względu na to, gdzie znajduje się towar i w którym miejscu jest potencjalny nabywca produktu.[1]

Z uwagi na nacisk na różne aspekty, literatura przedmiotu definiuje pojęcie transportu w różnoraki sposób. I. Tarski podkreśla klasyczną rolę, jaką pełni transport i określa go, jako „proces technologiczny wszelkiego przenoszenia na odległość, czyli przemieszczanie osób przedmiotów lub energii".[2]

Transport ściśle wiąże się z wykorzystaniem określonych środków transportu oraz infrastruktury, a także z występowaniem określonych podmiotów gospodarczych, świadczących usługi transportowe oraz uzyskujące wynik finansowy, związany z prowadzeniem działalności transportowej.[3]

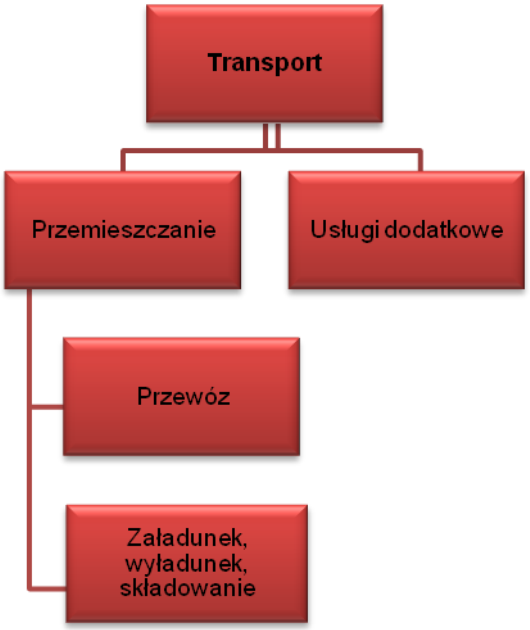
Według J. Neidera, transport jest świadczeniem usług polegających na przemieszczaniu ładunków bądź usług dodatkowych bezpośrednio z tym związanych. Transport jest pojęciem szerokim i obejmującym wiele czynności, dzięki którym ładunek dotrze z miejsca nadania do miejsca docelowego. To zespół czynności, polegający na przemieszczaniu m.in. dóbr materialnych w czasie i przestrzeni, przy użyciu odpowiednich środków technicznych.[4] Podobnie transport określają M. Madeyski, E. Lissowska i J. Marzec, według których w aspekcie podmiotowym, transport to „technicznie, organizacyjnie i ekonomicznie wydzielone z innych czynności, celowe przemieszczanie wszelkich ładunków i osób".[5]

W ramach transportu świadczona jest usługa zwana przewozem. Czynności wykonywane w punktach transportowych, wraz z przewozem, tworzą pojęcie przemieszczania się towarów. Ładunek w trakcie przemieszczania obsługiwany jest za pomocą urządzeń technicznych, a dostarczenie towaru do punktu przeznaczenia wymaga zastosowania rożnego rodzaju usług dodatkowych, takich jak np. usługi logistyczne, spedycyjne, celne, kontrolne itp. Wszystkie te elementy tworzą pojęcie transportu.[6]

---

[1] J. Neider, *Transport międzynarodowy*. Warszawa 2008, s. 5
[2] I. Tarski, *Ekonomika i organizacja transportu międzynarodowego*. Warszawa 1993, s. 11
[3] A. Koźlak, *Ekonomika transportu. Teoria i praktyka gospodarcza*. Gdańsk 2008, s. 11
[4] J. Neider, *Transport*…, op. cit., s. 5
[5] M. Madeyski, E. Lissowska, J. Marzec, *Wstęp do nauki o transporcie*. Warszawa 1971, s. 10
[6] J. Neider, *Transport*…, op. cit., s. 5

Rysunek nr 1: Podstawowe elementy transportu



Źródło: J. Neider, *Transport międzynarodowy*. Warszawa 2008, s. 12

Transport pełni w gospodarce narodowej pewne określone funkcje, które przedstawiają się następująco:[7]

- transport jest instrumentem wymiany dóbr i usług i warunkuje przemieszczanie towarów będących przedmiotem handlu;
- jest czynnikiem wzrostu PKB oraz wpływa na rozwój innych działów gospodarki narodowej;
- warunkuje rozwój lokalizacji produkcji i osadnictwa – istniejąca i planowana sieć transportowa oraz jej poziom determinuje lokowanie inwestycji, jest także czynnikiem miasto- i regionotwórczym;
- realizuje cele społeczne, jak np. zaspokajanie potrzeb komunikacyjnych ludności czy zwiększenie dostępności sfer życia gospodarczego, np. kultury, oświaty czy sportu.

Niewątpliwe istotne znaczenie w transporcie ma także logistyka. Z naukowego punktu widzenia, literatura przedmiotu definiuje logistykę jako dziedzinę wiedzy, wywodzącą się z zagadnień transportu międzynarodowego.[8] Według definicji Council of Logistics Management, logistyka to „proces planowania, realizowania i kontrolowania sprawnego i efektywnego ekonomicznie przepływu surowców, materiałów, wyrobów gotowych oraz odpowiedniej informacji z punktu pochodzenia do punktu konsumpcji, w celu zaspokojenia wymagań klienta."[9]

Transport jest jednym z najważniejszych elementów systemu logistycznego, gdyż w strukturze kosztów logistycznych, koszty transportowe wynoszą do 75%

[7] W. Grzywacz, J. Burnewicz, *Ekonomika transportu*. Warszawa 1989, s. 43-44
[8] A. Harrison, R. van Hoek, *Zarządzanie logistyką.* Warszawa 2010, s. 147
[9] J.J. Coyle, E.J. Bardi, J.C. Langrey, *Zarządzanie Logistyczne*. Warszawa 2002, s. 51-52

kosztów ogółem. Obsługa transportowa wszystkich ogniw łańcucha dostaw, począwszy od miejsca wydobycia surowców, a kończąc na finalnym odbiorcy, jest zadaniem pierwszej wagi w realizacji procesów logistycznych.[10]

Transport jest jednym z podstawowych elementów, które wpływają na konkurencyjność gospodarki jako dominujące ogniwo procesów logistycznych. Do sprawnego funkcjonowania systemu logistycznego niezbędna jest zaś odpowiednia infrastruktura.

Literatura przedmiotu definiuje pojęcie infrastruktury transportowej, podobnie jak samo pojęcie transportu, w sposób wieloraki. Klasyczną definicję infrastruktury zaproponował A. Piskozub, według którego: „infrastruktura to (…) stworzone przez człowieka, trwale zlokalizowane, liniowe i punktowe obiekty użytku publicznego, stanowiące podstawę życia społeczno-gospodarczego, z uwagi na ich funkcje przemieszczania osób i ładunków (transport), wiadomości (łączność), energii elektrycznej (energetyka) i wody (gospodarka wodna)".[11] Odnosząc tę definicję do transportu można stwierdzić, iż za infrastrukturę transportu będzie można uważać zespół obiektów związanych z przestrzenią, które umożliwiają przewóz osób i ładunków, jak również wykonanie czynności niezbędnych do sprawnego przeprowadzenia procesu transportowego.[12]

J. Neider twierdzi, iż w odniesieniu do transportu, infrastrukturę transportową stanowić będą wszystkie urządzenia i obiekty stałe i trwale zlokalizowane, umożliwiające przemieszczanie ładunków.[13]

Według E. Gołembskiej, infrastrukturę transportu stanowią punkty i miejsca, z których korzystają środki transportu podczas ruchu i postoju. Zaliczymy do nich:[14]

- drogi naturalne i sztuczne;
- punkty transportowe, jak np.: porty morskie i lotnicze;
- wyposażenie dróg i punktów w środki trwałe i przedmioty nietrwałe, niezbędne do funkcjonowania infrastruktury.

Cechą charakterystyczną infrastruktury transportu jest ekonomiczna i techniczna niepodzielność wynikająca z jej wysokiej majątkochłonnoości i kapitałochłonności.[15] Infrastruktura charakteryzuje się także immobilnością funkcjonalną i przestrzenną oraz długotrwałością użytkowania. Inwestycje infrastrukturalne wymagają zgromadzenia odpowiednio wysokich środków finansowych, często pochodzących z publicznych źródeł.[16]

Infrastruktura transportu posiada pewne cechy charakterystyczne, które mają istotne znaczenie dla rozwoju branży. Stanowi kręgosłup każdej gospodarki. Im dany region bardziej pozostaje nasycony elementami infrastruktury, tym posiada większe szanse rozwoju. Inwestycje infrastrukturalne powinny zatem wyprzedzać potrzeby rynkowe.[17]

Przed działalnością transportową stawia się wysokie wymagania. To przede wszystkim zaspokojenie potrzeb społeczeństwa, nabywców dóbr i usług oraz

---

[10] E. Gołembska (red.), *Kompendium wiedzy o logistyce*. Warszawa 2010, s. 107
[11] A. Piskozub, *Gospodarowanie w transporcie. Podstawy teoretyczne.* Warszawa 1982, s. 41
[12] I. Urbanyi-Popiołek, *Ekonomiczne i organizacyjne aspekty transportu*. Bydgoszcz 2013, s. 11
[13] J. Neider, *Transport*…, op. cit., s. 23
[14] E. Gołembska (red.), *Kompendium…,* op. cit. s. 114
[15] R. Rolbiecki, K. Wojewódzka-Król, *Wykorzystanie funduszy unijnych w rozwoju transportu w Polsce* (w:), R. Rolbiecki (red.), *Aktualne problemy rozwoju transportu i logistyki*. Gdańsk 2013, s. 37
[16] E. Gołembska (red.), *Kompendium…,* op. cit., s 115
[17] J. Neider, *Transport*…, op. cit., s. 23

użytkowników transportu. Infrastruktura transportu, jako element rozwoju społeczno-gospodarczego, jest determinantem wspomagającym rozwój innych działów gospodarki. Rozwój transportu i komunikacji powoduje także stopniowe poszerzenie horyzontów społeczeństwa.[18]

Wszelkie występujące nieprawidłowości w tej materii skutkować będą utrudnieniami w rozwoju społeczno-gospodarczym, wywołując straty w różnych dziedzinach gospodarki.

Otoczenie makroekonomiczne

Otoczenie makroekonomiczne odgrywa istotną rolę w funkcjonowaniu podmiotu na rynku. Jest jedną z ważniejszych kwestii branych pod uwagę przy podejmowaniu decyzji w trakcie funkcjonowania podmiotu gospodarczego. To otoczenie ogólne i dalsze pewnych określonych warunków w państwie, układzie politycznym, regionie geograficznym czy strefie klimatycznej, których nie można zmienić. To zbiór warunków panujących w gospodarce i kierunków ich rozwoju. Na makrootoczenie składają się:[19]

- otoczenie ekonomiczne, wyznaczane przez kondycję gospodarki krajowej, regionalnej, światowej**.** Dotyczy ono sytuacji makroekonomicznej **kraju,** stanowi także kondycję systemu gospodarczego, w obszarze którego działa organizacja**.** Do najistotniejszych wskaźników otoczenia ekonomicznego zalicza się: PKB, stopy procentowe, inflację, popyt, stopę bezrobocia;
- otoczenie demograficzne, wynikające ze zmian w populacji danego społeczeństwa, jak np. liczba ludności, wielkość przyrostu naturalnego i struktura wiekowa populacji, stopień urbanizacji, wielkość gospodarstwa domowego;
- otoczenie społeczne, wynikające ze stylu życia, panującej mody, zwyczajów lub kultury panującej na danym obszarze;
- otoczenie międzynarodowe, wynikające z uwarunkowań międzynarodowych, np. ceny rynkowej gazu ziemnego czy ropy naftowej;
- otoczenie prawne, wynikające z przepisów prawa, które **o**bejmuje swym zakresem aspekty uregulowań prawnych i polityki podatkowej, a także wpływ sytuacji politycznej na daną branżę. Otoczenie prawne **s**tanowi także odniesienie do regulacji państwowych, związanych z działalnością gospodarczą oraz stosunków panujących między państwem a gospodarką;
- otoczenie technologiczne, wynikające z poziomu rozwoju technicznego i technologicznego gospodarki. Otoczenie to opisuje działalność w zakresie badań i rozwoju w danej branży, osiągnięcia technologiczne oraz jakość zaplecza naukowo-badawczego. Istotną rolę odgrywają tu technologie produkcyjne, informatyczne, automatyzacja oraz infrastruktura transportowa.

Analiza otoczenia makroekonomicznego przydatna jest nie tylko przy planowaniu dużych inwestycji, ale również przy tworzeniu planów strategicznych podmiotów gospodarczych. Otoczenie makroekonomiczne odgrywa istotną rolę w rozwoju rynku transportowego. Już od lat 90. ubiegłego wieku zauważalny jest

[18] A. Harrison, R. van Hoek, *Zarządzanie logistyką*. Warszawa 2010, s. 147
[19] G. Gierszewska, M. Romanowska, *Analiza strategiczna przedsiębiorstwa*. Warszawa 2014, s. 33

wzrost tempa rozwoju gospodarki i generowanie wewnętrznego popytu na usługi transportowo-logistyczne. Pomiędzy wskaźnikami makroekonomicznymi, obrazującymi rozwój działalności gospodarczej, a realizowanymi na rynku przewozami, występują określone zależności przyczynowo-skutkowe. Ich relacja uwarunkowana jest poziomem wzrostu gospodarczego i efektywnego popytu na przewozy, poczynając od zależności związanych z dynamiką i strukturą PKB, rozwojem sektorów gospodarki narodowej, aż do znaczenia popytu krajowego i zewnętrznego. W przypadku rynku towarowego, rozwój gospodarczy dokonuje się przy zmniejszającym się tempie wzrostu wielkości przemieszczanych towarów i równoczesnym powiększaniu odległości, na jakie są przewożone ładunki. Konsumpcja indywidualna jest makroekonomicznym czynnikiem wzrostu gospodarczego, który generuje popyt na przewozy towarowe. Czynnikiem stymulującym rozwój rynku transportu jest wzrost wymiany handlowej z innymi państwami oraz wzrost jej wolumenu wartości. Szacuje się, że sytuacja taka będzie się nadal utrzymywać. Czynnikiem makroekonomicznym, warunkującym rozwój gałęzi, jest obecnie rosnąca wielkość inwestycji zagranicznych, które związane są między innymi z przenoszeniem produkcji do Europy Środkowo-Wschodniej. Rola Europy Środkowo-Wschodniej wpływa na funkcjonowanie europejskich łańcuchów dostaw, co gwarantuje popyt na usługi transportowe, logistyczne i magazynowe. Ze względu na dogodne położenie, Polska jest jednym z głównych beneficjentów. Wszystko jest jednak uzależnione od dynamiki rozwoju infrastruktury transportowej, szczególnie sieci drogowej. Efektywne wykorzystanie Funduszy Unijnych powinno być priorytetem w kwestii rozwoju infrastruktury.[20]

Klasyfikacja transportu

Klasyfikacja transportu może przybierać różne formy, w zależności od przyjętego kryterium. Transport może być określany w układzie pionowym lub poziomym. W układzie pionowym, kryterium klasyfikacji stanowi środowisko, w którym odbywa się ruch środka transportu oraz technika poruszania. Ze względu na środowisko realizacji zadań, transport dzielimy na:

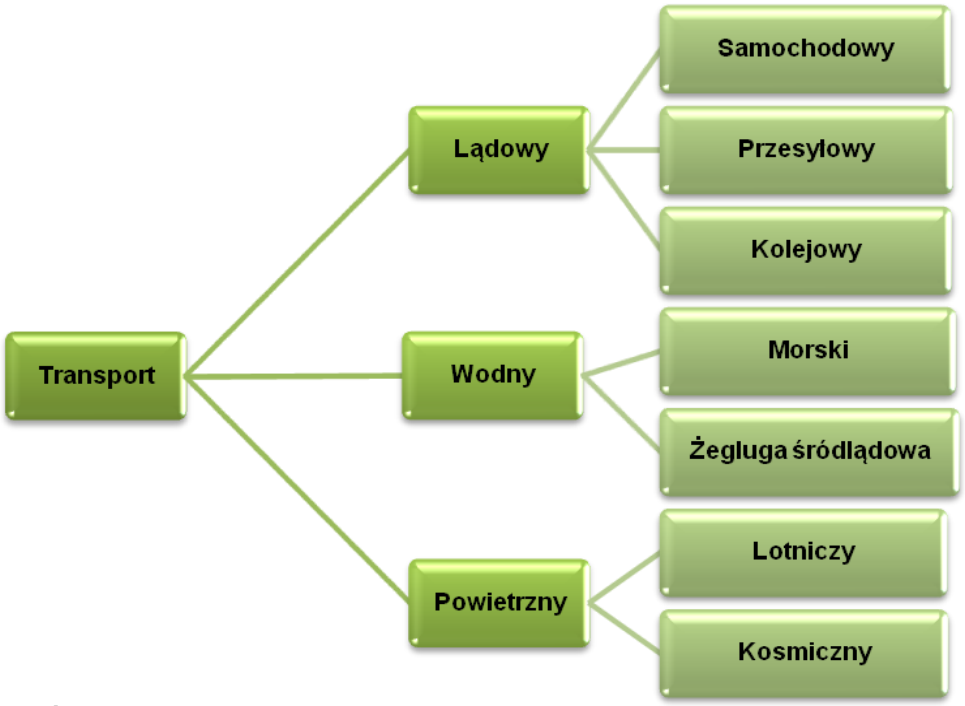
- transport lądowy;
- transport wodny;
- transport powietrzny.

Każda z gałęzi transportu charakteryzuje się specyficzną odrębnością techniczną, organizacyjną, technologiczną czy ekonomiczną. Uwzględniając specyfikę środka transportu oraz drogi transportowej, można wyróżnić sześć podstawowych gałęzi transportu:[21]

- transport samochodowy;
- transport lotniczy;
- transport morski;
- transport kolejowy;
- transport śródlądowy;
- transport przesyłowy, inaczej rurociągowy.

[20] S. Ślubowski, *Rynek transportu i logistyki*. Warszawa 2007, s. 22
[21] A. Piskozub, *Gospodarowanie*…, op. cit., s. 20

Rysunek nr 2: Podział transportu



Źródło: Opracowanie własne na podstawie: A. Piskozub, *Gospodarowanie w transporcie. Podstawy teoretyczne.* Warszawa 1982

Na podstawie klasyfikacji transportu w układzie poziomym, można wyodrębnić podział transportu ze względu na:[22]

- przedmiot przewozu, w którym wyróżnimy:
  - transport osób;
  - transport ładunków;
- kryterium geograficzne, w którym wyróżnimy:
  - transport krajowy, np. transport miejski, międzyregionalny, wojewódzki;
  - transport międzynarodowy, np. transport kontynentalny i międzykontynentalny;
- względy organizacyjno-funkcjonalne, w których wyróżnimy:
  - transport regularny, odbywający się zgodnie z podanym wcześniej rozkładem;
  - transport nieregularny, odbywający się na zasadzie nieregularnych przejazdów;
- organizację przewozów, w których wyróżnimy:
  - transport bezpośredni, z dominacją jednego środka transportu odbywającego się bezpośrednio do celu;
  - transport pośredni, kiedy w transporcie wykorzystywane są co najmniej dwa środki transportu;

[22] A. Koźlak, *Ekonomika*…, op. cit., s. 15-17

- formę własności, w której wyróżnimy:
  - transport prywatny;
  - transport państwowy;
  - transport spółdzielczy;
  - transport komunalny.
- dostępność użytkownika, w którym wyróżnimy:
  - transport własny;
  - transport publiczny;
  - transport branżowy.

W celu bardziej obrazowej charakterystyki rynku transportowego, transport można podzielić na: transport drogowy, kolejowy, morski i powietrzny.

Transport drogowy

Transport drogowy jest najczęściej wykorzystywaną gałęzią transportu w przewozach lądowych towarów i podróżnych. Niezbędnym warunkiem dla funkcjonowania transportu drogowego jest istnienie infrastruktury transportowej, zarówno punktowej, jak liniowej. Ustawa z 21 marca 1985 r. o drogach publicznych definiuje infrastrukturę liniową jako: „każdy wydzielony pas terenu, przeznaczony do ruchu lub postoju pojazdów oraz do ruchu pieszych, wraz z leżącymi w jego ciągu obiektami inżynierskimi, placami, zatokami pojazdowymi oraz znajdującymi się w wydzielonym pasie terenu chodnikami, ścieżkami rowerowymi, drogami zbiorczymi, drzewami, krzewami, urządzeniami technicznymi związanymi z prowadzeniem i zabezpieczeniem ruchu”.[23]

Infrastrukturę liniową określają dwa podstawowe kryteria:[24]

- kryterium pełnienia określonej funkcji w sieci drogowej, w którym wyróżnić można:
  - drogi krajowe;
  - drogi wojewódzkie;
  - drogi powiatowe;
  - drogi gminne;
  - drogi lokalne;
  - drogi miejskie;
  - drogi zakładowe;
- kryterium stopnia dostępności oraz obsługi przyległego terenu, w którym wskażemy:
  - autostrady;
  - drogi ekspresowe;
  - drogi ogólnodostępne.

Infrastruktura punktowa to z kolei przestrzennie wyodrębnione obiekty służące stacjonarnej obsłudze środków przewozowych transportu oraz ładunków, jak np.: place i punkty przeładunkowe, ogólnodostępne wyładownie czy centra logistyczne. W przypadku infrastruktury punktowej, odnoszącej się do osób, wyróżnimy m.in.: dworce autobusowe i przystanki.[25]

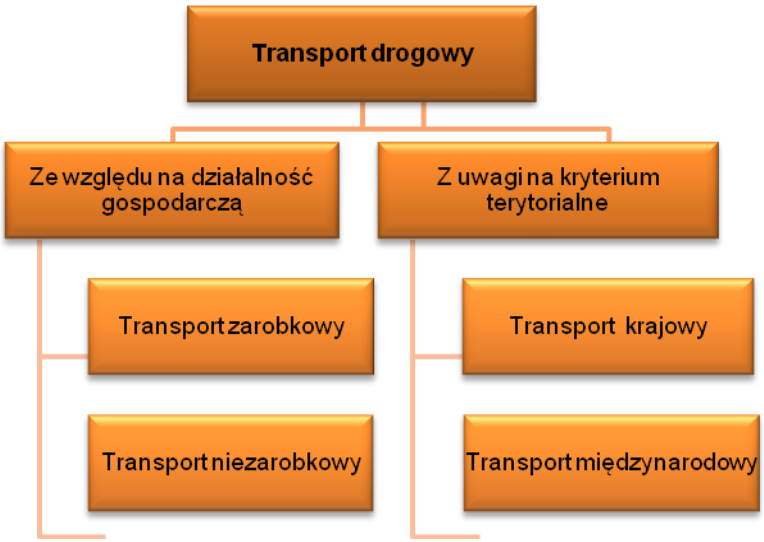
---

[23] Ustawa z 21 marca 1985 r. o drogach publicznych
[24] W. Rydzkowski, K. Wojewódzka-Król (red.), *Transport.* Warszawa 2008, s. 38-60
[25] *Logistyka.net.pl*, Infrastruktura punktowa, *http://www.logistyka.net.pl* (pobrano 17.02.2016 r.)

Zgodnie z art. 4 Ustawy o transporcie drogowym, transport ten można podzielić, ze względu na kryterium działalności gospodarczej, na: transport zarobkowy oraz transport niezarobkowy, który może być prowadzony przez podmiot na własne potrzeby.[26]

Przewozy w transporcie samochodowym mogą być organizowane zarówno w krajowym, jak i międzynarodowym ruchu. Krajowy transport drogowy polega na tym, że całość przewozów odbywa się przy zastosowaniu pojazdów samochodowych lub zespołów pojazdów zarejestrowanych w kraju, na drodze, której początek, koniec oraz trasa przejazdu znajdują się na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej. Podobne wymagania dotyczą międzynarodowego transportu drogowego z tą różnicą, że punkt początkowy bądź docelowy może znajdować się poza granicami kraju.[27]

Rysunek nr 3: Podział transportu drogowego, w oparciu o Ustawę o transporcie drogowym



Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Ustawa z 6 września 2001 r. o transporcie drogowym (Dz. U. z 2001 r. Nr 125, poz. 1371)

Realizacja ruchu w transporcie drogowym może przybierać charakter regularny bądź nieregularny. Najbardziej ekonomiczny transport drogowy obejmuje krótkie i średnie odległości. Rynek towarowych przewozów samochodowych, po stronie podaży, jest z reguły silnie rozdrobniony, natomiast jego struktura zbliżona jest do konkurencji doskonałej. W celu realizacji swoich zadań, przedsiębiorstwa transportowe wykorzystują środki transportu samochodowego, które, ze względu na przedmiot przewozu, można podzielić na środki transportu służące do przewozu osób oraz środki transportu służące do przewozu ładunków. Te pierwsze obejmują samochody osobowe i autobusy. Jedne i drugie mogą być wykorzystywane

[26] Ustawa z 6 września 2001 r. o transporcie drogowym (Dz. U. z 2001 r., nr 125, poz. 1371)
[27] Na podstawie: Ustawa z 6 września 2001 r. o transporcie drogowym (Dz. U. z 2001 r. Nr 125, poz. 1371)

do transportu zarobkowego. W przypadku świadczenia usług transportowych, większa rola przypadnie jednak autobusom. Tabor silnikowy, obejmujący samochody ciężarowe i ciągniki siodłowe, oraz tabor bezsilnikowy, do którego zaliczymy naczepy i przyczepy, to z kolei środki transportu służące do przewozu ładunków. Zarówno tabor silnikowy jak i bezsilnikowy są składowymi pojazdów ciężarowych.[28]

Transport samochodowy, swoją popularność oraz dynamiczny rozwój, zawdzięcza kilku aspektom:[29]

- przestrzennemu rozmieszczeniu dróg;
- korzystnym dopasowaniem sieci dróg do rozmieszczenia miejsc produkcji, handlu i konsumpcji;
- pozytywnym właściwościom związanym z czasem trwania transportu;
- przystosowaniem środków transportu do przewozu niemal wszystkich rodzajów ładunków;
- największą zdolnością do obsługi rozproszonych i niewielkich potoków ładunkowych;
- największą, spośród wszystkich gałęzi transportu, możliwością wykonywania przewozów w relacji dom – dom, bez pośrednich i czasochłonnych operacji przeładunkowych.

Transport samochodowy posiada również wady, pośród których wymienimy:[30]

- ograniczoną ładowność w porównaniu z innymi gałęziami transportu, np. transportem morskim czy kolejowym;
- duży współczynnik wypadków drogowych;
- negatywny wpływ na środowisko naturalne.

Transport kolejowy

Transport kolejowy jest gałęzią transportu lądowego, której funkcjonowanie polega na przewozie osób i ładunków za pomocą środków transportu kolejowego. Rynek transportu kolejowego można utożsamiać z całokształtem stosunków handlowo-gospodarczych, które zachodzą w procesie wymiany usług pasażerskich i towarowych. Z jednej strony, na rynku transportu kolejowego funkcjonują podmioty oferujące usługi przewozowe, z drugiej – istnieje zapotrzebowanie na tego rodzaju usługi ze strony pasażerów, właścicieli ładunków czy pośredników. Zatem gałąź transportu kolejowego wykorzystywana jest przede wszystkim do obsługi dużych potoków ładunków i pasażerów.[31] Przewóz ten odbywa się po specjalnie wydzielonej w tym celu drodze transportowej – linii kolejowej, która w myśl Ustawy o transporcie kolejowym, definiowana jest jako: „droga kolejowa, mająca początek i koniec wraz z przyległym pasem gruntu, na którą składają się odcinki linii, a także budynki, budowle i urządzenia przeznaczone do prowadzenia ruchu kolejowego, wraz z zajętymi pod nie gruntami”.[32] Oprócz linii kolejowej, istotną rolę w transporcie kolejowym odgrywa infrastruktura kolejowa, czyli: „linie kolejowe oraz inne budowle, budynki i urządzenia, wraz z zajętymi pod nie gruntami, usytuowane na obszarze kolejowym, przeznaczone do zarządzania,

[28] I. Urbanyi-Popiołek, *Ekonomiczne*…, op. cit., s. 31-33
[29] J. Neider, *Transport…,* op. cit., s. 55
[30] I. Urbanyi-Popiołek, *Ekonomiczne*…, op. cit., s. 29
[31] Ibidem, s. 64
[32] Ustawa z 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym, Dz.U. 2003 r. nr 86, poz. 789 z późn. zm.

obsługi przewozu osób i rzeczy, a także utrzymania niezbędnego w tym celu majątku zarządcy infrastruktury".[33]

Podobnie jak w przypadku infrastruktury samochodowej, również infrastruktura kolejowa dzieli się na infrastrukturę liniową oraz infrastrukturę punktową. W skład infrastruktury liniowej transportu kolejowego wchodzą linie kolejowe, wraz ze szlakami, odcinkami i odstępami, co daje możliwość przemieszczania ładunków lub pasażerów z punktu nadania do punktu przeznaczenia. W skład infrastruktury punktowej wchodzą między innymi:[34]

- stacje towarowe i pasażerskie;
- intermodalne terminale przeładunkowe;
- place i rampy;
- magazyny,
- górki rozrządowe.

Specyfika transportu kolejowego opiera się na kilku zasadniczych aspektach:[35]

- zdolności do przewozu znacznej liczby pasażerów;
- zdolności transportu znacznej masy ładunkowej;
- zdolności do przewozu zarówno pasażerów, jak i masy ładunkowej na długich trasach;
- ograniczonym negatywnym wpływie na środowisko naturalne.

W przypadku przewozów towarowych, istotną rolę odgrywa stopień uniwersalności transportu. Ujednolicone wagony mogą być wykorzystywane do przewozu większości dostępnych ładunków. Uniwersalność przewozów towarowych polega także na konkurencyjnej taryfie przewozowej, szczególnie w przypadku całopociągowych przewozów towarowych. W przypadku przewozów pasażerskich, ważnym aspektem jest dostępność do infrastruktury punktowej, zlokalizowanej zazwyczaj w centrach miast i mniejszych miejscowościach. Szczególnego znaczenia nabiera to w kontekście konkurowania transportu kolejowego, np. z transportem lotniczym, gdzie dostępność do lotnisk jest ograniczona.[36]

Transport morski

Transport morski jest gałęzią transportu, która pod kątem wolumenu obsługiwanej masy ładunkowej zajmuje pierwsze miejsce. Szacuje się, że ok. 70% obrotów handlu międzynarodowego stanowią przewozy morskie.

Infrastruktura liniowa transportu morskiego charakteryzuje się naturalnym występowaniem na obszarze oceanów, mórz, cieśnin i obszarów przybrzeżnych. W jej skład wchodzą naturalne i sztuczne szalki komunikacyjne, których znaczenie dla wymiany handlowej uzależnione jest nie tylko od struktury geograficznej i towarowej wymiany światowego handlu, ale także od warunków oceanograficznych i klimatycznych. Największe znaczenie mają obecnie szalki morskie, które łączą główne centra wydobycia surowców z ośrodkami przemysłowymi. Uzupełnieniem połączeń naturalnych są kanały skracające. Istotną rolę dla morskiej żeglugi odgrywają również tory podejściowe do portów

[33] Ibidem
[34] I. Urbanyi-Popiołek, *Ekonomiczne*…, op. cit., s. 50
[35] Ibidem, s. 47-48
[36] Ibidem, s. 48

oraz wytyczone w naturalnych cieśninach tory wodne. Infrastrukturę punktową stanowią porty morskie, które z uwagi na pełnione funkcje podzielić można na:[37]

- porty pasażerskie;
- porty przemysłowe;
- porty handlowe;
- porty jachtowe;
- porty rybackie;
- porty wojenne.

Żegluga morska oznacza w szczególności przewóz statkami pasażerów i ładunków przez wody morskie lub śródlądowe, w celach zarobkowych. Z uwagi na sposób działalności podmiotu na rynku frachtowym i sposób eksploatacji statków, żeglugę morską można podzielić na żeglugę nieregularną charakteryzującą się tym, że decyzja o odbyciu podróży jest wynikiem wcześniej zawartej przez armatora umowy frachtowej oraz żeglugę regularną, kiedy to przewoźnik w pierwszej kolejności podejmuje decyzję o obsłudze wybranego szlaku morskiego, a następnie przyjmuje do przewozu ładunki oraz żeglugę nieregularną.[38] Żegluga regularna to żegluga liniowa, utrzymująca stałe połączenia pomiędzy portami, obejmująca regularny transport ładunku, głównie w kontenerach, do portów leżących na określonym szlaku geograficznym. Jej charakterystyczną cechą są z góry ustalone rozkłady rejsów oraz dostępność usług dla wszystkich pasażerów korzystających z transportu morskiego.[39]

Charakterystycznymi cechami transportu morskiego są:[40]

- nieograniczona struktura ładunkowa przewozów;
- ułatwiony dostęp do głównych światowych centrów gospodarczych;
- silna jednostkowa degresja kosztów przemieszczania towarów;
- praktycznie nieograniczony zasięg pływania statków.

Transport morski ma również pewne wady. Wyróżnimy tu:[41]

- brak możliwości realizacji bezpośrednich przewozów od nadawcy do odbiorcy, bez konieczności przeładunku towarów;
- niską prędkość eksploatacyjną.

Transport lotniczy

Transport lotniczy określany jest jako „celowe przemieszczanie osób i ładunków w przestrzeni powietrznej, wyodrębnione spośród innych czynności pod względem technicznym, organizacyjnym i ekonomicznym”.[42]

Rynek transportu lotniczego można rozpatrywać poprzez wielopłaszczyznowy aspekt jego funkcjonowania: jako miejsce, jako proces, jako przestrzeń. Rynek transportu lotniczego skoncentrowany jest głównie na przewozie pasażerów i poczty. Ze względu na naturalną i techniczną podatność transportową ładunków, ich przewóz stanowi marginalny segment.

---

[37] Ibidem, s. 70
[38] Ibidem, s. 74
[39] Wytyczne w sprawie stosowania art. 53 Porozumienia EOG w sektorze usług transportu morskiego (2012/C 35/06).Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, s. 28
[40] J. Neider, *Transport…,* op. cit., s. 33
[41] I. Urbanyi-Popiołek, *Ekonomiczne*…, op. cit., s. 70
[42] M. Madeyski, E. Lissowska, J. Marzec, *Wstęp…,* op. cit., s. 20

Charakterystyczną cechą rynku lotniczego jest osiągnięcie porozumienia w zakresie realizacji transakcji pomiędzy głównymi uczestnikami rynku: portami i liniami lotniczymi, biurami podróży, pasażerami, producentami samolotów i urządzeń przeznaczonych do transportu lotniczego, czy też instytucjami kreującymi politykę transportową. Oprócz wyżej wymienionych podmiotów, istnieje również szereg instytucji zewnętrznych, wpływających na funkcjonowanie rynku lotniczego, a są to: ubezpieczyciele, banki, dostawcy, agencje doradcze i marketingowe, konkurenci, okoliczna społeczność, samorząd terytorialny czy też media.[43]

W transporcie lotniczym widać wyraźną zależność środka transportu i infrastruktury. Działalność transportowa możliwa jest tylko pomiędzy wyznaczonymi punktami. Podobnie jak w innych gałęziach transportu, wyróżnia się infrastrukturę liniową i punktową. Do infrastruktury liniowej zaliczymy, mające naturalny charakter, drogi lotnicze w przestrzeni, zwane powietrznymi korytarzami. W skład infrastruktury punktowej wchodzą z kolei takie elementy, jak:

- port lotniczy;
- lotnisko;
- lądowisko.

Transport lotniczy świadczy przewozy regularne bądź nieregularne. Przewozy regularne odbywają się zgodnie z przyjętym rozkładem lotów, na stałych połączeniach pomiędzy określonymi portami lotniczymi. Transport regularny obsługuje ok. 80% przewozów transportu lotniczego. Transport nieregularny z kolei odnosi się do lotów czarterowych, charakteryzujących się brakiem stałego rozkładu i częstotliwości lotów. To loty wykonywane na podstawie zawartej, pomiędzy przewoźnikiem a wynajmującym, umowy, pomiędzy podmiotem świadczącym usługi przewozowe a biurem podróży, touroperatorem lub spedytorem.[44]

W związku z akcesją Polski do UE, transport lotniczy zyskał znaczne korzyści:[45]

- nastąpił rozwój obsługi pasażerów przez przewoźników lotniczych i porty lotnicze;
- zagraniczni przewoźnicy lotniczy wykazali zainteresowanie polskim rynkiem;
- siatka połączeń uległa poszerzeniu;
- wzrosły procesy inwestycyjne w przedsiębiorstwach transportu lotniczego;
- nastąpił rozwój procesów konkurencyjnych na rynku lotniczym i międzygałęziowym;
- zaobserwowano zmiany w zachowaniach pasażerów korzystających z transportu lotniczego;
- regiony wykazały większe zainteresowanie rozwojem transportu lotniczego.

Reasumując – transport drogowy, kolejowy, morski i powietrzny stanowią podstawę polskiego rynku transportowego. Pomimo różnego rodzaju klasyfikacji, dziedziny te są elementem, który decyduje o funkcjonowaniu rynku transportowo-logistycznego. Stan transportu, wraz z infrastrukturą towarzyszącą oraz

[43] D. Tłoczyński, *Przemiany na polskim rynku transportu lotniczego. Bilans 10 lat w Unii Europejskiej* „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego". Szczecin 2014, nr 843, s. 248
[44] I. Urbanyi-Popiołek, *Ekonomiczne*…, op. cit., s. 111
[45] Ibidem, s. 111

otoczeniem makroekonomicznym, stanowią o potencjale i możliwości dalszego rozwoju transportu jako gałęzi gospodarki państwowej.

Streszczenie

Publikacja ma na celu scharakteryzowanie polskiego rynku transportu, zdefiniowanie pojęcia transportu i infrastruktury transportowej w odniesieniu do naszego kraju. Ponadto, wskazano na otoczenie makroekonomiczne, w którym rynek transportu funkcjonuje i realizuje swoje zadania, a także dokonano klasyfikacji transportu na transport drogowy, kolejowy, morski i lotniczy, stanowiący podstawę polskiego rynku transportowego.

Słowa klucze: transport, transport drogowy, transport kolejowy, transport morski, transport lotniczy, funkcjonowaniu rynku transportowo, infrastruktura transportowa

Summary

The goal of the publication is to characterize transport sector in Poland, define concept of transport, transport infrastructure in reference to our country. It also shows macroeconomic surrounding in which the transport system is functioning. Publication also divide transportation into following categories: road transport, railway transport, maritime transport and air transport which create foundation of polish transport system. Despite of different classifications those areas are the elements which decide on how well transport sector is functioning. Condition of transport sector, its infrastructure and macroeconomic surrounding define the potential and development possibilities of transport sector as a branch of national economy.

Key words: transport sector in Poland, concept of transport, transport infrastructure, road transport, railway transport, maritime transport, polish transport system

Bibliografia

1. Coyle J.J, Bardi E.J., Langrey J.C., *Zarządzanie Logistyczne*. Warszawa 2002
2. Gierszewska G., Romanowska M., *Analiza strategiczna przedsiębiorstwa*. Warszawa 2014
3. Gołembska E. (red.), *Kompendium wiedzy o logistyce*. Warszawa 2010
4. Grzywacz W., Burnewicz J., *Ekonomika transportu*. Warszawa 1989
5. Harrison A., van Hoek R., *Zarządzanie logistyką.* Warszawa 2010
6. Koźlak A., *Ekonomika transportu. Teoria i praktyka gospodarcza*. Gdańsk 2008
7. *Logistyka.net.pl,* Infrastruktura punktowa, *http://www.logistyka.net.pl* (pobrano 2011 r.)
8. *Logistyka.net.pl*, Koncepcja zrównoważonego transportu UE, *http://www. logistyka.net.pl* (pobrano 2011 r.)
9. Madeyski M., Lissowska E., Marzec J., *Wstęp do nauki o transporcie.* Warszawa 1971
10. Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa, Rozwój transportu w Polsce, *http://mib.gov.pl* (pobrano 2015 r.)
11. Neider J., *Transport międzynarodowy*. Warszawa 2008

12. Piskozub A., *Gospodarowanie w transporcie. Podstawy teoretyczne*. Warszawa 1982
13. Polityka regionalna, *http://ec.europa.eu* (pobrano 2015 r.)
14. Polski komitet do spraw Unesco, *http://www.unesco.pl* (pobrano 2016 r.)
15. Portal Funduszy Europejskich, *https://www.funduszeeuropejskie.gov.pl* (pobrano 2016 r.)
16. Raport Budowa Dróg w Polsce. Fakty i mity, doświadczenia i perspektywy, opracowany na zlecenie GDDKiA. Warszawa 2013
17. Rolbiecki R., Wojewódzka-Król K., *Wykorzystanie funduszy unijnych w rozwoju transportu w Polsce* (w:) R. Rolbiecki (red.), *Aktualne problemy rozwoju transportu i logistyki.* Gdańsk 2013
18. Rydzkowski W., Wojewódzka-Król K. (red.), *Transport*. Warszawa 2008
19. Sprawozdanie na temat unijnego budżetu na lata 2014-2020, Kancelaria Senatu, sprawozdanie nr 120/2013
20. Stosunki międzynarodowe, *http://stosunki-miedzynarodowe.pl* (pobrano 2016 r.)
21. Tarski I., *Ekonomika i organizacja transportu międzynaro*dowego. Warszawa 1993
22. Tłoczyński D., *Przemiany na polskim rynku transportu lotniczego. Bilans 10 lat w Unii Europejskiej* (w:) „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego". Szczecin 2014, nr 843
23. Unia Europejska, *http://europa.eu* (pobrano 2016 r.)
24. Urbanyi-Popiołek I., *Ekonomiczne i organizacyjne aspekty transportu*. Bydgoszcz 2013
25. Ustawa z 21 marca 1985 r. o drogach publicznych
26. Ustawa z 27 kwietnia 2001 r., Prawo ochrony środowiska Dz. U. 2001, nr 62 poz. 627
27. Ustawa z 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym, Dz.U. 2003 r. nr 86, poz. 789 z późn. zm.
28. Ustawa z 6 września 2001 o transporcie drogowym (Dz. U. z 2001 r., nr 125, poz. 1371)
29. Wiktorowski K. (red.), *Turystyka i ekologia w gospodarce wolnorynkowej. Ekostrategie w zarządzaniu firmą*. Szczecin 2004
30. Wytyczne w sprawie stosowania art. 53 Porozumienia EOG w sektorze usług transportu morskiego (2012/C 35/06). Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej

Konrad Łukasz WIŚNIEWSKI, Tomasz ŻAK, Ewa RYZIŃSKA

OCENA WYKORZYSTANIA ŚRODKÓW UNIJNYCH NA ROZWÓJ TRANSPORTU W POLSCE

Celem artykułu jest dokonanie oceny wykorzystania środków unijnych na rozwój transportu w Polsce, wskazanie głównych źródeł finansowania infrastruktury transportu w naszym kraju, wykorzystanych w latach 2004-2006, wskazanie zależności pomiędzy dotacjami unijnymi a rozwojem transportu w Polsce w okresie programowania 2007-2013. Na zakończenie dokonano oceny wykorzystania aktualnie udostępnionych środków finansowych na rozwój transportu w Polsce i wskazano na rekomendacje dla sektora transportowego.

Rozwój infrastruktury transportu w gospodarce narodowej to proces złożony, ale niezwykle ważny z punktu widzenia gospodarki narodowej. Rozwój infrastruktury gwarantuje powstawanie nowych zakładów przemysłowych, przedsiębiorstw, jest determinantem wzrostu gospodarczego. Rozwój transportu jest możliwy dzięki inwestycjom, a więc zarówno dzięki modernizacji istniejącej już infrastruktury, jak i dzięki budowie nowych obiektów infrastrukturalnych. Wieloletnie niedofinansowania w tym zakresie doprowadziły do nieprawidłowości w procesie rozwoju transportu w naszym kraju. Realizacja założeń programowych w rozwoju infrastruktury w Polsce wymaga stałego dostępu do zasobów finansowych. Ekonomiczne ograniczenia w tym zakresie są jednymi z większych barier wpływających na rozwój sektora transportu.[1]

Wielogałęziowy sektor, wypełniający zarówno funkcję użyteczności publicznej, jak i stanowiący istotny składnik wzrostu gospodarczego kraju, jakim jest transport, wymaga takiego systemu finansowania, który nie tylko zapewni środki finansowe na wieloletnie programy, których celem jest podniesienie dostępności transportowej i nadrobienie zaległości infrastrukturalnych, ale także pozwoli na ograniczenie udziału publicznych środków w finansowaniu inwestycji oraz pozwoli na zwiększenie rentowności sektora transportowego. Źródła finansowania transportu zostały określone w Strategii Rozwoju Kraju. Realizacja inwestycji będzie polegać na finansowaniu sektora transportu z następujących dostępnych źródeł:[2]

- Krajowych środków publicznych, czyli z:
  - budżetu państwa;
  - Krajowego Funduszu Drogowego (KFD);
  - Funduszu Kolejowego (FK);
  - Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW);
  - budżetów jednostek samorządu terytorialnego;
  - państwowych funduszy celowych;
  - innych dostępnych instrumentów finansowych publicznego wsparcia;

---

[1] R. Rolbiecki, K. Wojewódzka-Król, *Wykorzystanie funduszy unijnych w rozwoju transportu w Polsce* (w:) R. Rolbiecki (red.), *Aktualne problemy rozwoju transportu i logistyki*. Gdańsk 2013, s. 37

[2] Strategia rozwoju transportu do 2020 roku, Projekt, Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej. Warszawa 2012, s. 103-105

- środków unijnych występujących w ramach funduszy pomocowych i programów rozwojowych;
- innych źródeł zagranicznych;
- komercyjnych kredytów i pożyczek;
- środków od inwestorów prywatnych, np. w systemie partnerstwa prywatno-publicznego,
- środków uzyskiwanych dzięki wdrażaniu zasad: „zanieczyszczający płaci" oraz „użytkownik płaci".

Finansowanie inwestycji w sektorze transportowym polega zatem na wykorzystaniu kilku źródeł. W ostatnich latach największy udział przypadł jednak środkom unijnym, wykorzystywanym w ramach funduszy pomocowych i programów rozwojowych.

Środki unijne w latach 2004-2006

Możliwości przełamania barier ekonomicznych i finansowych w rozwoju polskiego transportu pojawiły się w okresie stowarzyszenia Polski z UE, lecz dostęp do wszystkich instrumentów finansowych, wykorzystywanych w polityce regionalnej Unii Europejskiej, nasz kraj uzyskał z chwilą włączenia się w struktury europejskie. Wstąpienie do UE stało się szansą dla Polski na rozwój infrastruktury transportowej na terytorium kraju. Wykorzystanie szansy nie było proste. Sam proces ubiegania się o środki unijne był na tyle skomplikowany, że wiele instytucji nie potrafiło sobie poradzić z kwestiami formalnymi. Problematyczne były procedury związane z wydatkowaniem, rozliczaniem i kontrolą otrzymanych środków unijnych, przygotowanie inwestycji zgodnie z wytycznymi, ich realizacja, a zwłaszcza znalezienie odpowiednich wykonawców.[3]

W latach 2004-2006 do dyspozycji Polski UE przeznaczyła ze swojego budżetu kwotę 12,5 mld euro: $^{2}/_{3}$ kwoty pochodziło z funduszy strukturalnych, $^{1}/_{3}$ z Funduszu Spójności.

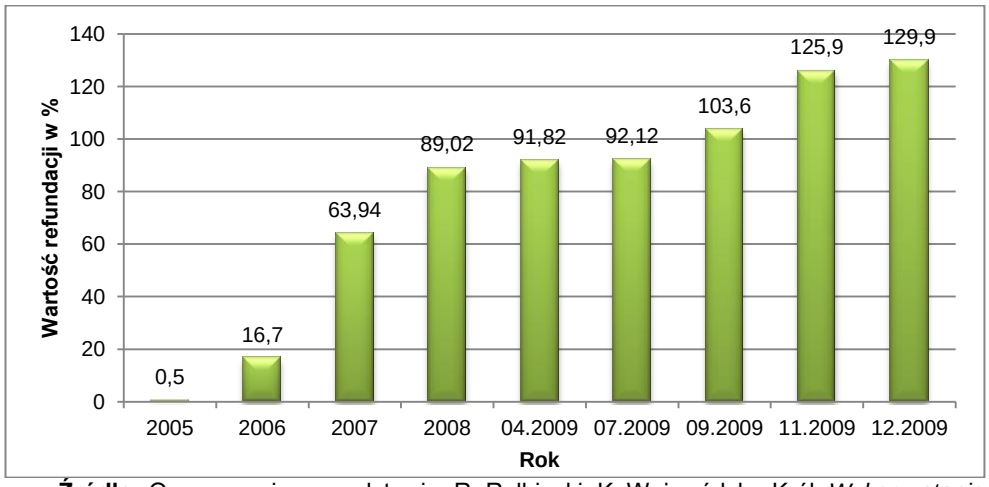
W tym okresie realizowano w Polsce trzy bloki programowe:[4]

- Sektorowy Program Operacyjny Transport – SPOT;
- Strategię Wykorzystania Funduszu Spójności;
- Zintegrowany Program Operacyjny Rozwoju Regionalnego – program realizowany w ramach działania 1.1. Modernizacja i rozbudowa regionalnego układu komunikacyjnego, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Wykorzystanie środków finansowych w ramach Sektorowego Programu Operacyjnego Transport było o połowę niższe, aniżeli w przypadku pozostałych programów operacyjnych. Wartość refundacji, wypłacona na rzecz beneficjentów do końca 2005 r., wyniosła zaledwie 0,5% dostępnej alokacji, a na koniec 2006 r. – 16,2%.

[3] R. Rolbiecki, K. Wojewódzka-Król, *Wykorzystanie…,* op. cit., s. 38
[4] Ibidem, s. 314-316

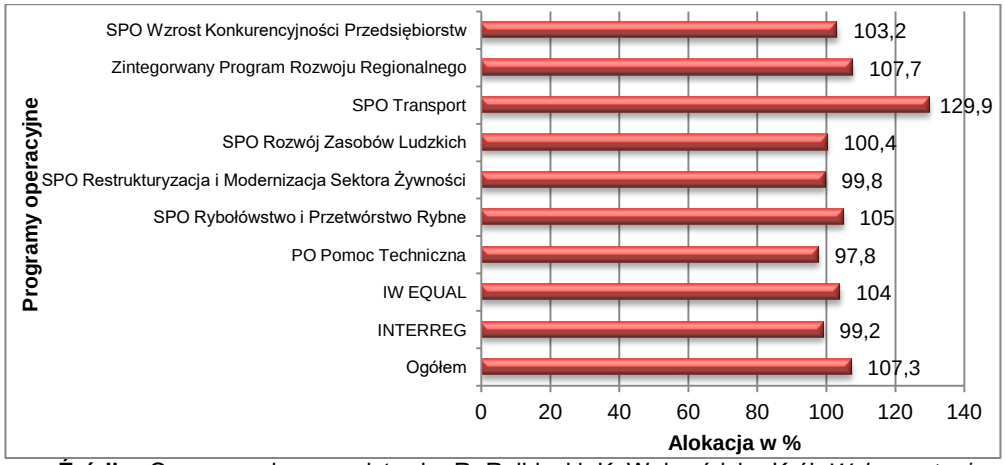
Rysunek nr 1: Wartość refundacji Komisji Europejskiej na rzecz beneficjentów w ramach SPOT



Źródło: Opracowanie na podstawie: R. Rolbiecki, K. Wojewódzka-Król, *Wykorzystanie funduszy unijnych w rozwoju transportu w Polsce* (w:) R. Rolbiecki (red.), *Aktualne problemy rozwoju transportu i logistyki*. Gdańsk 2013, s. 38

Proces kwalifikacji wniosków z udziałem funduszy strukturalnych zakończył się 31 grudnia 2009 roku. Na koniec 2009 r., dokonane na rzecz beneficjentów płatności Sektorowego Programu Operacyjnego Transport, stanowiły 129,9% alokacji. Fundusze unijne, wykorzystane na rozwój sektora transportowego, znacznie przewyższały fundusze unijne wykorzystane na rozwój innych sektorów gospodarki w latach 2004-2006.

Rysunek nr 2: Płatności na rzecz beneficjentów w części odpowiadającej wkładowi UE, według programów operacyjnych w latach 2004-2006 na koniec grudnia 2009 r.



Źródło: Opracowanie na podstawie: R. Rolbiecki, K. Wojewódzka-Król, *Wykorzystanie funduszy unijnych w rozwoju transportu w Polsce* (w:) R. Rolbiecki (red.), *Aktualne problemy rozwoju transportu i logistyki*. Gdańsk 2013, s. 38

Wartość wniosków o refundację z Funduszu Spójności wynosiła 5,4 mld euro, co stanowiło 99,0% dostępnej alokacji na lata 2004-2006. W odniesieniu do przedsięwzięć związanych z transportem, wskaźnik wyniósł aż 98,1%. Fundusze pozyskiwane przez beneficjentów w ramach Strategii Wykorzystania Funduszu Spójności zostały przez nich wykorzystane do końca listopada 2012 r. Od początku realizacji Strategii, poziom zakontraktowania funduszy ogółem na cele związane ze środowiskiem i transportem wyniósł 9,5 mld euro, czyli 123,5% całkowitych kosztów kwalifikowanych.

Wykorzystanie środków w ramach Zintegrowanego Programu Rozwoju Regionalnego z końcem 2006 r. kwalifikowało się na poziome 38,3%, z końcem 2007 r. na poziomie 75%, na koniec 2008 r. w granicach 95%, a z końcem 2009 r. płatności dokonane na rzecz beneficjentów stanowiły 107,7% alokacji w części odpowiadającej wkładowi UE. Sektor transportu wykorzystał fundusze w całości. W efekcie realizacji programu rozwoju transportu z pozyskanych środków unijnych na lata 2004-2006 zbudowano nowe oraz zmodernizowano istniejące drogi wojewódzkie, powiatowe i gminne, o łącznej długości 3928 km.[5]

Działania i projekty finansowane z budżetu unijnego są odzwierciedleniem priorytetów wyznaczonych na daną chwilę przez kraje UE. W perspektywie 2007-2013, Polska wydała 350,9 mld zł, z czego dofinansowanie UE wyniosło 248,7 mld zł. W okresie programowania 2007-2013, po raz pierwszy w historii Unii Europejskiej mamy do czynienia z sytuacją, w której środki na wsparcie konkurencyjności i spójności przewyższają fundusze na rolnictwo i rozwój obszarów wiejskich.[6]

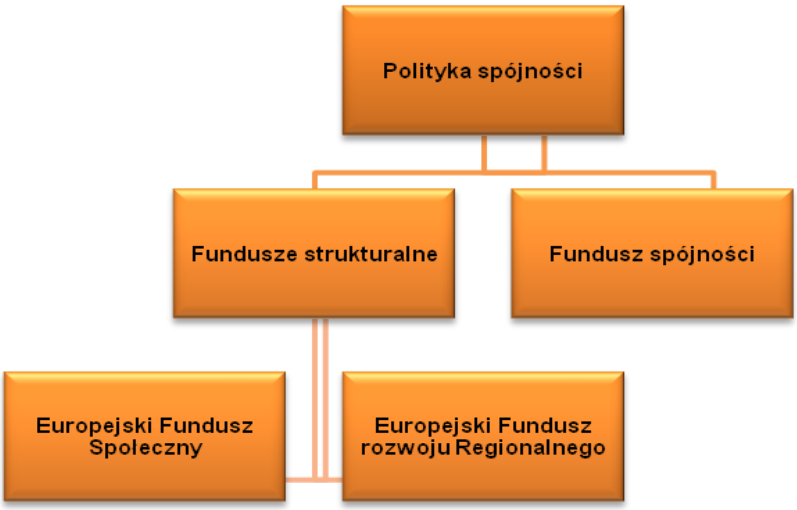
W okresie programowania 2007-2013, w ramach polityki spójności, uruchomiono trzy fundusze strukturalne: Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego, Europejski Fundusz Społeczny oraz Fundusz Spójności, a inwestycje z zakresu transportu w latach 2007-2013 ujęte zostały w kilku programach:

- Infrastruktura i Środowisko;
- Rozwój Polski Wschodniej;
- w 16 regionalnych programach operacyjnych;
- w Europejskiej Współpracy Terytorialnej (EWT) – odrębnym programie polityki spójności, zastępującym z poprzedniego okresu budżetowego Inicjatywę Wspólnotową INTERREG.

Kwota do wykorzystania przez Polskę w okresie budżetowym 2007-2013 wyniosła 67,3 mld euro. Inwestycje w sektorze transportu stanowiły około 25,1 mld euro, czyli ok. 19% całkowitej sumy funduszy przeznaczonych dla państw członkowskich.[7]

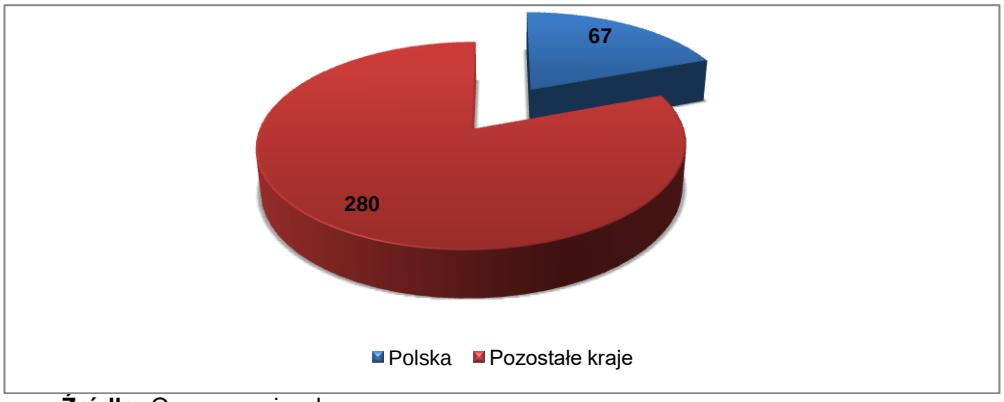
[5] R. Rolbiecki, K. Wojewódzka-Król, *Wykorzystanie*…, op. cit., s. 38
[6] M. Szuszman, *Fundusze unijne od podstaw (2007-2013),* Przewodnik metodyczny, s. 11-13
[7] A. Skala-Poźniak, *Stan absorpcji funduszy UE w polskim sektorze transportu*, „Przegląd Komunikacyjny", 2007, nr 5

Rysunek nr 3: Główne narzędzia finansowania polityki spójności w latach 2007-2013



Źródło: Opracowanie własne

Rysunek nr 4: Alokacja funduszy w latach 2007-2013 w mld euro



Źródło: Opracowanie własne

Najważniejszym źródłem finansowania inwestycji transportowych w Polsce był Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko – największy, z punktu widzenia dostępnych środków i zakresu działań, program operacyjny w UE. Na realizację programu Polska otrzymała z unijnego budżetu ok. 27,9 mld euro. Inwestycje w infrastrukturę transportową stanowiły ponad 70% środków finansowych. Priorytetowymi osiami Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko były: drogowa i lotnicza sieć TEN-T, na którą przeznaczone zostało 45% budżetu, następnie transport przyjazny środowisku z 40% budżetu, 15% budżetu zostało przeznaczone na bezpieczeństwo transportu i kolejowe sieci transportowe. W rezultacie dofinansowania głównymi efektami miała być budowa 477 km autostrad oraz 1400 km dróg ekspresowych w sieci TEN-T, modernizacja 1250 km

linii kolejowych, modernizacja 270 km dróg wodnych, przebudowa 8 lotnisk oraz budowa 410 km sieci transportu szynowego i trolejbusowego.[8]

Ocena wykorzystania dotychczas udostępnionych środków na rozwój transportu w Polsce

Okres członkostwa w UE spowodował dynamiczny rozwój sektora transportowego w Polsce. Rozwój ten w znacznym stopniu był możliwy dzięki funduszom współfinansowanym z budżetu UE. W ramach programów prowadzonych w okresie 2004-2007, w Polsce wdrożono blisko 85 000 projektów, o łącznej wartości 22,5 miliarda euro. Priorytetem były inwestycje w podstawową infrastrukturę – do tej kategorii zaliczała się połowa projektów.[9]

W momencie przystąpienia Polski do UE, nasz kraj charakteryzował się w Europie najniższym odsetkiem dróg szybkiego ruchu i autostrad. Również infrastrukturę drogową cechował zły stan dróg publicznych. W rezultacie podjętych działań, w obszarze infrastruktury drogowej nastąpiła znaczna poprawa sytuacji. W latach 2004-2012, długość sieci autostrad uległa zwiększeniu o 960 km, dróg ekspresowych o 826,8 km. Ogólna długość dróg publicznych o utwardzonej nawierzchni w 2012 roku wynosiła 280,7 tys. km i była o 31,9 tys. km wyższa niż w roku 2003. Pozytywne zmiany spowodowały, że w dobrym stanie w 2012 roku znajdowało się 62,7 tys. km dróg krajowych. Przyrostowi długości sieci dróg towarzyszył także wzrost liczby pojazdów uczestniczących w ruchu drogowym. W okresie 2004-2012, liczba samochodów osobowych wzrosła o 66,7%.[10] Dzięki realizowanym projektom w transporcie drogowym w latach 2003-2013 m.in.:[11]

- zmodernizowano i zbudowano 2103 km dróg ekspresowych i autostrad;
- odnotowano 3,5-krotny wzrost długości dróg ekspresowych i autostrad w porównaniu z rokiem 2003;
- zbudowano i zmodernizowano 13831 km dróg krajowych, wojewódzkich i powiatowych;
- wskaźnik gęstości sieci autostrad na 100 km^2 wzrósł ponad dwukrotnie.

Inwestycje w ramach infrastruktury drogowej i transportowej są jedną z podstawowych przyczyn poprawy bezpieczeństwa w analizowanym okresie.

W czasie programowania, środki finansowe skierowano także w kierunku rozwoju i modernizacji infrastruktury kolejowej. Celem była poprawa połączeń kolejowych, jak i poprawa obsługi pasażerów, w krajowym i międzynarodowym transporcie kolejowym. Długość linii kolejowych normalnotorowych zmniejszyła się w latach 2004-2013 o 1,7%. Nieznacznie obniżył się także udział linii normalnotorowych, zelektryfikowanych w długości linii normalnotorowych ogółem. W analizowanym okresie polepszył się stan techniczny infrastruktury kolejowej w stanie dobrym z 23% w 2003 roku do 43% w 2012 roku. O 18,5% wydłużył się odsetek torów, po którym pociągi mogą osiągać prędkość 120 km/h. Modernizacja linii kolejowych przyniosła wiele korzyści i udogodnień szeroko pojętemu otoczeniu. Korzyści dla pasażerów wynikają ze skrócenia czasu podróży,

[8] Wpływ członkostwa Polski w Unii Europejskiej i realizowanej polityki spójności na rozwój kraju, Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju. Warszawa 2014, s. 40-43
[9] Europejska polityka spójności w Polsce, *http://ec.europa.eu* (pobrano 23.02.2016 r.)
[10] Wpływ członkostwa Polski…, op. cit., s. 40-43
[11] Raport Budowa Dróg w Polsce. Fakty i mity, doświadczenia i perspektywy, opracowany na zlecenie GDDKiA. Warszawa 2013

jak również z wykorzystywania nowoczesnych elementów infrastruktury kolejowej: peronów, stacji, systemów informacyjnych. Dzięki podziemnym przejściom, drogom dojazdowym czy innym technicznym rozwiązaniom, można zauważyć poprawę bezpieczeństwa podróżnych. Również użytkownicy dróg odnoszą korzyści z tytułu budowy wiaduktów oraz w wyniku powstania dwupoziomowych skrzyżowań poprawiających płynność ruchu drogowego. Zastosowanie rozwiązań umożliwiających migrację zwierząt wiąże się z korzyściami dla środowiska naturalnego. Pomimo znaczących zmian stan infrastruktury kolejowej w dalszym ciągu wymaga ona jeszcze poprawy.

Transport lotniczy w analizowanym okresie był gałęzią gospodarki rozwijającą się najdynamiczniej. Skala zjawiska przewyższała prognozy i oczekiwania. W okresie 2004-2012, liczba odprawionych pasażerów wzrosła prawie 3,5-krotnie, z 7,1 mln w 2004 roku do 24,4 mln w 2012 roku. Udział portów lotniczych, które w omawianym okresie zdecydowanie rozwinęły siatkę połączeń lotniczych, wzrósł z 27,5% w 2004 roku do 60,8% w 2012 roku. Efektem kluczowym realizowanych projektów było zwiększenie przepustowości portów lotniczych. Dzięki budowie nowych terminali wzrosła jakość obsługi pasażerów w portach. Wiele portów lotniczych zaoferowało ciekawą siatkę połączeń. Wzrost powierzchni komercyjnej przyczynił się do wzrostu liczby firm prowadzących tu działalność gospodarczą. Rozbudowa i modernizacja portów lotniczych jest elementem wpływającym na rozwój nowych firm w okolicach lotniska. W szerszym spectrum rozbudowy portów lotniczych jest poprawa dostępności transportowej miast. Realizacja projektów stworzyła infrastrukturalne możliwości dalszego rozwoju lotnisk. Uzyskana pomoc z Funduszy Unijnych zdecydowanie przyspieszyła sfinansowanie inwestycji. Pozyskane środki stały się bodźcem do kolejnych inwestycji: budowa parkingów, hoteli, wypożyczalnie samochodów.[12]

Streszczenie

Celem artykułu jest dokonanie oceny wykorzystania środków unijnych na rozwój transportu w Polsce, wskazanie głównych źródeł finansowania infrastruktury transportu w naszym kraju, wykorzystanych w latach 2004-2006, wskazanie zależności pomiędzy dotacjami unijnymi a rozwojem transportu w Polsce w okresie programowania 2007-2013. Na zakończenie dokonano oceny wykorzystania aktualnie udostępnionych środków finansowych na rozwój transportu w Polsce i wskazano na rekomendacje dla sektora transportowego.

Słowa klucze: rozwój transportu, wykorzystanie środków unijnych, infrastruktura transportu, środki finansowe, dotacje unijne a rozwój transportu

Summary

The goal of the presentation is to make an analysis of use of EU funds for transport development in our country. Presentation lists all the main sources of funding transport infrastructure in years 2004-2006. It also shows dependencies between European Union subsidies and transport development in Poland in years 2007-2013. Final analysis in the presentation shows current usage of EU funds for transport sector development and recommendations for transport sector.

[12] Wpływ członkostwa Polski…, op. cit., s. 40-43

Key words: transport development in our country, transport infrastructure, transport sector, European Union subsidies

Bibliografia

1. Europejska polityka spójności w Polsce, *http://ec.europa.eu*
2. Raport Budowa Dróg w Polsce. Fakty i mity, doświadczenia i perspektywy, opracowany na zlecenie GDDKiA. Warszawa 2013
3. Rolbiecki R., Wojewódzka-Król K., *Wykorzystanie funduszy unijnych w rozwoju transportu w Polsce* (w:) R. Rolbiecki (red.), Aktualne problemy rozwoju transportu i logistyki. Gdańsk 2013
4. Skala-Poźniak A., *Stan absorpcji funduszy UE w polskim sektorze transportu,* „Przegląd Komunikacyjny" 2007, nr 5
5. Stosunki międzynarodowe, *http://stosunki-miedzynarodowe.pl*
6. Strategia rozwoju transportu do 2020 roku, Projekt, Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej. Warszawa 2012
7. Szuszman M., *Fundusze unijne od podstaw (2007-2013),* Przewodnik metodyczny
8. Ustawa z 21 marca 1985 r. o drogach publicznych
9. Ustawa z 27 kwietnia 2001 r., Dz. U. 2001 Nr 62 poz. 627
10. Ustawa z 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym, Dz.U. 2003 r. nr 86, poz. 789 z późn. zm.
11. Ustawa z 6 września 2001 o transporcie drogowym (Dz.U. z 2001 r. Nr 125, poz. 1371)
12. Wpływ członkostwa Polski w Unii Europejskiej i realizowanej polityki spójności na rozwój kraju, Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju. Warszawa 2014
13. Wskaźniki zrównoważonego rozwoju Polski, Główny Urząd Statystyczny, Urząd statystyczny w Katowicach. Katowice 2011

Robert PIETRASZKO, Ryszard WIŚNIEWSKI, Damian KROM

DIAGNOZA SEKTORA TRANSPORTOWEGO W POLSCE

Wstęp

Celem artykułu jest analiza sektora transportowego w Polsce. W publikacji tej wskazano na globalne trendy wpływające na rynek transportu i logistyki w Polsce i na świecie, określono również stan transportu w Polsce oraz jego funkcjonowanie. W dalszej kolejności poruszono problem zrównoważonego rozwoju transportu oraz jego perspektywy rozwoju w Polsce.

Globalne trendy wpływające na rynek transportu i logistyki

Rynek jest kategorią ekonomiczną związaną nierozerwalnie z produkcją i wymianą towarową. To miejsce, w którym spotykają się kupujący i sprzedający oraz określają, co chcą kupić i za jaką cenę. W przypadku transportu to miejsce, wyodrębnione instytucjonalnie, gdzie spotykają się konsumenci, czyli nabywcy usługi transportowej oraz producenci, czyli przewoźnicy, którzy wzajemnie kooperują przy współudziale mechanizmów rynkowych. Mechanizm rynkowy sprzyja doskonaleniu procesów rynkowych w krajach rozwiniętych. Procesy te są częścią coraz nowszych dziedzin i wyspecjalizowanych działań, które w dość wyraźny sposób zwiększają sprawność przepływu dóbr i usług w szerszym globalnym układzie.[1]

Na ogólne funkcjonowanie rynku mają wpływ bieżące zdarzenia oraz trendy, które są definiowane jako długoterminowe ścieżki wzrostu zmiennej ekonomicznej, wokół której mogą występować krótkoterminowe wahania. Trendy rynkowe są obrazem zmian w produkcji w długim okresie czasu, wynikających ze wzajemnego znoszenia się wahań krótkoterminowych. Trend jest długoterminową zwyżkową lub zniżkową tendencją rozwojową, która ujawnia się określonej dziedzinie gospodarki. Trend wyraża się poprzez sumaryczny wpływ ilości i jakości podaży czynnika pracy, nowej technologii i postępu technicznego oraz podaży materialnych czynników wytwórczych.[2]

Rynek transportu i logistyki, w ciągu ostatnich 20-25 lat, kształtował się pod wpływem głębokich zmian strukturalnych zachodzących zarówno w branży, jak i w jej otoczeniu. Następujące w ostatnich latach intensywne zmiany w gospodarce światowej spowodowały, że zarządzanie transportem i logistyką stało się coraz większym wyzwaniem dla przedsiębiorców. Nowe technologie, rosnąca konkurencja, globalizacja czy deregulacja zmieniają rynek, a rosnąca w skali globalnej wymiana handlowa i wzrost gospodarczy powodują dynamiczny rozwój rynku transportowego. Ważnym czynnikiem następujących zmian jest postępujący proces liberalizacji handlu, zwłaszcza w ramach organizacji międzynarodowych.[3] Przemiany w gospodarkach krajów rozwiniętych wyrażają się w znacznej mierze w ograniczeniu produkcji w gałęziach przestarzałej technologii, a co za tym idzie, również w ograniczeniu zatrudnienia w tych miejscach. Zmiany te powodują

---

[1] C. Skowronek, Z. Sariusz-Wolski, *Logistyka w przedsiębiorstwie*. Warszawa 1999, s. 85
[2] E. Cyrson (red.), *Kompendium wiedzy o gospodarce*. Warszawa-Poznań 1996, s. 75-76
[3] S. Ślubowski, *Rynek transportu i logistyki.* Warszawa 2007, s. 20

również obniżenie popytu na ich wyroby i równoczesne przyspieszenie tempa wzrostu w gałęziach stosujących nowoczesne technologie, na wyroby, na które następuje wzrost zapotrzebowania zarówno na rynkach wewnętrznych, jak i zewnętrznych.[4] Następuje wzrost udziału sektora usługowego i branż opartych na zaawansowanych technologiach i wiedzy kosztem sektora produkcji wyrobów materiałochłonnych. Globalnym trendem staje się także stopniowe odchodzenie od rynku producenta do rynku konsumenta. Dziś już nie wystarczy tanio wytwarzać wysokiej jakości produkty, trzeba zwracać także uwagę na obsługę klienta oraz przepływ produktów i informacji w łańcuchu logistycznym, wykraczającym poza wewnątrzzakładowy system produkcyjny. To istotny wyróżnik innowacyjnych przedsiębiorstw. Jakościowy wzrost udziału sfery usług w dochodzie narodowym krajów wysoko rozwiniętych sprawia, że usługi stają się rynkiem i sferą popytu coraz bardziej absorbującą zarówno dobra materialne, jak i wartości niematerialne. Zauważyć można pojawienie się modelu społeczeństwa postindustrialnego. Społeczeństwo wydaje duże sumy pieniędzy na konsumpcję, tym samym rośnie zapotrzebowanie na usługi i towary dopasowane do indywidualnych potrzeb nabywców. Sfera usług coraz bardziej oddziałuje na kształtowanie się struktury popytu globalnego. Usługi zaczynają także odgrywać coraz większą rolę w obrocie międzynarodowym.[5]

Trendem globalnym w rozwoju transportu i logistyki jest także wzrost znaczenia wartości kreowanej dla akcjonariuszy na kształtowanie strategii przedsiębiorstw. Dynamiczne zmiany otoczenia rynkowego wymuszają na przedsiębiorstwach ciągłe dostosowywanie się, alternatywą jest przegrana rynkowa. Konkurencyjny rynek stale poszukuje oszczędności oraz większej efektywności poprzez racjonalizację procesu produkcji, jak również poprzez koncentrację na działalności podstawowej i outsourcing funkcji pobocznych. Nowe technologie komunikacyjne i informatyczne umożliwiają zintegrowane zarządzanie przepływem towarów, informacji, wdrażanie nowych rozwiązań rynkowych w systemie produkcyjno-dystrybucyjnym. Procesy deregulacji i liberalizacji rynku przyczyniły się do wzrostu konkurencji i obniżenia cen usług transportowych.[6]

Oprócz procesów globalnych współczesne trendy w logistyce przedsiębiorstw skupiają się na kilku aspektach rynkowych, do których zaliczymy:[7]

- rozpowszechnianie produktów i usług;
- indywidualizację przepływu towarów;
- wzrost udziału innowacji w skracaniu cyklu życia produktu;
- wprowadzenie innowacyjnego podziału pracy celem osiągnięcia korzyści ze specjalizacji, powiązań i skali produkcji dóbr i usług;
- wzrost dynamiki, a zarazem niepewności otoczenia;
- spadek liczby dostawców i logistycznych usługodawców;
- rosnąca świadomość oddziaływania problemów ekologicznych i ograniczeń pochodzących od infrastruktury transportowej.

Reasumując, można stwierdzić, iż pośród globalnych trendów wpływających na rynek transportu i logistyki, można wskazać na: liberalizację handlu, globalizację i zarządzanie globalnym łańcuchem dostaw, zmiany techniczno-

[4] Stosunki międzynarodowe, *http://stosunki-miedzynarodowe.pl* (pobrano 9.02.2016 r.)
[5] S. Ślubowski, *Rynek*…, op. cit., s. 20
[6] Ibidem
[7] J. Bendkowski, M. Kramarz, *Logistyka stosowana, metody, techniki, analizy*. Gliwice 2006, s. 12-13

technologiczne, bezpieczeństwo, a także na zmieniającą się rolę i zakres funkcjonowania sektora publicznego. Globalnym trendem rynku transportowo-logistycznego niewątpliwie pozostaje świadomość środowiskowa, a wraz z nią rosnąca odpowiedzialność za zrównoważony rozwój. Globalna logistyka jest procesem planowania, realizacji, a także kontroli sprawności i ekonomicznej efektywności przepływu surowców, wyrobów gotowych, produkcji niezakończonej oraz związanych z nimi informacji od miejsc pochodzenia do miejsc konsumpcji. Jej głównym celem jest zaspokojenie wymagań nabywców dóbr i usług. Skuteczne zarządzanie logistyką może stanowić element przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa na rynku.[8] Transport i logistyka stanowią jeden z kluczowych resortów polskiej gospodarki narodowej. Przychody z ich działalności kwalifikują się na poziomie 100 mld zł z prawie 5% udziałem w PKB. Obecnie branża transportowa i logistyczna wchodzą w okres korzystnej koniunktury opartej na solidnych makroekonomicznych fundamentach. Wymiana handlowa, położenie na mapie Europy i poszukiwanie przez inwestorów tańszej siły roboczej powodują, że Polska staje się interesującym miejscem dla inwestycji gospodarczych. Napływ funduszy unijnych stwarza możliwości poprawy stanu infrastruktury transportowej, bez której dynamiczny rozwój sektora transportowego nie będzie możliwy.[9]

Stan transportu w Polsce oraz jego funkcjonowanie

Sprawne funkcjonowanie sektora transportowego pozostaje niezbędnym elementem gospodarki każdego kraju. Transport podlega zmianom i wahaniom w zależności od ceny, popytu na jego usługi, oferowanej podaży, uwarunkowań koniunkturalnych czy wyboru klienta. Wzrost gospodarczy i rosnąca w skali globalnej wymiana handlowa bezpośrednio przekładają się na dynamiczny rozwój rynku transportu. Zachodzące zmiany, kryzysy gospodarcze powodują, że jego funkcjonowanie może ulegać wahaniom.

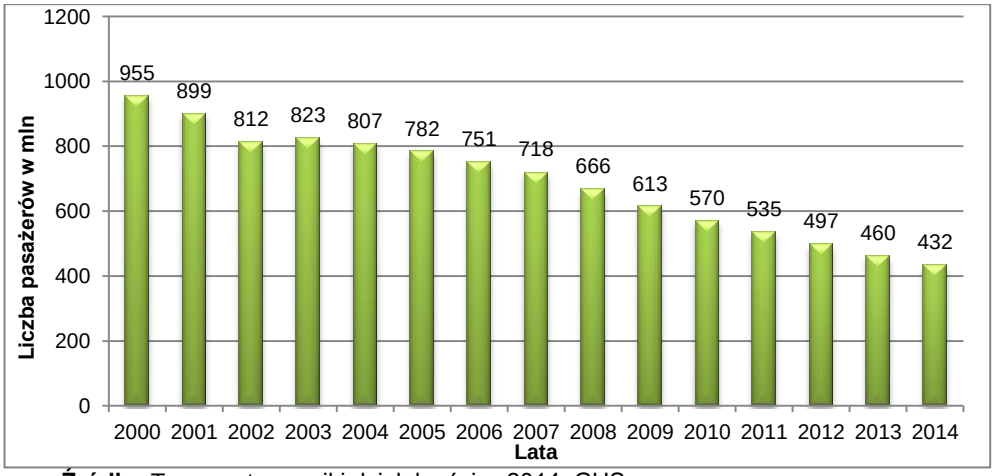
Infrastruktura transportowa, w tym liniowa, jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania transportu. W latach 90. XX wieku i na początku XXI wieku w Polsce budowało się niewiele dróg. Zauważalny był wysoki poziom dekapitalizacji oraz dysproporcje w rozwoju infrastruktury różnych gałęzi transportu. W wyniku takich zaniedbań, poziom rozwoju infrastruktury stał się istotnym ograniczeniem dostępności oraz utrudnieniem integracji Polski z UE.[10] Wstąpienie do Wspólnoty oraz późniejsze wykorzystanie środków unijnych wpłynęło na poprawę sytuacji sektora transportu.

Na podstawie danych GUS, drogowa infrastruktura liniowa w Polsce, według stanu na 31 grudnia 2013 roku, obejmowała ponad 413 tyś. km dróg, w tym 283,5 tyś. (69%) dróg o utwardzonej nawierzchni. Długość autostrad w końcu 2014 roku wyniosła 1556 km, co oznacza, że na 1 tys. km^2 powierzchni kraju przypada 5 km autostrad, natomiast na 100 tys. ludności przypadają 4 km. Mimo wzrostu długości autostrad, jest to nadal jeden z najniższych wskaźników w UE. Długość dróg ekspresowych w 2014 roku wyniosła 1448 km. Ogólna liczba pojazdów samochodowych i ciągników zarejestrowanych kształtowała się na poziomie 26,5 mln. Ruch drogowy na terytorium Polski na drogach publicznych wyniósł

[8] M. Christopher, *Logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw.* Kraków 1998, s. 12
[9] S. Ślubowski, *Rynek*…, op. cit., s. 5
[10] R. Rolbiecki, K. Wojewódzka-Król, *Wykorzystanie funduszy unijnych w rozwoju transportu w Polsce* (w:) R. Rolbiecki (red.), *Aktualne problemy rozwoju transportu i logistyki*. Gdańsk 2013, s. 314

ogółem ponad 212 tys. wozokilometrów, pośród których samochody osobowe stanowiły 166 tys. wozokilometrów, samochody dostawcze ponad 16 tys., samochody ciężarowe z naczepami ponad 13 tys., a autobusy 2 tys. wozokilometrów. Resztę stanowiły motocykle i ciągniki rolnicze. Przewozy ładunków transportem samochodowym w 2014 roku osiągnęły ponad 1 mln 500 tys. ton, z czego transport zarobkowy stanowił 874 tys. ton, a transport gospodarczy 673 tyś. ton. Osiągnięta wielkość przewozów ładunków transportem samochodowym stanowiła 14,4% w ogólnych przewozach UE, co lokuje Polskę wśród 28 krajów UE na drugiej pozycji. Dominujący udział zarówno w przewozach ładunków eksportowanych, jak i importowanych, stanowiły przewozy do/z krajów UE, w tym głównie w relacji z Niemcami. Największą dynamikę przewozów w transporcie samochodowym ogółem odnotowano w przewozach cementu, wapna i gipsu (28,3%), mebli, pozostałych wyrobów gotowych (11,4%) oraz produktów rolnictwa, leśnictwa, łowiectwa, rybactwa i rybołówstwa (9,9%). Regularna komunikacja autobusowa prowadzona była na 15,5 tys. linii krajowych o ogólnej długości 788,6 tys. km oraz na 0,1 tys. linii międzynarodowych o długości 119,1 tys. km. Liczba autobusów, eksploatowanych przez jednostki transportu samochodowego, wyniosła 16,1 tys. sztuk. Z roku na rok spada liczba pasażerów przewożonych środkami publicznego transportu zbiorowego. W 2014 roku, transportem samochodowym przewieziono 432 mln pasażerów.[11]

Rysunek nr 1: Liczba pasażerów przewożona transportem samochodowym



Źródło: Transport – wyniki działalności w 2014, GUS

Zjawiska zachodzące na rynkach wymusiły zmianę sposobów realizacji przewozów ładunków. W ubiegłych latach, przedsiębiorstwa, realizujące własne potrzeby transportowe, dysponowały własnym taborem. Ich udział w rynku przewyższał podmioty zajmujące się transportem zarobkowym. Od momentu akcesji Polski do UE, udział przewozów transportem zarobkowym znacznie wzrósł. Rozwój rynku zauważalny jest we wzroście popytu oraz podaży, a rynkowe regulacje umożliwiły rozwój prywatnych przedsiębiorstw. W chwili obecnej można

[11] GUS, Transport – wyniki działalności w 2014 r., GUS. Warszawa 2014

zauważyć ponad dwukrotny wzrost liczby ładunków i wzrost tonażu przewozów zarobkowym transportem samochodowym. Rośnie także liczba licencjonowanych przedsiębiorstw w transporcie samochodowym – w krajowym wzrasta o 13%, a w międzynarodowym o 30%. Specyfiką tego rodzaju działalności jest to, iż przedsiębiorstwa te zatrudniają do dziewięciu osób, a ich udział w tym segmencie rynku dochodzi nawet do 80%.[12]

Obecnie innowacyjność polskich przedsiębiorstw transportowych polega między innymi na:[13]

- wykorzystywaniu w swojej działalności takich urządzeń, jak np. naczepy przystosowane do przewozów kombinowanych, ciągniki ekologiczne, systemy satelitarne;
- wprowadzaniu nowych usług, jak np. *track and trace,* polegającej na śledzeniu przesyłek;
- wprowadzeniu elektronicznego obiegu dokumentów jak: e-CMR, e-TIR;
- wykorzystywaniu nowych sposobów finansowania inwestycji, jak np. leasing;
- właściwe zarządzanie rekrutacją i selekcją doboru pracowników;
- wykorzystywanie komputerowych systemów wspomagających działalność firmy;
- korzystanie z napokładowych platform zintegrowanych z pojazdem i dyspozytorami ruchu.

Oprócz transportu drogowego, ważną rolę w gospodarce pełni kolej. Intensywny rozwój transportu samochodowego po II wojnie światowej w krajach Europy Zachodniej spowodował, że znaczenie transportu kolejowego uległo osłabieniu. Wobec spadku przewozów i wzrostu deficytowości, nastąpił wzrost zamykania linii kolejowych. Podobna sytuacja, jak na Zachodzie, miała swój oddźwięk i w naszym kraju, choć największy wymiar przybrała dopiero po 1990 roku. W efekcie nastąpiła deformacja systemu transportowego. Dominacja transportu samochodowego i motoryzacji spowodowała negatywne konsekwencje dla transportu kolejowego. W okresie transformacji nastąpiło ograniczenie liczby obsługiwanych połączeń pasażerskich oraz zmniejszenie całkowitej długości obsługiwanych linii kolejowych. Doprowadziło to do obniżenia dostępności komunikacyjnej, jednakże to właśnie w krajach Europy Zachodniej od lat 90. ubiegłego wieku nastąpił proces rewitalizacji nieczynnych do tej pory linii kolejowych i przywracania na nich przewozów. Fundamentalną kwestią, mającą wpływ na taki obrót sprawy, miała polityka zrównoważonego rozwoju, promowana przez UE. Infrastruktura kolejowa w Europie rozwija się. Modernizowane są istniejące już linie kolejowe, powstają również nowe. Zróżnicowane potrzeby operatorów zaspokajane są przez producentów i dostawców oferujących szereg

[12] A. Gozdek, *Funkcjonowanie transportu gospodarczego w Polsce po wstąpieniu do Unii Europejskiej,* „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego", 2015, nr 871, s. 40-45

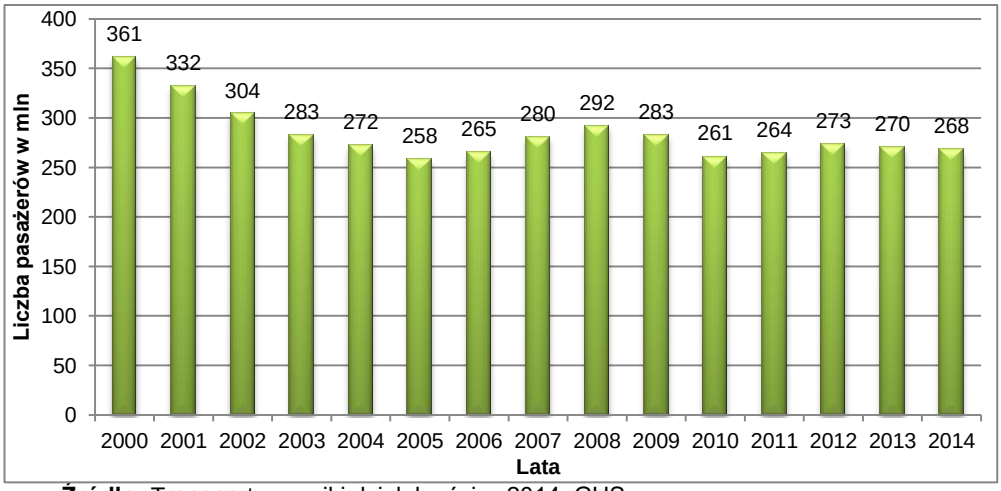
[13] P. Niedzielski, *Usługi jako obszar innowacyjności – wskazówki dla przedsiębiorców na przykładzie rynku TSL* (w:) Z badań nad transportem i polityką gospodarczą, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego", 2012, nr 27, s. 243

nowych rozwiązań systemowych w zakresie infrastruktury kolejowej. W Polsce proces ten przebiega jeszcze bardzo powoli.[14]

Na podstawie danych GUS z 2014 roku, długość linii kolejowej w Polsce wyniosła 19,2 tys. km. W 2014 r. zostało zmodernizowanych 1394 km torów. Na sieci kolejowej znajdowały się 1423 stacje kolejowe, w tym 401 węzłowych oraz 631 czynnych dworców kolejowych, w tym 380 dworców przystosowanych do obsługi osób niepełnosprawnych. Ilostan inwentarzowy lokomotyw elektrycznych i spalinowych wyniósł 4,1 tys. szt. Przewozy ładunków ogółem kształtowały się na poziomie 228 mln ton, z czego najliczniejszą grupę stanowią paliwa mineralne (41%), rudy metali i pozostałe produkty górnictwa i kopalnictwa (28,0%) oraz koks i produkty rafinacji ropy naftowej (10,8%). Poziom przewozów ładunków, mierzony tonokilometrami, lokuje polski transport kolejowy na drugim miejscu wśród 28 krajów UE. W zakresie transportu międzynarodowego koleje polskie zajmują trzecie miejsce.[15]

Od kilku lat liczba pasażerów kolei utrzymuje się mniej więcej na podobnym poziomie, chociaż, biorąc pod uwagę 2000 rok, to łatwo zauważyć, że liczba pasażerów wykazuje tendencję spadkową. W 2014 r. transportem kolejowym przewieziono 270 mln pasażerów.

Rysunek nr 2: Liczba pasażerów przewożona transportem kolejowym



Źródło: Transport – wyniki działalności w 2014, GUS

Transport morski w Polsce rozwija się. Dynamiczny rozwój transportu morskiego w regionie Morza Bałtyckiego stymulowany jest przez wiele czynników – wewnętrznych i zewnętrznych. Czynniki te – rynkowe i pozarynkowe, transportowe i pozatransportowe – działają na funkcjonowanie transportu morskiego z różną siłą, mają również wpływ na wielkość i strukturę przewozów drogą morską.

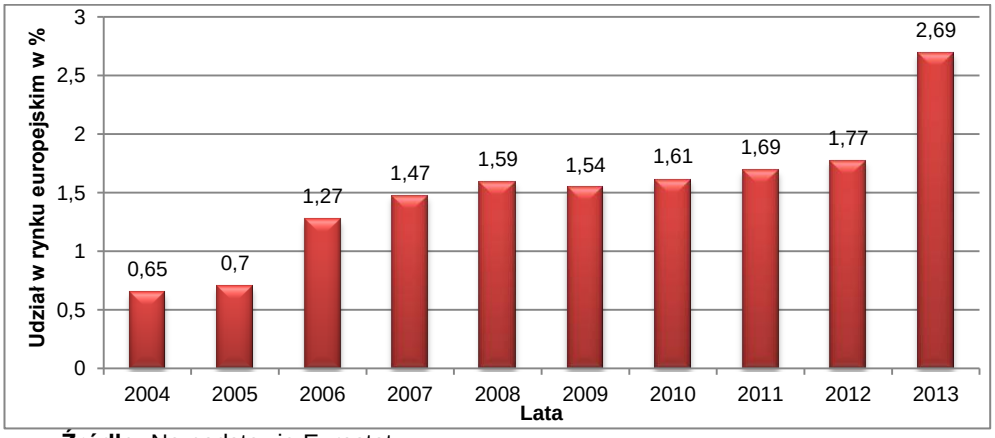
[14] A. Drewnowski, K. Małachowski, *Wpływ rewitalizacji przewozów na linii kolejowej Ulikowo-Kalisz Pomorski-Wałcz na wzrost konkurencyjności regionu i mobilności jego mieszkańców,* „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego", 2015, nr 871, s. 26

[15] GUS, Transport – wyniki działalności w 2014 r., GUS. Warszawa 2014

Według danych GUS, w 2014 roku żeglugą śródlądową przewieziono 7,6 mln ton ładunków, przy wykonanej pracy przewozowej wynoszącej 778,5 mln tonokilometrów. Największy udział w ogólnych przewozach ładunków miały przewozy rud metali i pozostałych produktów górnictwa i kopalnictwa (65,6%) oraz paliwa mineralne (14,9%). Żeglugą śródlądową przewiezionych zostało 1038,2 tys. pasażerów, a wszystkie przewozy realizowane były w komunikacji krajowej. Żeglugą przybrzeżną przewieziono 540,6 tys. pasażerów, tutaj także wszystkie przewozy realizowane były w komunikacji krajowej. Morska flota transportowa polskich armatorów i operatorów na koniec 2014 roku liczyła 104 statki, którymi polscy przewoźnicy morscy przewieźli 6,8 mln ton ładunków. Żeglugą regularną przewieziono 5,9 mln ton, a nieregularną 0,8 mln ton ładunków. Do polskich portów morskich w 2014 roku zawinęło 17,5 tys. statków o łącznej nośności 133,7 mln ton. Żeglugą morską w komunikacji międzynarodowej przewieziono 611,3 tys. pasażerów. Największy udział w strukturze obrotów ładunkowych miały ładunki masowe suche (38,6%), ładunki masowe ciekłe (23,6%) oraz kontenery duże (22,4%).[16]

Oprócz transportu samochodowego, kolejowego i morskiego, dynamicznie rozwija się rynek usług lotniczych. Polski rynek transportu lotniczego należy do europejskiego i światowego sytemu transportowego. Zmiany spowodowane przystąpieniem Polski do UE spowodowały gwałtowny rozwój tego segmentu rynku w ujęciu zarówno ilościowym, jak i jakościowym oraz dostosowanie polskiego prawa lotniczego do unijnych wymogów. Z roku na rok, polskie porty obsługują coraz więcej pasażerów. Pomimo, iż udział Polski w kształtowaniu europejskiego rynku pozostaje niewielki, to zaznacza się jednak wyraźna tendencja wzrostowa polskiego ruchu lotniczego.

Rysunek nr 3: Udział Polski w kształtowaniu europejskiego rynku lotniczego



Źródło: Na podstawie Eurostat

W 2003 roku, w Polsce, działalność rozpoczęli „tani przewoźnicy" lotniczy, jeszcze przed przystąpieniem Polski do Unii Europejskiej. Niskokosztowi przewoźnicy należą do najważniejszych zjawisk transportu lotniczego. Ich model

[16] Ibidem

biznesowy polega na maksymalizacji wydajności operacyjnej oraz minimalizacji kosztów operacyjnych, co powoduje konkurencyjność cen świadczonych usług lotniczych. W wyniku tego, przewoźnicy, tworząc popyt na swoje usługi, zdobywają znaczący udział w rynku transportu lotniczego kosztem mniej wydajnych przewoźników. Wejście Polski do UE spowodowało otwarcie przestrzeni powietrznej i rozwój połączeń tanich linii lotniczych. Linie niskokosztowe zaczęły tworzyć swój własny segment rynku, który do tej pory pozostawał niezagospodarowany.[17] Ten rodzaj przewozów stał się bardzo popularny i dynamicznie zaczął się rozwijać. Jak wskazuje powyższy wykres, od momentu wejścia Polski do UE, udział naszego kraju w kształtowaniu europejskiego rynku lotniczego w przeciągu 10 lat wzrósł ponad czterokrotnie, od poziomu 0,65%, osiągając 2,69% w 2013 roku. 80% dynamikę wzrostu polskiego udziału rynku w strukturze europejskiej zanotowano w 2006 roku. Według danych *World Tourism Organisation* (WTO) oraz *World Travel and Tourism Council* (WTTC), w przeciągu półwiecza, liczba zagranicznych podróży turystycznych wzrosła dwudziesto-pięciokrotnie.[18] Wzrost liczby podróży zagranicznych z jednej strony warunkują nowe uwarunkowania społeczno-gospodarczo-polityczne, z drugiej strony łatwiejszy dostęp do środków masowego przekazu i nowoczesnych technologii oraz dostęp do środków transportu, w tym również transportu lotniczego i bogatej siatki połączeń z różnymi krajami, które powodują, że szybko, bezpiecznie i tanio można dotrzeć w różne zakątki świata.

Na polskim rynku lotniczym funkcjonuje kilkanaście portów lotniczych:

- Warszawa Okęcie (WAW);
- Modlin (WMI);
- Wrocław (WRO);
- Poznań Ławica (POZ);
- Kraków Balice (KRK);
- Katowice Pyrzowice (KTW);
- Łódź Lublinek (LCJ);
- Gdańsk Rębiechowo (GDN);
- Bydgoszcz (BZG);
- Rzeszów Jasionka (RZE);
- Radom (RDO);
- Szczecin (SZZ);
- Zielona Góra (IEG).

Silna pozycja lotnisk regionalnych kształtowana jest przez kilka istotnych czynników. Pierwszym czynnikiem, wpływającym na pozycję lotnisk regionalnych, jest ich infrastruktura, która w przeszłości została szybko zaadoptowana do oczekiwań gospodarki oraz potrzeb społeczeństwa w zakresie mobilności. Dodatkowo lotniska te stały się magnesem przyciągającym wiele linii lotniczych, powiązały również region z licznymi portami. Kluczową zaletą tej sytuacji są już istniejące na rynku usług lotniczych relacje pomiędzy liniami lotniczymi.[19]

---

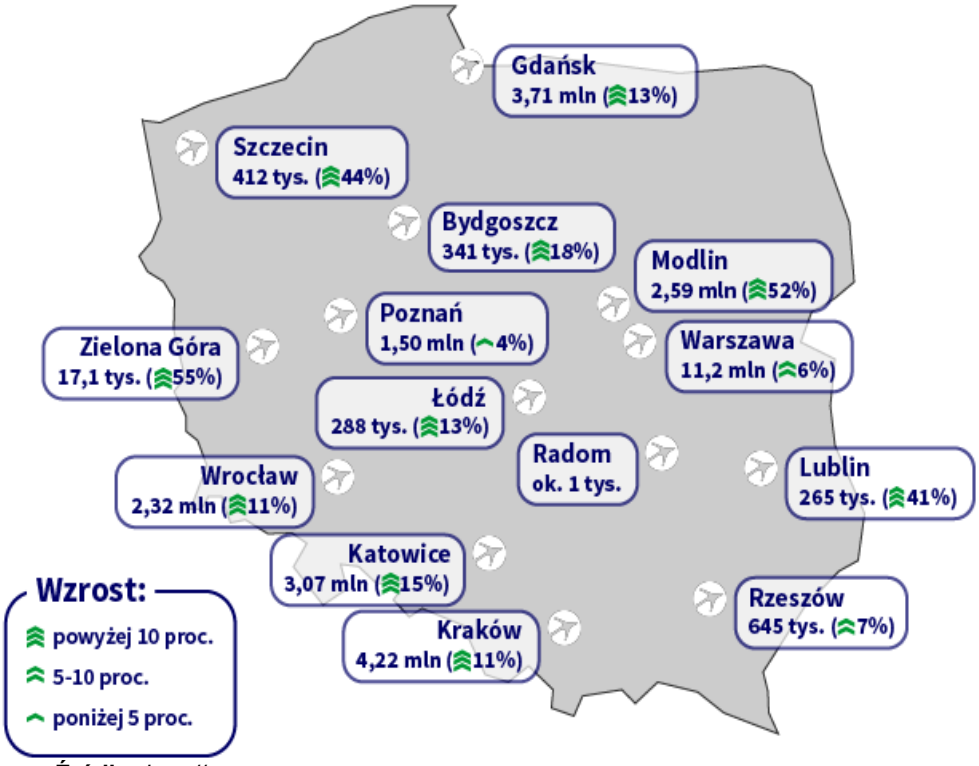
[17] Koncepcja lotniska centralnego dla Polski. Prace analityczne. Raport Główny, Ministerstwo Infrastruktury. Warszawa 2010, s. 23

[18] W. Gaworecki, *Turystyka.* Warszawa 2000, s. 34

[19] Koncepcja lotniska centralnego dla Polski…, op. cit., s. 130

Niskokosztowi przewoźnicy, według modelu biznesowego, mają największy udział w polskim rynku lotniczym – ok. 48%, przewoźnicy sieciowi – ok. 41%. Według danych z 2013 roku, przewoźnicy czarterowi obsłużyli 11,0% rynku. W 2015 roku wszystkie polskie porty lotnicze zanotowały wzrost liczby pasażerów. Ruch lotniczy w całym kraju wyniósł 30,58 mln pasażerów i był o 12,5% wyższy niż w 2014 roku. Pierwszy raz w historii, wszystkie lotniska komercyjne zwiększyły liczbę pasażerów. Liderem pozostaje Lotnisko Chopina w Warszawie.

Rysunek nr 4: Mapa polskich portów lotniczych wraz z liczbą pasażerów obsłużonych w 2015 r.



Źródło: *http://www.pasazer.com*

Według ewidencji Urzędu Lotnictwa Cywilnego, ogólna liczba samolotów wykorzystywanych w kraju w lotnictwie cywilnym w 2014 r. wynosiła 1216 szt. Według danych GUS, sieć regularnej komunikacji lotniczej w 2014 roku obejmowała 103 trasy lotnicze, w tym 12 tras krajowych i 91 tras zagranicznych. Regularna komunikacja lotnicza utrzymywana jest z 41 państwami, w tym z 70 miastami. W 2014 roku transportem lotniczym przewieziono 7788 tys. pasażerów, a przewozy ładunków wyniosły 37,6 tys. ton. Samoloty polskie przewiozły 28,1% ogólnej liczby pasażerów.[20]

[20] GUS, Transport – wyniki działalności w 2014 r., GUS. Warszawa 2014

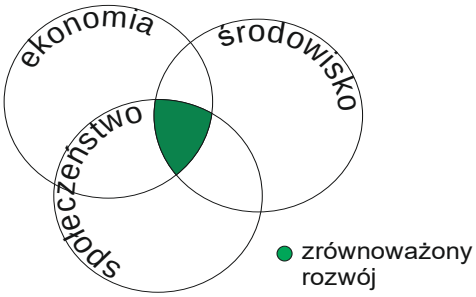
Zrównoważony rozwój logistyki i transportu

Intensywna działalność gospodarcza człowieka często znajduje się w konflikcie z potrzebami środowiska naturalnego. Wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej społeczeństwa, podjęło kroki, których nadrzędnym celem stało się zapobieganie degradacji środowiska naturalnego oraz przywracanie jego pierwotnego stanu.[21]

Zrównoważony rozwój jest dążeniem w kierunku poprawy jakości i standardu życia, przy zachowaniu nie tylko równości społecznej, ale także bogactwa zasobów naturalnych i bioróżnorodności. Zrównoważony rozwój zaczyna się wraz z zastosowaniem etyki w społeczeństwie, troską o środowisko naturalne i troską o ludzi.[22] *Oficjalna definicja,* sformułowana w Raporcie Światowej Komisji Środowiska i Rozwoju w 1987 roku, stwierdza, że zrównoważony rozwój *to* „proces, mający na celu zaspokojenie aspiracji rozwojowych obecnego pokolenia, w sposób umożliwiający realizacje tych samych dążeń następnym pokoleniom”.[23] Na gruncie polskim, zrównoważony rozwój został określony w ustawie dotyczącej Prawa Ochrony Środowiska z 27 kwietnia 2001 roku, która stwierdza, iż przez zrównoważony rozwój rozumie taki „rozwój społeczno-gospodarczy, w którym następuje proces integrowania działań politycznych, gospodarczych i społecznych, z zachowaniem równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych, w celu zagwarantowania możliwości zaspokajania podstawowych potrzeb poszczególnych społeczności lub obywateli, zarówno współczesnego pokolenia, jak i przyszłych pokoleń”.[24]

Geneza całej koncepcji sięga końca lat 60. XX wieku, kiedy po raz pierwszy zwrócono uwagę na globalny wymiar zagrożenia środowiska naturalnego na skutek działalności człowieka. Uznano wtedy, że próba jego naprawy może nastąpić wyłącznie poprzez międzynarodową współpracę państw i to w kilku wzajemnie ze sobą powiązanych wymiarach: ekonomicznym, społecznym i środowiskowym.[25]

Rysunek nr 5: Filary zrównoważonego rozwoju



Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Tendencje zmian rozwoju gospodarczego w województwie zachodniopomorskim, Centrum Badań nad Rozwojem Pomorza Zachodniego. Szczecin 2009, s. 19

[21] K. Wiktorowski (red.), *Turystyka i ekologia w gospodarce wolnorynkowej. Ekostrategie w zarządzaniu firmą*. Szczecin 2004, s. 59
[22] M. Gerwin, *Plan zrównoważonego rozwoju dla Polski*. Sopot 2008, s. 3
[23] Polski komitet do spraw Unesco, *http://www.unesco.pl* (pobrano 8.02.2016 r.)
[24] Ustawa z 27 kwietnia 2001 r., Dz. U. 2001 Nr 62 poz. 627
[25] Polski komitet do spraw Unesco, *http://www.unesco.pl* (pobrano 8.02.2016 r.)

Wynika z tego, że realizacja zadań, związanych ze zrównoważonym rozwojem, musi przebiegać w następujących obszarach tematycznych: [26]

- rozwój społeczno-gospodarczy;
- zmiany demograficzne;
- włączenie społeczne;
- zdrowie publiczne;
- zrównoważona produkcja i konsumpcja;
- dobre zarządzanie;
- zmiany klimatu oraz energia;
- zasoby naturalne;
- partnerstwo globalne;
- zrównoważony transport.

Celem działalności UE w zakresie zrównoważonego rozwoju transportu jest między innymi dążenie do wzrostu znaczenia gałęzi transportu bardziej przyjaznych dla środowiska naturalnego. Równowaga w transporcie polega na takim ukształtowaniu zapotrzebowania na transport i takim podziale środków, aby z jednej strony nie powstawały utrudnienia w dostępie, a z drugiej, aby nie występowały stany zatłoczenia oraz nadmierne uciążliwości dla środowiska naturalnego. Koncepcja zrównoważonego rozwoju w transporcie skupia się przede wszystkim na ograniczeniu przewozu ładunków transportem samochodowym na rzecz przewozów koleją, żeglugą wodną śródlądową i morską oraz rozwiązań multimodalnych, a także na wzroście udziału pojazdów szynowych w przewozach pasażerów. W przypadku reaktywacji transportu kolejowego, nie bez znaczenia pozostaje fakt wspierania mobilności społeczeństw obsługiwanych regionów.[27] Zrównoważone podejście do logistyki transportu powinno obejmować takie elementy, jak:[28]

- świadomość efektów oddziaływania procesów logistycznych i nowoczesnych technologii na przestrzenne, społeczne i przyrodnicze otoczenie, a w tym na:
  - poszukiwanie innowacyjnych sposobów, celem zmniejszenia uciążliwego oddziaływania transportu na otoczenie,
  - minimalizację lub usuwanie skutków ubocznych realizacji procesów logistycznych;
  - minimalizację zużycia czasu, energii i przestrzeni, podczas realizacji procesów przy maksymalizacji efektów wykorzystania posiadanych zasobów produkcyjnych i nieprodukcyjnych;
- planowanie i realizacja strategicznych koncepcji rynkowych;
- współpraca z innymi podmiotami w ramach łańcucha dostaw;
- wprowadzanie innowacyjnych rozwiązań w systemie dostaw i zakresie opakowań;
- światowy zasięg prowadzonej działalności;
- gotowość do przeprowadzania eksperymentów;

---

[26] Wskaźniki zrównoważonego rozwoju Polski, Główny Urząd Statystyczny, Urząd statystyczny w Katowicach. Katowice 2011, s. 8

[27] *Logistyka.net.pl*, Koncepcja zrównoważonego transportu UE, *http://www.logistyka.net.pl* (pobrano 22.02.2016 r.)

[28] A. Skowrońska, *Rola logistyki w równoważeniu rozwoju podstawą budowania nowego wzorca kwalifikacji logistycznych*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka", 2010, nr 1, s. 10

- zintegrowane systemy informatyczne;
- relacje z dostawcami i odbiorcami produktów i usług, oparte na partnerstwie i określonej strategii przedsiębiorstwa;
- dostosowywanie się dostawcy dóbr i usług do zmieniających się warunków rynkowych, do nowych potrzeb i oczekiwań nabywców;
- koncentracja przedsiębiorstw na skracaniu czasu realizacji dostaw oraz na zwiększaniu elastyczności, częstotliwości i niezawodności dostaw.

Polityka transportowa powinna określać zadania i nowe wyzwania stawiane zarówno sektorowi transportu, jak i logistyce. Pierwszorzędnym celem niewątpliwie będzie realizacja zrównoważonego rozwoju, zarówno w wymiarze ekonomicznym, społecznym, jak i środowiskowym. Sektor transportu poddany zostanie dalszej harmonizacji. Wykorzystanie w branży transportowo-logistycznej inteligentnych systemów transportowych sprzyjać będzie zwiększeniu sprawności transportu, poprzez zwiększenie bezpieczeństwa na styku jego różnych gałęzi, likwidowanie wąskich gardeł oraz szeroko rozumianego zarządzania operacjami transportowymi i potokami pojazdów. Priorytetem zostanie redukcja hałasu i emisji spalin, zmniejszanie zużycia energii, zwiększenie bezpieczeństwa i ograniczenie kongestii.[29]

Perspektywy rozwoju transportu w Polsce

Rozwój transportu w Polsce możliwy jest przez efektywne wykorzystanie infrastruktury transportu oraz przy zastosowaniu logistycznych rozwiązań. Logistyka powinna być traktowana w tym aspekcie jako narzędzie umożliwiające równoważenie rozwoju różnych form transportu.[30]

Perspektywy i kierunki rozwoju transportu w Polsce pozwala określić polityka transportowa kraju. Zasadniczym zadaniem jej realizacji do roku 2025 jest unowocześnienie podstawowej sieci transportowej oraz zapewnienie wysokiej jakości usług transportowych. Te dwa aspekty mają zasadniczy wpływ na zwiększenie inwestycji zagranicznych w Polsce, jak również zwiększają dostępność obszarów i poprawę warunków życia ludności. Ważnym zadaniem w dalszym rozwoju transportu w Polsce jest dalsze unowocześnianie innych gałęzi transportu, między innymi transportu kolejowego. W celu zapewnienia spójności i komplementarności działań regionalnych i ogólnokrajowych w transporcie, istotną rolę odgrywa system efektywnej współpracy pomiędzy samorządami lokalnymi i rządem, a także zapewnienie bezpieczeństwa, szczególnie w transporcie drogowym. Ważną rolę odgrywa poprawa jakości transportu w miastach, w tym poprzez poprawienie konkurencyjności transportu publicznego wobec indywidualnego, poprawę warunków ruchu pieszego i rowerowego, ze szczególnym uwzględnieniem osób niepełnosprawnych.[31]

22 stycznia 2013 roku, Rada Ministrów przyjęła Strategię Rozwoju Transportu (SRT), w której zamieściła swoje cele i priorytety. Ich wdrożenie pozwoli na:

---

[29] A. Perć-Pełka, A. Wysocka, *Logistyka i transport a wyzwania współczesnej gospodarki* (w:) *Gospodarka i społeczeństwo – współczesne wyzwania*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 2012, nr 735, s. 81

[30] A. Koźlak, Ekonomika transportu. Teoria i praktyka gospodarcza. Gdańsk 2008, s. 33-35

[31] Polityka Transportowa Państwa na lata 2006-2025, Ministerstwo Infrastruktury. Warszawa 2005, s. 3-12

- zwiększenie dostępności transportowej Polski, które będzie realizowane przez łatwiejsze przemieszczanie się różnymi środkami transportu;
- podniesienie efektywności sektora transportowego;
- poprawę bezpieczeństwa uczestników ruchu i przewożonych towarów;
- stworzenie nowoczesnej i spójnej sieci infrastruktury transportowej;
- ograniczenie negatywnego wpływu transportu na środowisko naturalne;
- poprawę sposobu organizacji i zarządzania systemem transportowym;
- budowę racjonalnego modelu finansowania inwestycji infrastrukturalnych.

Priorytetem SRT, dotyczącym modernizacji i przestrzennego rozmieszczenia infrastruktury w najbliższym okresie, jest m.in.: rozwój transportowych połączeń pomiędzy miastami wojewódzkimi a najważniejszymi ośrodkami miejskimi w kraju i w relacjach europejskich, rozwój połączeń stolicy ze wszystkimi miastami wojewódzkimi i siecią europejską, poprawa połączeń lokalnych, rozwój infrastruktury bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz rozwój bezkolizyjnych skrzyżowań, obwodnic. Co istotne, SRT szacuje, że do 2020 roku długość autostrad w Polsce wyniesie ok. 2000 km, długość dróg ekspresowych – 2800 km, długość szybkich linii kolejowych wzrośnie o 350 km, liczba pasażerów obsłużonych w portach lotniczych wyniesie 41 mln. SRT szacuje także, że liczba ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych spadnie niemal o połowę w stosunku do roku 2010 i wyniesie 2000 osób, a potencjał przeładunkowy portów morskich osiągnie 60 mln ton.[32]

Sektor transportowy w Polsce rozwija się. Logistyka powinna wydajnie wykorzystywać formy transportu, które działają odrębnie lub też funkcjonują w zintegrowanych ramach europejskiego systemu transportowego. Jej celem powinno być zintegrowane i kompleksowe podejście do procesów rozwoju gospodarczego, społecznego, zagospodarowania przestrzennego, ochrony i kształtowania środowiska przyrodniczego, a także ochrony dziedzictwa kulturowego.[33]

Streszczenie

Celem artykułu jest analiza sektora transportowego w Polsce. W publikacji tej wskazano na globalne trendy wpływające na rynek transportu i logistyki w Polsce i na świecie, określono również stan transportu w Polsce oraz jego funkcjonowanie. W dalszej kolejności poruszono problem zrównoważonego rozwoju transportu oraz jego perspektywy rozwoju w Polsce.

Słowa klucze: analiza sektora transportowego, rynek transportu i logistyki, rozwój transportu, stan transportu

Summary

The goal of this publication is analysis of transport sector in Poland. It shows global trends influencing on transport and logistics sector in Poland and in the world. It also reviews current state of transport sector and how it functions Today. In following chapters publication describes transport sustainable development problem and its perspective in the future. The document draws attention to global

[32] Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa, Rozwój transportu w Polsce, *http://mib.gov.pl* (pobrano 15.02.2016 r.)

[33] J. Szołtysek, *Transport komodalny w realizacji celów zrównoważonej logistyki*, „Logistyka", 2009, nr 2, s. 49-50

trends influencing transport and logistics sector, state of transport sector in Poland and its development.

Key words: analysis of transport sector in Poland, global trends influencing on transport and logistics, global trends influencing transport and logistics sector, state of transport sector in Poland

Bibliografia

1. Bendkowski J., Kramarz M., *Logistyka stosowana, metody, techniki, analizy*. Gliwice 2006
2. Christopher M., *Logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw.* Kraków 1998
3. Cyrson E. (red.), *Kompendium wiedzy o gospodarce.* Warszawa-Poznań 1996
4. Gaworecki W., *Turystyka.* Warszawa 2000
5. Gerwin M., *Plan zrównoważonego rozwoju dla Polski.* Sopot 2008
6. Gozdek A., *Funkcjonowanie transportu gospodarczego w Polsce po wstąpieniu do Unii Europejskiej*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego", 2015, nr 871
7. GUS, Transport – wyniki działalności w 2014 r., GUS. Warszawa 2014
8. Koncepcja lotniska centralnego dla Polski. Prace analityczne. Raport Główny, Ministerstwo Infrastruktury. Warszawa 2010
9. Koźlak A., *Ekonomika transportu. Teoria i praktyka gospodarcza*. Gdańsk 2008
10. *Logistyka.net.pl,* Infrastruktura punktowa, *http://www.logistyka.net.pl*
11. *Logistyka.net.pl*, Koncepcja zrównoważonego transportu UE, *http://www. logistyka.net.pl*
12. Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa, Rozwój transportu w Polsce, *http://mib.gov.pl*
13. Niedzielski P., *Usługi jako obszar innowacyjności – wskazówki dla przedsiębiorców na przykładzie rynku TSL* (w:) *Z badań nad transportem i polityką gospodarczą,* „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego", 2012, nr 27
14. Perć-Pełka A., Wysocka A., *Logistyka i transport a wyzwania współczesnej gospodarki* (w:) Gospodarka i społeczeństwo – współczesne wyzwania, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego", 2012, nr 735
15. Polityka Transportowa Państwa na lata 2006-2025, Ministerstwo Infrastruktury., Warszawa 2005
16. Polski komitet do spraw Unesco, *http://www.unesco.pl*
17. Rolbiecki R., Wojewódzka-Król K., *Wykorzystanie funduszy unijnych w rozwoju transportu w Polsce* (w:) R. Rolbiecki (red.), *Aktualne problemy rozwoju transportu i logistyki.* Gdańsk 2013
18. Skowronek C., Sariusz-Wolski Z., *Logistyka w przedsiębiorstwie*. Warszawa 1999
19. Skowrońska A., *Rola logistyki w równoważeniu rozwoju podstawą budowania nowego wzorca kwalifikacji logistycznych*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka", 2010, nr 1
20. Stosunki międzynarodowe, *http://stosunki-miedzynarodowe.pl*
21. Szołtysek J., *Transport komodalny w realizacji celów zrównoważonej logistyki*, „Logistyka", 2009, nr 2

22. Ślubowski S., *Rynek transportu i logistyki*. Warszawa 2007
23. Urbanyi-Popiołek I., *Ekonomiczne i organizacyjne aspekty transportu*. Bydgoszcz 2013
24. Ustawa z 21 marca 1985 r. o drogach publicznych
25. Ustawa z 27 kwietnia 2001 r., Dz. U. 2001 Nr 62 poz. 627
26. Ustawa z 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym, Dz.U. 2003 r. nr 86, poz. 789 z późn. zm.
27. Ustawa z 6 września 2001 o transporcie drogowym (Dz. U. z 2001 r. Nr 125, poz. 1371)
28. Wiktorowski K. (red.), *Turystyka i ekologia w gospodarce wolnorynkowej. Ekostrategie w zarządzaniu firmą*. Szczecin 2004
29. Wskaźniki zrównoważonego rozwoju Polski, Główny Urząd Statystyczny, Urząd statystyczny w Katowicach. Katowice 2011

Aleksandra RAK
Politechnika Częstochowska

UWARUNKOWANIA PROCESU DOSTAWY CIEPŁA W SYSTEMACH CIEPŁOWNICZYCH

Wprowadzenie

Zaopatrzenie w ciepło jest jednym z ważniejszych sektorów gospodarki energetycznej kraju, która wpływa na tempo wzrostu gospodarczego. Szeroko pojęte ciepłownictwo zabezpiecza zarówno potrzeby bytowe społeczeństwa jak i odbiorców przemysłowych. Ciepło w Polsce w aglomeracjach miejskich produkowane jest w scentralizowanych systemach ciepłowniczych (ciepło systemowe). Eksploatacja tych systemów powinna być prowadzona w sposób elastyczny, zapewniający niezawodność dostaw ciepła, przy ograniczeniu zużycia energii, strat przesyłowych oraz przy uwzględnieniu wpływu na stan środowiska przyrodniczego. Jest to związane z realizowaną obecnie w krajach Unii Europejskiej strategią zrównoważonego rozwoju, polegającą na oszczędności energii pierwotnej, rozwoju odnawialnych źródeł energii (OZE) i źródeł kogeneracyjnych, ograniczaniu emisji gazów cieplarnianych oraz wdrażaniu technologii budownictwa inteligentnego i energooszczędnego. Podstawą tej strategii jest poprawa efektywności energetycznej przez wszystkich uczestników rynku energii, tj. wytwórców, dostawców i użytkowników energii. Obowiązujące regulacje prawne i uwarunkowania ekonomiczne motywują przedsiębiorstwa sektora energetycznego zarówno do działań technicznych, obejmujących modernizację infrastruktury systemów ciepłowniczych, powiązaną z implementacją systemów teleinformatycznych do monitoringu i zarządzania siecią, jak i do optymalizacji ekonomiczno-środowiskowej procesu dostawy ciepła.

Charakterystyka scentralizowanych systemów ciepłowniczych

Rynek ciepła ze swej natury ma charakter lokalny, wynikający ze specyficznych cech ciepła jako nośnika energii: problemy z magazynowaniem, techniczne i ekonomiczne ograniczenia przesyłu ciepła na znaczne odległości oraz straty przy przesyle. Praktycznie, ciepło do ogrzewania wytwarzane jest miejscowo (zazwyczaj bezpośrednio u użytkownika), albo w źródłach scentralizowanych (ogrzewanie zdalaczynne) jako ciepło systemowe.[1] W systemach scentralizowanych zwykle występuje jeden lub kilku wytwórców ciepła i jedna dystrybucyjna sieć ciepłownicza, obejmująca określony obszar terytorialny, ograniczony przez sieć dystrybucyjną zwykle do terenu jednego miasta. Charakterystyczne dla procesów wytwarzania i użytkowania ciepła jest to, że zapotrzebowanie na ciepło służące do ogrzewania pomieszczeń występuje tylko w ciągu kilku miesięcy w roku (sezon grzewczy). Ponadto, ilość ciepła zużywanego przez odbiorców w trakcie sezonu grzewczego zależy bezpośrednio od warunków pogodowych, zwłaszcza od temperatury otoczenia.

---

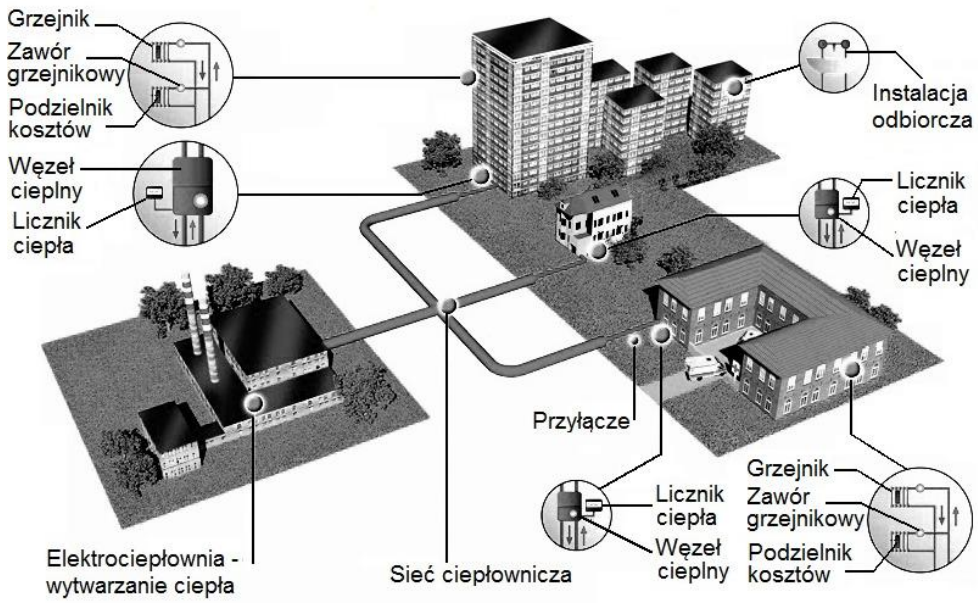
[1] Por. M.B. Nantka, *Ogrzewnictwo i ciepłownictwo*, Tom 1. Gliwice 2013, s. 16; J. Szymczak, B. Regulski, *Najwyższy czas na odpowiednie uznanie pozycji ciepłownictwa w Polityce Energetycznej Polski*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2014, nr 2, s. 43-53

Przy ogrzewaniu zdalaczynnym, proces zaopatrzenia odbiorców w ciepło odbywa się poprzez system ciepłowniczy, obejmujący następujące elementy niezbędne do zapewnienia ciągłości oraz jakości dostarczania ciepła:[2]

- źródła wytwarzające ciepło o właściwych parametrach w niezbędnej ilości i w odpowiednim czasie,
- sieć ciepłowniczą, doprowadzającą czynnik grzewczy do odbiorców,
- węzły ciepłownicze, transformujące parametry czynnika grzewczego,
- instalacje wewnętrzne w budynkach zasilających poszczególne odbiorniki.

Schemat poglądowy systemu ciepłowniczego pokazano na rysunku nr 1.

Rysunek nr 1: Schemat poglądowy systemu ciepłowniczego



Źródło: Opracowanie własne

Podstawowym nośnikiem ciepła zdalaczynnego, stosowanym w ciepłownictwie systemowym, jest zazwyczaj gorąca woda.[3]

Scentralizowane systemy ciepłownicze występują na obszarach silnie zurbanizowanych i uprzemysłowionych. W aglomeracjach miejskich w Polsce pokrywają średnio 65% zapotrzebowania na ciepło. Są to miejskie elektrociepłownie zawodowe, które dostarczają też ciepłej wody użytkowej, a także wytwarzanej w skojarzeniu energii elektrycznej.[4]

Przy wyborze źródła ciepła (Rysunek nr 2), istotnymi kryteriami są: sposób produkcji ciepła i jego ilość, rodzaje potrzeb i parametry czynnika oraz rodzaj paliwa.

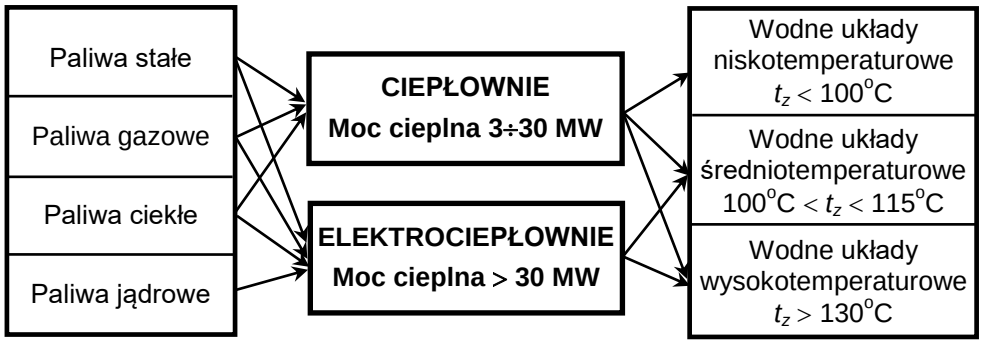
---

[2] T. Kuczyński, P. Ziembicki, *Inteligentne systemy ciepłownicze zintegrowane w ramach smart grid*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2012, nr 43/9, s. 360-364

[3] Por. D. Niedziółka, *Rynek energii w Polsce.* Warszawa 2010, s. 84; M.B. Nantka, *Ogrzewnictwo…*, op. cit., s. 138

[4] D. Niedziółka, *Rynek…*, op. cit., s. 82

Rysunek nr 2: Właściwości źródeł ciepła systemów zdalaczynnych



Źródło: Opracowanie wg: M.B. Nantka, *Ogrzewnictwo i ciepłownictwo*, t. 1. Gliwice 2013, s. 139

Dane dotyczące ciepłownictwa systemowego w Polsce podano w tabeli nr 1.

Tabela nr 1: Potencjał ciepłownictwa systemowego w Polsce – lata 2002, 2008 i 2014

L.p.	Wyszczególnienie	Jednostka miary	Dane w latach		
			2002	2008	2014
1	Liczba koncesjonowanych przedsiębiorstw ciepłowniczych	-	894	530	451
2	Średnie zatrudnienie	etat	60 239	41 744	32 952
3	Moc cieplna zainstalowana	MW	70 952,8	61 456,0	56 796,2
4	Moc cieplna osiągalna	MW	67 285,4	59 829,5	55 589,5
5	Moc zamówiona przez odbiorców	MW	38 937,0[a)]	35 461,1	33 640,2
6	Długość sieci ciepłowniczych	km	17 312,5	19 104,1	20 255,1
7	Roczna produkcja ciepła	TJ	467 527,8	396 622,4	360 210,6
8	- w tym z kogeneracji	TJ	b. danych	250 675,7	231 490,9
9	Roczna sprzedaż ciepła ogółem	TJ	469 355,5[b)]	395 861,4	341 775,9
10	Ciepło oddane do sieci	TJ	336 043,0	288 061,0	250 029,9
11	Ciepło dostarczone do odbiorców przyłączonych do sieci	TJ	298 938,1	254 156,1	217 677,1
12	Średnia sprawność przesyłu	%	88,2	87,6	86,3
13	Aktywa trwałe netto	mln zł	16 108,3	16 465,0	24 782,7
14	Dekapitalizacja majątku trwałego	%	54,75	59,40	49,54
15	Średnia jednoskładnikowa cena ciepła	zł/GJ	28,37	32,61	47,73

[a)] dane z 2003 roku (w 2002 r. nie zbierano danych dotyczących mocy zamówionej)
[b)] Sprzedaż ciepła ogółem = Sprzedaż ciepła bezpośrednio ze źródeł + Sprzedaż ciepła z sieci ciepłowniczych + Sprzedaż ciepła z czystego obrotu

Źródło: Opracowano wg: URE, *Energetyka cieplna w liczbach – 2014*. Warszawa 2015; *Energetyka cieplna w liczbach – 2008*. Warszawa 2009

W 2014 r. przedsiębiorstwa ciepłownicze wytworzyły łącznie z ciepłem odzyskanym w procesach technologicznych (odzysk ciepła) 393,2 tys. TJ ciepła. Ponad 64% ciepła wyprodukowanego w źródłach, tj. 231,5 tys. TJ, zostało

wytworzone w kogeneracji z produkcją energii elektrycznej. Udział ciepła wyprodukowanego z węgla kamiennego zmniejszył się od 2002 roku o 4% do wartości 75,1%. Wzrasta systematycznie udział ciepła uzyskiwanego w wyniku spalania gazu ziemnego oraz biomasy – w roku 2014 odpowiednio 7,9% i 7,6% (od 2002 r. produkcja ciepła z biomasy wzrosła ponad dwukrotnie). Pozytywnym zjawiskiem jest obniżanie się od 2008 roku wskaźnika dekapitalizacji majątku trwałego, który zmalał z wartości 59,4% do poziomu 49,5% w roku 2014. Łączna długość sieci ciepłowniczych wyniosła na koniec roku 2014 ponad 20,2 tys. km.[5]

Kierunki rozwoju scentralizowanych systemów ciepłowniczych

Ciepło systemowe uważa się za rozwiązanie bardziej ekologiczne (ograniczona emisja zanieczyszczeń), niż indywidualne zaopatrzenie w ciepło. Według danych organizacji europejskiej *Eurheat&Power,* Polska należy do ścisłej czołówki krajów UE o największym udziale ciepła pochodzącego z systemów ciepłowniczych w systemie zaopatrzenia w ciepło ogółu odbiorców.[6] Ciepłownictwo, podobnie jak cała gospodarka, podlega tym wszystkim oddziaływaniom, które wynikają z polityki energetycznej Polski realizowanej w ramach regulacji Unii Europejskiej. Podstawowymi kierunkami tej polityki, odnoszącymi się do ciepłownictwa, są:[7]

- poprawa efektywności energetycznej;
- rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym biopaliw;
- rozwój konkurencyjnych rynków paliw i energii;
- ograniczenie oddziaływania energetyki na środowisko.

Wzrost efektywności energetycznej potraktowany został priorytetowo, jako wiążący realizację innych celów polskiej polityki energetycznej, czego wyrazem było przyjęcie w 2011 roku ustawy o efektywności energetycznej.[8] Dla rozwoju ciepłownictwa istotne znaczenie ma implementacja Dyrektywy 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej.[9] Zdefiniowano w niej „efektywny system ciepłowniczy i chłodniczy", jako system ciepłowniczy lub chłodniczy, w którym do produkcji ciepła lub chłodu wykorzystuje się w co najmniej 50% energię ze źródeł odnawialnych, lub w co najmniej 50% ciepło odpadowe, lub w co najmniej 75% ciepło pochodzące z kogeneracji, lub w co najmniej 50% wykorzystuje się połączenie takiej energii i ciepła (art. 2 pkt. 41 Dyrektywy 2012/27/UE). Implikuje to wspieranie wykorzystania i rozbudowy istniejącej infrastruktury, źródeł ciepła i sieci ciepłowniczych, w zakresie ich dostosowania do wykorzystania i rozwoju

[5] URE, *Energetyka cieplna w liczbach – 2014*. Warszawa 2015

[6] Por. B. Regulski, P. Ziembicki, J. Bernasiński, A. Węglarz, *Rynek ciepłowniczy w Polsce*, „Rynek Energii" 2014, Nr 4(113), s. 9-16; K. Żmijewski, *Perspektywy Ciepłownictwa*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2011, nr 42/10, s. 393-395

[7] *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*. Załącznik do obwieszczenia Ministra Gospodarki z 21 grudnia 2009 roku (MP z 2010, nr 2, poz. 11)

[8] Ustawa z 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej (Dz.U. z 2011 r., nr 94, poz. 551)

[9] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z 25 października 2012 roku w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE (Dz.U. UE L 315 z 14.11.2012 r.)

wysokosprawnej kogeneracji), w tym ciepła odpadowego i energii ze źródeł odnawialnych.[10]

W istniejącym stanie prawnym, poprawa efektywności energetycznej w obszarze zaopatrzenia w ciepło oraz wskaźników ekologicznych poprzez zmniejszenie zużycia nieodnawialnej energii pierwotnej wymaga kompleksowych prac modernizacyjnych i wprowadzania innowacyjnych rozwiązań technologicznych, w trzech segmentach tworzących lokalny rynek ciepła: systemach wytwarzania, dystrybucji oraz wykorzystania ciepła. W zakresie wytwarzania energii są to następujące technologie i działania:[11]

- zmiana sposobu wytwarzania ciepła i energii elektrycznej z klasycznego spalania węgla na technologie spalania i zgazowania fluidalnego lub spalania tlenowego (ang. *oxy-fuel combustion*);
- wprowadzenie paliw o niższym obciążeniu środowiskowym – zastąpienie węgla gazem, energetyczne wykorzystanie biomasy i paliw alternatywnych;
- wspieranie skojarzonego wytwarzania ciepła, elektryczności i chłodu, tzn. rozwój kogeneracji i trójgeneracji, połączony z pozyskiwaniem ciepła z odpadów komunalnych i biogazu oraz wykorzystaniem sił przyrody (wiatr, energia słoneczna, geotermalna) – koncepcja inteligentnych sieci (Rysunek nr 3).

Koncepcja inteligentnych sieci (ang. *smart grids*) opiera się na optymalizacji wykorzystania w czasie rzeczywistym dostępnych form i źródeł energii, również lokalnych, dzięki zastosowaniu telemetrii oraz technik informatycznych i telekomunikacyjnych do zbierania on-line i przetwarzania danych z systemów energetycznych oraz budynków mieszkalnych, przemysłowych i użyteczności publicznej.[12]

Uwzględniając aspekty techniczne, inteligentną sieć powinny cechować:[13]

- inteligentna infrastruktura pomiarowa,
- systemy i oprogramowanie analityczne, służące do przetwarzania danych i podejmowania decyzji w czasie rzeczywistym,
- aplikacje i urządzenia automatyki, umożliwiające szybkie reagowanie na sygnały przekazywane z systemów technicznych.

W sektorze ciepłownictwa, „sieć inteligentna" to układ, który pozwala na kontrolę i sterowanie przepływem medium grzewczego oraz ciśnieniem w sieci.

---

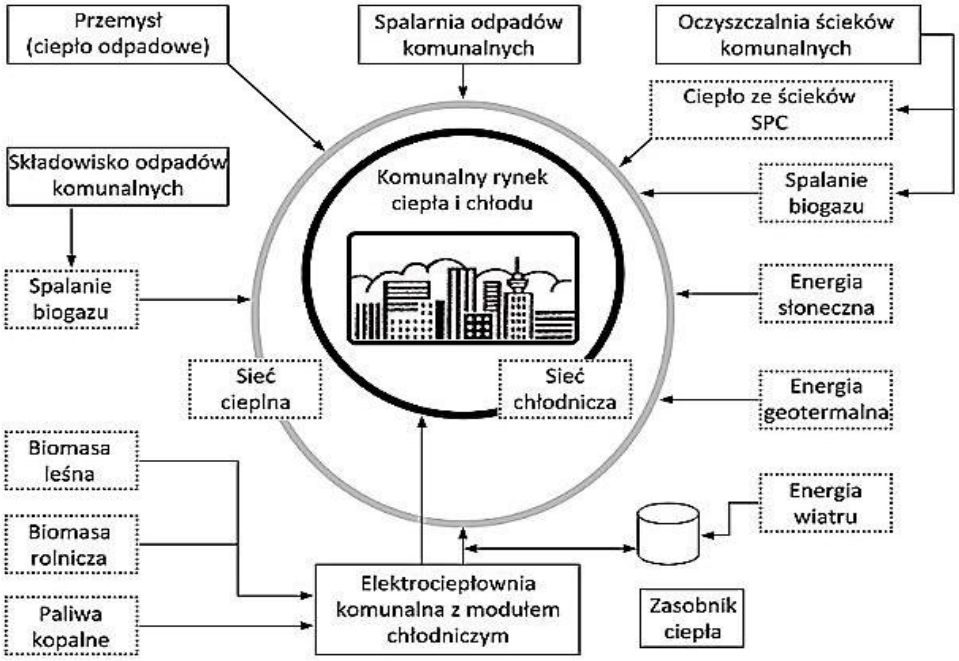
[10] Por. B. Regulski, *Efektywny system ciepłowniczy – klucz do sukcesu ciepłownictwa systemowego*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2015, nr 46/10, s. 375-382; M. Turski, R. Sekret, *Konieczność reorganizacji systemów ciepłowniczych w świetle zmian zachodzących w sektorze budowlano-instalacyjnym*, „Rynek Energii" 2015, nr 4(119), s. 27-34

[11] Por. A. Jachura, R. Sekret, *Efektywność energetyczna miejskiego systemu ciepłowniczego*, „Instal" 2013, Nr 7-8, s. 7-11; B.E. Matusiak, *Efektywność energetyczna na rynku ciepła*, „Rynek Energii" 2014, Nr 1(110), s. 60-65; T.M. Mróz, *Innowacyjne ciepłownictwo – możliwości i ograniczenia*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2012, Nr 10, s. 403-407; M. Turski, R. Sekret, *Konieczność reorganizacji*…, op. cit.; A. Węglarz, *Rola systemów ciepłowniczych w procesie efektywnego wykorzystania energii w Polsce*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2012, nr 3, s. 91-96

[12] Por. T. Kuczyński, P. Ziembicki, *Inteligentne systemy*…, op. cit.; M. Leśko, *Smart District Heating – optymalizacja pracy systemów ciepłowniczych*, „Instal" 12/2014, s. 15-20; A. Ludynia, *Zastosowanie smart grids w ciepłownictwie*, „Polityka energetyczna", 2014, Tom 17, Zeszyt 1, s. 69-84

[13] T. Kuczyński, P. Ziembicki, *Inteligentne systemy*…, op. cit.

Rysunek nr 3: Schemat realizacji idei „*smart grids*" w ciepłownictwie



Źródło: T.M. Mróz, *Innowacyjne ciepłownictwo*…, op. cit.

Szacowanie zapotrzebowania na ciepło w systemie ciepłowniczym

W systemach ciepłowniczych, całkowite zapotrzebowanie na ciepło jest sumą potrzeb cieplnych odbiorców, wynikających z ogrzewania pomieszczeń (z uwzględnieniem naturalnej wymiany powietrza), przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), wentylacji mechanicznej i na cele technologiczne. Bilans ciepła w systemie ciepłowniczym można określić następującą zależnością:[14]

$$Q_w = Q_{Lźc} + \sum_{i=1}^{n} Q_{rsi} + \Delta Q + \sum_{j=1}^{k} Q_{rsj} + \Delta q + Q_{pw} + Q_{ź} \qquad (1)$$

gdzie
Q_w – ciepło wytworzone w systemie ciepłowniczym,
$Q_{Lźc}$ – ciepło zmagazynowane w zasobniku ciepła,
Q_{rsi} – ciepło przekazane danemu odbiorcy w węźle cieplnym sieci,
ΔQ – sumaryczne straty ciepła w magistralach przesyłowych sieci ciepłowniczej,
Q_{rsj} – ciepło przekazane danemu odbiorcy w zewnętrznej instalacji,
Δq – sumaryczne straty ciepła w zewnętrznych instalacjach odbiorczych,
Q_{pw} – ciepło zużyte na potrzeby własne w systemie,
$Q_{ź}$ – ciepło wykorzystane w źródle.

[14] A. Rak, *Wybrane aspekty techniczne poprawy efektywności energetycznej miejskiego systemu ciepłowniczego* (w:) *Między ewolucją a rewolucją – w poszukiwaniu strategii energetycznej*, J. Maj, P. Kwiatkiewicz, R. Szczerbowski (red.). Poznań 2015, s. 655-674

Uwzględniając przesył ciepła w sieci ciepłowniczej, można równanie (1) przekształcić do postaci:

$$Q_z = \sum_{i=1}^{n+k} Q_{rsi} + \sum \Delta Q \qquad (2)$$

gdzie

$Q_z = Q_w - Q_{Lźc} - Q_{pw} - Q_{ź}$ – ciepło oddane do sieci,

$\sum \Delta Q = \Delta Q + \Delta q$ – sumaryczne straty ciepła w magistralach przesyłowych i instalacjach odbiorczych.

Wielkość zużycia ciepła w sezonie grzewczym, dla danego systemu ciepłowniczego, zależy bezpośrednio od długości sezonu oraz temperatury powietrza zewnętrznego. Ponadto występują wahania zużycia energii cieplnej w ciągu doby, przy czym wzrost jest zauważalny w godzinach porannych i wieczornych (pobór c.w.u.), a w porze nocnej następuje zazwyczaj jego spadek.

Ponieważ zapotrzebowanie na ciepło w systemie ciepłowniczym podlega zmianom w czasie uzależnionym od szeregu czynników, głównie zewnętrznych, wygodnie jest przedstawić proces przesyłu ciepła w warunkach równowagi jako bilans mocy:[15]

$$P_z - \Delta P_s = K_{w\Sigma} \cdot N_{z\Sigma} \qquad (3)$$

gdzie

P_z – obciążenie cieplne sieci (moc cieplna przekazywana do sieci, tj. moc wytwarzana netto),

ΔP_s – przesyłowe straty mocy,

$K_{w\Sigma}$ – uśredniony współczynnik wykorzystania mocy cieplnej,

$N_{z\Sigma}$ – sumaryczna zamówiona moc cieplna w danej sieci.

Zamówiona moc cieplna wynika z zapotrzebowania odbiorców na energię cieplną, przy czym poziom zużycia na cele ogrzewania poszczególnych pomieszczeń i budynków, określony jest poprzez wielkość strat drogą przenikania przez ściany, okna i dach oraz straty przez nieszczelności, przy uwzględnieniu zysków ciepła z promieniowania słonecznego i zysków eksploatacyjnych (bytowych).[16] W Polsce efektywność energetyczna ogrzewania budynków poprawia się (termomodernizacja), niemniej obecnie zużycie energii cieplnej w mieszkalnictwie jest jeszcze stosunkowo wysokie, co spowodowane jest:[17]

- jakością budynków (znaczne ubytki ciepła),
- niską sprawnością energetyczną źródeł ciepła,
- dużymi stratami przesyłowymi energii (niewystarczającą izolacją),
- brakiem automatycznej regulacji dostaw ciepła w znacznej liczbie instalacji grzewczych budynków wielorodzinnych,

[15] Ibidem

[16] Por. H. Foit, W. Świerc, *Wyznaczanie wymaganej mocy źródła ciepła na potrzeby diagnostyki cieplnej budynku mieszkalnego*, „Rynek Energii" 2012, nr 5(102), s. 76-80; Instytut Energetyki Oddział Gdańsk, *Kalkulator energetyczny dla jednostek samorządu terytorialnego*, raport nr ew. OG/259/15, Gdańsk 2015, *http://www.ien.gda.pl/pl/page/709,raport_finalny.pdf* (pobrano 27.07.2016 r.); A. Strzałka, *Wpływ parametrów eksploatacyjnych na efektywność sieci grzewczej osiedla Scharnhauser Park*, rozprawa doktorska. Opole 2013, s. 11

[17] A. Strzałka, *Wpływ parametrów eksploatacyjnych…,* op. cit., s. 12

- brakiem motywacji do oszczędzania energii wśród użytkowników.

Podstawowym czynnikiem determinującym wysokość zapotrzebowania na energię cieplną na danym terenie jest nie tylko wielkość i standard energetyczny jego zabudowań, ale również liczba i sposób zachowania jego mieszkańców. Generalnie, wraz z rozwojem sieci ciepłowniczej, powinna zwiększać się wielkość mocy zamówionej przez odbiorców (większa liczba odbiorców i kubatura ogrzewanych pomieszczeń). Ponieważ procesy termomodernizacyjne, odłączania i przyłączania nowych obiektów, dzieją się równolegle, stąd rzeczywisty obraz nie jest jednoznaczny. Perspektywistycznie termomodernizacja, wraz z wdrażaniem standardów budownictwa niskoenergetycznego, modernizacją węzłów i instalacji wewnętrznych w celu wzrostu sprawności wykorzystania ciepła, wprowadzeniem indywidualnego rozliczania odbiorców ciepła oraz oszczędnością energii przez odbiorców, poprzez obniżenie komfortu cieplnego, prowadzą w efekcie zarówno do spadku zamówionej mocy, jak i ciepła odbieranego z sieci ciepłowniczej.[18]

W celu określenia zgodności nominalnej mocy źródła ciepła i szczytowego zapotrzebowania mocy cieplnej przez odbiorców sieci grzewczych, stosuje się dwie podstawowe metody:[19]

- na podstawie obliczeń wykonywanych przy założeniu znormalizowanych warunków użytkowania budynku i klimatu zewnętrznego,
- na podstawie ekstrapolacji pomiarów ilości energii cieplnej rzeczywiście dostarczanej do instalacji grzewczej budynku.

Projektowane obciążenie cieplne budynku (moc szczytowa) jest określane przy skrajnych warunkach temperaturowych, które mogą wystąpić w ciągu roku. Przy wyliczeniu mocy przyjmuje się temperatury zewnętrzne najniekorzystniejsze, jakie mogą wystąpić w danej strefie klimatycznej oraz nie uwzględnia się zysków ciepła związanych z nasłonecznieniem i zysków wewnętrznych.[20] Metoda obliczania obciążenia cieplnego jest opisana w normie PN-EN 12831:2006 – Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.

Ważnym wyzwaniem, z jakim musi zmierzyć się sieć ciepłownicza, jest dostosowanie chwilowej mocy cieplnej do zużycia ciepła przez odbiorców końcowych. Taki rodzaj eksploatacji sieci ciepłowniczej, gdzie następuje ciągłe dopasowywanie strony podażowej do popytowej, nazywa się metodą DSM (ang. *Demand Side Management*). Moc doprowadzana z ciepłowni do sieci podlega wahaniom w ciągu doby. Przy bieżącej eksploatacji sieci ciepłowniczej ważne jest dostarczenie informacji o poborze energii cieplnej, a dokładniej, dobowym profilu jej zużycia przez odbiorcę w celu optymalizacji pracy całego systemu ciepłowniczego.[21]

Wielkość zapotrzebowania na moc cieplną miejskiej sieci ciepłowniczej zależy od dwóch grup czynników. Pierwsza to parametry związane z warunkami pogodowymi: temperatura powietrza zewnętrznego, prędkość wiatru i zachmu-

---

[18] Por. Instytut Energetyki Oddział Gdańsk, *Kalkulator energetyczny…,* op. cit.; A. Strzałka, *Wpływ parametrów eksploatacyjnych…,* op. cit., s. 13; B. Regulski, P. Ziembicki, J. Bernasiński, A. Węglarz, *Rynek ciepłowniczy*…, op. cit.

[19] Por. H. Foit, W. Świerc, *Wyznaczanie wymaganej mocy…,* op. cit.; A. Strzałka, *Wpływ parametrów eksploatacyjnych…,* op. cit., s. 18

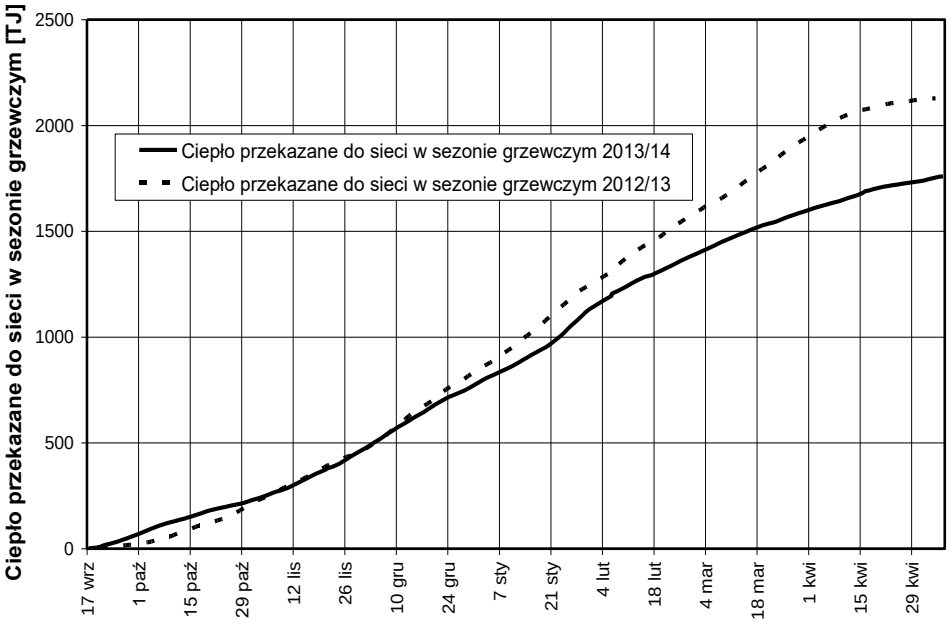
[20] Instytut Energetyki Oddział Gdańsk, *Kalkulator energetyczny…,* op. cit.

[21] Por. A. Jachura, R. Sekret, *Poprawa wykorzystania mocy cieplnej miejskiego systemu ciepłowniczego poprzez uwzględnienie krótkookresowego zapotrzebowania na ciepło*, „Rynek Energii" 2015, nr 5(120), s. 24-30; A. Strzałka, *Wpływ parametrów eksploatacyjnych…,* op. cit., s. 8-10

rzenie. Druga grupa obejmuje parametry związane ze zwyczajami i zachowaniem człowieka, jako użytkownika ciepła dostarczanego z miejskiej sieci ciepłowniczej. Zachowania te kształtują zmienność zapotrzebowania i związane z nią cykle, dające się wyróżnić w poborze mocy.[22] Do określenia przyszłego zapotrzebowania na moc cieplną wykorzystuje się prognozę pogody, która polega na przewidywaniu godzinowych wartości temperatury zewnętrznej dla danego obszaru, siły i kierunku wiatru, nasłonecznienia i zachmurzenia oraz opadów atmosferycznych. Kilkudniowa lub nawet kilkugodzinna prognoza zapotrzebowania na moc cieplną pozwala w sposób racjonalny sterować pracą źródła ciepła, określić moc i czas pracy poszczególnych jednostek wytwórczych.[23]

Przebiegi czasowe wielkości ciepła przekazanego do sieci dla wybranej miejskiej sieci ciepłowniczej (moc cieplna zainstalowana 300 MW, moc zamówiona 335 MW, długość sieci 166 km) pokazano na rysunku nr 4.

Rysunek nr 4: Ciepło przekazane do sieci w sezonach grzewczych 2012/2013 oraz 2013/2014 dla wybranej miejskiej sieci ciepłowniczej



Źródło: Opracowanie własne

Ocenę sezonów grzewczych i wielkości zapotrzebowania na ciepło można dokonać na podstawie porównania trzech zasadniczych wielkości: długości trwania sezonu, tj. ilości dni, gdy pracuje system ciepłowniczy, średniej temperatury otoczenia tego okresu, względnie liczby stopniodni ogrzewania *Sd*.

[22] M. Hopkowicz, K. Pytel, *Prognozowanie zapotrzebowania na moc w miejskim systemie ciepłowniczym z wykorzystaniem prognozy meteorologicznej*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2015, nr 46/6, s. 207-211

[23] K. Wojdyga, *Zapotrzebowanie na moc cieplną w systemach ciepłowniczych – będzie rosło czy malało?,* „Nowa Energia" 2013, nr 1. s. 27-31

Liczbę stopniodni grzania $Sd(t_b)$ dla danej temperatury bazowej t_b oblicza się ze średnich dziennych temperatur powietrza zewnętrznego $t_{śd}(i)$, wg następującej formuły:[24]

$$Sd(t_b) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{n} [t_b - t_{śd}(i)] & dla\ t_{śd}(i) \le t_b \\ 0 & dla\ t_{śd}(i) > t_b \end{cases} \tag{4}$$

Natomiast w metodzie przyjętej przez Eurostat, ilość stopniodni grzania $Sd(t_b;\ t_{gr})$ dla temperatury bazowej t_b=18°C i temperatury granicznej t_{gr}=15°C oblicza się ze wzoru:

$$Sd(t_b;\ t_{gr}) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{n} [t_b - t_{śd}(i)] & dla\ t_{śd}(i) \le t_{gr} \\ 0 & dla\ t_{śd}(i) > t_{gr} \end{cases} \tag{5}$$

Miesięczne liczby stopniodni grzania *Sd,* dla wybranej sieci ciepłowniczej w sezonach grzewczych 2012/2013 i 2013/2014, obliczone wg zależności (4) i (5) oraz średnie miesięczne temperatury powietrza zewnętrznego t_e podano w tabeli nr 2.

Tabela nr 2: Liczba stopniodni grzania *Sd* oraz ciepła oddanego do sieci Q_z w sezonach grzewczych 2012/2013 i 2013/2014 dla wybranej sieci ciepłowniczej

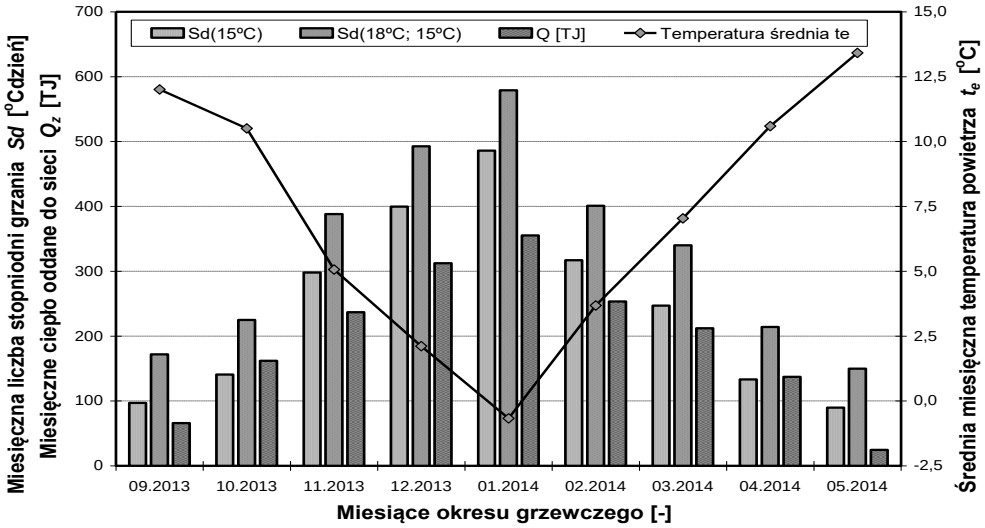
Sezon grzewczy 2012/2013					**Sezon grzewczy 2013/2014**				
Okres	***Sd*(t_b; t_{gr})**	***Sd*(15°C)**	**t_e**	**Q_z**	**Okres**	***Sd*(t_b; t_{gr})**	***Sd*(15°C)**	**t_e**	**Q_z**
-	**[°C·dzień]**		**[°C]**	**[TJ]**	**-**	**[°C·dzień]**		**[°C]**	**[TJ]**
09.2012	95,1	47,1	14,5	5,8	09.2013	171,9	96,9	12,0	65,9
10.2012	292,3	202,3	8,5	183,7	10.2013	224,8	140,8	10,5	161,9
11.2012	364,5	274,5	5,9	254,9	11.2013	388,0	298,0	5,1	236,8
12.2012	614,9	521,9	-1,8	388,0	12.2013	492,5	399,5	2,1	312,3
01.2013	651,8	558,8	-3,0	407,3	01.2014	578,9	485,9	-0,7	355,3
02.2013	527,6	443,6	-0,8	327,7	02.2014	400,9	316,9	3,7	253,4
03.2013	605,2	512,2	-1,5	360,8	03.2014	339,9	246,9	7,0	212,0
04.2013	279,2	204,2	8,4	179,7	04.2014	214,1	133,1	10,6	137,3
05.2013	123,2	66,2	13,9	7,0	05.2014	149,7	89,7	13,4	24,5
Sezon	3 553,8	2 830,8	4,9	2 114,8	Sezon	2 960,7	2 207,7	7,1	1 759,3

W metodzie Eurostatu temperatura bazowa t_b=18°C i temperatura graniczna t_{gr}=15°C
Źródło: Opracowanie własne

Wielkość stopniodni grzania *Sd* dobrze oddaje zapotrzebowanie na ciepło w sezonie grzewczym, co potwierdza wykres podany na rysunku nr 5, sporządzony dla wybranej sieci ciepłowniczej na podstawie danych sezonu 2013/2014.

[24] J. Dopke, *Zużycie energii do ogrzewania budynków w 34 miastach Polski w sezonie ogrzewczym 2013/2014 r.,* „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2014, nr 45/10, s. 387-393

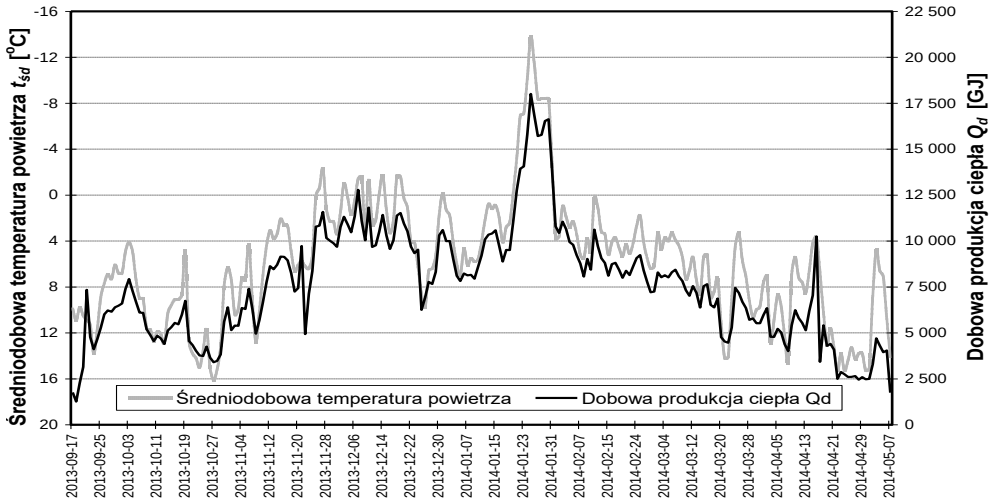
Rysunek nr 5: Miesięczne liczby stopniodni grzania *Sd*, ciepło oddane do sieci Q_z oraz średnie miesięczne temperatury powietrza t_e dla wybranej miejskiej sieci ciepłowniczej



Źródło: Opracowanie własne

Można stwierdzić dobrą korelację pomiędzy rzeczywistą wielkością ciepła oddanego do sieci Q_z, a liczbą stopniodni grzania *Sd*. Zmienność dobowej produkcji ciepła Q_d w trakcie sezonu grzewczego dla analizowanej sieci miejskiej, pokazana na rysunku nr 6, wykazuje pełną zgodność ze zmianami temperatury zewnętrznej.

Rysunek nr 6: Zmiany dobowej produkcji ciepła Q_d w miejskiej sieci ciepłowniczej oraz średniodobowe temperatury powietrza $t_{śd}$ w sezonie grzewczym 2013/2014



Źródło: Opracowanie własne

Parametry procesu dostawy ciepła w zmiennych warunkach pogodowych, w wybranej miejskiej cieci ciepłowniczej

Proces dostawy ciepła do odbiorców za pośrednictwem sieci ciepłowniczej polega na dostarczaniu przez źródło ciepła (ciepłownię, elektrociepłownię) czynnika grzewczego o regulowanych parametrach. Na podstawie przepływu wody grzewczej w sieci wytwarzanej przez źródło ciepła można bilans mocy systemu ciepłowniczego (3) przedstawić w następującej postaci:[25]

$$G_z \cdot c_w \cdot (t_z - t_p) - \Delta P_s = P_{o\Sigma} \tag{6}$$

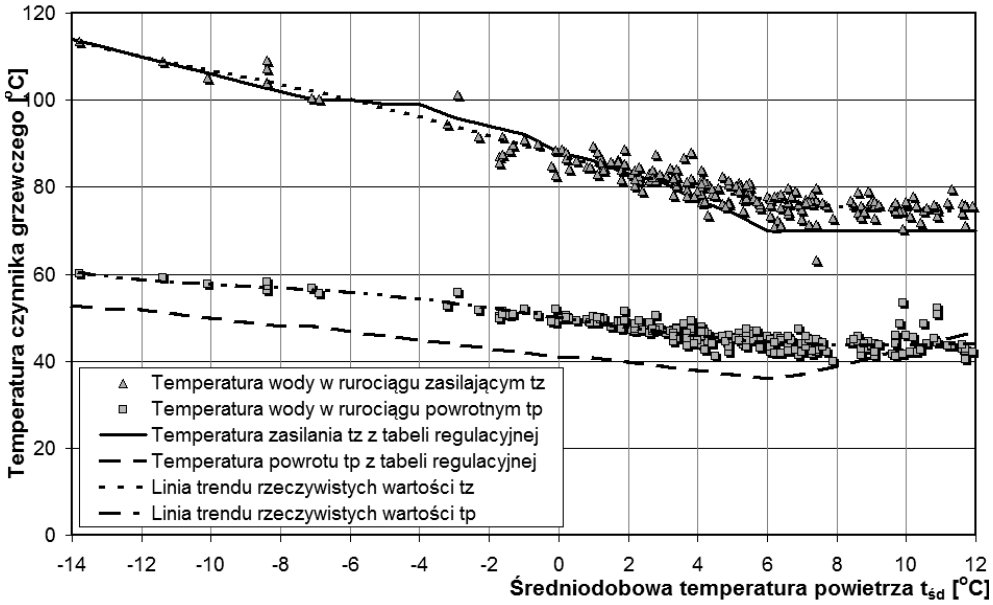
gdzie
G_z – natężenie przepływu wody na wyjściu ze źródła ciepła, t/s,
$P_{o\Sigma}$ – wykorzystana sumaryczna moc cieplna dla węzłów sieci, MW,
c_w – ciepło właściwe wody, kJ/(kg·K),
t_z – temperatura wody w rurociągu na wyjściu ze źródła,
t_p – temperatura wody na powrocie do źródła,
ΔP_s – przesyłowe straty mocy w sieci ciepłowniczej, MW.

Podstawowym zadaniem eksploatacyjnej regulacji systemów ciepłowniczych jest zapewnienie pożądanych warunków cieplnych (temperatur) i hydraulicznych (ciśnienia, różnic ciśnień) u wszystkich odbiorców (w węzłach ciepłowniczych). W źródle ciepła (ciepłowni, elektrociepłowni), regulacji podlega zatem temperatura na wypływie za kotłami t_z oraz ciśnienie czynnika w przewodzie zasilającym i powrotnym, co wpływa na natężenie przepływu czynnika grzejnego G_z, doprowadzonego do sieci ciepłowniczej. W konsekwencji centralna regulacja w źródle ciepła obsługującym systemy ciepłownicze jest regulacją jakościowo-ilościową. Oznacza to, że równocześnie zmieniane powinny być zarówno temperatury, jak i strumienie czynnika.[26] Regulacja ta odbywa się na podstawie tabel regulacyjnych, sporządzanych dla danej sieci w funkcji temperatury zewnętrznej. Rozkład temperatur medium grzewczego na zasilaniu i powrocie w źródle badanej sieci ciepłowniczej, w zależności od średniodobowej temperatury powietrza $t_{śd}$ w sezonie grzewczym 2013/2014, pokazano na rysunku nr 7.

Pierwszy człon w równaniu (6) określa moc cieplną P_z, oddawaną do sieci przez źródło ciepła, której wielkość można regulować poprzez zmiany temperatury t_z i natężenia przepływu G_z medium grzewczego w źródle. Wartości tych zmiennych dla badanej sieci w sezonie 2013/2014 w zależności od średniodobowej temperatury powietrza $t_{śd}$, przedstawiono na rysunku nr 8. Natomiast na rysunku nr 9 pokazano uporządkowane przebiegi współczynnika wykorzystania mocy cieplnej $K_{w\Sigma}$ oraz sprawności przesyłu ciepła w sieci η_s w funkcji temperatury powietrza $t_{śd}$.

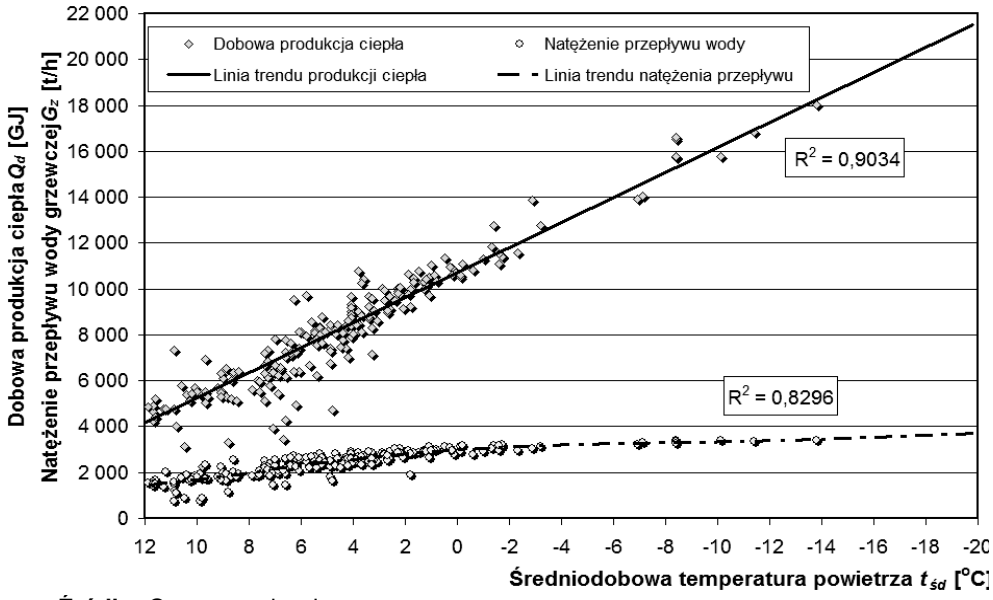
[25] A. Rak, *Wybrane aspekty techniczne*…, op. cit.
[26] M.B. Nantka, *Ogrzewnictwo*…, op. cit., s. 227

Rysunek nr 7: Temperatura wody sieciowej w zależności od temperatury powietrza $t_{śd}$ dla przykładowego systemu ciepłowniczego w sezonie grzewczym 2013/2014



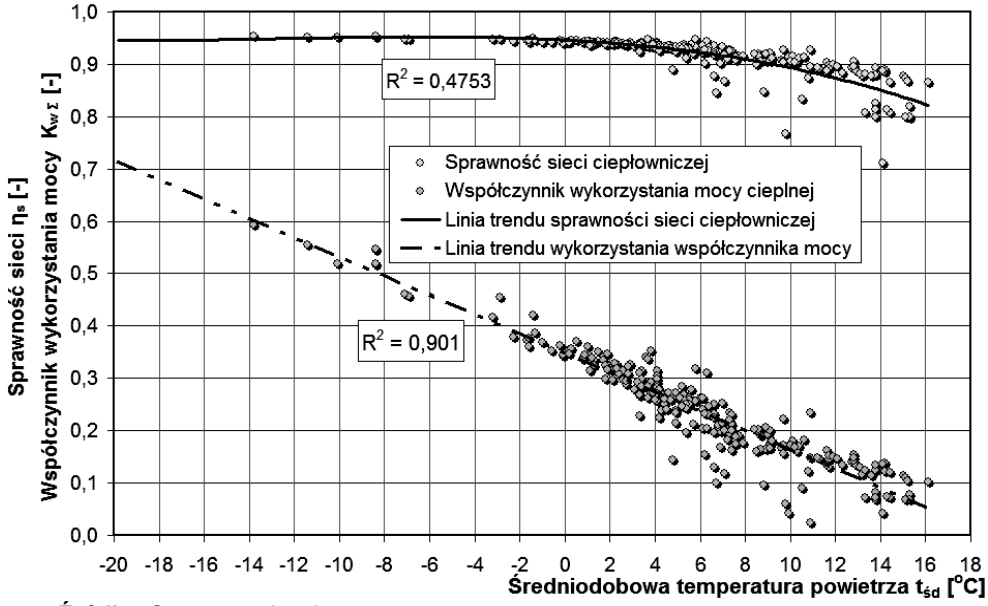
Źródło: Opracowanie własne

Rysunek nr 8: Obciążenie cieplne *Pz* oraz natężenie przepływu G_z czynnika grzewczego w miejskiej sieci ciepłowniczej w sezonie grzewczym 2013/2014, w zależności od średniodobowej temperatury powietrza $t_{śd}$



Źródło: Opracowanie własne

Rysunek nr 9: Zmienność sprawności przesyłu ciepła η_s i współczynnika wykorzystania mocy $K_{w\Sigma}$ w miejskiej sieci ciepłowniczej w sezonie grzewczym 2013/2014, w zależności od średniodobowej temperatury powietrza $t_{śd}$



Źródło: Opracowanie własne

Obciążenie cieplne sieci P_z (Rysunek nr 8) zależy liniowo od temperatury zewnętrznej, o czym świadczy przebieg linii trendu mocy cieplnej źródła. Natomiast natężenie przepływu wody grzewczej G_z, podawanej ze źródła, zmienia się dla temperatur ujemnych (poniżej 0^oC) w niewielkim stopniu w przedziale 3000-3400 t/h.

Sprawność przesyłu ciepła w sieci η_s oraz współczynnik wykorzystania mocy cieplnej przez odbiorców $K_{w\Sigma}$, określono na podstawie wzorów (7) i (8):

$$\eta = \frac{P_z - \Delta P_s}{P_z} \tag{7}$$

$$K_{w\Sigma} = \frac{P_z - \Delta P_s}{N_{z\Sigma}} \tag{8}$$

Można stwierdzić, że sprawność η_s przesyłu ciepła w sieci, przez większość sezonu grzewczego, przekracza poziom 90%, natomiast współczynnik wykorzystania mocy cieplnej $K_{w\Sigma}$ wzrasta liniowo w miarę obniżenia temperatury zewnętrznej (linia trendu). Dla temperatury -20ºC ekstrapolowana wartość współczynnika $K_{w\Sigma}$ osiąga poziom 72%, co oznacza, że zamówiona moc cieplna $N_{z\Sigma}$ jest zawyżona o ok. 20%.

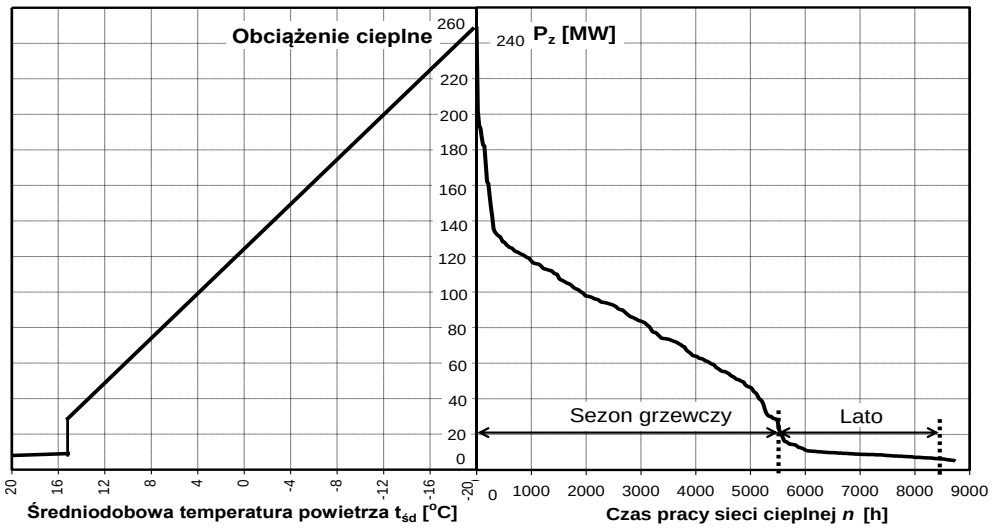
Na podstawie bilansu mocy i zmienności temperatury zewnętrznej w sezonie grzewczym można sporządzić roczne wykresy zapotrzebowania na ciepło. Zwykle są to dwa typy wykresów:[27]

[27] A. Szkarowski, L. Łatowski, *Ciepłownictwo*. Warszawa 2012

- wykres roczny obciążeń cieplnych, w zależności od temperatury powietrza zewnętrznego,
- wykres roczny uporządkowany, w zależności od częstotliwości występowania określonej temperatury zewnętrznej.

Wykresy te dla danej sieci ciepłowniczej pokazano na rysunku nr 10.

Rysunek nr 10: Uporządkowane roczne wykresy zapotrzebowania na ciepło w miejskiej sieci ciepłowniczej w sezonie grzewczym 2013/2014, w zależności od średniodobowej temperatury powietrza $t_{śd}$



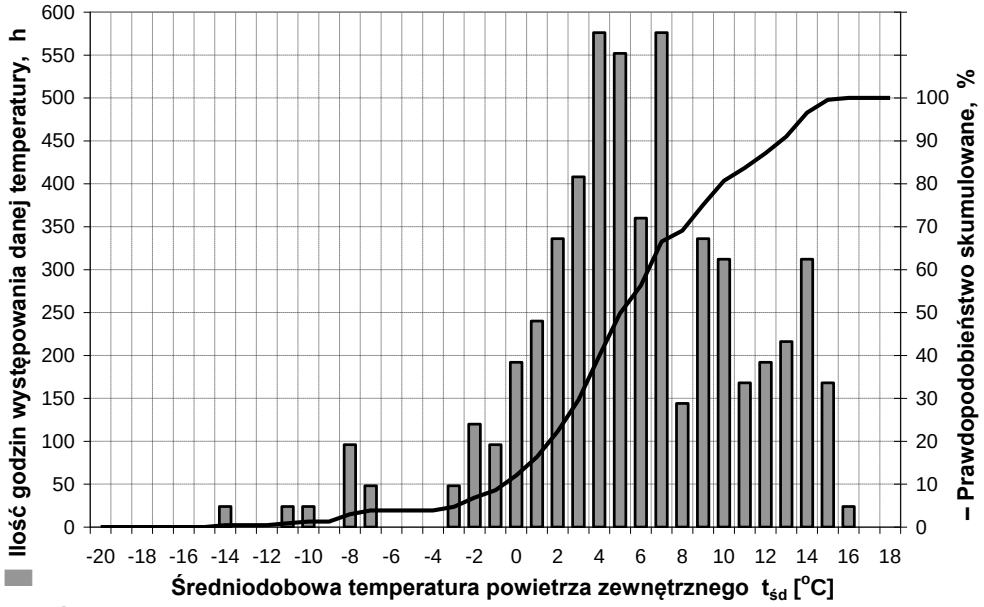
Źródło: Opracowanie własne

Do sporządzenia prawej części wykresu, niezbędne są dane o długotrwałości występowania danej temperatury zewnętrznej w ciągu sezonu grzewczego. Odpowiedni rozkład statystyczny, dla analizowanej sieci dla danych sezonu 2013/2014, pokazano na rysunku nr 11.

Histogram przedstawia liczbę godzin występowania danej temperatury powietrza zewnętrznego dla analizowanych rzeczywistych danych klimatycznych. Warto zauważyć, że temperatura powietrza zewnętrznego bardzo rzadko spadła poniżej -10ºC i było to zaledwie 70 h w całym sezonie grzewczym 2013/2014, którego długość wyniosła 5592 h.

Wykresy roczne zapotrzebowania na ciepło stanowią przydatne narzędzie do analizy zagadnień ciepłownictwa: bieżącego monitorowania zużycia ciepła, określania parametrów eksploatacji kotłów, czasu pracy ciepłowni, czasu trwania poszczególnych obciążeń cieplnych i harmonogramu dostaw paliwa.

Rysunek nr 11: Wykres częstotliwości występowania średnich temperatur dobowych dla miejskiej sieci ciepłowniczej w sezonie grzewczym 2013/2014



Źródło: Opracowanie własne

Monitoring i sterowanie systemem ciepłowniczym

W sektorze ciepłowniczym, oprócz inwestycji w infrastrukturę techniczną, niezbędne jest wdrażanie systemów informatycznych do monitoringu i zarządzania siecią ciepłowniczą. Wymaga to odpowiedniego opomiarowania sieci ciepłowniczej, oraz bieżącej akwizycji zebranych danych, w celu ich dalszej analizy i przetwarzania. Należy zaznaczyć, że w ostatnich kilkunastu latach nastąpiło usprawnienie pracy systemów ciepłowniczych. Przykładami takich tendencji są:[28]

- telemetria stosowana w ramach rozwoju preizolowanych sieci przesyłowych,
- powszechna automatyzacja pracy węzłów ciepłowniczych,
- systemy sterowania i programy pracy źródeł ciepła,
- narzędzia informatyczne do zarządzania pracą systemów ciepłowniczych.

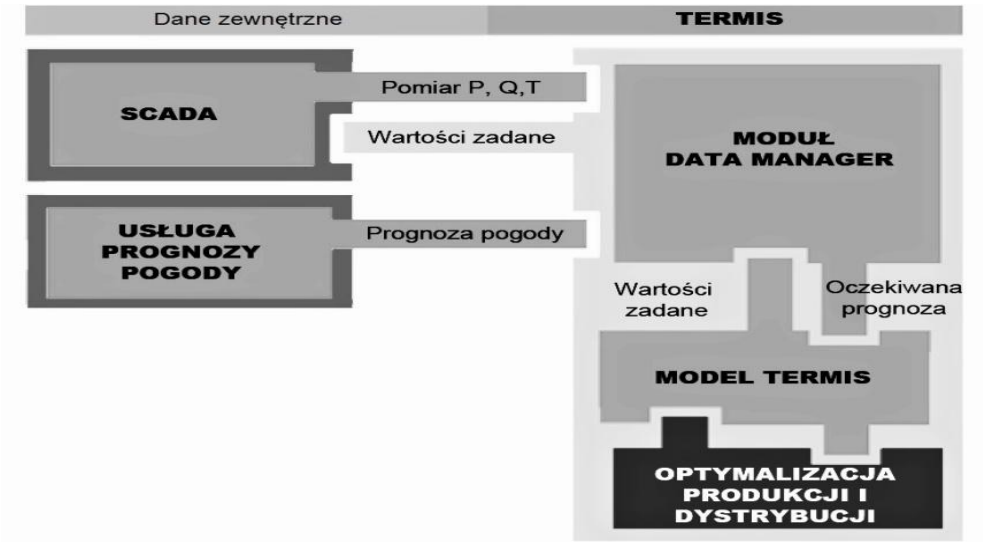
W eksploatacji nowoczesnych systemów ciepłowniczych stosuje się kontrolę warunków pracy sieci z wizualizacją ich stanu na bazie programów SCADA (InTouch, WinCC, iFIX, Asix, Citect i ControlMaestro). Zastosowanie nowoczesnych pakietów typu SCADA umożliwia wizualizację pracy systemu ciepłowniczego i zdalne sterowanie pracą poszczególnych urządzeń, co zwiększa ich efektywność techniczną i ekonomiczną. Układy automatyki zrealizowane w konfiguracji rozproszonego systemu sterowania DCS (ang. *Distributed Control System*), współpracują ze sterownikami PLC (ang. *Programmable Logic*

[28] M.K. Komosa, W.I. Kiedrowski, *Inteligentne systemy informatyczne dla koncesjowanego sektora ciepłowniczego*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2013, nr 44/2, s. 47-52

Controller), a wizualizacja procesu realizowana jest na planszach synoptycznych stacji operatorskiej.

Wdrażanie pakietów oprogramowania, dedykowanych dla sektora ciepłowniczego, nie tylko zapewnia bieżącą kontrolę stanu pracy systemów ciepłowniczych, ale daje zupełnie nowe możliwości w zakresie analizy i sterowania ich pracą, a także modelowania stanów statycznych i dynamicznych, występujących w realnych systemach ciepłowniczych. Obecnie na rynku dostępnych jest kilka zaawansowanych programów do modelowania i optymalizacji pracy sieci ciepłowniczych m.in. Bentley SisHYD (użytkowany w krajach skandynawskich) oraz program TERMIS, testowany w krajowych sieciach ciepłowniczych. Schemat funkcjonalny programu TERMIS pokazano na rysunku nr 12.

Rysunek nr 12: Schemat funkcjonalny programu TERMIS



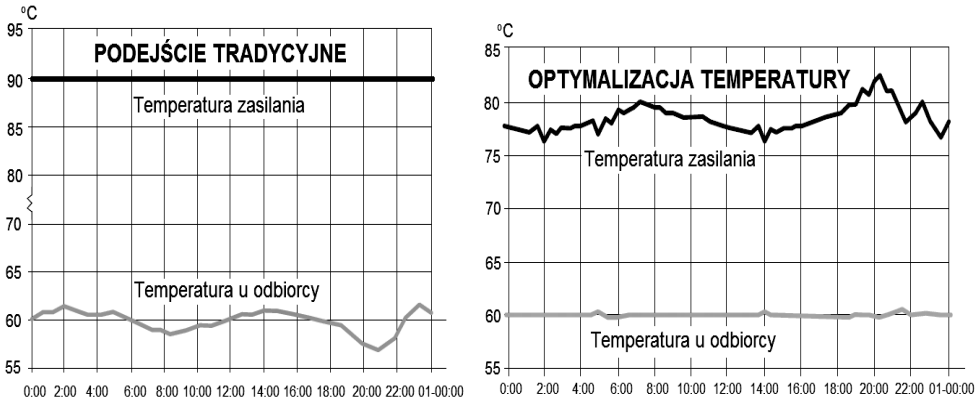
Źródło: *http://www.schneider-electric.com/en/product-range-download/61418-termis-software, TSB-TemperatureOptimization-eng.pdf* (pobrano 17.07.2016 r.)

Program TERMIS umożliwia skuteczne zarządzanie siecią ciepłowniczą i monitorowanie jej stanu. Zawiera algorytmy do matematycznego modelowania systemów ciepłowniczych, co pozwala na odwzorowanie sieci ciepłowniczej poprzez utworzenie jej modelu, obserwację stanów bieżących sieci, analizowanie zdarzeń oraz prowadzenie symulacji skutków zmian pracy w każdym punkcie sieci. Niezbędną komunikację i zarządzanie siecią umożliwia moduł *Data Manager*, który korzysta z danych zewnętrznych w postaci informacji o parametrach pracy sieci oraz dotyczących prognozy pogody. Rzeczywiste, chwilowe dane z systemów monitoringu i odczytu (SCADA), uzupełnione o prognozę pogody, są przekazywane do modelu sieci ciepłowniczej, utworzonego w programie. W oparciu o te informacje, system oblicza i symuluje pracę sieci oraz podaje wytyczne dotyczące parametrów jej prowadzenia (wartości zadane). Na modelu sieci, utworzonym w programie TERMIS, można dokonywać inżynierskich symulacji hydraulicznych i termodynamicznych, zarówno statycznych, jak i dynamicznych.

Dzięki algorytmom obliczeń, zaimplementowanym w systemie TERMIS, można prognozować i projektować sieci cieplne, zgodnie z przepisami, pod kątem przyłączania nowych odbiorców oraz identyfikowania tzw. wąskich gardeł.

Istotnym blokiem oprogramowania jest moduł *Temperature Optimization*, który pozwala na ograniczenie strat ciepła i kosztów operacyjnych w sieci ciepłowniczej przez automatyczną regulację wartości nastawczych temperatury zasilania w źródle na minimalnym poziomie, który zapewnieni, że temperatura u odbiorcy końcowego spełnia przyjęte wymagania. Moduł optymalizacji temperatury zasilania uwzględnia energię zakumulowaną w sieci oraz zmiany warunków atmosferycznych (temperatury i wiatru), wynikające z prognozy pogody, pobieranej automatycznie za pośrednictwem Internetu. Do obliczeń wykorzystywane są także dane z systemu SCADA monitoringu sieci ciepłowniczej oraz profile zużycia ciepła przez dużych odbiorców (zmiany dobowe, weekendy i święta).[29] Wyniki optymalizacji temperatury źródła ciepła w sieci ciepłowniczej, z predykcją nastaw na podstawie prognozowanych danych pogodowych i zapotrzebowania na ciepło, zamieszczono na rysunku nr 13.

Rysunek nr 13: Optymalizacja temperatury zasilania w systemach ciepłowniczych, z wykorzystaniem programu TERMIS



Źródło: Opracowanie wg: *TSB-TemperatureOptimization-eng.pdf*; *http://www.schneider-electric.com/en/product-range-download/61418-termis-software*

Posumowanie

Podstawowym zagadnieniem w procesie dostawy ciepła w miejskich systemach ciepłowniczych jest dostosowanie chwilowej mocy cieplnej do zużycia ciepła przez odbiorców końcowych, z uwzględnieniem warunków pogodowych przy ograniczeniu strat przesyłowych.

Wyzwania, jakie stoją przed sektorem energetycznym, związane z realizacją strategii zrównoważonego rozwoju i ograniczeniem negatywnego wpływu na środowisko, mają istotny wpływ na przedsiębiorstwa sektora ciepłowniczego. Termomodernizacja istniejących budynków, wdrażanie standardów budownictwa energooszczędnego oraz wzrost wykorzystania odnawialnych źródeł energii, będą

[29] *http://www.schneider-electric.com/en/product-range-download/61418-termis-software,TSB-TemperatureOptimization-eng.pdf* (pobrano 17.07.2016 r.)

wpływały na wielkość zapotrzebowania na ciepło systemowe. Duże nadzieje wiąże się z rozwojem inteligentnych sieci integrujących systemy elektroenergetyczne i ciepłownicze (kogeneracja i trójgeneracja) oraz wykorzystujących w szerokim zakresie źródła lokalne, a zwłaszcza OZE.

Wszystkie te uwarunkowania stymulują przedsiębiorstwa ciepłownicze do przekształceń strukturalnych, obejmujących zarówno modernizację infrastruktury sieci ciepłowniczych oraz wykorzystanie telemetrii i technologii informatycznych, jak i do zmian o charakterze organizacyjnym. W perspektywie najbliższych lat, znacząca poprawa efektywności energetycznej w scentralizowanych systemach ciepłowniczych wymaga istotnych zmian w zakresie infrastruktury, eksploatacji sieci oraz zarządzania procesami wytwarzania i dystrybucji ciepła. Zmiany te powinny polegać na:

- monitorowaniu pracy sieci cieplnej w każdym jej punkcie, poprzez inwestowanie w systemy odczytu danych typu SCADA,
- efektywnym zarządzaniu i eksploatacji sieci ciepłowniczych w czasie rzeczywistym, w oparciu o sprawne systemy telemetrii i obliczeń,
- optymalizacji pracy sieci cieplnej, z wykorzystaniem nowoczesnych technik i narzędzi informatycznych, przy uwzględnieniu zmiennych warunków klimatycznych (ograniczenie strat oraz wzrost efektywności energetycznej).

Streszczenie

Ważnym czynnikiem wpływającym na proces dostawy ciepła, w scentralizowanych systemach ciepłowniczych, jest zapotrzebowanie na moc cieplną. Stopień obciążenia systemu ciepłowniczego zależy od warunków pogodowych i mocy zamówionej, wynikającej z energochłonności ogrzewanych obiektów. W artykule, na przykładzie miejskiej sieci ciepłowniczej, przedstawiono wpływ temperatury powietrza zewnętrznego na parametry medium grzewczego, wymaganą moc cieplną źródła oraz sprawność sieci. Analizę przeprowadzono na podstawie danych zebranych z systemu monitoringu dla całego sezonu grzewczego. Wskazano na możliwości poprawy efektywności procesu dostawy ciepła, w wyniku zastosowania technologii informatycznych do prognozowania zapotrzebowania na ciepło i zarządzania siecią w oparciu o dane pogodowe.

Słowa klucze: energetyka cieplna, system ciepłowniczy, zapotrzebowanie na ciepło, efektywność energetyczna, liczba stopniodni grzania

Summary

The centralized heating systems, an important factor in the delivery process heat demand for thermal power. The degree of load heating system depends on weather conditions and ordered power resulting from the energy consumption of heated objects. In the article on the example of a district heating network shows the influence of the outside air temperature on the medium temperature, the required thermal power sources and the efficiency of the network. The analysis was based on data collected from the monitoring system for the entire heating season. The possibilities of improving the efficiency of heat supply as a result of the use of information technology for forecasting the demand for heat and network management based on weather data.

Key words: thermal energetic, district heating system, heat demand, energy efficiency, heating degree days

Bibliografia

1. Dopke J., *Zużycie energii do ogrzewania budynków w 34 miastach Polski w sezonie ogrzewczym 2013/2014 r.*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2014, nr 45/10
2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z 25 października 2012 roku w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE (Dz.U. UE L 315 z 14.11.2012 r.)
3. Foit H., Świerc W., *Wyznaczanie wymaganej mocy źródła ciepła na potrzeby diagnostyki cieplnej budynku mieszkalnego*, „Rynek Energii" 2012, nr 5(102)
4. Hopkowicz M., Pytel K., *Prognozowanie zapotrzebowania na moc w miejskim systemie ciepłowniczym z wykorzystaniem prognozy meteorologicznej*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2015, nr 46/6
5. *http://www.schneider-electric.com/en/product-range-download/61418-ter-mis-software, TSB-TemperatureOptimization-eng.pdf* (pobrano 17.07. 2016 r.)
6. *http://www.ien.gda.pl/pl/page/709, raport_finalny.pdf* (pobrano 27.07. 2016 r.)
7. Instytut Energetyki Oddział Gdańsk, Kalkulator energetyczny dla jednostek samorządu terytorialnego, raport nr Ew. OG/259/15. Gdańsk 2015
8. Jachura A., Sekret R., *Efektywność energetyczna miejskiego systemu ciepłowniczego*, „Instal" 2013, nr 7-8
9. Jachura A., Sekret R., *Poprawa wykorzystania mocy cieplnej miejskiego systemu ciepłowniczego poprzez uwzględnienie krótkookresowego zapotrzebowania na ciepło*, „Rynek Energii" 2015, nr 5(120)
10. Komosa M.K., Kiedrowski W.I., *Inteligentne systemy informatyczne dla koncesjowanego sektora ciepłowniczego*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2013, nr 44/2
11. Kuczyński T., Ziembicki P., *Inteligentne systemy ciepłownicze zintegrowane w ramach smart grids*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2012, nr 43/9
12. Leśko M., *Smart District Heating – optymalizacja pracy systemów ciepłowniczych*, „Instal" 2014, nr 12
13. Ludynia A., *Zastosowanie smart grids w ciepłownictwie*, „Polityka energetyczna" 2014, Tom 17, Zeszyt 1
14. Matusiak B.E., *Efektywność energetyczna na rynku ciepła*, „Rynek Energii" 2014, nr 1(110)
15. Mróz T.M., *Innowacyjne ciepłownictwo – możliwości i ograniczenia*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2012, nr 10
16. Nantka M. B, *Ogrzewnictwo i ciepłownictwo*, T. 1. Gliwice 2013
17. Niedziółka D., *Rynek energii w Polsce*. Warszawa 2010
18. *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*. Załącznik do obwieszczenia Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2009 roku (MP z 2010, nr 2, poz.11)

19. Rak A., *Wybrane aspekty techniczne poprawy efektywności energetycznej miejskiego systemu ciepłowniczego* (w:) J. Maj, P. Kwiatkiewicz, R. Szczerbowski (red.), *Między ewolucją a rewolucją – w poszukiwaniu strategii energetycznej*, Poznań 2015
20. Regulski B., *Efektywny system ciepłowniczy – klucz do sukcesu ciepłownictwa systemowego*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2015, nr 46/10
21. Regulski B., Ziembicki P., Bernasiński J., Węglarz A., *Rynek ciepłowniczy w Polsce*, „Rynek Energii" 2014, nr 4(113)
22. Strzałka A., *Wpływ parametrów eksploatacyjnych na efektywność sieci grzewczej osiedla Scharnhauser Park*, rozprawa doktorska. Opole 2013
23. Szkarowski A., Łatowski L., *Ciepłownictwo*. Warszawa 2012
24. Szymczak J., Regulski B., *Najwyższy czas na odpowiednie uznanie pozycji ciepłownictwa w Polityce Energetycznej Polski*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2014, nr 2
25. Turski M., Sekret R., *Konieczność reorganizacji systemów ciepłowniczych w świetle zmian zachodzących w sektorze budowlano-instalacyjnym*, „Rynek Energii" 2015, nr 4(119)
26. URE, *Energetyka cieplna w liczbach – 2008*. Warszawa 2009
27. URE, *Energetyka cieplna w liczbach – 2014*. Warszawa 2015
28. Węglarz A., *Rola systemów ciepłowniczych w procesie efektywnego wykorzystania energii w Polsce*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2012, nr 3
29. Wojdyga K., *Zapotrzebowanie na moc cieplną w systemach ciepłowniczych – będzie rosło czy malało?*, „Nowa Energia" 2013, nr 1
30. Żmijewski K., *Perspektywy Ciepłownictwa*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 2011, nr 42/10

Waldemar DOŁĘGA
Politechnika Wrocławska
Wydział Elektryczny
Katedra Energoelektryki

PRZEGLĄD I ANALIZA METODOLOGII PLANOWANIA ROZWOJU INFRASTRUKTURY SIECIOWEJ

1. Wprowadzenie

Sieciowa infrastruktura elektroenergetyczna obejmuje: sieć przesyłową, sieć 110 kV oraz sieć rozdzielczą SN i nn. Stanowi złożony organizm dynamiczny, podlegający procesowi ciągłej rozbudowy, pozbawionej ram czasowych. Rozwój jej jest rezultatem postępu technicznego i uwarunkowań zewnętrznych funkcjonowania sektora elektroenergetycznego. Stanowi proces, w trakcie którego zmianie ulega spora grupa elementów i parametrów go opisujących.

Rozwój sieci następuje właściwie przez dodawanie nowych obiektów lub modernizowanie już istniejących (np. zwiększenie przekroju przewodów, przeizolowanie, itp.). Następnie obiekty te są eksploatowane, w wyniku czego starzeją się ekonomicznie i technicznie, ulegając przy tym często procesowi „degradacji funkcjonalnej". Zużyte obiekty są wycofywane lub modernizowane, natomiast struktura sieciowa jako całość trwa i rozwija się bez ograniczeń.

Jako ilustracja tego procesu może służyć rozwój krajowej sieci przesyłowej, który ma charakter okresowy i koniunkturalny. Można wyróżnić pięć jego charakterystycznych okresów. Pierwszy obejmuje lata 50. i 60. XX wieku i wiąże się z szybkim uprzemysłowieniem kraju i elektryfikacją wsi. Jest to okres dynamicznego rozwoju sieci 110 kV. Drugi obejmuje lata 70. XX wieku. Jest to okres intensywnego rozwoju sieci 220 kV. Trzeci miał miejsce na przełomie lat 70. i 80. XX wieku i wiązał się z dynamicznym rozwojem sieci 400 kV. Czwarty obejmuje lata 1990-2005 i wiązał się z prawie zupełnym zastojem w zakresie rozbudowy sieci. Piąty trwa obecnie i wiąże się z intensywną modernizacją i rozbudową sieci przesyłowej.

Klasycznym przykładem procesu „degradacji funkcjonalnej" jest sieć 110 kV, która utraciła swoją funkcję systemowej sieci przesyłowej i jest obecnie siecią wstępnego rozdziału. W wielu regionach kraju pełni jednak nadal funkcje przesyłowe.

2. Planowanie rozwoju systemu elektroenergetycznego

Infrastruktura elektroenergetyczna w obszarze przesyłu, dystrybucji i wytwarzania energii elektrycznej tworzy system elektroenergetyczny (SE). W związku z tym, rozwój infrastruktury sieciowej stanowi część ogólniejszego procesu, jakim jest rozwój systemu elektroenergetycznego. Model planistyczny powinien więc równocześnie uwzględniać rozwój wszystkich składowych systemu.

Rozwój SE nie odbywa się w próżni i charakteryzuje się równoległym występowaniem dwóch procesów, w trakcie których:

- nowe obiekty, wprowadzone do eksploatacji w każdym roku, służą do pokrywania sumarycznego w skali kraju zapotrzebowania na energię elektryczną oraz pokrywania ubytków mocy będących rezultatem

wycofywania obiektów zużytych (nowe obiekty wpływają na niezawodność pracy całego układu),

- te same nowe obiekty oddziałują na czynne i sprawne elementy podsystemów w ten sposób, że przyjmują na siebie część przesyłanej energii elektrycznej (oznacza to pojawienie się tzw. systemowego efektu wspierania, który powoduje obniżenie kosztów zmiennych w całym systemie).

Oznacza to, że wszystkie składowe systemu elektroenergetycznego tworzą struktury powiązane ze sobą funkcjonalnie, ukierunkowane na realizację wspólnego celu. Istnieje więc ścisły związek pomiędzy parametrami ekonomicznymi i technicznymi poszczególnych części składowych SE. Przykładowo, analizując poziom kosztów inwestycyjnych sieci przesyłowej można zauważyć, że ich wielkość jest uzależniona m.in. od: lokalizacji elektrowni systemowych, mocy zainstalowanej w tych elektrowniach, lokalizacji źródeł generacji rozproszonej, lokalizacji obszarów o największym poborze energii elektrycznej i struktury sieci 110 kV.

W związku z tym, planowanie rozwoju SE powinno być oparte na optymalizacji kompleksowej możliwie największej liczby powiązanych ze sobą struktur sieciowych, uwzględniających wzajemne zależności między nimi i tworzących wspólną funkcję celu. Takie zadanie, aczkolwiek teoretycznie możliwe do rozwiązania, to z racji rozmiaru i złożoności problemu oraz konieczności jego rozpatrywania w uwarunkowaniach dynamicznych jest bardzo trudne z praktycznego punktu widzenia i wymaga zastosowania znacznych uproszczeń poddających w wątpliwość praktyczną przydatność uzyskanych w taki sposób wyników.

Planowanie rozwoju SE w aspekcie rynkowym oznacza określenie w taki sposób jego struktury, aby zapewnić użytkownikom (wytwórcom i odbiorcom energii elektrycznej) możliwie najmniejsze koszty dostępu do sieci elektroenergetycznej i korzystania z usług przesyłowych, przy spełnieniu wymagań jakościowych i technicznych warunków prawidłowej pracy SE.[1]

Planowanie rozwoju SE jest procesem bardzo złożonym, bowiem zależy od bardzo wielu różnorodnych, zdeterminowanych i niezdeterminowanych czynników natury: technicznej, ekonomicznej, prawnej, politycznej i społecznej. Dla typowego procesu planowania, czynniki te są następujące:

- struktura istniejącego systemu i stopień dekapitalizacji składników majątku,
- struktura układu wytwórczego w przyszłości,
- prognoza zapotrzebowania na moc,
- prognoza wytwarzania energii elektrycznej,
- polityka energetyczna,
- ograniczenia regulacyjne,
- bodźce rządowe,
- ograniczenia ekonomiczne i finansowe,
- ograniczenia związane z ochroną środowiska,
- ograniczenia polityczne i społeczne,

[1] F. Buchta, *Optymalizacja strategii rozwoju sieci przesyłowej w warunkach rynkowych z uwzględnieniem ryzyka,* „Elektryka” nr 1712, Gliwice 2006

- inne zewnętrzne czynniki.[2]

Dodatkowo pojawia się istotna trudność, związana z faktem ścisłego powiązania danych wejściowych i wyników obliczeń między procesami planowania poszczególnych składowych SE, co znacznie komplikuje procesy obliczeniowe. Inną niedogodnością jest zróżnicowanie parametrów ekonomicznych, opisujących elementy składowych systemu. Parametry te znacznie się różnią między sobą, co może być przyczyną uzyskania błędnych wyników.

Przedstawione trudności oraz szeroka lista problemów związanych z modelowaniem procesu planowania rozwoju SE jako całości powodują, że ten sposób planowania nie znalazł większego uznania.

Powszechnie przyjmuje się, że najlepszym rozwiązaniem tego problemu jest dekompozycja tego modelu i zastosowanie odrębnych modeli pianistycznych dla poszczególnych składowych SE.[3]

Planowanie rozwoju systemu elektroenergetycznego składa się z trzech części:

- planowania rozwoju układu wytwórczego,
- planowania rozwoju sieciowej infrastruktury przesyłowej,
- planowania rozwoju sieciowej infrastruktury dystrybucyjnej średniego i niskiego napięcia.

Przy czym, z racji roli i zadania, jakie sieć przesyłowa spełnia w SE, zagadnienie planowania rozwoju sieciowej infrastruktury przesyłowej ma kluczowe znaczenie w procesie planowania rozwoju systemu elektroenergetycznego. Planowanie to dotyczy sieci funkcjonalnie przesyłowej, w której występuje zależność przepływów energii od programów pracy źródeł wytwórczych. W warunkach krajowych jest to obok sieci NN również koordynowana sieć 110 kV. W przypadku linii 110 kV, tylko niewielka ich liczba nie wykazuje znaczącej zależności od zmian generacji mocy w jednostkach wytwórczych, przyłączonych do sieci NN.

Natomiast planowanie rozwoju sieciowej infrastruktury dystrybucyjnej obejmuje sieć funkcjonalnie dystrybucyjną, w której przepływy energii są kształtowane przez urządzenia i instalacje odbiorców energii elektrycznej. W warunkach krajowych jest to głównie sieć SN i nn. Sieć 110 kV pełni zarówno funkcje dystrybucyjne, jak i przesyłowe.

Planowanie rozwoju sieci przesyłowej i układu wytwórczego jest czasami realizowane jednocześnie. W praktyce stosuje się bowiem metody jednoczesnego planowania tych dwóch elementów składowych SE. Jest to wówczas planowanie zintegrowane.

Planowanie rozwoju sieci przesyłowej i sieci dystrybucyjnej jest realizowane oddzielnie. Elementami łączącymi oba procesy planistyczne są jedynie stacje 110 kV/SN, których wielkość powinna wynikać z potrzeb sieci dystrybucyjnej, a sposób zasilania powinien być optymalizowany w ramach planowania rozwoju sieci przesyłowej.[4]

---

[2] W. Dołęga, *Planowanie rozwoju sieciowej infrastruktury elektroenergetycznej w aspekcie bezpieczeństwa dostaw energii i bezpieczeństwa ekologicznego*. Wrocław 2013

[3] Ibidem

[4] F. Buchta, *Optymalizacja strategii…,* op. cit.

3. Planowanie rozwoju infrastruktury sieciowej

Planowanie rozwoju infrastruktury sieciowej jest złożonym procesem, mającym na celu określenie optymalnego planu rozbudowy infrastruktury w całym rozważanym okresie, w oparciu o analizę techniczno-ekonomiczną. Plan taki wskazuje, jakie nowe elementy (linie elektroenergetyczne, stacje elektroenergetyczne) należy wybudować, lub jakie istniejące zmodernizować, kiedy i gdzie, aby sieć spełniała wymagania techniczne. Jest to więc zestawienie zakresu rzeczowego inwestycji i modernizacji obiektów sieciowych z określeniem harmonogramu przekazania ich do eksploatacji.

Planowanie rozwoju infrastruktury sieciowej jest realizowane przez operatorów systemów elektroenergetycznych i stanowi podstawowe zadanie planistyczne.[5] Jego rozwiązania rzutują na pozostałe działania planistyczne, obejmujące: planowanie ruchu i planowanie eksploatacji.

Podstawą tego procesu są: wszechstronna analiza istniejącego zużycia energii i mocy, analiza stanu istniejących źródeł mocy i ich pracy, prognoza zapotrzebowania na moc i energię, jego rejonizacja, założone scenariusze wymiany mocy i energii z zagranicą, rozmieszczenie i harmonogram budowy nowych źródeł mocy oraz ocena stanu istniejącego sieci i możliwość jej wykorzystania w przyszłości.

Realizacja procesu planowania polega na wyborze najbardziej ekonomicznego i niezawodnego planu, uwzględniającego przyszły wzrost zapotrzebowania na energię i pozwalającego na wyprowadzenie mocy z przyszłych źródeł wytwórczych. Plan taki powinien odznaczać się minimalnymi kosztami i maksymalną niezawodnością, przy jednoczesnym spełnieniu wielu ograniczeń natury technicznej, ekonomicznej, środowiskowej, prawnej i społecznej.[6]

Problem planowania jest trudnym i złożonym problemem projektowym. Wynika to z faktu, że koszty i ograniczenia nie mogą być łatwo określone, odznaczają się dużą zmiennością w czasie i są trudne do przewidzenia.

Planowanie rozwoju infrastruktury sieciowej obejmuje dwa zadania, które są od siebie zależne i muszą być równocześnie rozwiązane:

- określenie sposobu wzmocnienia istniejącej infrastruktury sieciowej,
- określenie sposobu przyłączenia nowych stacji elektroenergetycznych.

W zakresie problematyki planowania rozwoju infrastruktury sieciowej mieści się również zagadnienie planowania rozwoju stacji elektroenergetycznych. W jego ramach określa się przyszłe parametry opisujące stacje elektroenergetyczne, takie jak: lokalizacja nowych stacji elektroenergetycznych, wyznaczanie struktury wewnętrznej stacji i prognozowanie obciążeń. Jest to zagadnienie złożone i obszerne.

Planowanie rozwoju infrastruktury ma na celu określenie takiego sposobu rozwoju, aby w rozważanym okresie spełnić kryteria techniczne i osiągnąć najlepsze efekty ekonomiczne. Oznacza to wybór najlepszej strategii rozwoju sieci wg określonego kryterium optymalizacyjnego. Najczęściej stosowanym kryterium wyboru optymalnej strategii rozwoju są całkowite koszty utrzymania sieci

---

[5] W. Dołęga, *Planowanie rozwoju infrastruktury elektroenergetycznej w obecnych uwarunkowaniach administracyjno-prawnych.* „Polityka Energetyczna” 2012, zeszyt 3, s. 51-64

[6] W. Dołęga, *Planowanie rozwoju sieciowej*…, op. cit.

w rozpatrywanym okresie. Składają się one z kosztów stałych i zmiennych. Zawierają trzy, a w niektórych metodach cztery lub pięć składników kosztów. Należą do nich koszty inwestycyjne, koszty eksploatacyjne stałe i zmienne (koszty strat mocy i energii) i niekiedy koszty nieciągłości zasilania oraz koszty ograniczeń przesyłowych. W wielu metodach decydujący głos, przy wyborze strategii, należy ostatecznie do planisty (eksperta), który, obok aspektu ekonomicznego, może brać pod uwagę inne trudno wymierne cechy, jak np. elastyczność w eksploatacji i rozbudowie, pewność dostawy energii, uwarunkowania zewnętrzne itp.

Przeprowadzenie rachunku optymalizacji wymaga nakreślenia granic czasowych, w ramach których wiedzę o przyszłości można uznać za dostateczną do podejmowania decyzji. Okres ten nazywa się horyzontem czasowym i jest równoznaczny z okresem optymalizacji.

Planowanie odbywa się w warunkach znacznej niepewności i zmienności założeń wejściowych oraz niepełnej określoności danych wejściowych. W związku z tym, powinno z jednej strony być procesem ciągłym, polegającym na okresowym powtarzaniu opracowań koncepcyjno-programowych o różnym stopniu szczegółowości i różnych horyzontach czasowych prognozy i ciągłej ich aktualizacji, natomiast z drugiej strony planowanie powinno uwzględniać różne scenariusze warunków rozwoju infrastruktury sieciowej.

Konieczność aktualizacji wynika, w miarę upływu czasu, ze zmian danych wejściowych. Efektem tego jest utrata aktualności planu i potrzeba jego weryfikacji. Najczęściej stosowanym sposobem uniknięcia tego stanu jest zastosowanie tzw. kroczącego trybu planowania. Oznacza to, że plany wykonane dla pierwszego etapu rozbudowy przekazuje się do realizacji. Po upływie pewnego okresu (okresu aktualizacji) – ponownie przeprowadza się proces planowania rozwoju, wykorzystując uaktualnione zbiory danych wejściowych.

Planowanie można podzielić na:

- studia perspektywiczne o horyzoncie czasowym 25-30 lat,
- koncepcje rozwoju o horyzoncie czasowym 15-20 lat,
- programy rozwoju o horyzoncie czasowym 7-10 lat.

Studium perspektywiczne rozwoju infrastruktury sieciowej stanowi część kompleksowego opracowania dotyczącego perspektyw jej rozwoju. Przedmiotem analiz i prognoz zawartych w tym opracowaniu są podstawowe problemy rozwoju infrastruktury sieciowej.

Koncepcja rozwoju infrastruktury sieciowej nawiązuje do rozpatrzonego, zaakceptowanego studium perspektywicznego i zawiera szczegółowe wariantowe analizy rozbudowy infrastruktury sieciowej dla co najmniej dwóch okresów pięcioletnich na tle rozbudowy w perspektywie 20 lat. Porównywane rozwiązania zawierają szczegółową analizę techniczno-ekonomiczną rozbudowy infrastruktury sieciowej.

Program rozwoju infrastruktury sieciowej nawiązuje do rozpatrzonej i zaakceptowanej koncepcji rozwoju i zawiera szczegółowe analizy techniczne, uwzględniające dodatkowo uściślenie założeń bilansowych oraz możliwości realizacyjne. Wynik tego opracowania stanowi wykaz obiektów sieciowych, przeznaczonych do realizacji z podaniem zakresu, terminów i kosztów budowy.

Scenariusze warunków rozwoju infrastruktury sieciowej umożliwiają uwzględnienie niepewności danych wejściowych. Scenariusz warunków rozwoju jest, tworzonym na podstawie prognozowanych wartości wskaźników

makroekonomicznych kraju i wskaźników postępu technicznego, scenariuszem globalnym, obejmującym trzy scenariusze szczegółowe: scenariusz zapotrzebowania, scenariusz wytwarzania i scenariusz wymiany międzysystemowej.[7]

W literaturze zagranicznej, w stosunku do planowania rozwoju infrastruktury sieciowej, stosuje się podział obejmujący dwa szczeble planowania:

- planowanie długookresowe o horyzoncie czasowym 15-20 lat,
- planowanie krótkoterminowe o horyzoncie czasowym do 5-ciu lat.

W kraju wprowadza się dodatkowo szczebel pośredni między tymi stopniami – planowanie średnioterminowe o horyzoncie czasowym 5-15 lat. Średnioterminowe metody planowania są uniwersalne, mogą być zastosowane zarówno do opracowania koncepcji rozwoju jak i programu rozwoju.

Planowanie krótkoterminowe musi się opierać i nawiązywać do długoterminowej koncepcji rozwoju infrastruktury sieciowej. Koncepcja ta, zawarta w ramach studium perspektywicznego, określa perspektywy rozwoju infrastruktury sieciowej i precyzuje podstawowe jej zadania.

W niektórych krajach Unii Europejskiej, obok planowania długoterminowego, stosowane jest planowanie dodatkowe, tzw. planowanie poszerzone. W tym przypadku, w ramach planowania długoterminowego, określa się modelową strukturę sieci elektroenergetycznej, która jest podstawą dalszego, poszerzonego planowania, w którym precyzowane są rzeczywiste rozwiązania strukturalne.

Planowanie jest procesem wieloetapowym, wymagającym wszechstronnych obliczeń i rozważań. Okres planowania dzieli się na mniejsze przedziały czasowe, zwane etapami. Przy podziale musi być uwzględniona z jednej strony spójność procesu planowania, a z drugiej zgodność planów wykonywanych dla różnych okresów. Plany o krótszym horyzoncie czasowym muszą nawiązywać i być zgodne z bardziej ogólnymi planami rozwoju, obejmującymi dłuższy horyzont czasowy prognozy.

Efektem procesu planowania rozwoju infrastruktury sieciowej powinny być wariantowe analizy (opcje) rozbudowy sieci, zawierające szczegółową analizę techniczno-ekonomiczną rozbudowy sieci.

4. Ogólna metodologia rozwiązania procesu planowania rozwoju infrastruktury sieciowej

Planowanie rozwoju może być realizowane w sposób statyczny lub dynamiczny, w warunkach monopolistycznego lub zdecentralizowanego funkcjonowania sektora elektroenergetycznego, przy zastosowaniu różnych podejść: deterministycznego, probabilistycznego, wstecznego i opcyjnego.[8]

Planowanie rozwoju może być rozwiązane za pośrednictwem trzech grup metod:

- metod optymalizacyjnych,
- metod heurystycznych,
- metod metaheurystycznych.

Pierwsza grupa metod dotyczy optymalizacji matematycznej. W jej ramach poszukuje się ekstremum założonej funkcji celu, z uwzględnieniem ograniczeń nałożonych na rozwiązania dopuszczalne. Wykorzystuje się w tym celu

[7] F. Buchta, *Optymalizacja strategii*…, op. cit.
[8] W. Dołęga, *Planowanie rozwoju sieciowej*…, op. cit.

odpowiednią procedurę obliczeniową, rozwiązującą sformułowane zadanie matematyczne. Do rozwiązania zadania optymalizacji stosuje się m.in.: metody programowania liniowego i nieliniowego, metody programowania dynamicznego, metody dekompozycji hierarchicznej oraz metody mieszane, przy czym metody mieszane pozwalają na połączenie pozostałych metod.

Do najczęściej stosowanych metod planowania rozwoju infrastruktury sieciowej należy metoda wariantowa, składająca się z dwóch części: statycznej i dynamicznej. Kryterium optymalizacji najczęściej stanowią koszty całkowite rozpatrywanej sieci. W sposób statyczny dokonywany jest wybór wariantów struktury sieci w danym etapie, spośród wariantów struktury spełniających warunki techniczne w stanach normalnej i poawaryjnej pracy, odznaczających się minimalnymi całkowitymi kosztami utrzymania sieci. W sposób dynamiczny dokonywany jest wybór strategii (ciągu wariantów struktury sieci wziętych po jednym z każdego etapu) odznaczającej się minimalnymi całkowitymi kosztami rocznymi sieci w całym rozważanym okresie planowania.

Najistotniejsza w metodzie wariantowej jest część statyczna, w której dokonywany jest wybór optymalnego wariantu struktury sieci w danym etapie. Proces optymalizacji polega na minimalizacji funkcji rocznych kosztów całkowitych sieci w danym etapie, składających się z kosztów stałych i zmiennych (kosztów strat mocy i energii). Dokonywany jest w obszarze rozwiązań dopuszczalnych, określonym przez warunki brzegowe.

Warunki brzegowe są określone przez następujące wymagania techniczne:

- spełnienie 1-prądowego i 2-napięciowego prawa Kirchhoffa, (wyprowadzenie mocy wytwarzanej i dostarczenie zapotrzebowanej),
- nieprzekroczenie wartości dopuszczalnych mocy (zdolności przesyłowych) dla poszczególnych elementów sieci,
- nieprzekroczenie dopuszczalnych granic napięcia w węzłach,
- zapewnienie wymaganego stopnia niezawodności (dla węzłów odbiorczych jest to stopień niezawodności zasilania od strony sieci), (dla węzłów zasilających jest to stopień niezawodności wyprowadzenia mocy z tych węzłów do sieci),
- zachowanie spójności sieci (typu układu),
- zapewnienie wymaganego poziomu mocy zwarciowej w poszczególnych węzłach,
- zachowanie stabilności systemu.[9]

Warunki te muszą być spełnione w stanach normalnej i poawaryjnej pracy.

Wybór wariantów w danym etapie realizowany jest za pośrednictwem algorytmów opartych o programowanie liniowe lub nieliniowe. Przy wyborze strategii stosuje się przeważnie programowanie dynamiczne, oparte na zasadzie optymalności Bellmana.

Metody optymalizacyjne wymagają zastosowania znacznych uproszczeń, bowiem w procesie poszukiwania ekstremum funkcji celu dla rozległej sieci elektroenergetycznej, nie jest możliwe dokładne odwzorowanie wszystkich ograniczeń.

[9] Ibidem

Stosowane w metodach planowania uproszczenia polegają m.in na:

- zastosowaniu w analizie technicznej stałoprądowego rozpływu mocy (pominięcie strat mocy),
- stosowaniu w analizie technicznej w stanach awaryjnych tzw. kryterium n-1 (pominięcie możliwości jednoczesnego wyłączenia więcej niż jednego elementu SE),
- uproszczonym określaniu zapotrzebowania mocy (np. pominięcie zmian w poszczególnych węzłach w kolejnych latach okresu planowania),
- nieuwzględnianiu czynników ryzyka, wynikających z uwarunkowań zewnętrznych funkcjonowania sektora elektroenergetycznego (np. proces przekształceń w sektorze elektroenergetycznym),
- stosowaniu optymalizacji statycznej (brak możliwości określenia czasu wprowadzenia do eksploatacji nowego obiektu sieciowego),
- uwzględnianiu w procesie planowania jedynie nowych inwestycji sieciowych (brak możliwości analizy opcji związanych z modernizacją istniejących elementów sieciowych),
- stosowaniu uproszczonej funkcji celu (np. bez kosztów eksploatacyjnych czy kosztów nieciągłości zasilania),
- określania w sposób uproszczony kosztu niedostarczonej energii (np. jednakowa wartość kosztu we wszystkich węzłach SE).[10]

Druga grupa metod opiera się na porównywaniu różnych możliwych wariantów struktury sieci wg zadanych kryteriów. Sprowadza się to do przeszukiwania wygenerowanych, zgodnie z przyjętą logiką, stanów opisujących możliwy rozwój infrastruktury sieciowej. Proces ten odbywa się do momentu, aż algorytm stosowany do generacji nowych stanów sieci nie będzie zdolny do wygenerowania lepszego od już znalezionego stanu opisującego możliwy rozwój sieci. Przy ocenie wygenerowanych stanów sieci są uwzględniane kryteria przystosowania danego stanu. Kryteria te mogą obejmować: koszty inwestycyjne i eksploatacyjne związane z danym stanem, możliwość zaistnienia ograniczeń sieciowych lub przeciążeń poszczególnych elementów sieci, ilość niedostarczonej energii odbiorcom końcowym itp.[11]

Zaletą tej grupy metod jest niewielka liczba uproszczeń, co umożliwia dokładniejszą analizę sieci elektroenergetycznej. Ponadto, te metody pozwalają, przy niewielkim nakładzie obliczeń, znaleźć rozwiązanie spełniające założone ograniczenia. Wadę stanowi brak pewności uzyskania optymalnego rezultatu, bowiem uzyskane rozwiązanie jest najlepsze w obrębie rozwiązań analizowanych. Wadę tę można częściowo ograniczyć przez analizę możliwie największej liczby wariantów. Metody heurystyczne mogą w procesie poszukiwania osiągnąć minimum lokalne, co wykorzystuje się często do znalezienia rozwiązania przybliżonego, które jest punktem startu dla metod optymalizacji matematycznej.

Metody modyfikacji konfiguracji sieci lub eliminacji heurystycznej są często stosowane przy generacji i wyborze wariantów struktury sieci w danym etapie. Stosowane są rozwiązania polegające m.in. na eliminacji gałęzi niedociążonych,

---

[10] M. Przygrodzki, *Modelowanie rozwoju sieci elektroenergetycznej współpracującej ze źródłami rozproszonymi.* Gliwice 2011

[11] Ibidem

badaniu przyrostów obciążenia gałęzi w celu wyznaczenia obwodów wymagających wzmocnienia.

W procesie planowania często stosuje się kombinację metod. W praktyce sprowadza się to do wykorzystania metod heurystycznych do znalezienia przybliżonego rozwiązania i następnie zastosowania metod optymalizacji matematycznej, do poszukiwania rozwiązania optymalnego.

W ramach planowania rozwoju infrastruktury sieciowej techniką heurystycznego porównywania wariantów, realizuje się następujące czynności:

- wyznaczenie zbioru wariantów struktur sieci dla każdego etapu rozbudowy,
- wstępne wybranie kilku wariantów, w przybliżeniu spełniających zadane warunki techniczne w stanach normalnej i poawaryjnej pracy,
- sprawdzenie wariantów struktur sieci pod względem niezawodności przesyłu mocy, warunków zwarciowych, stabilności systemu oraz ewentualnej ich korekty,
- obliczenie dla każdego wariantu funkcji celu,
- wyznaczenie strategii rozwoju sieci elektroenergetycznej.

Trzecia grupa metod łączy własności metod optymalizacyjnych i heurystycznych. Jest szczególnie rozwijana w ostatnim okresie. Daje wysokiej jakości rozwiązania dla rozległych systemów, przy stosunkowo krótkim czasie obliczeń. Stosuje się je do rozwiązywania zadań wielokryterialnych. Do grupy tej zalicza się m.in.: systemy ekspertowe, metody logiki rozmytej, metody oparte na teorii gier, metodę symulowanego wyżarzania, metodę wyznaczania tabu i metody wykorzystujące algorytmy genetyczne.

Ważnym i częstym problemem, jaki pojawia się w procesie planowania rozwoju sieci, jest wspominany już wcześniej, niezdeterminowany charakter danych wejściowych, dotyczących parametrów określających przyszłe warunki pracy systemu elektroenergetycznego. Wiąże się to z faktem, że planista (ekspert) nie jest w stanie określić dokładnie, z pewnym wyprzedzeniem czasowym, wielu wielkości opisujących te warunki. Dotyczy to szczególnie prognozy zapotrzebowania mocy i oszacowań kosztów. Niezdeterminowanie i błędy oszacowania zwiększają się wraz ze wzrostem przedziału czasu, na jaki parametry te są określone. Dlatego metody planistyczne powinny być w taki sposób opracowywane, aby z jednej strony była w nich uwzględniona ta cecha danych wejściowych, a z drugiej otrzymane wyniki były poprawne. Można to osiągnąć przez zastosowanie modeli probabilistycznych lub odpowiednich modeli deterministycznych.

Wprawdzie dane wejściowe do obliczeń mają charakter probabilistyczny, to jednak stosowanie modeli probabilistycznych opartych w znacznej mierze na teorii procesów stochastycznych bardzo komplikuje i utrudnia proces planowania. W takiej sytuacji stosuje się często „zabieg" polegający na uwzględnieniu probabilistycznego charakteru danych wejściowych, poprzez wariantowanie analiz. Jest to tzw. podejście scenariuszowe. W praktyce oznacza przeprowadzanie serii deterministycznych obliczeń dla różnych poziomów danych wejściowych, czyli dla zróżnicowanych zbiorów tych danych i analizę czułości, tj. ocenę wpływu zmian wybranych parametrów na wyniki obliczeń.[12]

[12] W. Dołęga, *Planowanie rozwoju sieciowej*…, op. cit.

W procesie planowania rozwoju infrastruktury sieciowej szczególnie ważne są tzw. scenariusze warunków rozwoju, uwzględniające zapotrzebowanie, wytwarzanie i wymianę międzysystemową w poszczególnych latach analizy. W odniesieniu do sieci przesyłowej, scenariusz zapotrzebowania to grafiki obciążeń w węzłach odbiorczych sieci przesyłowej, scenariusz wytwarzania to dostępność jednostek wytwórczych w węzłach sieciowych a scenariusz wymiany międzysystemowej to grafiki przepływu mocy przez poszczególne połączenia międzysystemowe.[13]

Ograniczona doskonałość metod planowania rozwoju infrastruktury sieciowej, jak również wymogi formalno-prawne wskazują, że najbardziej celowe jest użycie dwóch (lub więcej) metod w procesie planowania i porównanie wyników. W warunkach niepewności może to mieć duże znaczenie dla wiarygodności wyboru wariantu rozwoju, w oparciu o zobiektywizowane wartości. Ponadto, konieczne jest pełne wykorzystanie doświadczenia planisty (eksperta) w tym obszarze.

W metodach planowania rozwoju infrastruktury sieciowej ważną rolę odgrywają obliczenia rozpływów mocy. Są podstawowym środkiem do badania przyszłych stanów sieci. Stosowany algorytm rozpływu mocy i komputerowy program rozpływu, będący jego narzędziowym odzwierciedleniem, decyduje o parametrach tej metody (szybkość, prostota itp.).

Istnieje wiele algorytmów umożliwiających rozwiązania zadania rozpływu mocy i ich komputerowych implementacji. Przykładowo, w obliczeniach sieci przesyłowej (wielooczkowej zamkniętej) wykorzystuje się najczęściej algorytmy oparte na metodach: Newtona-Raphsona, Gaussa-Seidla lub rozłącznej Scotta. Obliczenia wykonuje się m.in. w oparciu o programy komputerowe: SRM, PLANS, OeS, PSLF, TPLAN, PSS/E, MUST i PSAPAC. Realizuje się je do momentu uzyskania wiarygodnych informacji o przyszłych poziomach napięcia w węzłach sieci i wartościach mocy gałęziowych. Obliczenia zawsze przeprowadzane są dla pewnej liczby ustalonych warunków, ograniczonej w porównaniu z liczbą stanów, w jakich w przyszłości system może się znajdować. W dotychczasowej praktyce liczba analizowanych wariantów struktur sieci jest stosunkowo mała.

5. Rozwój metodologii planowania infrastruktury sieciowej

Problematyka planowania rozwoju infrastruktury sieciowej jest nierozłącznie związana z istnieniem i rozwojem systemów elektroenergetycznych. Poświęcono jej bardzo wiele prac naukowo-badawczych, zarówno w kraju, jak i za granicą. Sporo z nich nie zostało wprawdzie wdrożonych w sektorze elektroenergetycznym, ale będąc elementem twórczej, naukowej dyskusji, przyczyniło się do intensywnego rozwoju metodologii planowania.

Dotychczasowe prace z zakresu planowania rozwoju infrastruktury sieciowej koncentrowały się na sześciu głównych zagadnieniach:

- udoskonalanie i wprowadzanie efektywnych procedur wykorzystywanych w procesie planowania (np. procedura eliminacji przeciążeń, procedura wyznaczania wariantów struktury sieci itp.),

[13] F. Buchta, *Optymalizacja strategii*…, op. cit.

- opracowanie efektywnych i wiarygodnych metod planowania rozwoju infrastruktury sieciowej (tworzenie nowych modeli, uwzględnianie nowych elementów w procesie planistycznym, zastosowanie nowych technik obliczeniowych itp.),
- opracowanie metod złożonego planowania rozwoju infrastruktury sieciowej i wytwórczej,
- opracowanie systemów wspomagania procesu planowania,
- opracowanie metod planowania w warunkach funkcjonowania rynku energii elektrycznej,
- opracowanie metod planowania, uwzględniających aktualne aspekty procesu planowania (np. proces przekształceń w sektorze elektroenergetycznym, itp.).

W ramach opracowanych metod planowania rozwoju infrastruktury sieciowej zajęto się:

- planowaniem rozwoju sieci przesyłowych,
- planowaniem rozwoju sieci dystrybucyjnych,
- jednoczesnym planowaniem rozwoju sieci przesyłowej i układu wytwórczego,
- jednoczesnym planowaniem rozwoju sieci dystrybucyjnej i generacji rozproszonej.

Rozwijano też metody planowania rozwoju sieci przesyłowej, mogące mieć zastosowanie w planowaniu rozwoju układu wytwórczego.

W metodach planowania rozwoju infrastruktury sieciowej preferowano modele oparte na optymalizacji matematycznej. Stosowano różne jej techniki. Najbardziej popularne to programowanie liniowe i programowanie dynamiczne. Do najczęściej stosowanych metod planowania rozwoju sieci należała metoda wariantowa, składająca się z dwóch części: statycznej (wyznaczanie i wybór wariantów struktury sieci w danym etapie) i dynamicznej (wyznaczanie i wybór strategii rozwoju sieci). Wybór wariantów w danym etapie odbywał się za pośrednictwem algorytmów opartych o modele probabilistyczne lub o metody modyfikacji konfiguracji sieci lub eliminacji heurystycznej. Przy wyborze strategii stosowano głównie programowanie dynamiczne.

Podstawowym kryterium wyboru optymalnej strategii były przeważnie całkowite roczne koszty utrzymania sieci w rozpatrywanym okresie, składające się z kosztów stałych (inwestycyjnych, eksploatacyjnych) i zmiennych (kosztów strat mocy i energii).

Proces optymalizacji polegał na minimalizacji tych kosztów w zbiorze rozwiązań ograniczonych przez spełnienie wymaganych warunków technicznych.

W ostatnim okresie bardzo wiele uwagi poświęcono procesowi planowania w warunkach rynku energii elektrycznej. Podstawowym zadaniem tego procesu jest likwidacja zagrożeń związanych z niezawodnością pracy oraz ograniczenie zdolności przesyłowej sieci, przy spełnieniu kryteriów dotyczących długofalowego bezpieczeństwa elektroenergetycznego.[14] Brak wystarczających zdolności przesyłowych powoduje konieczność utrzymywania generacji wymuszonej, która ogranicza konkurencję na rynku energii elektrycznej i jest przyczyną zwiększenia

[14] J. Popczyk, *Bezpieczeństwo elektroenergetyczne w społeczeństwie postprzemysłowym na przykładzie Polski.* Gliwice 2009

kosztów zakupu energii elektrycznej przez odbiorców końcowych. W związku z tym, w procesie planowania szczególnie ważne jest przeprowadzenie analizy techniczno-ekonomicznej zagrożeń pracy sieci, obejmujących: przekroczenia ograniczeń technicznych oraz brak efektywności ekonomicznej fizycznych realizacji transakcji zawieranych na rynku energii elektrycznej.[15]

Funkcjonowanie SE, w warunkach rynku energii elektrycznej, powoduje poszerzenie zakresu niepewności danych wejściowych, przewartościowanie funkcji realizowanych przez infrastrukturę sieciową oraz silny nacisk na zmniejszenie kosztów zarówno jej budowy jak i eksploatacji.

Procedury planistyczne ukierunkowane są na intensywne wykorzystywanie istniejącego potencjału sieci elektroenergetycznych i efektywne określenie kierunków ich modernizacji lub rozwoju. Dąży się więc z jednej strony do maksymalnego wykorzystania istniejącej sieci, a z drugiej do zwiększenia efektywności ekonomicznej inwestycji. Takie działania są szczególnie ważne w kontekście utrudnień i barier formalno-prawnych w obszarze rozwoju infrastruktury sieciowej.[16]

W warunkach rynkowych, głównym ekonomicznym uzasadnieniem podjęcia inwestycji lub modernizacji infrastruktury sieciowej jest zmniejszenie kosztów ograniczeń przesyłowych, uzyskane w wyniku zwiększenia zdolności przesyłowej sieci. Wyznaczenia kosztów ograniczeń przesyłowych dokonuje się w oparciu o optymalizację rozpływu mocy za pomocą metody OPF (*Optimal Power Flow*).[17]

Wnioski

Pomimo wielu prac z zakresu planowania rozwoju infrastruktury sieciowej, nie powstała dotychczas praca, która w pełni spełniałaby wszystkie wymagania planisty (eksperta) i uwzględniała wszystkie uwarunkowania procesu planistycznego. Złożoność i wieloaspektowość problemu planowania w rzeczywistym systemie elektroenergetycznym, jak również wysokie wymagania osób bezpośrednio z nim związanych, sprawiają, że perspektywa stworzenia systemu akceptowalnego przez planistów jest odległa.

Przed gronem inżynierów i naukowców, zajmującym się tym zagadnieniem, czeka wiele trudnych problemów, poszukiwanie odpowiedzi na wiele fundamentalnych pytań, znalezienie „złotych środków" w sytuacjach konfliktowych i wreszcie ustosunkowanie się do aktualnych w danym okresie problemów planowania, wynikającego z ciągłych przemian w elektroenergetyce na świecie.

Analiza literatury z zakresu planowania rozwoju infrastruktury sieciowej jednoznacznie wskazuje kierunek prac na najbliższą przyszłość. Cały wysiłek osób zajmujących się problemem planowania rozwoju infrastruktury sieciowej powinien zmierzać w kierunku opracowania metody, która będzie odznaczała się: uwzględnieniem niepewności i zmienności danych wejściowych, bardzo dużą dokładnością i wiarygodnością wyników, uzyskaniem jednoznacznego, optymalnego rozwiązania, prostotą algorytmów, zastosowaniem efektywnych procedur obliczeniowych, powodujących przyśpieszenie obliczeń, możliwością pełnej automatyzacji obliczeń, doskonałą systemową implementacją komputerową

[15] W. Dołęga W.: *Planowanie rozwoju sieciowej*…, op. cit.
[16] W. Dołęga, *Utrudnienia i bariery formalno-prawne rozbudowy i modernizacji sieciowej infrastruktury elektroenergetycznej.* „Polityka Energetyczna" 2011, zeszyt 2, s. 51-64
[17] W. Dołęga, *Planowanie rozwoju sieciowej*…, op. cit.

(pakiet programów komputerowych), uwzględnieniem warunków rynku energii elektrycznej oraz aktualnością rozwiązań w odniesieniu do procesów zachodzących w systemie elektroenergetycznym.

Streszczenie

W artykule przedstawiono wybrane aspekty planowania rozwoju sieciowej infrastruktury elektroenergetycznej. Przeanalizowano procesy planowania rozwoju systemu elektroenergetycznego i planowania rozwoju infrastruktury sieciowej. Przedstawiono, w odniesieniu do infrastruktury sieciowej, ogólną metodologię planowania rozwoju tej infrastruktury i przedstawiono jej rozwój na przestrzeni ostatnich lat.

Słowa klucze: infrastruktura sieciowa, rozwój, planowanie

Summary

In this paper, selected aspects of electric power network infrastructure expansion planning are shown. This paper examines processes: power system expansion planning and power network infrastructure expansion planning. For electric power network infrastructure, general methodology of planning and its development over the last years are presented.

Key words: Network infrastructure, development, planning

Bibliografia

1. Buchta F., *Optymalizacja strategii rozwoju sieci przesyłowej w warunkach rynkowych z uwzględnieniem ryzyka*. Monografia. ZN Politechniki Śląskiej, Elektryka nr 1712, Gliwice 2006
2. Dołęga W., *Planowanie rozwoju sieciowej infrastruktury elektroenergetycznej w aspekcie bezpieczeństwa dostaw energii i bezpieczeństwa ekologicznego*. Wrocław 2013
3. Dołęga W., *Planowanie rozwoju infrastruktury elektroenergetycznej w obecnych uwarunkowaniach administracyjno-prawnych*. „Polityka Energetyczna" 2012, zeszyt 3
4. Dołęga W., *Utrudnienia i bariery formalno-prawne rozbudowy i modernizacji sieciowej infrastruktury elektroenergetycznej.* „Polityka Energetyczna" 2011, zeszyt 2
5. Popczyk J., *Bezpieczeństwo elektroenergetyczne w społeczeństwie postprzemysłowym na przykładzie Polski.* Gliwice 2009
6. Przygrodzki M., *Modelowanie rozwoju sieci elektroenergetycznej współpracującej ze źródłami rozproszonymi*. Gliwice 2011

Piotr KWIATKIEWICZ
Wojskowa Akademia Techniczna

ZAOPATRZENIE W ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ W WARUNKACH POLOWYCH (POZA SIECIĄ ELEKTROENERGETYCZNĄ) – PRZEGLĄD GENERATORÓW PRĄDOTWÓRCZYCH I ANALIZA MOŻLIWOŚCI ICH ZASTOSOWANIA

Wprowadzenie

Energia elektryczna jest paliwem przyszłości. Śledząc rozwój nowych technologii, nie sposób wręcz znaleźć alternatywne rozwiązania, które mogłyby mieć masowe zastosowanie. Podstawowym problemem pozostaje źródło, z którego będzie ona wytwarzana. Pytanie to samo w sobie nie jest wprawdzie nowe. Zadawano je od czasów T.A. Edisona. Nigdy też nie przestało być aktualne i absorbować uwagi badaczy wielu dyscyplin wiedzy – tak z zakresu nauk społecznych, jak i technicznych. Kontekst, w jakim pada obecnie, nadaje mu zgoła odmienne znaczenie. Dotyczy bowiem nie produkcji jednego z nośników, lecz potencjalnie jedynego nośnika. Trudność w udzieleniu odpowiedzi w znaczącej mierze determinowana jest znaczeniem i skalą problemu oraz koniecznością przypisania jej komercyjnego charakteru. Wyjąwszy czynnik polityczny, najpoważniejszą przeszkodę w niniejszym przypadku stanowią jednak istniejące rozwiązania infrastrukturalne. To one bowiem określają warunki, w których energia elektryczna ma być wytwarzana i przekazywana dalej.

Założenia

Starając się wypracować możliwie najszerszą perspektywę poszukiwań badawczych dla niniejszych rozważań, przyjęto model rozwiązania, w którym obiekt czy grupa obiektów nie jest połączona w żaden sposób z siecią zewnętrzną. Stanowi on autonomiczny system, którego sens funkcjonowania nie jest uwarunkowany rachunkiem ekonomicznym. Jego utylitaryzm jest determinowany potrzebą chwili, a co za tym idzie, ma zaspokajać doraźną konieczność. Ponadto jest predestynowany do ograniczonego w czasie użytkowania, a więc i jego praca nie może być uwarunkowana trwałością usytuowania. Nie oznacza to bynajmniej wymogu mobilności, lecz co najwyżej zdolność do zainstalowania w wybranej lokalizacji na tak długo, jak to jest konieczne w zaistniałej sytuacji. Warunki takie w dużym uproszczeniu można porównać czy wręcz określić mianem polowych.

Przyjęcie takich założeń pozwala nadać podjętym tu rozważaniom utylitarny charakter. Ich przedmiot może być bowiem utożsamiany z modelami rozwiązań nadających się do zastosowania w sytuacjach kryzysowych w terenie, tam, gdzie nie istnieje możliwość przyłączenia do sieci elektroenergetycznej bądź też jest ona niepożądana. Czas pracy instalacji określono w przedziale od 720 do 7200 h, co odpowiada okresowi od 1 do 10 miesięcy, natomiast wielkość zasilanego obiektu, tj. jego zapotrzebowanie energetyczne, na od 50 kW do 400 kW. W prowadzonych poszukiwaniach nacisk położono na technologie, które w rezultacie postępu technicznego stały się ogólnodostępne i wykorzystywane są komercyjnie. Badanie też służy ustaleniu teoretycznej przydatności poszczególnych paliw do produkcji energii elektrycznej we wskazanych już uprzednio warunkach.

Za parametr wyjściowy uznano funkcjonowanie urządzenia w warunkach klimatycznych panujących w Polsce, a także możliwie jak największą jego niezależność od warunków pogodowych. W centrum zainteresowań znalazły się agregaty o mocy od 75 kW do 500 kW.[1] Zrezygnowano z analizy generatorów, które wykorzystywałyby jako źródło zasilania energię wiatrową, wodną czy też słoneczną.

Olej napędowy i biodiesel

Podstawowym paliwem wykorzystywanym obecnie w warunkach polowych do wytwarzania energii elektrycznej jest olej napędowy. Oczywiście fakt ten powiązać można z panującym wcześniej stanem wiedzy technicznej i możliwościami wykorzystania do produkcji energii elektrycznej silników wysokoprężnych, które od dziesięcioleci cieszą się popularnością i znajdują się w powszechnym użyciu.[2] Stało się to za sprawą samej ich konstrukcji i uzyskiwanych osiągów. Nadmienione „obycie" z nim uznać można za zaletę. Nie jedyną zresztą. Wskazać bowiem można tu także: trwałość i długi czas eksploatacji silników wysokoprężnych wykorzystywanych w generatorach, powszechny dostęp do paliwa i łatwość w jego składowaniu, możliwość dłuższego magazynowania w stosunku do benzyn silnikowych, a zarazem brak konieczności zachowywania specjalnych środków ostrożności związanych z łatwopalnością ostatnich z wymienionych. Ponadto do mocnych stron wykorzystania oleju napędowego w generatorach zaliczyć należy również wydajność oraz niższy niż w przypadku wielu nowoczesnych rozwiązań koszt zakupu samego agregatu[3] czy też potencjalnie większą tolerancję na jakość wykorzystywanego nośnika energii itd.[4]

Zastosowanie silników wysokoprężnych stwarza możliwość także wykorzystania tzw. biodiesla. Jest to paliwo pochodzenia roślinnego lub roślinno-zwierzęcego, które może być stosowane zamiast oleju napędowego czy opałowego, będących produktami naftowymi. Niewątpliwą zaletą tego nośnika jest możliwość wytwarzania go w kraju. Ponadto ważna jest emisja mniej szkodliwych spalin, niż to ma miejsce podczas pracy silnika z tradycyjnym paliwem dieslowskim, a także jego właściwości smarne, co sprzyja żywotności urządzenia. Wadami są niekorzystne oddziaływanie na niektóre elementy gumowe i plastikowe, co nie pozostaje bez wpływu na awaryjność urządzenia oraz brak tolerancji na niską temperaturę.[5]

Współczesne urządzenia z dieslowską jednostką napędową cechuje znakomita wydajność, jeszcze przed kilku laty trudna do osiągnięcia. W ofercie

---

[1] Brano bowiem pod uwagę nie moc maksymalną, a jej 75%, czyli optymalny tryb pracy dla generatora.

[2] *Natural Gas vs. Diesel Generators: Pros and Cons*, patrz: witryna *dieselserviceandsupply.com* pod adresem *http://www.dieselserviceandsupply.com/Natural_Gas_vs_Diesel_Generators.aspx* (pobrano 1.09.2016 r.)

[3] Ustalenia dotyczące niższej ceny są rezultatem zestawienia urządzeń tych samych marek o tej samej mocy. Patrz: witryna *generatoryagzowe.pl* pod adresem *http://generatorygazowe.pl/generatory-gazowe.html* (pobrano 1.09.2016 r.).

[4] Np. możliwość zastosowania biodiesla.

[5] Tj. żeluje się przy temperaturze poniżej -10°C. Por. *Biopaliwa – dane podstawowe, Materiał szkoleniowy*, na witrynie Bałtyckiej Agencji Poszanowania Energii, pod adresem *http://bape.com.pl/wp-content/uploads/2014/09/D10-Biopaliwa.-Dane-podstawowe.pdf.* Szczegółowo na temat problemu przechowywania i oddziaływania niskich temperatur na jakość biopaliw: T. Łaczek, *Analiza zmian jakości biopaliw B100 zachodzących podczas ich magazynowania w niskich temperaturach,* „NAFTA-GAZ" 2014, rok LXX, nr 2, s. 119

rynkowej nie brak seryjnych modeli, których potencjał wytwórczy przekracza 1000 kW.[6] W przypadku zamówień specjalnych producenci właściwie nie stawiają żadnych barier. Możliwe są jednostki o znacznie większym zakresie mocy niż podane wskazanie.[7] Są one mobilne i przystosowane do przenosin. Zgodnie z wolą zamawiającego mogą być umieszczone na kołowych platformach lub stacjonarne; ich transport nie sprawia kłopotu i nie wymaga specjalnych pojazdów. O ile jednak samo dostarczenie ich na miejsce jest aktem jednorazowym, o tyle zaopatrzenie ich w paliwo musi mieć charakter cykliczny. Jego częstotliwość jest pochodną parametrów silnika spalinowego wykorzystanego w agregacie. W przypadku największych generatorów o mocy zbliżonej i przekraczającej 1 MW zużycie oleju napędowy nierzadko sięga 4,5 tony na dobę.[8] Dostawy paliwa transportem drogowym musiałyby się odbywać raz w tygodniu, jeśli wykorzystano by do tego celu największe dopuszczalne w Polsce do ruchu samochodowe cysterny naczepy[9] o pojemności 55 m^3. Użycie mniejszych zwielokrotni cały proces proporcjonalnie do potencjału przewozowego wykorzystanych pojazdów. Wprawdzie zgodnie z przyjętymi dla prowadzonych analiz parametrami generator znajdujący się w zakresie poszukiwań wielkością będzie ustępował od dwóch do dziesięciu razy wspomnianemu, co zmniejszy częstotliwość całej operacji. Spadek ten nie jest jednak proporcjonalny do obniżania mocy. Niemniej konieczność systematycznego dowozu paliwa nie powinna stanowić problemu w przypadku wykorzystania agregatów prądotwórczych dla celów cywilnych. Ograniczenia wiązać mogą jedynie z trudnościami transportowymi wynikającymi z specyfiki terenu. Ryzyko wystąpienia takich niesprzyjających okoliczności istnieje szczególnie w sytuacjach kryzysowych wywołanych klęskami żywiołowymi i katastrofami naturalnymi. Niemniej wszystkie ciekłe paliwa węglowodorowe cechuje łatwość w transporcie i użyciu, omawiany przypadek nie stanowi tu wyjątku.

Konieczność pozostawania w ciągłej zależności od częstych dostaw może być sytuacją znacznie bardziej problematyczną w odniesieniu do wykorzystania generatorów z dieslowską jednostką napędową przez wojsko czy inne zmilitaryzowane oddziały pozostające w warunkach polowych. Wiązać może się to np. z okolicznościami, w których obecność ta nie powinna być nazbyt transparentna czy też wręcz utajniona. Poważnym mankamentem wykorzystania silników diesla do wytwarzania energii elektrycznej jest też związana z ich pracą emisja spalin. Nie brak okoliczności, w których ogranicza ona czy wręcz eliminuje możliwość użycia agregatu tego typu. Dotyczy to tak obszarów związanych z działalnością o charakterze cywilnym, jak i wojskowym. Nieco mniejszym problemem, lecz nie do zawsze dającym się zupełnie pominąć, jest też hałas wytwarzany przez agregaty, który nie zawsze może być wytłumiony.

---

[6] Przykładów tego typu modeli nie brak w sprzedaży rynkowej. Także rodzimi producenci oferują tego typu towar, nierzadko na specjalne zamówienie dostosowując jego parametry do potrzeb klienta. Np. witryna agregaty.pl pod adresem *http://www.agregatypolska.pl/katalog.pdf* (pobrano 1.09.2016 r.).

[7] Przykładem są to modele seryjne marki Caterpillar na witrynie producenta *cat.com* pod adresem *http://www.cat.com/en_US/products/new/power-systems/electric-power-generation/diesel-generator-sets.html* (pobrano 1.09.2016 r.).

[8] Patrz: *Approximate Diesel Fuel Consumption Chart* na witrynie *dieselserviceandsupply.com* *http://www.dieselserviceandsupply.com/Diesel_Fuel_Consumption.aspx* (pobrano 01.09.2016 r.)

[9] Por. *Transport drogowy paliw*, witryna *nafta-polska.pl* pod adresem *http://www.nafta-polska.pl /przemys%C5%82-naftowy/drogowy-przew%C3%B3z-paliw/* (pobrano 01.09.2016 r.).

Podstawową zaletą użycia urządzeń tego typu w procesie wytwarzania energii elektrycznej jest ich mobilność oraz tradycja w ich stosowaniu, co nie pozostaje bez wpływu na jakość pracy generatorów tego typu oraz ich obsługę i niezawodność.

Benzyny silnikowe

Modelem dającym się określić jako wykorzystujący tradycyjne źródło zasilania są instalacje wykorzystujące jako paliwo dla silnika spalinowego benzynę. Pozwalają one na bezproblemowy rozruch i w pełni wydajne działanie urządzenia w szerszym zakresie temperatur zewnętrznych, niż ma to miejsce w przypadku wskazanych wcześniej agregatów prądotwórczych dieslowskich. Jest to ogromna zaleta, która ujawnia się szczególnie w mało przyjaznych warunkach zimowych przy znacznych mrozach, np. w górach, gdzie amplituda wahań dobowych jest znacząca. W odniesieniu do wcześniej analizowanych silników diesla są to urządzenia o nieco odmiennej specyfice pracy, tj. cechujące się tzw. wyższa jej kulturą.[10] W zestawieniu z nimi z urządzeń gabarytowo zbliżonych uzyskuje się większą moc. Te znajdujące się w ofercie rynkowej są zwyczajowo znacznie mniejsze niż agregaty napędzane silnikiem wysokoprężnym. W rezultacie też ustępują im swym potencjałem. Generatory benzynowe o mocy 50 kW i więcej stanowią prawdziwą rzadkość,[11] powyżej 100 kW – ewenement.[12] Posiadają jednakże znacznie lżejszą konstrukcję niż agregaty dieslowskie, co, zestawiając jednostki tej samej mocy, ułatwia ich transport i czyni je znacznie bardziej mobilnymi.

Zaletą jest też mniejsza emisja spalin oraz hałasu. Za dodatkowy ich atut może zostać uznany zdolność do pracy przy bardzo niskich temperaturach. W rozważanym kontekście nie brak jednak i potencjalnych mankamentów wykorzystania generatorów tego typu w warunkach polowych. Są to:

- krótki okres magazynowania paliwa,[13]
- łatwopalność paliwa i wynikające stąd zagrożenie z magazynowaniem większych jego ilości,
- stosunkowo niewielka moc generatorów, max do 100 kW,
- potencjalnie trudniejszy dostęp do paliwa,[14]

---

[10] Podstawowa różnica tkwi w procesie spalania, odmiennie przebiegającym w silnikach wysokoprężnych i iskrowych.

[11] Do poszukiwań wykorzystano witryn formowych i portali handlowych. Przypadek zobrazowano na przykładzie portalu alibaba.com, oferującym produkty wytwarzane w ChRL, *https://www.alibaba.com/trade/search?f0=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=gasoline+generator&refine_attr_value=196-4044* (pobrano 1.09.2016 r.)

[12] Odosobnionym przykładem może być urządzenie KG 100 firmy Kerex. Oferta handlowa pod adresem: *https://kerexmachine.en.alibaba.com/product/1495337597-220003306/100KW_gasoline_generator_KG100.html* (pobrano 1.09.2016 r.)

[13] Problem ten dotyczy wszelkich benzyn włącznie w biopaliwami; B. Danek, *Zmiany właściwości określających stabilność chemiczną biopaliwa E85 podczas jego magazynowania*, „NAFTA-GAZ" sierpień 2011, rok LXVII, s. 577-580. Potencjalnie mogą być przechowywane nawet do kilku lat. By było to możliwe, muszą być odpowiednio przetworzone, tj. pozbawione mało stabilnych chemicznie składników oraz alkoholi i eterów ze względu na ich higroskopijne właściwości. K. Baczewski, T. Kałdoński, *Paliwa do silników o zapłonie iskrowym*. Warszawa 2005, s. 119-122. Niedopełnienie tego warunku prowadzi do rozwarstwienia w zbiorniku zawartości na alkoholowo-wodną i węglowodorową. Ponadto benzyny silnikowe przeznaczone do przechowywania powinny zawierać przeciwutleniacze.

- większa zawodność silników w przypadku pracy ciągłej w trudnych warunkach (wilgoć, zapylenie).

LPG

Wariantem paliwa dla benzynowych generatorów energii elektrycznej jest LPG. Cechuje się jeszcze wyższą kulturą pracy: mniejszą emisją spalin i hałasu oraz sprawnością i żywotnością silników. W rezultacie instalacje wykorzystujące LPG są i będą pewną alternatywą przede wszystkim w przypadku stosowania agregatów napędzanych silnikiem o zapłonie iskrowym.[15] Wadą tego paliwa w stosunku do benzyn jest większe jego zużycie potrzebne do wyprodukowania jednostki mocy. Oznacza to konieczność dostaw z większą częstotliwością, co niesie za sobą nadmieniane już ograniczenia w zastosowaniu takich rozwiązań przede wszystkim dla celów wojskowych.

Metanol i etanol

Ciekawą propozycją przede wszystkim w obszarze instalacji z silnikami o zapłonie iskrowym, ale także i samoczynnym, jest stosowanie jako paliwa alkoholi: metanolu lub etanolu.[16] Z przyczyn społecznych nie są to rozwiązania popularne i stosowane w naszym regionie. Mają one jednak wiele praktycznych zalet, co znajduje potwierdzenie w realiach Ameryki Południowej, gdzie wykorzystanie obu wskazanych substancji jako nośnika energii jest powszechne.[17] Zwykle są to urządzenia proste technicznie i łatwe w obsłudze i eksploatacji, niejednokrotnie jednak także duże elektrownie o mocy przekraczającej 80 MW zasilające 150 000 miasta.[18]

Trudnym do przecenienia walorem tego paliwa jest łatwość jego produkcji,[19] która przekłada się też na dostępność.[20] Wyeksponować można także wysoka kulturę pracy oraz dużą niezależność od zewnętrznych warunków tempera-

---

[14] Także wyższa jego cena, chociaż zgodnie z założeniami wstępnymi czynnik ekonomiczny znalazł się poza kryteriami oceny.

[15] LPG może być i jest stosowane jako paliwo do silników o zapłonie samoczynnym. Patrz: A. Janków, Ł. Garstecki, *Jakość paliw – analiza porównawcza jakości paliw dostępnych w Polsce i wybranych krajach Unii Europejskiej (Niemcy, Austria, Łotwa, Irlandia, Czechy)*. Warszawa 2007, s. 38

[16] K. Baczewski, T. Kałdoński, *Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym*. Warszawa 2004, s. 106. Stanowią też cenny dodatek niepozostający bez wpływu na jakość samego paliwa; K. Górski, W. Olszewski, W. Lotko, *Alkohole i estry jako paliwo dla silników o zapłonie samoczynnym*, „Czasopismo Techniczne", 2008, z. 7, s. 13-24

[17] Co ważne wbrew obiegowym opiniom trwałość tego paliwa nie odbiega od benzyn silnikowych B. Danek, *Zmiany właściwości określających stabilność chemiczną biopaliwa E85 podczas jego magazynowania*.

[18] *Ethanol Power Plant, Minas Gerais, Brazil*, witryna power-technology http://www.power-technology.com/projects/ethanol-power-plant/ (pobrano 1.09.2016 r.)

[19] Tu wspomnieć można także o cenie paliwa. W tym konkretnym przypadku trudno też pominąć czynnik ekonomiczny, czyli koszt samego paliwa, którego cena produkcji jest niższa niż jakiegokolwiek innego. W Polsce cena produkcji etanolu z ziemniaków, w zależności od wykorzystanego surowca roślinnego, nie przekracza 2 zł za litr. Por. S. Samborski, *Ziemniaczany przemysł gorzelniczy,* patrz. witryna agroinfo.org.pl pod adresem *http://www.agro-info.org.pl/index/?id=a3fb4fbf9a6f9cf09166aa9c20cbc1ad* (pobrano 1.09.2016 r.)

[20] Dostępność może być traktowana jako pochodna ilości zakładów produkujących etanol. W Polsce w działa około 170 gorzelni, przy czym znaczna ich część pracuje tylko sezonowo. Nie brak jednak głosów o niewykorzystanym potencjale i znacząco wyższych możliwościach podmiotów branżowych. Por. E. Golisz, G. Wójcik, *Problemy gorzelni rolniczych i przemysłu bioetanolowego w Polsce*, „Inżynieria Rolnicza" 2013, z. 2 (143), t. 1, s. 69-78

turowych, co pozwala m.in. na pracę w ekstremalnie chłodnym otoczeniu zewnętrznym.[21] Na rzecz etanolu przemawia także wyższa liczba oktanowa[22] niż benzyn, czyli odporność na niekontrolowane spontaniczne spalanie paliwa.[23] Posiada on też szersze granice palności oraz większe prędkości płomienia. Charakteryzuje się także wyższym ciepłem parowania, co nie pozostaje bez wpływu na osiągi napędzanego nim silnika. Wśród wad wskazać należy większą zdolność mieszania się z wodą, co nie służy trwałości urządzeń. Poważnym mankamentem tego paliwa jest także niższe niż w przypadku benzyn silnikowych ciśnienie pary, a więc i samo spalanie. Usterkowość, mniejsza żywotność oraz paliwochłonność są to jednakże przywary właściwe dla wszystkich silników o zapłonie iskrowym. Do potencjalnych kłopotów, jakie wiążą się z wykorzystaniem etanolu jako nośnika energii, dodać należy także ograniczoną możliwość przechowywania go oraz łatwopalność.[24]

CNG – LNG

Gaz ziemny w problematyce wytwarzania energii elektrycznej przez dziesięciolecia kojarzony był niemal wyłącznie z elektrowniami zawodowymi. Jego wykorzystanie poza nimi było niewspółmiernie rzadsze niż obecnie. Nie pozostawało to bez związku z techniką jego magazynowania w postaci CNG, co znajdowało swoje odzwierciedlenie w możliwościach transportowych. Przełamanie barier ograniczających i utrudniających spedycję surowca przyniosło wzrost popularności tego nośnika w elektroenergetyce. Stał się on jednym z podstawowych paliw wykorzystywanych w generatorach dużej mocy, coraz częściej znajduje też zastosowanie w mobilnych instalacjach.[25] Trudno się temu dziwić, ma on wiele zalet. Wymienić można tu najwyższą wśród paliw silnikowych liczbę oktanową oraz wartość energetyczną. Nie bez znaczenia jest niższa niż w przypadku oleju napędowego czy benzyn emisja hałasu i zanieczyszczeń, a także żywotność samego urządzenia. Dodatkowymi atutami są także możliwość niemal bezterminowego magazynowania oraz pracy zasilanych nim urządzeń w niskich temperaturach zewnętrznych. Warto wspomnieć także o możliwości wykorzystania w generatorach nie tylko surowca kopalnego, lecz także tzw. biogazu, czyli de facto paliwa miejscowego pochodzenia.[26] Oczywiście agregaty zasilane gazem ziemnym czy też jego bioodpowiednikiem nie są wolne od wad. Problemem może być krótka żywotność urządzeń chłodzonych tylko powietrzem. Są też droższe w zakupie, szczególnie urządzenia powyżej 30 kW. Ponadto dodać należy zachowanie koniecznych środków ostrożności właściwych dla pracy z tym

[21] Ethanol-powered generators in Antarctica: export potential for sustainable technology, witryna The Brazilian Sugarcane Industry Association (UNICA) *www.unica.com.br http://www.unica.com.br/news/41124045920344564516/ethanol-powered-generators-in-antarctica-por-cento3A-export-potential-for-sustainable-technology/* (pobrano 1.09.2016 r.)

[22] J. Bień, M. Zabochnicka-Świątek, L. Sławik, *Wady i zalety biopaliw na przykładzie bioetanolu http://www.plan-rozwoju.pcz.pl/dokumenty/konferencja/artykuly/27.pdf* (pobrano 1.09.2016 r.)

[23] R. Assi, *The Relation Between Gasoline Quality, Octane Number and the Environment*, w ramach United Nations Environment Programme na witrynie unep.org pod adresem, *http://www.unep.org/pcfv/pdf/jordanwrkshp-unleaded-rafat.pdf* (pobrano 1.09.2016 r.)

[24] Por. W. Piekarski, G. Zając, J. Szyszlak, *Odnawialne źródła energii jako alternatywa paliw konwencjonalnych w pojazdach samochodowych i ciągnikach*, „Inżynieria Rolnicza" 2006, nr 4, s. 95

[25] Dający się wykorzystać tak w silnikach o zapłonie iskrowym, jak i samoczynnym. K. Baczewski, T. Kałdoński, *Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym*, op. cit., s. 105

[26] W.M. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*. Warszawa 2006, s. 350-372

surowcem, np. kontrole szczelności przewodów, chłodzenie zbiorników wraz z podnoszeniem temperatury zewnętrznej powyżej dopuszczalnego poziomu *etc.*[27]

W zestawieniu z benzynowymi odpowiednikami okazują się mało wydajne, gdyż uzyskują w przeliczeniu na BTU do 30% mniejszą moc na jednostkę. Oznacza to zarazem większe zużycie paliwa. W przypadku zastosowania zbiorników do magazynowania o tych samych gabarytach większe zapotrzebowanie pociąga za sobą konieczność częstszych dostaw, co, jak wspomniano w części poświęconej generatorom dieslowskim, może stanowić okoliczność dyskwalifikującą utylitarny charakter urządzenia.[28]

Możliwym rozwiązaniem tego problemu, a z dużą dozą prawdopodobieństwa też przyszłością agregatów prądotwórczych używanych w energetyce niezawodowej wykorzystujących gaz ziemny, są urządzenia przystosowane do pracy z nim w postaci skroplonej, powszechnie znanej jako LNG.[29] Pozwala ona na 630-krotne zmniejszenie objętości surowca, jest zatem jeszcze bardziej efektywną metodą zmagazynowania go niż sprężanie. Zważywszy na temperaturę niższą niż -161,5^{o}C, wymaga zbiorników kriogenicznych. Stąd też, unikając konieczności przechowywania go, jest stosowany tam, gdzie występuje duże jego zużycie.[30] Praktyka ta wynika w większym stopniu z racji natury ekonomicznej niż technicznej. W istocie zatem możliwości zastosowania LNG w terenie wydaje się niemal nieograniczona i to w okolicznościach, które w ogólnych charakterystykach i wskazaniach na temat potencjału użycia tego paliwa nie są brane pod uwagę.[31] W ofercie rynkowej nie brak urządzeń zasilanych nim o dowolnej mocy.[32] Wadą i możliwą przeszkodę tego typu generatorów w kontekście niniejszych rozważań pozostają logistyczne uwarunkowania ich usytuowania w miejscu docelowym, co oczywiście nie odnosi się do zestawów mobilnych.

Generatory dwupaliwowe

Hybrydą analizowanych rozwiązań są generatory wykorzystujące w swej pracy dwa odmienne paliwa gazowe i ciekłe, np. gaz ziemny i olej napędowy lub gaz ziemny i benzyny. W zależności od typu i marki urządzenia różny jest udział poszczególnych nośników w produkcji energii.[33] Do rzadkości należą modele, w których proporcje te są równe, zwykle dominujące znaczenie posiada jeden

---

[27] *The Pros and Cons of Various Methods of Generating Electricity*, na witrynie *ramblingsdc.net* pod adresem *http://ramblingsdc.net/ElecGenProsCons.html#Natural_gas* (pobrano 1.09.2016 r.)

[28] Ibidem

[29] Ogólne informacje na temat LNG i technologii skraplania i regazyfikacji: *Liquefied Natural Gas*, materiał prezentowany na witrynie gazownictwopolskie.pl pod adresem *http://www.gazownictwopolskie.pl/technologie/gaz-p%C5%82ynny-lng/* a także na witrynie polskielng pod adresem *http://www.polskielng.pl/lng/znaczenie-i-zalety-lng/* (pobrano 1.09.2016 r.)

[30] T. Woroch, K. Klonowski, *LNG jako alternatywne źródło energii, nowoczesne budownictwo inżynieryjne* prezentowane na witrynie *nbi.com* pod adresem *http://www.nbi.com.pl/assets/NBI-pdf/2006/6_9_2006/pdf/9_lpg.pdf* (pobrano 1.09.2016 r.)

[31] D. Tarnapowicz, S. German-Galkin, *Zastosowanie zespołów prądotwórczych z silnikami gazowymi LNG w systemach „Shore to Ship”,* „Management Systems in Production Engineering” 2016, no 3 (23)

[32] Np. wspomniana oferta formy Cateerpillar patrz: witryna *cat.com* pod adresem *http://www.cat.com/en_US/products/new/power-systems/electric-power-generation/gas-generator-sets.html*

[33] Przykładem może być tu generator marki Kohler 600REOZM, w którym zasilanie jednym z paliw może wahać się w przedziale 20-80%, szczegóły na witrynie producenta *kraftpower.com* pod adresem *http://www.kraftpower.com/equipment/600-kw-kohler-dual-fuel-generator-set/* (pobrano 1.09.2016 r.)

z nich. Zaletą tego typu instalacji jest dywersyfikacja źródeł zasilania i gotowość do utrzymania pracy urządzenia w przypadku braku któregoś z paliw. Problem ten nie występuje w przypadku agregatów prądotwórczych przystosowanych do pracy z więcej niż jednym nośnikiem, np. LPG i benzyna. W tym segmencie rynek oferuje jednak urządzenia o mniejszej mocy.

O ile niewątpliwą zaletą instalacji hybrydowych czy generatorów przystosowanych do pracy z więcej niż jednym paliwem jest szerszy wachlarz ich zastosowania oraz wspomniana pewna niezależność wynikająca z nadmienionej dywersyfikacji, to jako źródło komplikacji w kontekście niniejszych rozważań należy uznać obecność dwóch różnych zbiorników mających odmienne przeznaczenie oraz trudniejszą obsługę związaną z wykorzystaniem różnych technologii w jednym urządzeniu.

Podsumowanie

Warunki polowe są swojego rodzaju odwzorowaniem stanu istniejącego przed pojawieniem się sieci elektroenergetycznej i elektrowni zawodowych. Pozwalają na modelowanie rozwiązań dla odbiorcy docelowego bez konieczności integrowania go z istniejąca infrastrukturą zewnętrzną. Postęp techniczny w zakresie możliwości wytwarzania energii elektrycznych, jaki nastąpił w ostatnich dwóch dekadach, jest imponujący. Zwracają uwagę nowe typy urządzeń zasilane paliwami, które dotąd nie znajdowały zastosowania przy wytwarzaniu energii elektrycznej w naszym kraju. Przykładem mogą być tu generatory wykorzystujące bioetanol. Zwraca uwagę możliwość stosowania surowca rodzimego pochodzenia. Ciekawą propozycją zasługującą na uwagę są też agregaty gazowe zespolone z urządzeniami do regazyfikacji LNG. Za rozwiązanie perspektywiczne cieszące się na rynku międzynarodowym coraz większym uznaniem uznać należy urządzenia pracujące na więcej niż jednym typie paliwa.

Tabela nr 1: Wybrane kryteria dla pracy generatora w warunkach polowych według zasilających go paliw

Rodzaj paliwa	**Zapotrzebowanie generatorów w paliwo na jednostkę mocy**[34]	**trwałość**[35]	**Wymogi lokacyjne generatora**	**Spaliny i ich toksyczność**	**Odporność na niskie temp. W otoczeniu zewnętrznym**	**mobilność**[36]
olej napędowy	**N**	**S**	**N**	**W**	**N**	**S**
biodiesel	**N**	**S**	**N**	**S**	**N**	**S**
benzyny	**S**	**S**	**N**	**S**	**W**	**W**

[34] Rozpatrywana przez pryzmat zdolności do pracy bez konieczności uzupełniania zbiornika.
[35] Zdolność paliwa do zachowania pierwotnych parametrów.
[36] Zdolność do transportu/czas montażu i uruchomienia.

Rodzaj paliwa	Zapotrzebowanie generatorów w paliwo na jednostkę mocy	Trwałość	Wymogi lokacyjne generatora	Spaliny i ich toksyczność	Odporność na niskie temp. W otoczeniu zewnętrznym	Mobilność
etanol/metanol	**S**	**N**	**N**	**N**	**W**	**W**
LPG	**W**	**W**	**S**	**S**	**S**	**S**
Gaz/CNG	**W**	**W**	**W**	**N**	**S**	**N**
Gaz/LNG	**N**	**W**	**W**	**N**	**W**	**N**

W – wysoka, S – średnia, N – niska
Źródło: Opracowanie własne

Streszczenie

Zaopatrzenie w energię elektryczną w warunkach polowych może uchodzić za odwzorowanie status quo sprzed postania sieci elektroenergetycznej. Symulacja takich warunków pozwala na stworzenie modelu rozwiązań dających się wykorzystać w obronności oraz działaniach na rzecz zapewnienia bezpieczeństwa wewnętrznego. Jest też przydatna dla podmiotów pragnących zachować niezależność od krajowego systemu dystrybucji i energetyki zawodowej. Jednym z kluczowych elementów zaspokojenia zapotrzebowania w energie elektryczną są urządzenia służące do jej wytwarzania. Dokonano przeglądu generatorów prądotwórczych znajdujących się w ofercie rynkowej, stosując jako kryterium paliwo wykorzystywane do ich zasilania. Przeprowadzono analizę możliwości zastosowania w terenie zasilających je paliw, wskazując ich wady i zalety.

Słowa klucze: energia elektryczna, agregat prądotwórczy, moc, olej napedowy, alkohol etylowy, LNG, dystrybucja energii elektrycznej

Summary

Our research into possible solutions for electric power supply in field conditions can be perceived as reconstructing the *status quo* from the times before the spread of a power grid. A simulation of such conditions may be helpful in creating a model of practical energy-supply solutions which on their side could be utilized for defense purposes and programs aimed at improving the homeland security. On the other hand, the simulation can be also used by entities willing to become less dependent from the national systems of commercial and industrial energy distribution. One of the key elements of energetic sustainability are the energy producing devices. The following paper reviews electric power generators currently available on the market by taking the type of powering fuel as the criterion of division. The analysis mainly concentrates on the practical advantages and limitations of each fuel type for their application in the field conditions.

Key words: electricity, generator, fuel, electric power, oil, ethanol, LNG, energy distribution

Bibliografia

1. *Approximate Diesel Fuel Consumption Chart*, *http://www.dieselservicea ndsupply.com/Diesel_Fuel_Consumption.aspx*
2. Assi R., *The Relation Between Gasoline Quality, Octane Number and the Environment*, *http://www.unep.org/pcfv/pdf/jordanwrkshp-unleaded-rafat.pdf*
3. Baczewski K., Kałdoński T., *Paliwa do silników o zapłonie iskrowym*. Warszawa 2005
4. Baczewski K., Kałdoński T., *Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym*. Warszawa 2004
5. Bień J., Zabochnicka-Świątek M., Sławik L., *Wady i zalety biopaliw na przykładzie bioetanolu*, *http://www.plan-rozwoju.pcz.pl/dokumenty/konfe rencja/artykuly/27.pdf*
6. *Biopaliwa – dane podstawowe, Materiał szkoleniowy*, *http://bape.com. pl/wp-content/uploads/2014/09/D10-Biopaliwa.-Dane-podstawowe..pdf*
7. Danek B., *Zmiany właściwości określających stabilność chemiczną biopaliwa E85 podczas jego magazynowania*, „NAFTA-GAZ" 2011, sierpień, rok LXVII
8. *Ethanol Power Plant, Minas Gerais, Brazil*, *http://www.power-technology. com/projects/ethanol-power-plant/*
9. *Ethanol-powered generators in Antarctica: export potential for sustainable technology*, *http://www.unica.com.br/news/41124045920344564516/ethan ol-powered-generators-in-antarctica-por-cento3A-export-potential-for-susta inable-technology/*
10. Golisz E., Wójcik G., *Problemy gorzelni rolniczych i przemysłu bioetanolowego w Polsce*, „Inżynieria Rolnicza" 2013, z. 2 (143), t. 1
11. Górski K., Olszewski W., Lotko W., *Alkohole i estry jako paliwo dla silników o zapłonie samoczynnym*, „Czasopismo Techniczne" 2008, z. 7
12. *http://generatorygazowe.pl/generatory-gazowe.html*
13. *http://www.agregatypolska.pl/katalog.pdf*
14. *http://www.cat.com/en_US/products/new/power-systems/electric-power-ge neration/diesel-generator-sets.html*
15. *http://www.cat.com/en_US/products/new/power-systems/electric-power-ge neration/gas-generator-sets.html*
    http://www.cat.com/en_US/products/new/power-systems/electric-power-ge neration/gas-generator-sets.html
16. *http://www.gazownictwopolskie.pl/technologie/gaz-p%C5%82ynny-lng/*
17. *http://www.kraftpower.com/equipment/600-kw-kohler-dual-fuel-generator-set/*
18. *http://www.polskielng.pl/lng/znaczenie-i-zalety-lng/*
19. *https://kerexmachine.en.alibaba.com/product/1495337597-220003306/100KW_gasoline_generator_KG100.html*
20. *https://www.alibaba.com/trade/search?f0=y&IndexArea=product_en&CatId =&SearchText=gasoline+generator&refine_attr_value=196-4044.*
21. Janków A., Garstecki Ł., *Jakość paliw – analiza porównawcza jakości paliw dostępnych w Polsce i wybranych krajach Unii Europejskiej (Niemcy, Austria, Łotwa, Irlandia, Czechy)*. Warszawa 2007

22. Lewandowski W. M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*. Warszawa 2006
23. Łaczek T., *Analiza zmian jakości biopaliw B100 zachodzących podczas ich magazynowania w niskich temperaturach*, „NAFTA-GAZ" 2014, nr 2, rok LXX
24. Natural Gas vs. Diesel Generators: Pros and Cons, *http://www.diesel serviceandsupply.com/Natural_Gas_vs_Diesel_Generators.aspx*
25. Piekarski W., Zając G., Szyszlak J., *Odnawialne źródła energii jako alternatywa paliw konwencjonalnych w pojazdach samochodowych i ciągnikach*, „Inżynieria Rolnicza" 2006, nr 4
26. Samborski S., *Ziemniaczany przemysł gorzelniczy*, *http://www.agro-info.org.pl/index/?id=a3fb4fbf9a6f9cf09166aa9c20cbc1ad*
27. Tarnapowicz D., German-Galkin S., *Zastosowanie zespołów prądotwórczych z silnikami gazowymi LNG w systemach „Shore to Ship"*, „Management Systems in Production Engineering" 2016, no 3 (23)
28. *The Pros and Cons of Various Methods of Generating Electricity*, *http://ramblingsdc.net/ElecGenProsCons.html#Natural_gas*
29. *Transport drogowy paliw*, *http://www.nafta-polska.pl/przemys%C5%82-naftowy/drogowy-przew%C3%B3z-paliw/*
30. Woroch T., Klonowski K., *LNG jako alternatywne źródło energii*, *http://www.nbi.com.pl/assets/NBI-pdf/2006/6_9_2006/pdf/9_lpg.pdf*

Tomasz MOTOWIDLAK
Uniwersytet Łódzki

PROGRAMY DSR ISTRUMENTEM POPRAWY BEZPIECZEŃSTWA DOSTAW ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Wprowadzenie

Stabilność systemów elektroenergetycznych i bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej stanowią podstawę rozwoju gospodarczego i społecznego państw, a brak tych dostaw może spowodować katastrofalne skutki dla gospodarek i społeczeństw. Energia elektryczna jest bowiem wykorzystywana do zasilania wszelkiego rodzaju urządzeń wykorzystywanych w przemyśle. Dramatyczna jest perspektywa przetrwania społeczeństw bez energii elektrycznej, tj. w sytuacji braku oświetlenia, upadku systemów łączności, transportu, kanalizacji, opieki medycznej, produkcji i dystrybucji żywności. Przerażający jest obraz walki o przeżycie w warunkach braku energii elektrycznej, nakreślony w książce *Blackout* Marca Elsberga, opublikowanej w styczniu 2015 roku. W dobie całkowitego uzależnienia społeczeństw od energii elektrycznej i Internetu, *Blackout* powinien stanowić przestrogę dla ludzi i instytucji odpowiedzialnych za dostawy wspomnianej energii.

Zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej jest jednym z podstawowych celów polityki energetycznej Unii Europejskiej (UE) w zakresie rynku energii elektrycznej. Zmiany zachodzące na rynku pod wpływem tej polityki spowodowały, że zapewnienie bezpieczeństwa tych dostaw jest coraz trudniejsze. W warunkach liberalizacji rynków energii elektrycznej państw członkowskich UE i pierwszeństwa czynników biznesowych, bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej nie jest już bowiem stabilizatorem struktur i działania elektroenergetyki. Zasada unbundlingu spowodowała, że rozproszeniu uległa odpowiedzialność za bezpieczeństwo. Rozdzielenie działalności przesyłowej i dystrybucyjnej od działalności wytwórczej, będących wcześniej pod kontrolą jednego przedsiębiorstwa energetycznego, oznacza bowiem przerwanie łańucha łączącego to przedsiębiorswo z odbiorcą energii elektrycznej.

W ostatnich latach, czynnikiem istotnie utrudniającym zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej w wielu państwach członkowskich UE, stał się dynamiczny rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE) i znaczny wzrost ich udziału w strukturze zainstalowanej mocy i wytwarzania energii elektrycznej tych państw. Co istotne, udział ten rośnie głównie w wyniku przyrostu mocy w energetyce wiatrowej i solarnej, które cechuje niestabilność ze względu na zależność od warunków pogodowych. W Portugalii, Danii, Słowenii, Hiszpanii, we Włoszech i w Niemczech instalacje wiatrowe i fotowoltaiczne zaspakajały ponad 25% zapotrzebowania na energię elektryczną,[1] a już w 2025 r. udział ten w 22 państwch członkowskich UE przekroczy 50%.[2]

Systemowe wsparcie oraz niskie koszty zmienne funkcjonowania instalacji wiatrowych i fotowoltaicznych prowadzą do stopniowego wypierania z rynku stabilnych konwencjonalnych jednostek wytwórczych, które pracują coraz krócej

---

[1] *The state of renewable energies in Europe*, 15th EurObserv'ER Report, 2015
[2] *Scenario outlook and adequacy forecast*, ENTSO-E, June 2015

i nie są w stanie sprostać konkurencji. Na niekorzyść dużej części tych jednostek przemawia dodatkowo zaawansowany wiek, znaczne wyeksplatowanie oraz konieczność poniesienia znacznych kosztów na ich dostosowanie do wymogów środowiskowych. Należy się zatem liczyć z istotnym ubytkiem mocy konwencjonalnych w systemach elektroenergetycznych wielu państw członkowskich UE.

W tych warunkach zagrożenie dla bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej pojawia się w okresach braku wiatru i słońca, które nie należą do wyjątków w Europie. Zmienająca się z dużą częstotliwością aktywność instalacji wiatrowych i fotowoltaicznych stanowi ponadto duże wyzwanie dla bilansowania i stabilnej pracy systemów elektroenergetycznych. Pozostałe na rynku jednostki konwencjonalne z coraz większym trudem zapewniają brakujące ilości energii elektrycznej.

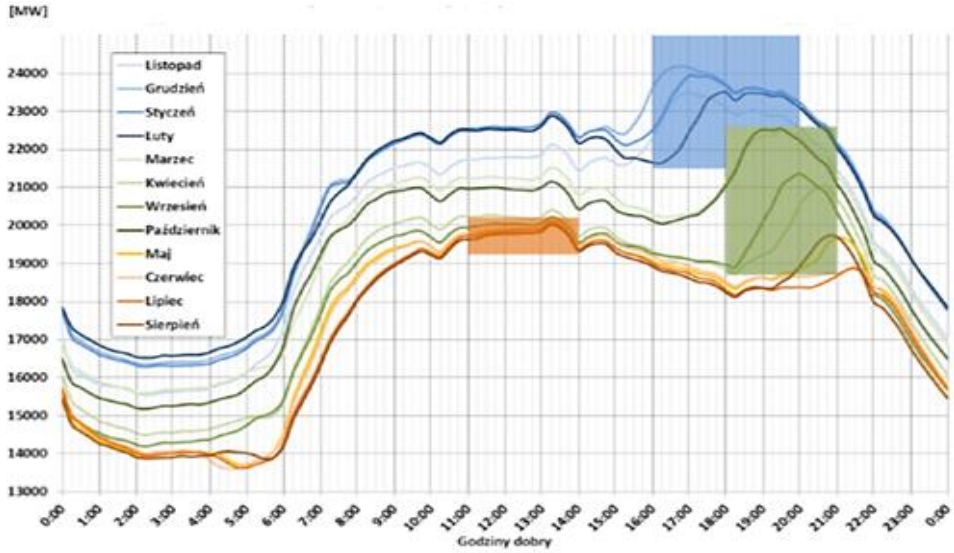
Dynamiczny rozwój energetyki odnawialnej sprawia, że inaczej zaczyna być postrzegana rola systemów elektroenergetycznych w zapewnieniu bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej. O ile wcześniej decydująca była ich niezawodność, to aktualnie coraz istotniejsza staje się elastyczność tych systemów, tj. zdolność do szybkiej absorbcji nadmiaru i szybkiego uzupełnienia niedoborów energii elektrycznej. Lukę w elastyczności systemów elektroenergetycznych wielu państw członkowskich UE można wypełnić poprzez budowę dynamicznych i niezawodnych jednostek wytwórczych, zarządzanie popytem na energię elektryczną, rozbudowę zdolności magazynowania tej energii oraz rozwój infrastruktury przesyłowej, w tym transgranicznej.

Szczególna rola w zakresie zwiększenia elastyczności systemów elektroenergetycznych i poprawy bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej państw członkowskich UE przypada programom zarządzania popytem na energię elektryczną (*Demand Side Management* – DSM) i programom reakcji strony popytowej (*Demand Side Response* – DSR). Programy DSM obejmują działania o charakterze strategicznym, zaś programy DSR dotyczą działań, mających na celu skłonienie odbiorców do zmiany wielkości zapotrzebowania na energię elektryczną, pod wpływem różnorodnych pobudek. Jednym ze skuteczniejszych narzędzi DSR są programy oferowane przez sprzedawców energii elektrycznej i przez operatorów systemów przesyłowych (OSP).

1. Zasadnicze korzyści z wdrożenia programów DSR

Programy DSR są szczególnie przydatne do redukcji zużycia energii elektrycznej przez jej odbiorców w okresie zapotrzebowania szczytowego. Zapotrzebowanie na energię elektryczną podlega dużym cyklicznym wahaniom (rysunek nr 1). Zmienia się ono w poszczególnych miesiącach roku i godzinach doby. W wielu systemach elektroenergetycznych zapotrzebowanie szczytowe występuje w miesiącach zimowych, chociaż coraz częściej pojawia się ono również w miesiącach letnich.

Rysunek nr 1: Dobowe i sezonowe wahania zapotrzebowania na energię elektryczną w polskim systemie elektroenergetycznym



Źródło: *Wirująca Rezerwa Redukcji – lek na godziny szczytu w Polsce*, *www.wysokienapiecie.pl* (pobrano 21.03.2016 r.)

W przypadku polskiego systemu elektroenergetycznego, zapotrzebowanie szczytowe występuje w miesiącach zimowych, ok. godziny 20.00 cyklu dobowego i wynosi ok. 24 tys. MW. Jednocześnie w cyklu tym najmniejsze zapotrzebowanie na energię elektryczną wynosi ok. 13 tys. MW, co ma miejsce w godzinach nocnych. Tak duża skala zmienności tego zapotrzebowania wymaga dysponowania jednostkami wytwórczymi, zdolnymi rozpoczynać i kończyć pracę oraz zmieniać generowaną moc zgodnie z instrukcjami OSP.[3]

Bilansowanie systemu elektroenergetycznego poprzez realizację programów DSR może być bardziej efektywne kosztowo, niż budowa zdolności wytwórczych, umożliwiających pokrycie szczytu zapotrzebowania na energię elektryczną oraz zapewnienie niezbędnych możliwości przesyłowych. Oznacza to, że reakcja strony popytowej, skutkująca przesunięciem tego szczytu, może zmniejszyć obciążenie sieci i aktywnie wpływać na ograniczenie wahań cen energii elektrycznej.[4]

Wykorzystanie programów DSR wpływa zatem na poprawę warunków bilansowania systemu elektroenergetycznego i krótkookresowego bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej. Stwarzając alternatywę dla uruchamiania drogich źródeł szczytowych, stosowanie tych programów przyczynia się do obniżenia kosztów bilansowania. Skorzystanie z programów DSR eliminuje występujące ograniczenia systemowe w sieci dystrybucyjnej i przesyłowej, umożliwiając lepsze zarządzanie zdolnościami przesyłowymi. Wykorzystanie programów DSR niesie ze sobą także korzyści finansowe dla uczestników programów DSR, sprzyja poprawie

[3] W. Mielczarski, *Mix energetyczny – bariery fizyczne*, „Energy Newsletters", 22.03.2013

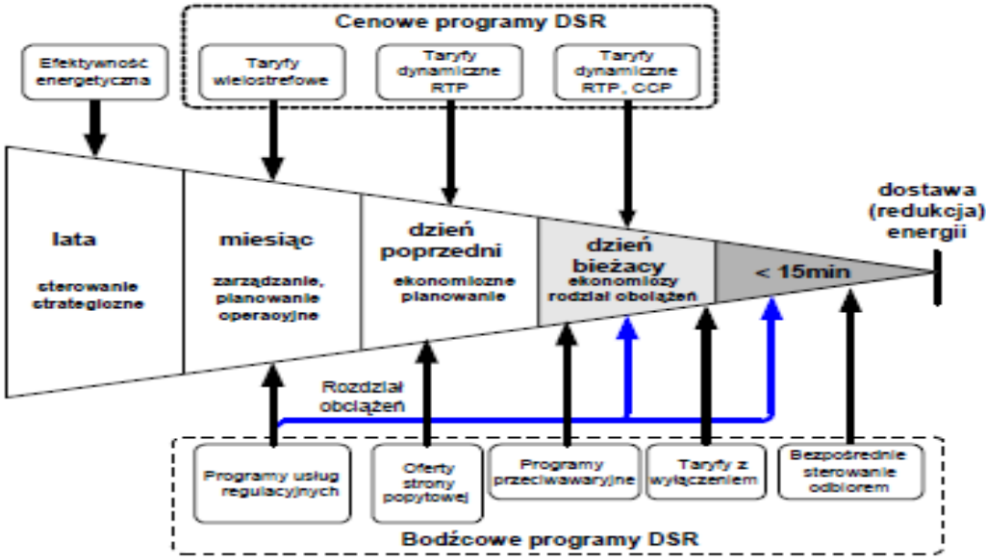
[4] W. Lewandowski, *Możliwości kształtowania poziomu zużycia energii elektrycznej przez odbiorców końcowych*, *www.cire.pl* (pobrano 13.10.2014 r.)

zarządzania ryzykiem cenowym i ilościowym na rynku energii elektrycznej. Wpływa również korzystnie na świadomość odbiorców w zakresie gospodarki energią elektryczną, w ramach zarządzanych zasobów po stronie popytu oraz źródeł generacji rozproszonej.

2. Koncepcja taryf czasowych i ich miejsce wśród mechanizmów DSR

Taryfy czasowe zaliczane są do grupy cenowych programów DSR (*price based programs*, PBP), które są oferowane i zarządzane przez sprzedawców energii elektrycznej (rysunek nr 2). Programy PBP kierowane są do odbiorców energii elektrycznej i wymagają od nich podjęcia decyzji o redukcji popytu na podstawie zachęt cenowych, które w największym stopniu rozstrzygają o ich przystąpieniu do tych programów. Odbiorcy energii elektrycznej, podejmując tę decyzję, kierują się m.in. świadomością, że redukując swoje obciążenie lub przesuwając je w czasie, przyczyniają się do poprawy warunków bilansowania systemu elektroenergetycznego i bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej, powodując przez to obniżenie kosztów dostaw tej energii.

Rysunek nr 2: Programy DSR w sterowaniu systemem elektroenergetycznym



Źródło: W. Lubczyński, *Rynek negawatów. Perspektywy wdrożenia instrumentów zarządzania popytem w polskim systemie elektroenergetycznym*, Konferencja Europower. Warszawa, 8 marca 2012 r.

Do cenowych programów DSR zalicza się taryfy wielostrefowe (*time of use*, TOU), taryfy czasu rzeczywistego (*real time pricing*, RTP) oraz taryfy z krytyczną stawką cenową (*critical peak pricing*, CPP). Programy te mogą zostać wykorzystane przez OSP w procesie bilansowania systemu elektroenergetycznego w różnych horyzontach czasowych, które zależą od czasu reakcji odbiorców energii elektrycznej. Odbiorcy ci najszybciej reagują zmianami obciążenia w przypadku taryf CCP i RTP, zaś najdłużej w przypadku taryf TOU. Poprawę efektywności energetycznej należy rozpatrywać jako element strategicznego

sterowania systemem elektroenergetycznym. Efekty działań na rzecz tej poprawy mogą się bowiem pojawiać nawet po upływie roku lub kliku lat.

W taryfie TOU opłata za energię elektryczną zmienia się w cyklu dobowym, tygodniowym lub sezonowo. Różnice w cenach pozwalają przesunąć popyt na energię elektryczną z okresu wysokiej ceny tej energii na okres ceny niskiej, tj. np. z pory szczytu dziennego do doliny nocnej lub ze szczytu dnia roboczego do doliny weekendowej, ograniczając przez to negatywne skutki nadmiernego popytu. Oddziaływanie taryfy TOU jest tym silniejsze, im bardziej zróżnicowane są w niej stawki i gdy istnieje możliwość programowania urządzeń elektrycznych do pracy w dolinie obciążenia, a odbiorca energii elektrycznej ma zapewniony dostęp do informacji o bieżącym jej zużyciu i cenie.[5] Z punktu widzenia potrzeb sterowania pracą systemu elektroenergetycznego w czasie rzeczywistym, taryfy TOU nie wywołują szybkiej reakcji odbiorców, prowadzącej do ograniczenia popytu na energię elektryczną. Dlatego też zasoby energetyczne, wynikające ze stosowania taryf TOU, mogą być wykorzystane do planowania operacyjnego pracy systemu elektroenergetycznego w perspektywie miesięcy poprzedzających fizyczne dostawy energii elektrycznej.[6]

W taryfie RTP stawka płatności za energię elektryczną zmienia się podobnie, jak na rynku hurtowym, przy czym odbiorcy są informowani o prognozowanych cenach tej energii z wyprzedzeniem czasowym od jednej godziny do jednej doby. Taryfa RTP kierowana jest głównie do dużych odbiorców energii elektrycznej. Bardziej dynamiczną taryfą, w stosunku do RTP, jest taryfa *spot pricing*, która zakłada bieżące informowanie odbiorców o cenach energii elektrycznej, które zmieniają się w sposób ciągły. Taryfy RTP oddziałują na plany i harmonogramy wytwarzania energii elektrycznej w zakresie rynku dnia następnego (RDN) i rynku dnia bieżącego (RDB), przez co większa jest ich przydatność do bilansowania systemu elektroenergetycznego i zapewnienia krótkookresowego bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej.

Taryfa CPP jest stosowana przez sprzedwców energii elektrycznej, w celu ściślejszego powiązania stawek taryfy TOU z bieżącymi warunkami pracy systemu elektroenergetycznego. Cel ten realizowany jest przez wprowadzenie dwóch (lub jednej) dodatkowych, bardzo wysokich stawek płatności za energię elektryczną, dla szczytów obciążenia tego systemu. Stawki te dotyczą zatem okresów, w których ceny energii elektrycznej są najwyższe. Odbiorcy informowani są z wyprzedzeniem przez sprzedawców energii elektrycznej o zamiarze stosowania taryfy CPP. Przekazana informacja obejmuje także wysokość stawek oraz długość okresu, w którym stawki te będą obowiązywały. Ryzyko nadmiernego wzrostu cen w taryfie CPP stało się np. impulsem do opracowania systemów zarządzania energią elektryczną w budynkach biurowych. W przypadku nadmiernego wzrostu cen tej energii, wyłączane są np. klimatyzatory, a otwierane są śluzy w oknach do naturalnego nawiewu powietrza.[7] Taryfy CPP oddziałują

---

[5] J. Malko, A. Wilczyński, *Oszczędne, racjonalne czy efektywne użytkowanie energii elektrycznej*, „Energetyka", 9/2007

[6] D.D. Rasolomampionona, S. Robak, P. Chmurski, G. Tomasik, *Przegląd istniejących mechanizmów DSR stosowanych na rynkach energii elektrycznej*, „Rynek Energii", 2/2010

[7] *Opracowanie modelu stosowania mechanizmów DSR na rynku energii w Polsce. Etap I: Opracowanie przeglądu aktualnie stosowanych mechanizmów DSR*, PSE Operator SA. Konstancin-Jeziorna, 14.12.2009 r.

na rozdział obciążeń, co decyduje o dużej ich przydatności do bieżącego sterowania pracą systemu elektroenergetycznego.

Efektywność cenowych programów DSR może być wyższa w przypadku wsparcia ich realizacji przez OSP i operatorów systemów dystrybucyjnych (OSD), poprzez odpowiednią konstrukcję taryf usług przesyłowych i dystrybucyjnych. Odbiorcy energii elektrycznej będą bowiem chętniej uczestniczyć w tych programach, gdy taryfy będą zróżnicowane i dopasowane do dobowej zmienności zapotrzebowania na energię elektryczną oraz do jej cen.

Taryfy cenowe są stosowane stosunkowo rzadko. Według danych *Navigant Research,* w 2016 r. na świecie objętych nimi było tylko 3,4 mln odbiorców energii elektrycznej, głównie w USA.[8] Zakres stosowania tych taryf w państwach członkowskich UE jest stosunkowo wąski. Prognozy *Navigant Research* wskazują, że w 2025 r. liczba tych odbiorców wzrośnie do 113,3 mln, z których 47,9 mln będzie zlokalizowana w USA. Kraj ten pozostanie zatem obszarem o największym zakresie stosowania taryf cenowych. Z prognoz wynika, że w Europie, w 2025 r., taryfami tymi objętych będzie 23 mln odbiorców energii elektrycznej.

Bariery szerszego stosowania taryf cenowych mają głównie podłoże społeczne, finansowe i psychologiczne. Jedną z nich jest opór sprzedawców energii elektrycznej przed wprowadzaniem zmian, które mogą utrudnić pewnym grupom odbiorców dostęp do energii. Przestawienie się na korzystanie z energii elektrycznej w godzinach nocnych może nie być łatwe, np. dla rodzin z małymi dziećmi, osób starszych lub niepełnosprawnych. Barierę o charakterze finansowym stanowią koszty wprowadzania zaawasowanej technologicznie infrastruktury pomiarowej (*Advanced metering infrastructure*, AMI), umożliwiającej bieżący pomiar wielkości poboru energii elektrycznej. Tylko bowiem pomiar tego poboru, w co najwyżej 15-minutowych odstępach czasowych, uzasadnia stosowanie taryf czasowych. Psychologiczne podłoże ma bariera braku wystarczającej wiedzy i świadomości odbiorców energii elektrycznej na temat zasad kształtowania się jej cen. W tych okolicznościach trudno zmienić ich nawyki w zakresie korzystania z energii elektrycznej. Często odbiorcy ci nie znajdują zrozumienia dla kosztów związanych z wprowadzaniem taryf czasowych, mających na celu ograniczenie szczytowych cen energii elektrycznej.

3. Koncepcja bodźcowych programów DSR

Bodźcowe programy DSR (*incentive based programs*, IBP) zarządzane są przez OSP, którzy inicjują działania prowadzące do redukcji obciążenia przez odbiorców energii elektrycznej.[9] Bezpośrednim motywem stosowania programów IBP jest poprawa warunków bilansowania systemu elektroenergetycznego, a przez to poprawa bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej w perspektywie znacznie krótszej niż w przypadku programów PBP. Programy IBP są aktywowane przez OSP w przypadku, gdy podczas planowania pracy systemu elektroenergetycznego

[8] B. Feldman, N. Strother, *Executive Summary: Dynamic pricing. Real-time pricing, critical peak pricing, peak time rebates and variable peak pricing: Global market analysis and forecasts*, Navigant Research, 1Q 2016

[9] P. Chmurski, G. Tomasik, D.D. Rasolomampionona, S. Robak, *Możliwość implementacji mechanizmów DSR w warunkach funkcjonowania rynku energii elektrycznej w Polsce*, „Rynek Energii", 4/2010

okaże się, że dostępny poziom rezerw mocy jest niewystarczający. Informacja o możliwej aktywacji programu IBP przekazywana jest odbiorcom energii elektrycznej z dobowym wyprzedzeniem, zaś decyzja o jego uruchomieniu klika godzin wcześniej.[10]

Do bodźcowych programów DSR zalicza się programy rynku usług regulacyjnych (*ancillaty services market programs*, ASMP), oferty strony popytowej na ograniczenie obciążenia (*demand bidding programs*, DBP), program przeciwawaryjnej odpowiedzi strony popytowej (*emergency demand response program*, EDRP), taryfy z wyłączeniem (*interruptible/curtalable rates*, ICR) oraz program bezpośredniego sterowania odbiorem (*direct load control*, DLC).

Program ASMP umożliwia odbiorcom energii elektrycznej zgłaszanie ofert redukcji obciążenia na rynku regulacyjnych usług systemowych. Świadczenie usługi redukcji obciążenia odbywa się na podstawie umowy zawartej między odbiorcą energii elektrycznej i OSP, w której odbiorca zobowiązuje się do utrzymywania swoich urządzeń w stanie gotowości do tej redukcji. Aktywacja tej usługi następuje na polecenie OSP i polega na wyłączeniu tych urządzeń przez odbiorcę energii elektrycznej. W efekcie, w systemie elektroenergetycznym wzrasta zakres rezerwy operacyjnej o szybkim czasie dostępu, którą można wykorzystać w procesie rozdziału obciążeń.[11] Program ASMP jest brany pod uwagę przy sprządzaniu planów operacyjnych funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. Za świadczenie usługi redukcji obciążenia, program ASMP przewiduje wynagrodzenie odbiorców energii elektrycznej, zarówno za pozostawanie w stanie gotowości, jak i za wykorzystanie tej usługi przez OSP.[12]

Odbiorcy energii elektrycznej, uczestniczący w programie DBP, zobowiązują się do świadczenia usługi redukcji obciążenia w uprzednio zdefiniowanej wielkości, w przypadku zaistnienia określonych warunków pracy systemu elektro-energetycznego. Uczestnicy programu DBP składają na aukcjach swoje oferty cenowe tej usługi. Oferty te reprezentują zasoby energetyczne, które mogą stanowić alternatywę dla zasobów oferowanych przez jednostki wytwórcze i pełnić przez to rolę wirtualnych elektrowni (*virtual power plants*, VPP).[13] W programie DBP ustala się zwykle liczbę wezwań do redukcji obciążenia, okres w ciągu dnia oraz całkowitą liczbę godzin trwania tej redukcji w ciągu określowego czasu. Płatności na rzecz odbiorców energii elektrycznej, w ramach programu DBP, stanowią wynagrodzenie zarówno za samo ich uczestnictwo w nim, nawet jeśli nie wystąpią zdarzenia inicjujące wezwanie OSP do dokonania redukcji obciążenia, jak również za faktycznie wykonaną redukcję. Program DBP przewiduje kary dla odbiorców energii elektrycznej, w przypadku braku oczekiwanej redukcji obciążenia.

Program EDRP zakłada redukcję obciążenia przez odbiorcę energii elektrycznej na polecenie OSP. O skali tej redukcji w danym okresie decyduje

---

[10] W. Kałuża, *Model DSR – reakcja strony popytowej. Jak zareagują klienci*, „Energetyka Cieplna i Zawodowa", 7-8/2010

[11] P. Bućko, *Regulacyjne usługi systemowe w zakresie mocy czynnej*. Gdańsk 2011

[12] *Opracowanie modelu stosowania mechanizmów DSR na rynku energii elektrycznej w Polsce. Etap II: Opracowanie koncepcji mechanizmów DSR dla krajowego rynku energii elektrycznej*, PSE Operator SA. Konstancin-Jeziorna, 3.03.2010 r.

[13] P. Asmus, M. Lawrence, *Executive summary: Virtual power plants. Demand response, supply-side, and mixed asset VPPs: Global market analysis and forecasts*, Navigant Research, 2Q 2014

każdorazowo odbiorca energii elektrycznej, przekazując OSP ofertę redukcji, która podlega ocenie. Uruchomienie programu EDRP następuje podczas zdarzeń zagrażających zbilansowaniu systemu elektroenergetycznego i niezawodności dostaw energii elektrycznej. Udział odbiorców energii elektrycznej w programie EDRP jest dobrowolny, co ma wpływ na jego wykorzystanie w procesie planowania pracy systemu elektroenergetycznego. Ponieważ nie ma umownego obowiązku redukcji obciążenia, OSP nie są w stanie precyzyjnie prognozować wielkości tej redukcji po aktywacji programu EDRP. Deklaracje odbiorców w zakresie wielkości tej redukcji są bowiem dostępne dopiero po ogłoszeniu tej aktywacji, tj. maksymalnie z kilkugodzinnym wyprzedzeniem. W skrajnym przypadku deklaracje te mogą się nie pojawić, nawet mimo możliwości ukarania odbiorców energii elektrycznej, co może wynikać z warunków programu. Poza wielkością redukcji obciążenia, odbiorcy energii elektrycznej mogą także deklarować cenę, za którą są skłonni wykonać tę redukcję.[14]

W odróżnieniu od programu EDRP, program ICR funkcjonuje na podstawie umowy z odbiorcą energii elektrycznej, który akceptuje zdalne wstrzymanie lub ograniczenie dostaw energii elektrycznej przez OSP lub wyraża gotowość do wyłączenia wszystkich lub części swoich urządzeń odbiorczych na polecenie OSP w godzinach niedoboru mocy w systemie elektroenergetycznym. Wielkość wyłączanej mocy i czas trwania wyłączeń jest z góry określony w umowie, która jest zawierana na okres co najmniej jednego roku. Uzgodnionym powodem wyłączeń może być także przekroczenie przez ceny energii elektrycznej z góry ustalonego poziomu. Umowa określa także stawki opłat na rzecz odbiorcy energii elektrycznej za świadczenie usługi ograniczenia obciążenia i przewiduje kary za brak należytej reakcji z jego strony. Program ICR jest zazwyczaj dedykowany największym odbiorcom przemysłowym.

Program DLC ma charakter obligatoryjny, co oznacza, że przystąpienie do niego wymusza każdorazowo na odbiorcy energii elektrycznej dokonanie redukcji obciążenia, zgodnie z wymaganiami OSP. Program DLC traktowany jest przez OSP jako jedna z ostatnich możliwości zbilansowania systemu elektroenergetycznego. Zwykle czas, który upływa od podjęcia decyzji o redukcji obciążenia do jej wykonania, może być nawet krótszy niż kwadrans. Decyzja ta jest zazwyczaj wykonywana poprzez zdalne wyłączenie urządzeń odbiorczych przez OSP. Program DLC najczęściej dotyczy urządzeń klimatyzacyjnych i podgrzewaczy wody.

4. Klasyfikacja programów DSR

Klasyfikacji programów DSR dokonano wykorzystując kryterium typu zachęty, prowadzenia ruchu systemu elektroenergetycznego, typu sterowania pracą tego systemu i kryterium użytkownika końcowego (tabela nr 1).

Zachęta klasyczna oznacza możliwość uczestnictwa odbiorców energii elektrycznej w bilansowaniu i utrzymaniu stabilności systemu elektro-energetycznego. Uczestnicząc w programach DLC i ICR, odbiorcy ci świadomie stawiają swoje zasoby energetyczne do dyspozycji OSP, który wykorzystuje je w przypadku zagrożenia pracy systemu. Motyw rynkowy przyświeca

[14] T. Olkuski, E. Ciesielka, A. Szurlej, *Programy zarządzania popytem odbiorcy energii elektrycznej*, „Rynek Energii", 4/2015

uczestnictwu odbiorców energii elektrycznej w programach ASMP, DBP i ERDP. Elementem wspólnym tych programów jest składanie ofert redukcji obciążenia, w zamian za określone wynagrodzenie. Programy te mogą zatem (ale nie muszą) zostać wykorzystane przez OSP do bilansowania i utrzymania stabilności systemu elektroenergetycznego. Perspektywa uzyskania niższej ceny energii elektrycznej skłania jej odbiorców do uczestnictwa w programach TOU, CCP i RTP. Motyw przesuwania zużycia energii elektrycznej na godziny poza szczytem nie jest więc najważniejszy przy podejmowaniu decyzji o uczestnictwie w tych programach.

Większość programów DSR odgrywa istotną rolę w procesie prowadzenia ruchu systemu elektroenergetycznego. Programy ASMP, ERDP, ICR i DLC wykorzystywane są przez OSP do spełnienia kryterium niezawodnościowego, zaś program DBP może być postrzegany jako narzędzie służące ekonomicznej optymalizacji zapotrzebowania na energię elektryczną. Niewielkie jest znaczenie, dla prowadzenia ruchu systemu elektroenergetycznego, programów TOU, CCP i RTP. O uczestnictwie w nich decyduje przede wszystkim motyw cenowy odbiorców energii elektrycznej, ale wysoka różnica w cenie może stanowić dla nich impuls do inwestycji w rozwiązania techniczne, pozwalające przesunąć popyt ze strefy wysokiej stawki do strefy stawki niskiej.

Tabela nr 1: Klasyfikacja programów DSR

Program DSR	**Kryterium klasyfikacji**											
	Typ zachęty			**Prowadzenie ruchu**			**Typ sterowania**			**Użytkownik końcowy**		
				Opeara-tywne								
	Klasyczny	Rynkowy	Cenowy	Niezawodnściowe	Ekonomiczne	Nieoperatywne	Aktywny	Pasywny	Taryfowy	Duży odbiorca przemysłowy	Odbiorca komercyjny	Odbiorca indywidualny i MSP
TOU			X			X			X	X	X	X
CCP			X			X			X	X	X	X
RTP			X			X			X	X	X	X
ASMP		X		X				X		X	X	
DBP		X			X			X		X	X	
ERDP		X		X				X		X	X	
ICR	X			X				X		X	X	
DLC	X			X			X				X	X
Suma	2	3	3	4	1	3	1	4	3	7	8	4

Źrodło: Opracowanie własne na podstawie: *Opracowanie modelu stosowania mechanizmów DSR na rynku energii w Polsce. Etap I: Opracowanie przeglądu aktualnie stosowanych mechanizmów DSR*, PSE Operator SA. Konstancin-Jeziorna, 14.12.2009 r.

Programy DSR mogą być wykorzystane przez OSP do aktywnego, pasywnego lub taryfowego sterowania systemem elektroenergetycznym. Instrumentem sterowania aktywnego jest program DLC. Pozwala on OSP na bezpośrednie wpływanie na wielkość popytu na energię elektryczną. Pasywne sterowanie systemem elektroenergetycznym umożliwiają OSP programy ASMP,

DBP, ERDP i ICR. Programy te są wprawdzie inicjowane przez OSP, ale wynikające z nich efektywne ograniczenie popytu na energię elektryczną zależy od zachowania odbiorców tej energii. Dlatego też programy ASMP, DBP, EDRP i ICR są dla nich szczególnie atrakcyjne. Nie zakładają one bowiem obligatoryjnego charakteru ich reakcji. Reakcja ta jest całkowicie dobrowolna, a jej brak nie jest powiązany z sankcjami w przypadku, gdy nie uzyska się zakładanego poziomu redukcji obciążenia. Z kolei instrumentem sterowania taryfowego są programy TOU, CCP i RTP. Wyzwalają one bowiem reakcje odbiorców energii elektrycznej poprzez bezpośrednie sygnały cenowe, wysyłane przez sprzedawców tej energii.

Największą grupę użytkowników programów DSR stanowią odbiorcy komercyjni i instytucjonalni, którzy mogą być uczestnikami wszystkich typów tych programów. Z powodu możliwości wystąpienia niebezpieczeństwa dla ludzi i urządzeń oraz znacznych szkód i strat materialnych w przypadku przerw w zasilaniu energią elektryczną, w programach DLC nie uczestniczą zazwyczaj duzi odbiorcy przemysłowi. Ze względu na ograniczenia techniczne oraz stosunkowo niski jednostkowy potencjał redukcji obciążenia, programy ASMP, DBP, ERDP i ICR nie są kierowane do grupy odbiorców indywidualnych, obejmującej głównie gospodarstwa domowe. Odbiorcy ci mogą jednak uczestniczyć w tych programach za pośrednictwem tzw. agregatorów, tj. podmiotów poszukujących niewielkich odbiorców energii elektrycznej, gotowych do świadczenia usług DSR. Dysponując odpowiednim zasobem DSR, agregatorzy ci są bowiem zdolni do współpracy z OSP.[15]

Podsumowanie

Programy DSR stają się coraz istotniejszym instrumentem bilansowania systemów elektroenergetycznych i zapewnienia (głównie) krótkookresowego bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej. Poszerzają możliwości pokrycia zapotrzebowania na energię i utrzymania stabilności systemu elektroenergetycznego w sposób inny, niż budowa nowych mocy wytwórczych. Optymalizacja zużycia energii elektrycznej, poprzez zarządzanie stroną popytową, tworzy warunki do wygładzania przebiegu krzywej obciążenia i w następstwie tego do zmniejszania średnich kosztów jej dostaw.

Wykorzystanie programów DSR jest szczególnie istotne dla państw członkowskich UE, które dynamicznie rozwijają energetykę odnawialną, co powoduje, częstszą niż dotychczas, potrzebę bilansowania systemów elektroenergetycznych. W tej sytuacji dla OSP tych państw istotne są zwłaszcza programy bodźcowe DSR, które pozwalają na szybkie zmniejszenie popytu na energię elektryczną w reakcji na wzrost zapotrzebowania i spadek wytwarzania OZE.[16] Stosowanie programów DSR sprawia, że systemy elektroenergetyczne stają się bardziej elastyczne, co oznacza większą zdolność tych systemów do szybkiej reakcji na zmiany zapotrzebowania na energię elektryczną.

Wzrost wykorzystania programów DSR jest uwarunkowany rozwojem zaawansowanych technologicznie systemów pomiaru zużycia energii elektrycznej. Klasyczne liczniki umożliwiają bowiem stosowanie jedynie niezależnych czasowo

[15] T. Olkuski, E. Ciesielka, A. Szurlej, *Programy zarządzania...,* op. cit.

[16] J. Malko, *Narastający dylemat: OZE vs Elastyczność i wystarczalność generacji*, „Rynek Energii", 5/2013

struktur cenowych. Nie mniej istotna jest powszechna dostępność inteligentnych odbiorników energii elektrycznej i systemów zarządzania tą energią, umożliwiających łatwe sterowanie popytem na energię elektryczną. Stosowaniu programów DSR sprzyja także rozwój lokalnych systemów elektroenergetycznych, funkcjonujących jako wydzielone obszary bilansowania.[17] Podstawą budowy takich systemów jest rozwój inteligentnych sieci, rozproszonych, w tym odnawialnych jednostek wytwórczych oraz zasobników energii elektrycznej. Dysponując lokalnymi zasobami energii łatwiej jest odbiorcom energii ograniczać jej zużycie w okresach szczytowego obciążenia.

Streszczenie

Celem artykułu jest określenie roli, jaką w bilansowaniu systemów elektroenergetycznych i zapewnieniu bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej mogą odegrać programy DSR. Programy te są szczególnie przydatne do bilansowania systemów elektroenergetycznych państw członkowskich UE, penetrowanych w coraz większym stopniu przez źródła odnawialne. W warunkach dynamicznego rozwoju energetyki odnawialnej coraz ostrzejsze stają się wymogi operatorów i użytkowników tych systemów dotyczące ich elastyczności. Stosunkowo prostym środkiem prowadzącym do spełnienia tych wymogów jest stosowanie programów DSR.

Wspomniany cel osiągnięto poprzez prezentację, klasyfikację i analizę porównawczą bodźcowych i cenowych programów DSR, tj. programu taryf wielostrefowych, programu taryf czasu rzeczywistego, programu taryf z krytyczną stawką cenową, a także programu rynku usług regulacyjnych, programu ofert strony popytowej, programu przeciwawaryjnej odpowiedzi strony popytowej oraz programu bezpośredniego sterowania odbiorem.

Słowa klucze: reakcja strony popytowej, elastyczność systemu elektroenergetycznego, bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej

Summary

The aim of this article is to define the role, which DSR programs can play in balancing power systems and ensuring the security of electricity supply. These programs are particularly useful for balancing the electricity systems of EU Member States, penetrated increasingly by renewable sources. In the conditions of dynamic development of renewable energy increasingly stringent are the requirements of operators and users of these systems for their flexibility. Relatively simple solution to meet these requirements is using DSR programs.

The above mentioned aim is achieved through the presentation, classification and comparative analysis of incentive- and price based DSR programs, i.e. time of use, real time pricing, critical peak pricing and ancillaty services market programs, demand bidding programs, emergency demand response programs, interruptible/curtalable rates and direct load control.

Key words: demand response, flexibility of electricity system, security of electricity supply

[17] A. Olszewski, M. Wrocławski, *Bilansowanie mocy w systemie dystrybucyjnym czynnikiem wspierającym rozwój usług systemowych*, „Energia Elektryczna”, 3/2016

Bibliografia

1. Asmus P., Lawrence M., *Executive summary: Virtual power plants. Demand response, supply-side, and mixed asset VPPs: Global market analysis and forecasts*, Navigant Research, 2Q 2014
2. Bućko P., *Regulacyjne usługi systemowe w zakresie mocy czynnej*. Gdańsk 2011
3. Chmurski P., Tomasik G., Rasolomampionona D.D., Robak S., *Możliwość implementacji mechanizmów DSR w warunkach funkcjonowania rynku energii elektrycznej w Polsce*, „Rynek Energii", 4/2010
4. Elsberg M., *Blackout*. Warszawa 2015
5. Feldman B., Strother N., *Executive Summary: Dynamic pricing. Real-time pricing, critical peak pricing, peak time rebates and variable peak pricing: Global market analysis and forecasts*, Navigant Research, 1Q 2016
6. Kałuża W., *Model DSR – reakcja strony popytowej. Jak zareagują klienci*, „Energetyka Cieplna i Zawodowa", 7-8/2010
7. Lewandowski W., *Możliwości kształtowania poziomu zużycia energii elektrycznej przez odbiorców końcowych*, *www.cire.pl* (pobrano 13.10.2014 r.)
8. Lubczyński W., *Rynek negawatów. Perspektywy wdrożenia instrumentów zarządzania popytem w polskim systemie elektroenergetycznym*, Konferencja Europower. Warszawa, 8 marca 2012 r.
9. Mielczarski W., *Mix energetyczny – bariery fizyczne*, Energy Newsletters, 22.03.2013 r.
10. Olkuski T., Ciesielka E., Szurlej A., *Programy zarządzania popytem odbiorcy energii elektrycznej*, „Rynek Energii", 2/2015
11. Olszewski A., Wrocławski M., *Bilansowanie mocy w systemie dystrybucyjnym czynnikiem wspierającym rozwój usług systemowych*, „Energia Elektryczna", 3/2016
12. *Opracowanie modelu stosowania mechanizmów DSR na rynku energii w Polsce. Etap I: Opracowanie przeglądu aktualnie stosowanych mechanizmów DSR*, PSE Operator SA, Konstancin-Jeziorna, 14.12.2009 r.
13. *Opracowanie modelu stosowania mechanizmów DSR na rynku energii elektrycznej w Polsce. Etap II: Opracowanie koncepcji mechanizmów DSR dla krajowego rynku energii elektrycznej*. Konstancin-Jeziorna, 3.03.2010 r.
14. Malko J., *Narastający dylemat: OZE vs Elastyczność i wystarczalność generacji*, „Rynek Energii", 5/2013
15. Malko J., Wilczyński A., *Oszczędne, racjonalne czy efektywne użytkowanie energii elektrycznej*, „Energetyka", 9/2007
16. Rasolomampionona D.D., Robak S., Chmurski P., Tomasik G., *Przegląd istniejących mechanizmów DSR stosowanych na rynkach energii elektrycznej*, „Rynek Energii", 2/2010
17. *Scenario outlook and adequacy forecast*, ENTSO-E, June 2015
18. *The state of renewable energies in Europe*, 15th EurObserv'ER Report, 2015
19. *Wirująca Rezerwa Redukcji – lek na godziny szczytu w Polsce*, *www.wysokienapiecie.pl* (pobrano 21.03.2016 r.)

Kazimierz HERLENDER
Politechnika Wrocławska
Wydział Elektryczny
Katedra Energoelektryki

WYKORZYSTANIE SYSTEMÓW MAGAZYNOWANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ DO OPTYMALNEGO ZARZĄDZANIA ENERGIĄ ELEKTRYCZNĄ W SIECIACH TYPU SMART GRID

Wprowadzenie

W najbliższych latach należy się spodziewać dalszego rozwoju odnawialnych źródeł energii. Wynika to zarówno z prowadzonej polityki unijnej, jak i z korzyści, jakie przynosi ich wykorzystanie dla lokalnych społeczności, między innymi w obszarach: zwiększenia poziomu bezpieczeństwa energetycznego w regionach, a zwłaszcza do poprawy zaopatrzenia w energię na terenach o słabo rozwiniętej infrastrukturze energetycznej, korzyści ekologicznych, stworzenia nowych miejsc pracy czy promowania rozwoju regionalnego. Niezbędnym warunkiem umożliwiającym dynamiczny rozwój OZE w gminach jest odpowiednia świadomość zarówno społeczeństw lokalnych, jak i władz samorządowych.[1]

Jednym z priorytetowych zadań, związanych ze wzrostem instalowania systemów z odnawialnymi źródłami energii, jest racjonalne wykorzystanie energii pochodzącej z tych źródeł. W miarę stabilne i przewidywalne są systemy wykorzystujące biomasę, biogaz, geotermię, a nawet małe elektrownie wodne. Zdecydowanie trudniej jest zaprojektować efektywne systemy generacji rozproszonej w oparciu o generatory wiatrowe i systemy fotowoltaiczne.

Ze względu na wciąż znaczne koszty takich rozwiązań, bardzo istotne jest, aby systemy te były tak zaprojektowane i wykonane, aby ich efektywność była jak największa, a to wiąże się z odpowiednio dokładnie opracowanymi założeniami projektowymi.

Podstawowymi parametrami, jakie należy uwzględnić w takich systemach, to moc i energia elektryczna oraz przebiegi generacji i obciążenia w węzłach sieci elektroenergetycznych. Jednym z podstawowych elementów, które pozwalają optymalnie wykorzystać energię elektryczną wytwarzaną w niestabilnych źródłach OZE, jest możliwość jej magazynowania i dystrybucji z wykorzystaniem odpowiednich systemów monitoringu i sterowania.

Jednym z kierunków rozwoju energetyki, który promuje Unia Europejska, jest rozwój lokalnych inteligentnych systemów energetycznych, tzw. Smart Grid. Systemy te mają być autonomicznymi systemami, które będą miały różne systemy generacji konwencjonalnej i odnawialnej. W celu optymalnego zarządzania niezbędne jest instalowanie w takich układach zasobników energii. Ich parametry zależą od funkcji jakie mają pełnić w systemie.

---

[1] K. Herlender, M. Zielony, *Efektywne wykorzystanie odnawialnych źródeł energii pracujących na sieć wydzieloną*, „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa", 2011, nr 8

Sieci typu Smart Grid

W Europie, w grudniu 2004 r. utworzono Europejską Platformę Technologiczną, dotyczącą problematyki systemów energetycznych przyszłości Smart Grid (ETP SG). W kolejnych latach ETP SG przedstawiała kolejne dokumenty, określające wizje i strategie dla przyszłych europejskich sieci energetycznych. Do tych publikacji można zaliczyć m. in.:

- Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future – 2006,[2]
- Strategic Research Agenda (SRA) for Europe's Electricity Networks of the Future – 2007,[3]
- SmartGrids SRA 2035 Strategic Research Agenda Update of the SmartGrids SRA 2007 for the needs by the year 2035 – 2012.[4]

Główne cele ETP SG do 2035 roku (SRA 2035) to:

- Osiągnąć stan funkcjonalności, który optymalizuje koszty i korzystanie ze środowiska naturalnego bez utraty wysokiego poziomu bezpieczeństwa i jakości dostaw, wykorzystując jednocześnie w znacznym udziale źródła odnawialne i ciągle ten udział powiększając.
- Dostarczyć przejrzyste ramy dla transformacji europejskich sieci elektroenergetycznych oraz cele i zadania dla społeczności badawczej i wszystkich zainteresowanych podmiotów.

Smart Grid to inteligentna sieć elektroenergetyczna, w której istnieje komunikacja między wszystkimi uczestnikami rynku energii (wytwórcami, odbiorcami, operatorem sieci), mająca na celu dostarczanie usług energetycznych, zapewniając obniżenie kosztów i zwiększenie efektywności oraz zintegrowanie rozproszonych źródeł energii, w tym także energii odnawialnej.[5]

Sieć inteligentna wykorzystuje innowacyjne produkty i usługi wraz z zaawansowanym monitorowaniem, sterowaniem, komunikacją i technologiami systemów autodiagnostyki i autokorekty w celu:

- ułatwienia przyłączania i funkcjonowania jednostek wytwórczych różnej skali i technologii,
- umożliwienia odbiorcom wpływu na funkcjonowanie systemu,
- dostarczenia odbiorcom właściwych informacji umożliwiających wybór dostaw energii,
- znaczącej redukcji wpływu całego systemu na środowisko,
- podniesienia poziomu niezawodności i bezpieczeństwa dostaw energii.

Sieci Inteligentne muszą zagwarantować uwzględnienie współdziałania nie tylko różnych technologii, rynku i handlu, wpływu na środowisko, zasad regulacji, standardów, ICT – technologii informatycznej (*Information & Communication Technology*) i migracji strategii, ale również akceptacji społecznej i obowiązujących regulacji prawnych.

Priorytety obszarów działań/zastosowań idei Smart Grids do 2020 roku przedstawiają się następująco:

- optymalizacja wykorzystania/działania sieci,
- optymalizacja infrastruktury sieci,

---

[2] *Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future – 2006*

[3] Strategic Research Agenda (SRA) for Europe's Electricity Networks of the Future – 2007

[4] Smart Grids SRA 2035 Strategic Research Agenda Update of the Smart Grids SRA 2007 for the needs by the year 2035 – 2012

[5] *https://pl.wikipedia.org/wiki/Inteligentna_sieć_energetyczna*

- integracja wielkoskalowej generacji o zmiennym charakterze,
- rozwój odpowiedniej infrastruktury informatycznej (ICT),
- rozwój aktywnych sieci rozdzielczych,
- nowe rynki, użytkownicy, efektywność energetyczna.

Smart Grid pozwala wykorzystywać wiele funkcji i technologii równocześnie. Zwiększa komfort korzystania z energii i przynosi oszczędności indywidualnemu odbiorcy oraz niesie korzyści ekologiczne i makroekonomiczne. Jest nowoczesną, w pełni dyspozycyjną siecią oplataną systemami zdalnego i dwukierunkowego odczytu, dzięki którym spółka dystrybucyjna może kontrolować dostawy energii, rozpływy w sieci, sprawniej zarządzać jej wyłączeniami, szybciej reagować na awarie, bilansować moce przyłączanych farm wiatrowych, fotowoltaicznych czy biogazu, a także lepiej współpracować z krajowym systemem elektroenergetycznym.[6] Oprócz tego, sieć ta obejmie funkcje związane z ładowaniem samochodów elektrycznych w domu, na stacjach i parkingach.

Początkowo termin „Smart Grid" dotyczył jedynie smart meteringu, czyli inteligentnych pomiarów, jednak w krótkim czasie termin ten nabrał nowego znaczenia i dotyczy teraz znacznie większego zakresu działań, takich jak sterownie mocą czynną i bierną, automatyzacja, możliwość integracji z siecią ogniw fotowoltaicznych oraz samochodów elektrycznych.[7] Przedsiębiorstwa energetyczne muszą zatem dużo inwestować w swoje sieci, aby zwiększyć ich niezawodność. Inwestycje te dotyczą następujących obszarów:

- zaawansowanej infrastruktury pomiarowej (ang. *Advanced Metering Infrastructure* – AMI) dla sieci ŚN i nn: urządzeń pomiarowych (czujniki, inteligentne liczniki) i kontrolnych (wyłączniki z samoczynnym ponownym zamykaniem, bezpieczniki), także na poziomie urządzeń domowych,
- automatyzacji podstacji: systemów zarządzania energią i systemów w podstacjach, które monitorują zdarzenia i jakość dostaw energii, a także przełączniki kontrolne przepływu energii,
- automatyzacji dystrybucji: komponenty i aplikacje sieci Smart Grid, zwiększające niezawodność sieci dystrybucyjnej,
- aplikacji Smart Grid (rozszerzone funkcje zarządzania awariami, systemy zarządzania aktywami itp.), w połączeniu ze sztuczną inteligencją, ułatwiającą eksploatację i utrzymanie sieci energetycznej.

Przejście do technologii tak zaawansowanej jak Smart Grid niesie ze sobą wiele trudności. Przekształcenie sieci w inteligentną to w pierwszym rzędzie zmiana infrastruktury przesyłowej na wytrzymującą większe przeciążenia, ale to także masowa przebudowa instalacji w starych budynkach, rozwiązanie nurtujących już dziś spółki dystrybucyjne problemów z przyłączaniem odnawialnych źródeł energii i bilansowaniem energii wytwarzanej przez źródła rozproszone, kwestia zbliżenia generacji rozproszonej do punktów poboru i dużej elastyczności z przechodzeniem do pracy wyspowej. Widać więc jasno, że pierwszą i największą przeszkodą dla rozwoju sieci energetycznych są koszty modernizacji. Ponadto wdrażanie inteligentnych sieci w Polsce utrudnione jest strukturą własności państwowej. Wieże przesyłowe i linie wysokiego napięcia są

[6] W. Kałuża, *Smart Metering i inne inteligencje*. Elektroenergetyka – współczesność i rozwój nr 1 (3), 2010

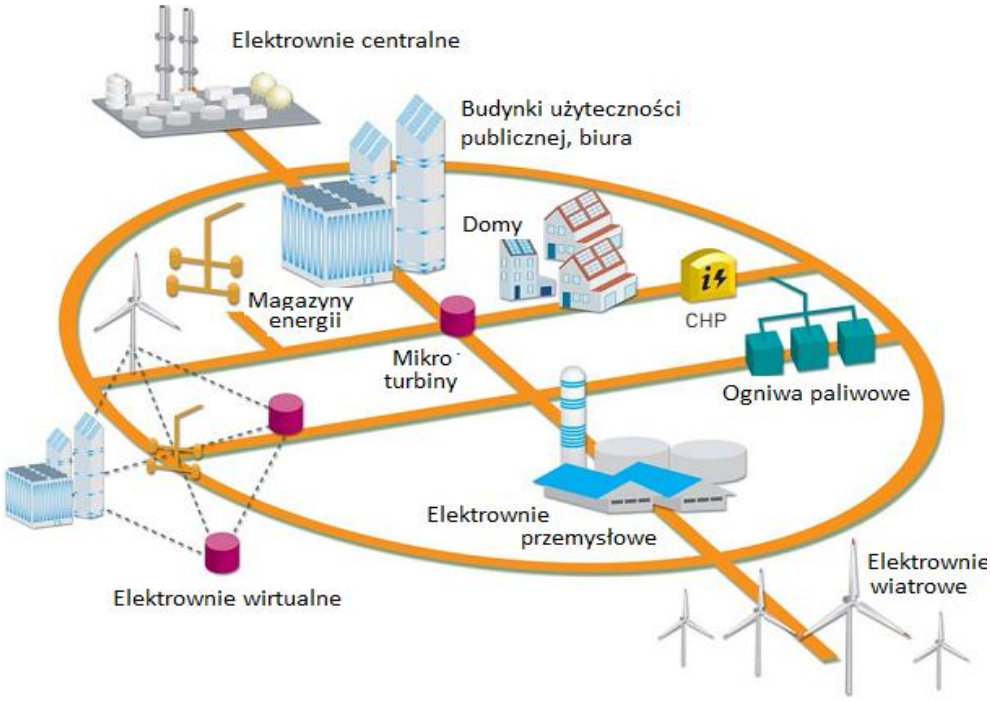
[7] J. Malko, *Sieci inteligentne – jako czynnik kształtowania sektora energii elektrycznej*, „Rynek Energii", nr 2 (87), 2010

własnością spółki skarbu państwa PSE Operator S.A. Inwestycje w inteligentne sieci powodowane są szeregiem czynników ekonomicznych, społecznych i politycznych. Polska, jako członek UE, jest zobowiązana do unowocześnienia sieci energetycznej zgodnie z dyrektywami unijnymi. Musimy zwiększyć udział energii odnawialnej w polskiej energetyce. Nie można pominąć tu także kwestii bezpieczeństwa energetycznego kraju. Inteligentne sieci mogłyby w znacznym stopniu przyczynić się do poprawy odporności sieci na wandalizm i usprawnić dywersyfikację źródeł energii. Przy modernizacji sektora energetycznego na skalę krajową, żadna nowa technologia nie zastąpi adekwatnej polityki. Polska postawa regulacyjna w stosunku do inteligentnych sieci powinna wspierać innowację i kompatybilność technologii. Głównymi celami wprowadzenia Smart Grid są bezpieczeństwo, pewność zasilania, lepsza jakość energii, ochrona środowiska oraz ograniczenie kosztów.

Prowadzenie optymalnej pracy sieci Smart Grid możliwe będzie jedynie przy zastosowaniu urządzeń umożliwiających magazynowanie energii elektrycznej, których rozwój technologiczny jest na bardzo zróżnicowanym poziomie.

Na rysunku nr 1 schematycznie przedstawiono przykład struktury inteligentnego systemu elektroenergetycznego oraz współdziałanie różnych form transformacji energii.[8]

Rysunek nr 1: Przykład struktury lokalnego systemu elektroenergetycznego



Źródło: European Smart Grid Technology Platform, European Commission EUR 22040, 2006

[8] European Smart Grid Technology Platform, European Commission EUR 22040, 2006

Główne cechy tych systemów to: zredukowane wymiary jednostek wytwarzania energii elektrycznej, sąsiedztwo generacji i obciążenia i bardzo często wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. Badania tych lokalnych systemów zajmują się interakcją i kombinacją generacji mocy oraz zarządzaniem energią.

Jednym z podstawowych elementów Lokalnych Systemów Energetycznych (LSE) powinny być systemy magazynujące energię, co w znaczny sposób ułatwi zarządzanie takim systemem. Oczywistym jest, że należy odpowiedzieć na pytania: jaki sposób magazynowania energii wykorzystać i jak optymalnie go zaprojektować?

Systemy magazynowania energii elektrycznej

W dostępnej literaturze i opracowaniach naukowych można spotkać różnorodne klasyfikacje technologii magazynowania energii – ze względu na wielkość możliwej do zmagazynowania energii, ze względu na czas przechowywania energii, ze względu na czas rozładowania, ze względu na gęstość mocy i wiele innych. Sposoby magazynowania energii, sklasyfikowane wg rodzaju magazynowanej energii, można podzielić na:

- mechaniczne metody magazynowania energii,
- elektryczne metody magazynowania energii,
- elektrochemiczne metody magazynowania energii,
- chemiczne metody magazynowania energii,
- termiczne magazyny energii.

W obecnej chwili istnieje kilka technologii magazynowania energii elektrycznej, niektóre z nich są już dobrze znane, inne zaś są jeszcze w fazie prób i zastosowań laboratoryjnych. Do najważniejszych zaliczyć można:[9]

- elektrownie szczytowo-pompowe,
- bateryjne zasobniki energii typu BES,
- koła zamachowe (zasobniki magazynujące energię kinetyczną),
- nadprzewodnikowe zasobniki energii (SMES),
- kondensatory mocy,
- sprężone powietrze (CASE).

Najważniejszymi parametrami decydującymi o możliwości wykorzystania poszczególnych technologii magazynowania są: nominalna moc technologii, zdolność magazynowania energii, czas rozładowywania w ramach jednego cyklu pracy oraz jednostkowy koszt inwestycyjny. Innymi parametrami, decydującymi o możliwości wykorzystania, mogą również być: sprawność, gabaryty zewnętrzne, czas życia oraz dostępność.

Elektrownie szczytowo-pompowe są w użyciu od roku 1929 i jest to najstarsza technologia magazynowania energii, która praktycznie do roku 1970 była jedyną komercyjnie dostępną metodą magazynowania energii elektrycznej. Moce uzyskiwane z elektrowni szczytowo-pompowych dochodzą do 1000 MW. Główne bariery do stosowania tej technologii na większą skalę to wysoki koszt inwestycyjny oraz duże ograniczenia geograficzne, geologiczne i środowiskowe, związane z budową zbiorników wodnych.

[9] K. Herlender, *Sposoby magazynowania energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym*, „Klient, Dystrybucja, Przesył", 2004, nr 5

Bateryjne zasobniki energii to technologia magazynowania energii elektrycznej, wykorzystująca baterie akumulatorów. Aktualnie na rynku jest szeroki wybór baterii dostępnych komercyjnie, a jeszcze więcej nowych technologii akumulatorów jest dopiero w fazie projektowania. W konwencjonalnej baterii ładowanie powoduje reakcje w elektrochemicznych mieszaninach, aby zgromadzić energię elektryczną w formie chemicznej. W razie potrzeby, odwrotne reakcje chemiczne powodują, że energia elektryczna oddawana jest z powrotem do sieci elektroenergetycznej. Pierwszą dostępną na rynku baterią była bateria ołowiowo-kwasowa i jest ona do tej pory najczęściej stosowana w różnego typu aplikacjach. Najnowszą wersją baterii ołowiowo-kwasowej jest bateria VRLA (z zaworem regulacyjnym), która jest baterią bezobsługową o dłuższym czasie życia i kompaktowej obudowie. W praktyce można spotkać również inne typy baterii akumulatorów, np. niklowo-kadmowe czy litowo-jonowe. Zainstalowane moce zasobników bateryjnych wahają się w szerokich granicach: od kilkudziesięciu kilowatów do modułowych zestawów sięgających kilka megawatów. Skutkiem tego jest możliwość stosowania baterii zarówno w obszarze generacji energii elektrycznej, przesyłu i dystrybucji, jak również u odbiorców indywidualnych.

Koła zamachowe to zupełnie nowa technologia magazynowania energii elektrycznej, uzyskiwana poprzez jej zamianę w energię kinetyczną wirujących mas. Obecnie urządzenia takie budowane są jako egzemplarze prototypowe do zastosowań studyjnych i laboratoryjnych. Zasobnik energii tego typu zbudowany jest z koła zamachowego, które wiruje z bardzo dużą prędkością i połączonego z nim generatora elektrycznego, który działa jednocześnie jako silnik. Użycie łożysk magnetycznych oraz komory próżniowej pomaga w zredukowaniu strat mechanicznych. Właściwe połączenie geometrii i właściwości użytych materiałów wpływają na optymalną konstrukcję koła zamachowego. Prace nad wykorzystaniem takich urządzeń w energetyce skupiają się głównie na użyciu ich do poprawy jakości energii elektrycznej.

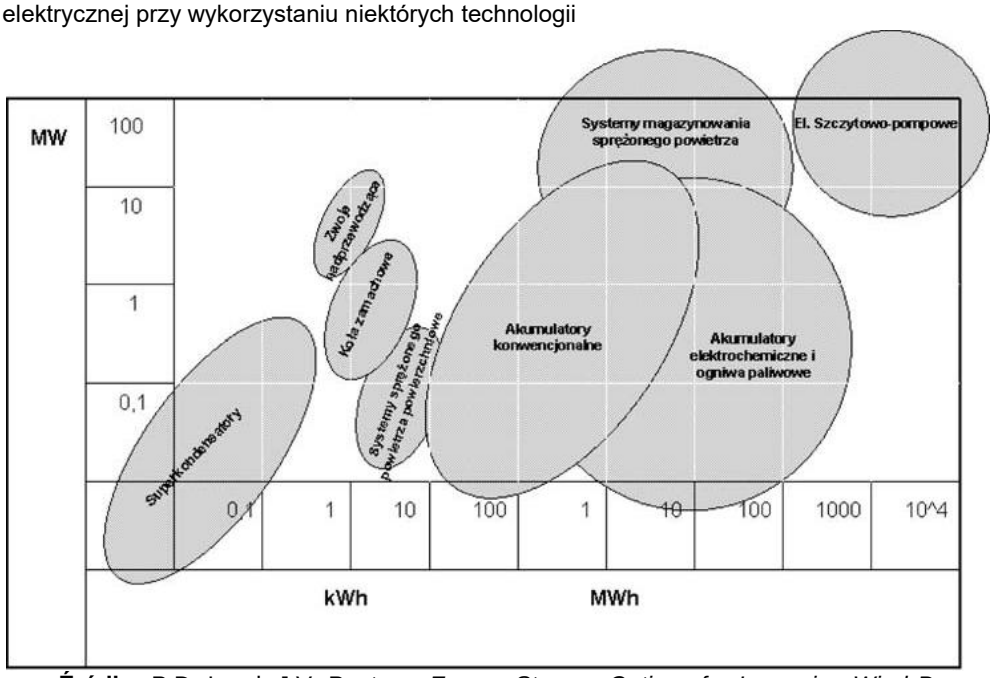
Nadprzewodnikowy zasobnik energii (SMES) to układ, który gromadzi energię elektryczną w polu magnetycznym, wywołanym przez przepływ prądu elektrycznego w cewce z materiału nadprzewodzącego. Aby utrzymać cewkę w stanie nadprzewodnictwa, zanurzona jest ona w ciekłym helu zawartym w kriostacie z izolacją próżniową. Wyprowadzenie energii z nadprzewodnikowych zasobników energii jest dużo mniej zależne od tempa rozładowania niż jest to w przypadku baterii. SMES charakteryzują się dużą liczbą cykli życia, co powoduje, iż nadają się one do aplikacji o pracy zarówno okresowej jak i ciągłej. Chociaż badania nad SMES były prowadzone na większych układach w zakresie od 10 do 100 MW, to ostatnio skupiono się na mniejszych systemach (od 1 do 10 MW) tzw. micro-SMES. Będą one dostępne na rynku jako urządzenia do poprawy jakości energii elektrycznej.

Kondensatory mocy, jako zasobniki energii elektrycznej, są, z wyżej opisanych, najmłodszą technologią magazynowania energii. Kondensator elektrochemiczny posiada zarówno elementy kondensatora jak i baterii, w konsekwencji napięcie pojedynczego ogniwa jest ograniczone do kilku woltów. Ładowanie odbywa się za pośrednictwem jonów, tak jak ma to miejsce w baterii lecz nie występują w nim żadne reakcje chemiczne (tak jak w konwencjonalnym kondensatorze). Kondensator elektrochemiczny składa się z dwóch przeciwnie ładowanych elektrod, separatora, elektrolitu i układu kontroli prądu. Obecnie

bardzo małe superkondensatory o mocach 7-10 W są dostępne na rynku i znajdują szerokie zastosowanie, głównie w urządzeniach gospodarstwa domowego, do poprawy jakości energii elektrycznej.

Na rysunku nr 2 zaprezentowano rozkład typowych mocy i możliwości magazynowania energii elektrycznej dla wybranych technologii.[10]

Rysunek nr 2: Rozkład typowych mocy i możliwości magazynowania energii elektrycznej przy wykorzystaniu niektórych technologii



Źródło: P.D. Lund, J.V. Paatero, *Energy Storage Options for Improving Wind Power Quality.* Nordic Wind Power Conference, 22-23 May, Espoo. Finland 2006

Generacja Rozproszona z OZE

Układy generacji rozproszonej z odnawialnymi źródłami energii mają jedną podstawową wadę – możliwość generacji energii przez te urządzenia ściśle zależy od warunków pogodowych, wietrzności w przypadku elektrowni wiatrowych lub nasłonecznienia w przypadku elektrowni fotowoltaicznych. Powoduje to konieczność rezerwowania ich mocy w elektrowniach konwencjonalnych, co znacząco pogarsza cechy ekologiczne, eksploatacyjne i optymalne wykorzystanie źródeł energii odnawialnej. Co więcej, w przypadku nadprodukcji energii ze źródeł odnawialnych, nie ma możliwości ich wykorzystania, ulegają bezpowrotnej stracie.

Wadę tę można wyeliminować, uzupełniając system wykorzystania energii odnawialnej o układ magazynowania. Ze względu na rodzaj magazynowanej energii, mogą to być układy magazynowania: mechaniczne, elektryczne, elektrochemiczne, chemiczne lub termiczne, a wśród nich najpopularniejsze to elektrownie szczytowo-pompowe, koła zamachowe, akumulatory, superkondensatory

[10] P.D. Lund, J.V. Paatero, *Energy Storage Options for Improving Wind Power Quality*. Nordic Wind Power Conference, 22-23 May, Espoo. Finland 2006

i magazyny sprężonego powietrza. Każde z nich posiadają szereg własności charakterystycznych, które pozwalają na ich poprawny dobór dla konkretnej instalacji. Dobierając magazyn energii należy przeanalizować jego: moc, pojemność, sprawność, czas rozładowania, liczbę cykli ładowania, a także zdolność do samorozładowania, ale przede wszystkim wpływ na środowisko (z założenia instalacje wykorzystujące odnawialne źródła energii powinny być proekologiczne). Ponadto, na dobór optymalnego systemu magazynowania ma wpływ wielkość instalacji oraz rodzaj wykorzystywanej energii odnawialnej (wiatrowa, słoneczna).

Instalacje fotowoltaiczne najczęściej wyposaża się w magazyn energii w postaci akumulatora, ponieważ możliwe jest gromadzenie energii wprost bez konieczności jej konwersji do innej formy. Ze względu na bardzo duży wybór akumulatorów na rynku (rodzaje i wielkości), możliwa jest ich optymalizacja pod względem pojemności, sprawności, żywotności dla konkretnej instalacji solarnej. To właśnie akumulatory najczęściej wykorzystywane są w aplikacjach domowych do gromadzenia energii generowanej przy niewielkim odbiorze, która może być zużyta w szczycie zapotrzebowania na energię. Zastosowanie akumulatora w domowej instalacji solarnej pozwala zredukować dobowy pobór energii z sieci do kilkunastu procent, a przy bardzo dobrych warunkach słonecznych (latem), nawet do zera. W instalacjach tego typu energia słoneczna wykorzystywana jest w pełni i w sposób odpowiadający zapotrzebowaniu.

Optymalne wykorzystanie energii wiatru jest jeszcze trudniejsze, ponieważ ilość energii generowanej przez turbiny wiatrowe ściśle zależy od prędkości wiatru, a ta charakteryzuje się ogromną zmiennością nie tylko w ciągu dnia, ale także w ciągu godziny, a nawet minuty. Z tego względu energia wiatru jest trudna do wykorzystania przy stałym, stabilnym zapotrzebowaniu w sieci, dlatego też zastosowanie magazynów energii jest w tym przypadku bardzo pożądane. Moce, generowane przez farmy wiatrowe, sięgają kilkunastu, a czasem i kilkudziesięciu megawatów, dlatego dla zmagazynowania takich ilości energii wymagane są odpowiednio duże układy magazynowania. Bardzo dobrze w roli magazynu energii wiatrowej sprawdzają się elektrownie szczytowo-pompowe, które zapewniają wystarczająco duży rezerwuar energii. Rzadziej stosuje się do tego celu akumulatory, ponieważ dla zapewnienia odpowiedniej pojemności magazynu konieczne są ogromne baterie akumulatorów, co zajmuje znaczącą powierzchnię i jest kosztowne. W mniejszych aplikacjach (dla pojedynczych wiatraków) stosuje się także magazyny w postaci kół zamachowych, które ze swojej zasady działania pozwalają na bardzo szybkie ładowanie magazynu, ale także natychmiastowe wykorzystanie zmagazynowanej energii.

Magazyny energii stanowią więc bardzo ważny element, który, uzupełniając instalację wykorzystania energii odnawialnej, pełni następujące funkcje:

- magazynowanie lub wykorzystanie energii (szybka reakcja), przy zmieniających się warunkach pogodowych,
- możliwość magazynowania energii w trakcie małego zapotrzebowania na energię elektryczną,
- pełne wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych, bez konieczności rozbudowy sieci elektroenergetycznej,
- pewność dostaw energii elektrycznej, bez względu na warunki pogodowe,

- oszczędność kosztów, dzięki optymalizacji wykorzystania OZE i zmagazynowanej energii,
- łatwość integracji odnawialnych źródeł energii z systemem elektroenergetycznym.

Podsumowanie

Smart Grid – inteligentna, wielofunkcyjna sieć przesyłowa przyszłości – to narzędzie efektywniejszego wykorzystania coraz droższych surowców energetycznych. Na powszechnym wdrożeniu inteligentnych sieci zyskają indywidualni odbiorcy, krajowe gospodarki i środowisko naturalne. Europa dąży dziś do wzrostu efektywności energetycznej oraz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Idea Smart Grid może być bodźcem dla rozwoju gospodarki oraz zwiększenia efekty-wności i bezpieczeństwa elektroenergetycznego. Niezbędnym elementem, pozwa-lającym na optymalną pracę sieci Smart Grid, są różnego typu magazyny energii.

Wobec licznych zalet i efektów energetycznych, ekologicznych i ekonomicznych, magazyny energii będą stawały się coraz bardziej popularne, zarówno w rozwiązaniach domowych, jak i systemowych. Ich zastosowanie, w połączeniu ze źródłami energii odnawialnej, pozwoli na bardziej efektywne i pełne wykorzystanie energii odnawialnej, dlatego w niedalekiej przyszłości będą prawdopodobnie oferowane jako elementy integralne systemów wykorzystania energii odnawialnej.

Streszczenie

Obecnie, jednym z głównych kierunków rozwoju energetyki w Unii Europejskiej, jest rozwój lokalnych inteligentnych systemów energetycznych, tzw. Smart Grid. Systemy te mają być autonomicznymi systemami, które będą miały różne systemy generacji konwencjonalnej i odnawialnej. W celu optymalnego zarządzania, niezbędne jest instalowanie w takich układach zasobników energii. Ich parametry zależą od funkcji, jakie mają pełnić w systemie.

Słowa klucze: sieci Smart Grid, generacja rozproszona, odnawialne źródła energii, magazynowanie energii elektrycznej, zasobniki energii

Summary

Currently, one of the main trend of the European Unions energy sector is the development of local intelligent energy systems called 'Smart Grids'. These autonomous systems are characterized by the exsistence of both conventional and renewable energy based generation. For optimal management of smart grids, it is necessary to install energy storage systems. Types and also parameters of energy storage connected to intelligent energy systems are related to the role they should perform in such systems.

Key words: Smart Grid, distributed generation, renewable energy sources, electricity storage, energy storage

Bibliografia

1. Herlender K., Zielony M., *Efektywne wykorzystanie odnawialnych źródeł energii pracujących na sieć wydzieloną*, „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, 2011, nr 8
2. Vision and Strategy for Europe’s Electricity Networks of the Future – 2006

3. Strategic Research Agenda (SRA) for Europe's Electricity Networks of the Future – 2007
4. SmartGrids SRA 2035 Strategic Research Agenda Update of the SmartGrids SRA 2007 for the needs by the year 2035 – 2012
5. *https://pl.wikipedia.org/wiki/Inteligentna_sieć_energetyczna*
6. Kałuża W., *Smart Metering i inne inteligencje*. Elektroenergetyka – współczesność i rozwój nr 1(3), 2010
7. Malko J., *Sieci inteligentne – jako czynnik kształtowania sektora energii elektrycznej*, „Rynek Energii", nr 2 (87), 2010
8. European Smart Grid Technology Platform, European Commission EUR 22040, 2006
9. Herlender K., *Sposoby magazynowania energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym*, „Klient, Dystrybucja, Przesył", 2004, nr 5
10. Lund P.D., Paatero J.V., *Energy Storage Options for Improving Wind Power Quality*. Nordic Wind Power Conference, 22-23 May, Espoo. Finland 2006

Jakub OSUCHOWSKI
Politechnika Opolska
Wydział Elektrotechniki Automatyki i Informatyki
Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych

INSULATOR DETECTION BASED ON HOG FEATURES DESCRIPTOR

Introduction

The transmission of electricity can be carried out using overhead lines or underground cables. Overhead line consists of three main components: conducting wires, transmission tower and insulators. Overhead lines insulators serve two main functions. They isolate the wires from the ground and tower structure, as well as provide mechanical support for the conductive wires. Insulators used in overhead lines are currently manufactured from porcelain, glass and polymeric composite materials. Porcelain insulators have been in use for over a century and are still valued by the companies specialized in distribution of the electricity. These insulators are made from clay, quartz and feldspar and then glazed in order to shed water in a more effective manner. The quality of porcelain insulator is largely dependent on parameters such as porcelain composition, production temperature and quality of the surface.[1] Porcelain insulators are available in several forms, depending on their function. The first of these insulators are Pin type insulator, which are mounted on poles in a standing position with special shafts.[2] Another type of porcelain and glass insulators are cap and pin insulators. The high-voltage transmission lines often employ a modular cap and pin insulators, in which each disc consists of ceramic or glass cover, cap and the pin. The advantage of cap and pin type insulators is the possibility of building an insulator form a different number of individual disks. In addition, in the case of failure, a single disk, instead of the whole insulator, can be replaced. The next type of porcelain insulators are post insulators. They consist of a full porcelain cylinder and the ends of steel claws. They are used to support high voltage conductor in substations. Similarly built type of porcelain insulator is a long-rod insulator. It is lighter, narrower and used as a hanging insulator. Another kind of overhead line insulators are polymer insulators, sometimes called composite. They make up a significant part of the market in the field. These insulators have many advantages: lower weight, greater mechanical strength and they are more resistant to vandalism than glass and porcelain insulators. About 60% to 70% of the newly installed insulators are the composite ones. Overhead line insulators are shaped in a way, which maximizes the length of leakage paths along the surface from one end of the insulator to the other. For this purpose, surface is formed in a wave or a series of concentric

---

[1] S. Anjum, *A Study of the Detection of Defects in Ceramic Insulators Based on Radio Frequency*, 2014; J. Holtzhausen, *High voltage insulators, Electrical Enginering*, 1934, vol. 53, no. 11; H. Cotton, H. Barber, *The Transmission and Distribution of Electrical Energy Paperback,* 1970

[2] S. Han, R. Hao, J. Lee, *Inspection of insulators on high-voltage power transmission lines, IEEE Transactions on power delivery,* 2009, vol. 24, no. 4; H. Cotton, H. Barber, *The Transmission and Distribution of Electrical Energy Paperback, 1970; Electrical4u, Online Electrical Engineering Study Site, http://www.electrical4u.com/types-of-electrical-insulator-overhead-insulator/* (access 22.06.2016)

downwardly cups. The cups act like umbrellas, ensuring that part of the surface of the insulator remains dry even in wet meteorological conditions.[3] Insulators used in overhead lines, particularly in high-voltage lines require regular inspection. It is necessary due to their degradation by atmospheric factors, the effects of temperature, as well as high voltage and mechanical stress. Security and stability of the high-voltage lines can have a significant impact on the conditions and quality of life of citizens. To prevent interruptions in the supply of electricity and shorten their time to an absolute minimum, companied which distribute electricity should conduct regular detailed and routine inspections of overhead lines.[4] The failure of the insulator occurs at the , when one of the two of its main functions (insulation and mechanical support) is not fulfilled. Different types of insulators are subject to various types of failure. There is a number of factors that might lead to the insulator failure, such as: manufacturing defects, incorrectly selected insulators, vandalism, extremely difficult working conditions, pollution and meteorological conditions. The most common failure of overhead line insulators is plates cracking due to the expansion of the cement which was used to connect the plate with the cap. Another type of failure is corrosion of the hooks. It occurs in areas exposed to moisture and accumulation of the pollution. The result of corrosion is weakening of the insulator and in the worst case, disconnection of the wire. Another type of insulator damage is crumbling core, which occurs only in polymer insulators, however. These insulators are also affected by other failures. The most serious are: the erosion of the plates due to the accumulation of dirt and salt, the tearing of the plates by strong winds and destruction of the plates by the action of the birds.[5] Glass and porcelain insulators are cracking frequently due to vandalism. In porcelain insulators vandalism results in breaking off of a piece of the plate. With respect to the glass insulators, even a minor damage causes the fracture of the whole plate, due to the hardening. These insulators have also tend to break spontaneously, due to release of tension accumulated during the toughening process. It is estimated that 50% of the costs of maintenance of the overhead lines are the costs associated with replacement, reparation and diagnostics of insulators. Insulators failures accounts for approximately 70% of downtime in the operation of the line.[6] This image shows how important is the process of diagnosis

[3] J. Holtzhausen, *High voltage insulators, Electrical Enginering,* 1934, vol. 53, no. 11; S. Anjum, *A Study of the Detection of Defects in Ceramic Insulators Based on Radio Frequency,* 2014; H. Cotton, H. *Barber, The Transmission and Distribution of Electrical Energy Paperback*, 1970

[4] S. Anjum, *A Study of the Detection of Defects in Ceramic Insulators Based on Radio Frequency,* 2014; J. Lee, J. Park, B. Cho, K. Oh, *Development of Inspection Tool for Live-line Insulator Strings in 154kV Power Transmission Lines Keywords, Power,* 2007, vol. 7, no. 1; M. Oberweger, A. Wendel, H. Bischof, *Visual Recognition and Fault Detection for Power Line Insulators, Computer Vision Winter Workshop,* 2014; X. Wang, Y. Zhang, *Insulator Identification from Aerial Images Using Support Vector Machine with Background Suppression, International Conference on Unmanned Aircraft Systems,* 2016

[5] A.Ł. Chojnacki, *Analiza niezawodności wybranych urządzeń stacji transformatorowo-rozdzielczych SN /nn, Analysis of reliability of selected devices in MV/LV substations,* 2011; W. Bretuj, J. Fleszy, K. Wieczorek, *Diagnostyka izolatorów kompozytowych eksploatowanych w liniach elektro-energetycznych, Przegląd Elektrotechniczny,* 2012, vol 5a/2012 no. 5; *INMR, INMR World Congress, http://www.inmr.com/examples-insulator-failure/* (access: 22.06.2016)*; INMR, INMR World Congress, http://www.inmr.com/overview-failure-modes-porcelain-toughened-glass-composite-insulators/2//* (access: 22.06.2016)

[6] S. Anjum, *A Study of the Detection of Defects in Ceramic Insulators Based on Radio Frequency,* 2014

and early detection of insulator failure. Diagnostics of insulators serve three major tasks: identification of damaged insulators, estimation of the degree of degradation and detection of inappropriately made or improperly selected insulators. Diagnostics of insulators can be divided into two types: tests in laboratory and in the working conditions.[7] The diagnosis of the insulators is so vital because of the enormous demand for electricity nowadays. In order to meet the demands of the market, the distributors are pressured to minimize the working downtime of the overhead lines .Achieving this goal requires conducting maintenance, and monitoring of the labor of the power line. Infrared proves to be a very effective tool in the diagnosis of the insulators. It can be used to detect a number of problems, but it works properly only under certain conditions. The difference in temperature, which allows to detect a failure of the insulator has a very narrow range of about 1°C to 8°C. Thus, the method allows to detect flaws in the porcelain insulators such as corrosion, cracking or degradation of the inner surface.[8] Another widely used method is the high potential test. This method provides high accuracy in detection of broken porcelain insulators.[9] Another method of diagnostics is the registration of ultrasound associated with the occurrence of partial discharge.[10] To determine the exact place of the formation of partial discharges, it is necessary to use UV camera. Another method of inspection of insulators is to study the electric field around the insulator. These tests should be performed using a variety of tools. Measurements obtained in this way are compared with reference data in order to find defective insulators.[11] One of the basic methods of overhead line monitoring is a visual inspection. This method allows to easily detect the obvious failures and defects such as severe corrosion, broken plates and large cracks. The success of the technique depends largely on the details that can be seen from the observation point. The problem is the necessity of detailed observation which might be occluded due to the position or placement of the insulator. The problem however, could be solved by using a helicopter or drones with high resolution cameras. Such images or videos can be analyzed online during the flight or after completion of the flight. Use of UAV vehicles makes inspection of overhead lines more efficient and precise, but unfortunately this method generates a considerable amount of data to be analyzed.[12]

---

[7] W. Bretuj, J. Fleszy, K. Wieczorek, *Diagnostyka izolatorów kompozytowych eksploatowanych w liniach elektroenergetycznych,* Przegląd Elektrotechniczny, 2012, vol 5a/2012 no. 5; S. Anjum, *A Study of the Detection of Defects in Ceramic Insulators Based on Radio Frequency,* 2014

[8] R. Salustiano, R.M. Capelini, S.R. de Abreu, M.L.B. Martinez, I.C. Tavares, G.M.F. Ferraz, M.A.A. Romano, *Development of New Methodology for Insulators Inspections on Aerial Distribution Lines Based on Partial Discharge Detection Tools, Program for Research and Technological Development of the Brazilian Electrical Power Sector regulated;* S. Han, R. Hao, J. Lee, *Inspection of insulators on high-voltage power transmission lines, IEEE Transactions on power delivery,* 2009, vol. 24, no. 4

[9] J. Lee, J. Park, B. Cho, K. Oh, *Development of Inspection Tool for Live-line Insulator Strings in 154kV Power Transmission Lines Keywords, Power,* 2007, vol. 7, no. 1; S. Anjum, *A Study of the Detection of Defects in Ceramic Insulators Based on Radio Frequency*, 2014

[10] R. Salustiano, R.M. Capelini, S.R. de Abreu, M.L.B. Martinez, I.C. Tavares, G.M.F. Ferraz, M.A.A. Romano, *Development of New Methodology for Insulators Inspections on Aerial Distribution Lines Based on Partial Discharge Detection Tools, Program for Research and Technological Development of the Brazilian Electrical Power Sector regulated*

[11] S. Han, R. Hao, J. Lee, *Inspection of insulators on high-voltage power transmission lines, IEEE Transactions on power delivery,* 2009, vol. 24, no. 4

[12] X. Wang, Y. Zhang, *Insulator Identification from Aerial Images Using Support Vector Machine with Background Suppression, International Conference on Unmanned Aircraft Systems,* 2016; S. Anjum,

Computer vision for insulator and damage detection

Computer vision is still at the innovative stage of technology adoption.[13] One of the first obvious benefits of computer vision lays in the more efficient use of observation platforms (line crawler, UAV, helicopter, telescope). Computer Vision should enables mass data acquisition, proper archivisation and preliminary labeling. This technology combined with field experience could, in the future, serve to identify issues related to a specific power components (e.g. insulators). Eventually, the database could be connected to a probabilistic diagnosis and prognosis system so that the decisions related to asset management could be assisted.[14] Computer vision might employ the images captured in visible, infrared and ultraviolet range as well as in LIDAR topology. The recognition and localization of insulators is a crucial process of the detection of the insulators failures. Recognition and localization of the insulators was a focus of a number of researches. Zhang et al.[15] use color thresholding but their method is only capable of detecting tempered glass insulators due to their characteristic color. A completely different method was proposed by Zhao et al.[16] who use a modified Markov Random Field to model the repetitive geometric structure of an insulator, which is more invariant to clutter. Oberweger[17] et al. use detection algorithm based on discriminative training of local gradient-based descriptors and a subsequent voting scheme for localization. Alternative approach[18] is to use SURF (Speeded Up Robust Features) to extract a set of feature points of the test aerial image, and then use IFS (Intuitionistic Fuzzy Set) based on correlation coefficient to partition insulator points into *k* classes. Opposing to these methods, Kawamura et al.[19] published an approach based on 3D template matching for accurate 3D localization of the insulators. Computer vision used for electrical utilities has a huge potential for increasing the efficiency of operation. For different reasons, this potential has not been completely developed nor used yet. A lot of Methods utilizing the computer vision may recognize target precisely, but often their application is limited. They are either fit for simple images or they are so complicated which can lead to a large computational load and may not solve insulators identification from aerial image under the complicated background.[20]

A Study of the Detection of Defects in Ceramic Insulators Based on Radio Frequency, 2014

[13] G.A. Moore, *Crossing the Chasm, HarperCollins, 3rd Edition,* 2014

[14] F. Mirallès, N. Pouliot, S. Montambault, H. Ireq, *State-of-the-Art Review of Computer Vision for the Management of Power Transmission Lines. 3rd Int. Conf. Appl. Robot. Power Ind.,* 2014

[15] X. Zhang, J. An, F. Chen, *A simple method of tempered glass insulator recognition from airborne image. In Proc. ICOIP,* 2010

[16] J. Zhao, X. Liu, J. Sun, L. Lei, *Detecting insulators in the image of overhead transmission lines. In Proc. ICIC,* 2012

[17] M. Oberweger, A. Wendel, H. Bischof, *Visual Recognition and Fault Detection for Power Line Insulators. Comput. Vis. Winter Work.* 2014

[18] Z. Zhao, N. Liu, *The recognition and localization of insulators adopting SURF and IFS based on correlation coefficient. Optik (Stuttg).* 2014

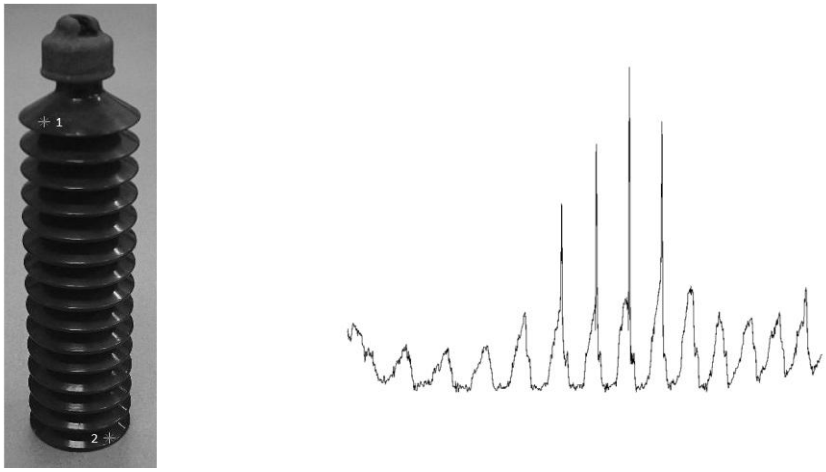
[19] K. Kawamura, M.D. Wheeler, O. Yamashita, Y. Sato, K. Ikeuchi, *Localization of insulators in electric distribution systems by using 3D template matching from multiple range images. In Proc. IROS*, 1998

[20] Z. Zhao, N. Liu, *The recognition and localization of insulators adopting SURF and IFS based on correlation coefficient. Optik (Stuttg),*2014

Line pixel value cross-sections classification

In order to detect external defects of the insulators, such as cracks, surface pollution or fractured discs, it is crucial to locate position of the insulator from the collected scene image. For this purpose classification of pixel value cross-sections along line segments is being used. Line pixel value cross section retrieves the intensity values of pixels along a line or a multiline path in the grayscale, binary, or RGB image in the current axes, and displays a plot of the intensity values. For this particular case the grayscale cross section was used. In Figure 1 pixel value cross-sections between two points of insulator image is shown.

Figure 1: Pixel value cross-sections between two insulator points. A – Two selected points, B- Cross section chart

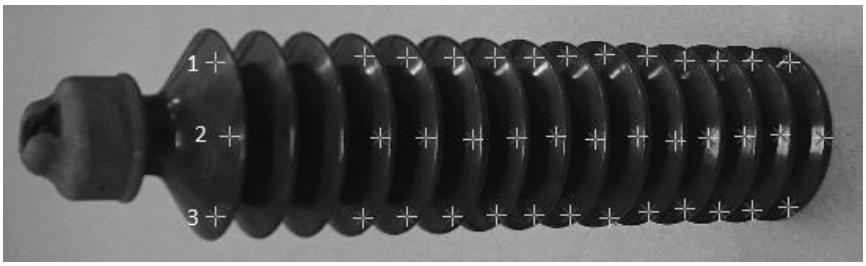


A B

Source: Own elaboration

For the purpose of classification, it was necessary to create a training data set containing insulator line pixel value cross sections. This data set was used to construct a pattern of insulator. The insulator dataset consisted of 108 line pixel value cross-section charts. For the purpose of the experiment, it was assumed that the insulator must consist of at least 4 plates and the points were selected manually. In figure 2 points selected for line pixel value cross-sections generation are shown.

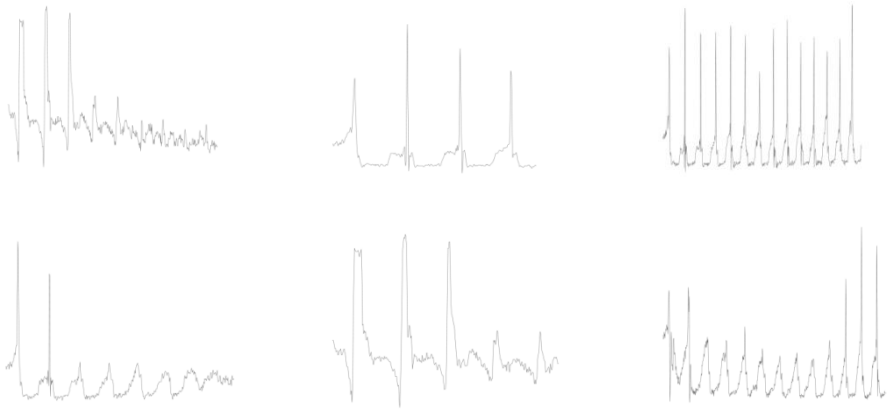
Figure 2: Points selected for line pixel value cross-sections generating



Source: Own elaboration

Graphs were generated in such a way that the first three points have been combined with the remaining 36 points. Figure 3 shows selected line pixel value cross-sections of insulator.

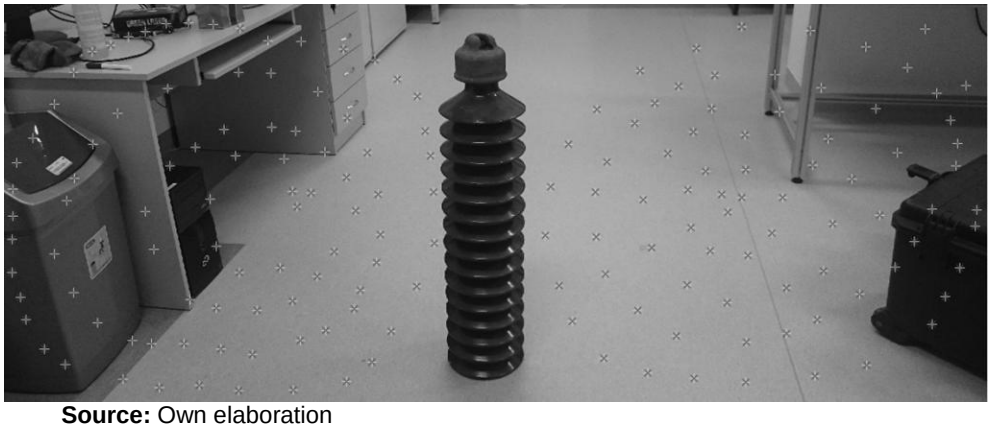
Figure 3: Selected line pixel value cross-sections charts of insulator



Source: Own elaboration

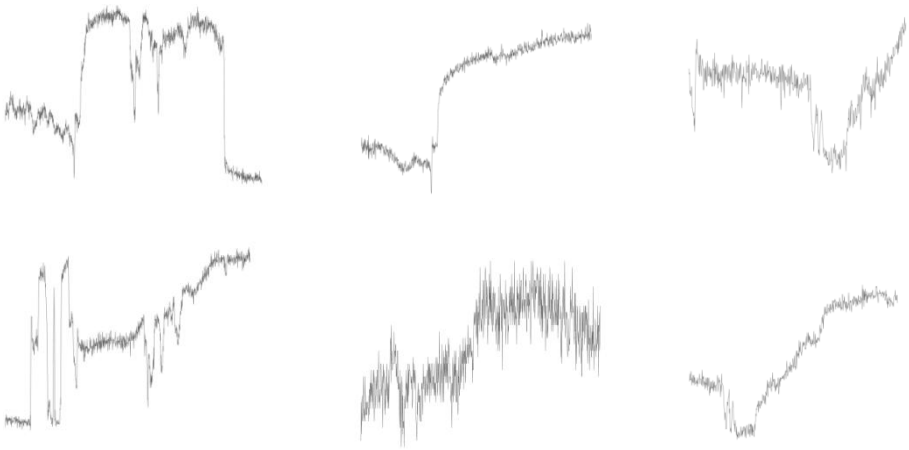
The next step of the study was to create line pixel value cross-sections of the background. The background data set consist of 243 charts. Figure 4 shows selected background points and Figure 5 shows selected background line pixel value cross-sections charts.

Figure 4: Selected background points



Source: Own elaboration

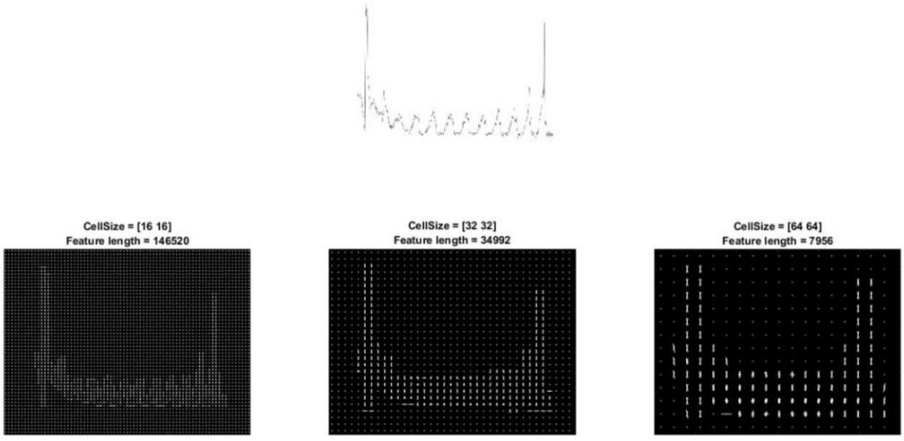
Figure 5: Selected background line pixel value cross-sections charts



Source: Own elaboration

The charts were encoded using HOG (Histogram of Oriented Gradient) algorithm. HOG is a feature descriptor used in computer vision and image processing for the purpose of object detection. The technique counts occurrences of gradient orientation in localized portions of an image, computes a dense grid of uniformly spaced cells and uses overlapping local contrast normalization for improved accuracy. Therefore, it is important to make sure the HOG feature vector encodes the right amount of information about the object. By varying the HOG cell size parameter and visualizing the result, it is possible to see the influence of the cell size parameter on the shape information encoded in the feature vector. Figure 6 shows three examples of HOG features extracted from insulator line's pixel value cross-sections chart for 3 different cell size.

Figure 6: 3 examples of HOG features extracted from insulator line pixel value cross-sections chart.

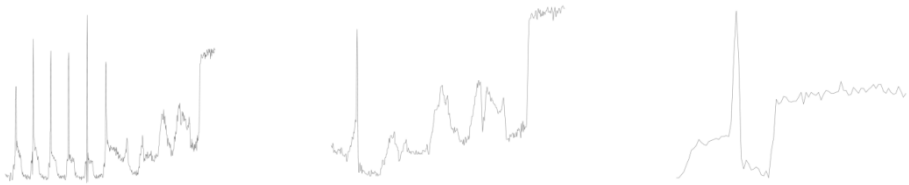


Source: Own elaboration

For the purposes of this study, it was decided to set the cell size value at 16x16. For the classification of the data, SVM (support vector machines) algorithm was used. The SVM algorithm is the supervised learning model with associated learning algorithms that analyze data. This algorithm is often used for classification and regression analysis. Next, the SVM multiclass classifier was created using extracted HOG features.

Subsequently, three additional collections of the graphs (testing data) were created. The first one contained 27 line pixel value cross-sections insulator charts (other than the reference charts), the second one contained 27 line pixel value cross-sections background charts (other than the reference charts) and the third contained 27 charts on which the insulator occupied only a part of the diagram. All the graphs were created based on the laboratory picture, similar to the reference picture. Figure 7 shows the line pixel value cross-sections charts which belongs to the third category.

Figure 7: Line pixel value cross-sections charts which belongs to the third category



Source: Own elaboration

Then, the test data were evaluate using SVM classifier.

Results

Results of the SVM classification were grouped. For each test chart classifier designated one target group. The results of the classification are shown in Table 1.

Table 1: Classification results

Type of test chart	Predicted group	Type of test chart	Predicted group
Insulator	Insulator	Background	Background
Insulator	Insulator	Background	Background
Insulator	Insulator	Background	Background
Insulator	Insulator	Background	Background
Insulator	Insulator	Background	Background
Insulator	Insulator	Background	Background
Insulator	Insulator	Background	Background
Insulator	Insulator	Background	Background
Insulator	Insulator	Background	Background
Insulator	Insulator	Background	Background
Insulator	Insulator	Background	Background

Type of test chart	Predicted group	Type of test chart	Predicted group
Insulator	Insulator	Background	Background
Insulator	Insulator	Background	Background
Insulator	Insulator	Partly Insulator	Insulator
Insulator	Insulator	Partly Insulator	Insulator
Insulator	Insulator	Partly Insulator	Background
Insulator	Insulator	Partly Insulator	Background
Insulator	Insulator	Partly Insulator	Insulator
Insulator	Insulator	Partly Insulator	Background
Insulator	Insulator	Partly Insulator	Background
Insulator	Insulator	Partly Insulator	Background
Insulator	Insulator	Partly Insulator	Insulator
Insulator	Insulator	Partly Insulator	Insulator
Insulator	Insulator	Partly Insulator	Insulator
Insulator	Insulator	Partly Insulator	Background
Insulator	Insulator	Partly Insulator	Insulator
Insulator	Insulator	Partly Insulator	Insulator
Background	Background	Partly Insulator	Background
Background	Background	Partly Insulator	Insulator
Background	Background	Partly Insulator	Insulator
Background	Background	Partly Insulator	Insulator
Background	Background	Partly Insulator	Background
Background	Background	Partly Insulator	Background
Background	Background	Partly Insulator	Background
Background	Background	Partly Insulator	Insulator
Background	Background	Partly Insulator	Insulator
Background	Background	Partly Insulator	Insulator
Background	Background	Partly Insulator	Insulator
Background	Background	Partly Insulator	Insulator
Background	Background	Partly Insulator	Background
Background	Background		

Source: Own elaboration

As the Table 1 shows, classifier worked satisfactory. All charts, which contained only the insulator line pixel value cross-sections or only the background line pixel value cross-sections had been successfully grouped. The SVM classifier detected insulators in 59.26% “Partly insulator” charts. What is curious, the algorithm had good results for quite small training data set, and charts that contain insulator only in a small part.

Conclusion

In this work a novel method for insulator detection and recognition have been presented. The algorithm uses HOG features descriptor and SVM classifier for classification of insulator and background line pixel value cross-sections charts. This method has great potential, which has been confirmed by laboratory tests. The algorithm was very accurate in detecting charts containing only line pixel value cross-sections of insulator and 59,26% in the detection of charts containing line pixel value cross-sections of insulator partly. The main and most difficult task is to develop a complete model that will works correctly also in different environmental conditions.

Streszczenie

Inspekcja linii wysokiego napięcia jest ważnym zadaniem, ponieważ pozwala na wykrywanie i zapobieganie awarii elementów linii napowietrznej. W artykule został zaprezentowany sposób wykrywania i rozpoznawania izolatora linii wysokiego napięcia na obrazach cyfrowych. W tym celu zastosowany został algorytm detekcji wykorzystujący opis cech HOG oraz klasyfikator SVM. Klasyfikacji poddane zostały wykresy wartości pixeli wzdłuż przecięcia liniowego izolatora oraz tła. Algorytm został sprawdzony w warunkach laboratoryjnych. Wyniki badania zostały przedstawione w artykule. Ponadto, zostały zaprezentowane inne istniejące metody wykrywania izolatorów na obrazach cyfrowych.

Słowa klucze: Opis cech HOG, klasyfikator SVM, Izolator, Rozpoznawanie Obrazów, Wartość pikseli wzdłuż przecięcia liniowego

Summary

The inspection of high voltage power lines is an important task in order to prevent failure of the overhead transmission line. In this work, a method for insulator detection and recognition is presented. The detection algorithm uses HOG features descriptor and SVM classifier for line pixel value cross section charts classification. The algorithm is evaluated under laboratory conditions. Results of the experiment are shown in this article. In addition, other existing methods for insulator detection are presented.

Key words: HOG features descriptor, SVM classifier, Insulator, Computer Vision, Line Pixel Value Cross Section

Bibliography

1. Anjum S., *A Study of the Detection of Defects in Ceramic Insulators Based on Radio Frequency*, 2014
2. Bretuj W., Fleszy J., Wieczorek K, *Diagnostyka izolatorów kompozytowych eksploatowanych w liniach elektroenergetycznych*, ”Przegląd Elektrotechniczny”, 2012, no. 5
3. Chojnacki A.Ł., *Analiza niezawodności wybranych urządzeń stacji transformatorowo-rozdzielczych SN /nn*, „Analysis of reliability of selected devices in MV/LV substations”, 2011
4. Cotton H., Barber H., The Transmission and Distribution of Electrical Energy Paperback, 1970

5. Electrical4u, Online Electrical Engineering Study Site, *http://www.electrical4u.com/types-of-electrical-insulator-overhead-insulator/* (access 22.06.2016)
6. Han S., Hao R., Lee J., *Inspection of insulators on high-voltage power transmission lines*, “IEEE Transactions on power delivery”, 2009, vol. 24, no. 4
7. Holtzhausen J., *High voltage insulators, Electrical Enginering*, 1934, vol. 53, no. 11
8. INMR, INMR World Congress, *http://www.inmr.com/examples-insulator-failure/* (access 22.06.2016)
9. INMR, INMR World Congress, *http://www.inmr.com/overview-failure-modes-porcelain-toughened-glass-composite-insulators/2//* (access 22.06.2016)
10. Kawamura K., Wheeler M.D., Yamashita O., Sato Y., Ikeuchi K., *Localization of insulators in electric distribution systems by using 3D template matching from multiple range images*. In Proc. IROS, 1998
11. Lee J., Park J., Cho B., Oh K., *Development of Inspection Tool for Live-line Insulator Strings in 154kV Power Transmission Lines Keywords*, “Power”, 2007, vol. 7, no. 1
12. Mirallès F., Pouliot N., Montambault S., Ireq H.*, State-of-the-Art Review of Computer Vision for the Management of Power Transmission Lines*. “3rd Int. Conf. Appl. Robot. Power Ind”, 2014
13. Moore G.A., *Crossing the Chasm*, “HarperCollins”, 3rd Edition, 2014
14. Oberweger M., Wendel A., and Bischof H., *Visual Recognition and Fault Detection for Power Line Insulators*, “Computer Vision Winter Workshop”, 2014
15. Salustiano R, Capelini R. M., de Abreu S.R., Martinez M.L.B, Tavares I.C., Ferraz G.M.F., Romano M.A.A., *Development of New Methodology for Insulators Inspections on Aerial Distribution Lines Based on Partial Discharge Detection Tools*, Program for Research and Technological Development of the Brazilian Electrical Power Sector regulated
16. Wang X., Zhang Y., *Insulator Identification from Aerial Images Using Support Vector Machine with Background Suppression*, International Conference on Unmanned Aircraft Systems, 2016
17. Zhang X., An J., Chen F., *A simple method of tempered glass insulator recognition from airborne image*. In Proc. ICOIP, 2010
18. Zhao J., Liu X., Sun J., Lei L., *Detecting insulators in the image of overhead transmission lines*. In Proc. ICIC, 2012
19. Zhao Z., Liu N., *The recognition and localization of insulators adopting SURF and IFS based on correlation coefficient*, Optik (Stuttg), 2014

Jakub OSUCHOWSKI, Paweł MICHALSKI
Politechnika Opolska
Wydział Elektrotechniki Automatyki i Informatyki
Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych

DIAGNOSTICS OF THE PHOTOVOLTAIC PANELS USING HYBRID IMAGE DATA MODEL

Introduction

The difficulty of diagnostics of technical objects lays in the specific character of the wide range industrial processes. The authors focused on a selected number of the most important aspects of object monitoring which use the computer vision methods. A model that integrates visual information in the form of visible light spectrum with information about heat on the surface of the object and three-dimensional geometry information of the surface was developed. This model requires a specific measurement approach and software. However, the final product makes it easy to analyze the distribution of the object temperature at the same time referring to the changes in geometry. Such process requires three independent sensors, ie. camera recording light in the visible spectrum; infrared camera registers the infrared, and laser scanner that gets information about objects topology. Authors present model obtained on the example of diagnostics photovoltaic panels. During this research authors analyzed the dirt surface of the photovoltaic panels, which in turn leads to lower their efficiency.

Solar energy conversion

Solar energy is converted by natural processes occurring in the biosphere into thermal, mechanical and chemical energy. It is also possible to directly convert a solar energy to the appropriate energy form, or into usable energy. The process of this conversion is carried out using three types of conversion. The first is a low temperature photo thermal conversion, which involves the use of thermal energy, formed during the absorption of solar radiation by the solids and liquids. Another type of conversion is high-temperature photothermal conversion. In this method it is necessary to apply the focusing collector, which concentrates the solar radiation. Third, the simplest and simultaneously the most advanced method of energy conversion is photovoltaic one. This method uses processing of the most basic form of solar radiation into electricity. This process takes place in a particularly simple mechanical device. This system is characterized by uncomplicated design, simple method of operation and low failure rate. Unfortunately, this system has also highest unit cost of energy production.[1]

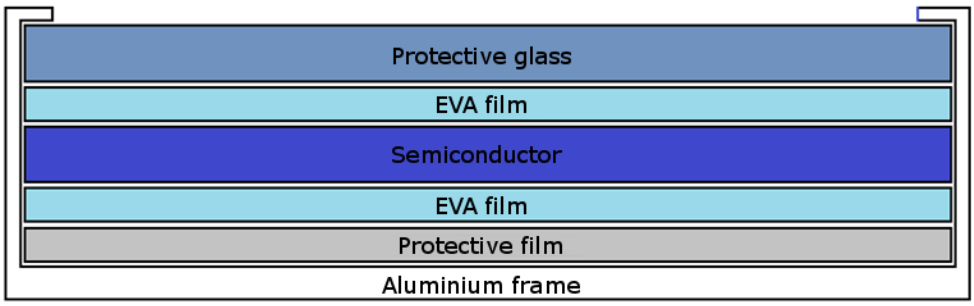
---

[1] P. Frankowski, *Perspektywy efektywnego wykorzystania energii słonecznej w gospodarstwach domowych.* Wydział Elektryczny Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie; M. Szewczyk, L. Żmuda, *Analiza dostępnych na rynku technologii z zakresu energetyki słonecznej; Technologie pozyskiwania energii promieniowania słonecznego, IOZE potencjał tkwi w naturze, http://ioze.pl/energetyka-sloneczna/technologie-pozyskiwania-energii-promieniowania-slonecznego* (access 21.06.2016)

The construction of the photovoltaic cell

The solar cell (photovoltaic) is a semiconductor element, wherein direct conversion of solar energy into electrical energy takes place. It is formed in a semiconductor material, in which is a potential barrier (electric field) in the form of P-N junction (positive-negative). The solar radiation, with energy is greater than the width of the energy gap knocks electrons out of their seats in the structure of a semiconductor, and creates pairs of oppositely charged carriers. At that point, they are separated by an electric field existing at the p-n junction, this causing potential difference which is electric voltage. Single cell normally produces between 1W to 6W, which is insufficient for most applications. Since the photovoltaic cells are fragile and have no resistance to weather conditions, there is no possibility of their practical use without processing them beforehand. To achieve higher voltages or currents and for greater durability, cells are connected in series or in parallel form to create a photovoltaic module. These modules are encapsulated to protect them from corrosion, moisture, dirt and atmospheric influences. There is a very wide range of modules of different sizes and construction. Some modules are manufactured with special properties, for example: corrosion-resistant and integrated into the roofs and facades of buildings. Photovoltaic panel is made by connecting multiple photovoltaic modules in order to obtain higher power. Photovoltaic cells are usually laminated using EVA foil (Ethylene Vinyl Acetals). Protective glass is placed in front of photovoltaic panel, while on the back the cell is fixed with protective foil. The whole panel is enclosed in an aluminum housing.[2] Cross section of PV panel is shown in Figure 1.

Figure 1: Photovoltaic panel cross section.



Source: Own elaboration

The photovoltaic panel produces a direct current. Current level at the panel output can be increased by parallel modules connecting, but it depends mainly on the sunlight power. Photovoltaic panel can be designed to work with virtually any voltage up to a few hundred volts, by connecting the modules in series. The panels mounted on the mounting structures with attached cable are called photovoltaic

[2] C. Almgren, *Solar PV Cells Free Electricity from the Sun; Elementy systemów fotowoltaicznych, IOZE potencjał tkwi w naturze, http://ioze.pl/energetyka-sloneczna/elementy-systemow-fotowoltaicznych* (access 21.06.2016); P. Frankowski, *Perspektywy efektywnego wykorzystania energii słonecznej w gospodarstwach domowych. Wydział Elektryczny Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie;* M.A. Green, *Photovoltaic principles*, "Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures" 2002, nr 14

collector (PV array). In smaller systems, photovoltaic collector may contain only a single panel.[3]

Types of PV cells

The materials used in photovoltaic cells production must bear certain characteristics. Some cells are designed to operate on the ground, while others are designed to operate in space. Most of photovoltaic cells (85 percent) are made of silicon. It can occur in three forms. The first form is monocrystalline silicon. Such cells are made from a monolithic single silicon crystal, with an ordered internal structure. Monocrystalline cells are created from plates cut from a silicon crystal. These plates have initially circular shape, and they are later cut into squares to increase the packing in the module structure. Monocrystalline solar cells have the highest conversion efficiency (15-19%) and the longest life expectancy of all silicon cells, but they are also most expensive in production. They also have a distinctive dark colour. Another type of cell is the polycrystalline cell. Despite the lower efficiency (14% -16%) than monocrystalline cells , they are more prevalent because of lower production costs. The panels produced with the use of this technology are composed of cells consisting multiple silicon crystals. The structure of these cells resembles frost. Often, these panels have a characteristic blue color and clearly defined silicon crystal. At present, the PV industry is primarily based on monocrystalline and polycrystalline silicon cells. These technologies have many advantages, among others: the possibility of utilization of the experience of well-developed semiconductor industry (microelectronics), relatively high efficiency of conversion of solar radiation, simplicity and stability. However, these cells are relatively thick and their production requires expensive materials, furthermore they are limited in size and have to be combined. Modules of these panels are not monolithically integrated.[4]

Another variety of cells without all of the disadvantages mentioned above are amorphous cells. They are made from amorphous non crystalline silicon. 2-micron layer of silicon is deposited on the surface of another material, for example glass. Single cells are not visible. These panels have usually distinctive, slightly maroon color and the lack of visible crystals of silicon. They are characterized by low efficiency in the range of 6-10%, low price associated with small costs of the material, low energy consumption during production process (mainly due to the low manufacturing temperature), they can be embedded ona flexible substrate and on very large surface. Cells and modules can be produced in any shape and size. They can be integrated with facades and roofs of buildings or they can be produced in the form of tiles. They can be designed as an opaque or translucent.[5]

---

[3] Ibidem

[4] C. Almgren, *Solar PV Cells Free Electricity from the Sun; Jak zbudowany jest panel fotowoltaiczny, Watt tworzymy technologie solarne, http://www.watt.pl/pl/produkty/evoltica---moduly-fotowoltaiczne/jakie-panele-wyrozniamy.html* (access 21.06.2016); *Rodzaje ogniw fotowoltaicznych i ich zastosowanie, IOZE potencjał tkwi w naturze, http://ioze.pl/energetyka-sloneczna/rodzaje-ogniw-fotowoltaicznych-i-ich-zastosowanie* (access 21.06.2016); S. Machnowski, *Ogniwa fotowoltaiczne – rodzaje i parametry, Ładny dom poradnik budowlany, http://ladnydom.pl/budowa/1,106578,15530522,Ogniwa_fotowoltaiczne___rodzaje_i_parametry.html* (access 21.06.2016)

[5] P. Frankowski, *Perspektywy efektywnego wykorzystania energii słonecznej w gospodarstwach domowych. Wydział Elektryczny Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie;* M.A. Green, *Photovoltaic principles,* "Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures" 2002,

The amorphous panels are produced in Thin Film technology. It involves only a very thin layers of expensive semiconductor material on low cost high surface area base. As a result, it is possible to significantly reduce the total cost of the photovoltaic cell. In this technology single, double and triple panels are being produced, which in the laboratory condition have efficiency up to 13%.[6] Another material used for thin-film cells manufacture is for example Cadmium telluride (CdTe). In this technology typically entire module is made from one cell, and it has efficiency between 10-12%. Due to low consumption of semiconductor cells based on cadmium telluride they are characterized by good price relation to the output power.[7] Another type of cells in the Thin-Film technology are CIGS cells, which are made from a mixture of semiconductors such as copper, indium, gallium, and selenium. The entire module is made from one cell, and its efficiency ranges between 12-14%. CIGS-based cells can be produced with industrial printing method, which is very cheap and efficient cell production method of cell production.[8]

Diagnostics of photovoltaic panels

Photovoltaic panels are designed for long-term usage. However, due to their construction and workplace they are prone to failure and damage. One of the main and also the most dangerous type of failure is the creation of local burn - Hot-spots. Those burnouts in the most extreme cases can cause the destruction of the entire PV installation and even fire. Seeder burnout occur in both monocrystalline, polycrystalline panels and panels produced in the Thin-Film technology. PV solar cell in normal condition generates electric current. If one of the cells is shaded, it stops generating electricity, and it starts to absorb the electricity from the rest cells. The current flow through the shaded cell raises the temperature. The temperature may rise on average from 1 to 80 ° C and in extreme cases even above 200 ° C. This may cause damage of EVA film or plastic rear wall cover.

---

nr *14*; *Jak zbudowany jest panel fotowoltaiczny, Watt tworzymy technologie solarne, http://www.watt.pl/pl/produkty/evoltica---moduly-fotowoltaiczne/jakie-panele-wyrozniamy.html* (access 21.06.2016) *Rodzaje ogniw fotowoltaicznych, Zielona Energia, http://www.zielonaenergia.eco.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=229:rodzaje-ogniw-fotowoltaicznych&catid=46:soce&Itemid=204* (access 21.06.2016)

[6] J. Duenow, T. Barnes, R. Dhere, J. Bergeson, B. Larson, J. Blackburn, A. Duda, G. Teeter, T. Gessert, *Comparison of transparent back contacts for CdTe top cells in tandem thin-film photovoltaic devices,* "Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference" 2009; M.N. Sestak, L. Yan, C. Eypert, *Spectroscopic ellipsometry characterization of thin film photovoltaic materials and devices,* "Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference" 2013

[7] D. Cusano, *CdTe solar cells and photovoltaic heterojunctions in II-VI compounds,* "Solid-State Electronics" 1963, nr 6; J. Duenow, T. Barnes, R. Dhere, J. Bergeson, B. Larson, J. Blackburn, A. Duda, G. Teeter, T. Gessert, *Comparison of transparent back contacts for CdTe top cells in tandem thin-film photovoltaic devices,* "Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference" 2009; J. Perrenoud, S. Buecheler, A. Tiwari, *Flexible CdTe solar cells with high photovoltaic conversion efficiency,* "Empa - Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research" 2009; *Rodzaje ogniw fotowoltaicznych, Zielona Energia, http://www.zielonaenergia.eco.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=229:rodzaje-ogniw-fotowoltaicznych&catid-46:soce&Itemid=204* (access 21.06.2016)

[8] J. Ho Yun, K. Hwan Kim, B. Tae Ahn, K. Hoon Yoon, *Effect of Na-doped Mo/Mo bilayer on CIGS cells and its photovoltaic properties,* "Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion" 2007,nr 112; *Rodzaje ogniw fotowoltaicznych, Zielona Energia, http://www.zielonaenergia.eco.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=229:rodzaje-ogniw-fotowoltaicznych&catid=46:soce&Itemid=204*(access 21.06.2016)

The peak temperature is achieved within within few minutes. The main causes of shading are leaves, bird droppings, dirt, snow and shadows of buildings. Mounted in panels LED by-pass diodes allow in many cases to avoid those situations, by redirecting the current of the whole strip of photovoltaic cells. These safeguards do not work if only a very small part of the cell is shaded or if the LED diode is broken. Carelessly mounted diode can overheat and lead to burning of the junction box. Another cause of the occurrence of the hot-spots cause may be factory defected cells or modules. Power loss, due to the point burnouts are usually insignificant. However, damaged modules must be replaced, especially if the EVA film was damage.[9] Photovoltaic cells contained in the photovoltaic module are hermetically encapsulated in the laminate EVA film. This film protects sensitive cells against weather (humidity, UV radiation). Error in the process of encapsulation or poor quality materials can cause delamination of the PV module. Damaged units should be replaced because of possible cell corrosion and decrease in the efficiency of the panel. Delamination may look like "milky" discoloration on the surface of the panel. If EVA film used in the panel is of insufficient quality, it can also cause browning. Higher brown heat absorption strengthens the process of further browning of EVA film. Modules with a browning effect should also be replaced.[10] Another common failure of PV panels are microcraks, which are most commonly occurring during transportation or installation. These cracks do not necessarily result in decrease in panel efficiency, but there is a risk of progression of the damage. Micro-cracks may resemble "Snail tracks". They typically show up during the first months after installation and are the result of incorrect combinations of materials. Snail tracks are considered only as an aesthetic defect. Microcracks may cause power loss at the time when the whole cell is separated from the conductive tracks.[11] Another very serious type of damage is glass break. In most cases, the cause of the cracks are external conditions, improper transport packaging, errors during installation or vandalism. Glass breakage due to the defects of the material or workmanship are extremely rare. Modules with cracked glass must always be replaced.[12] Diagnosis of PV panels has a very important role. Detection of minor faults and failures can prevent the cost of replacing the entire system. There are many diagnostic methods. The basic method, which is a reliable indicator to the panel condition is the study of panel current characteristics. This test allows to detect any electric power deflections. For a more accurate determination of the causes of lower power

[9] E. Bożek, G. Basista, *Thermographic Research of Photovoltaic System Operating in Shaded Conditions,* “Measurement Automation Monitoring” 2015, nr 61; J. Gallon, G. Horner, J. Hudson L. Vasilyev, K. Lu, *PV Module Hotspot Detection,* “Tau Science Corporation”; *Typowe wady i możliwe uszkodzenia modułów fotowoltaicznych, Sklep ASAT, http://www.sklep.asat.pl/pl/i/Typowe-wady-i-mozliwe-uszkodzenia-modulow-fotowoltaicznych/21* (access 21.06.2016)

[10] *Typowe wady i możliwe uszkodzenia modułów fotowoltaicznych, Sklep ASAT, http://www.sklep.asat.pl/pl/i/Typowe-wady-i-mozliwe-uszkodzenia-modulow-fotowoltaicznych/21* (access 21.06.2016)

[11] A. Dolara, S. Leva, G. Manzolini, E. Ogliari, *Investigation on performance decay on photovoltaic modules: Snail trails and cell microcracks,* “IEEE Journal of Photovoltaics” 2014, nr 4; *Typowe wady i możliwe uszkodzenia modułów fotowoltaicznych, Sklep ASAT, http://www.sklep.asat.pl/pl/i/Typowe-wady-i-mozliwe-uszkodzenia-modulow-fotowoltaicznych/21* (access 21.06.2016)

[12] *Typowe wady i możliwe uszkodzenia modułów fotowoltaicznych, Sklep ASAT, http://www.sklep.asat.pl/pl/i/Typowe-wady-i-mozliwe-uszkodzenia-modulow-fotowoltaicznych/21* (access 21.06.2016)

panel efficiency, it is necessary to use other diagnostic methods.[13] One of the most common method of visual diagnosis of photovoltaic panels is the use of thermal imaging. An infrared camera allows to locate defects that can cause loss of power. With this method it is possible to detect the transition resistance in the joints and solder or the point of burn.[14] Another frequently used diagnostic method is electroluminescence. This method uses the reverse principle than thermography. The panel is connected to the power supply. The panel emits radiation, which is recorded by CCD camera. Using this method it is possible to observe the distribution of currents in the panel and to find the local faults. The image obtained from the electroluminescence displays black and bright spots. Smoothly operating panel has a uniform distribution of light in color. With this method it is possible to detect: cracks and micro-cracks in the cell and interrupted metallization of the cells.[15] Diagnosis of photovoltaic farms, whose power exceeds a few hundred kilowatts, is extremely time-consuming. Serviceman with the infrared camera must pass along the entire installation and scan each panel individually. It is possible to use unmanned aerial vehicles (drones) for this purpose. Drone, flying over the entire system, can perform a scan of all panels in less than 30 minutes. Thanks to the use of GPS modules it is possible to program the drone flight and to create maps of the area. By reducing the time of diagnosis, it is possible to carry out more frequent automated measurements and it is possible to locate the errors faster and increase the reliability of the entire power plant. The collected data can help to maintain the maximum efficiency of the farm in all periods of time.[16]

The use of photovoltaic installations often involve considerable maintenance costs (especially for large photovoltaic farms). Expenses may consist of, for example: system maintenance (periodic checks, intervention in case of failure), insurance, taxes (building tax, land tax) and meter reading.[17] Maintenance of a PV installation is a task of particular importance. The maintenance includes among other things, control of panel mounts. The inspection shall be carried out once a year. It is particularly important to protect the panels from being broken by the strong wind. Another of the key activities of maintenance is cleaning of the panels. Photovoltaic panels are dirty primarily due to weather conditions, and accumulation of pollination coming from the fields, roads and factories. On panels there are deposited bird droppings, leaves, moss and gather other substances. There is a misconception that rain is sufficient for photovoltaic panels cleaning. The heavy rain is able to remove a large part of contamination, but in the end it adds up

[13] S. Spataru, D. Sera, T. Kerekes, R. Teodorescu, *Diagnostic method for photovoltaic systems based on light I-V measurements.* "Solar Energy" 2015, nr 119

[14] E. Bożek, G. Basista, *Thermographic Research of Photovoltaic System Operating in Shaded Conditions,* "Measurement Automation Monitoring" 2015, nr 61; *Diagnostyka farm fotowoltaicznych z wykorzystaniem dronów, Portal zielonej energii, http://gramwzielone.pl/energia-sloneczna/13283/diagnostyka-farm-fotowoltaicznych-z-wykorzystaniem-dronow* (access 21.06.2016)]; J. Gallon, G. Horner, J. Hudson, L. Vasilyev, K. Lu, *PV Module Hotspot Detection,* "Tau Science Corporation"

[15] *Diagnostyka, Solartec, http://www.solartec.pl/pl/farmy-solarne/eksploatacja-elektrowni-pve/diagnostyka* (access 21.06.2016); M. Köntges, M. Siebert, D. Hinken, U. Eitner, K. Bothe T. Potthof, *Quantitative analysis of PV-modules by electroluminescence images for quality control,* "24st European Photovoltaic Solar Energy Conference" 2009

[16] *Diagnostyka farm fotowoltaicznych z wykorzystaniem dronów, Portal zielonej energii, http://gramwzielone.pl/energia-sloneczna/13283/diagnostyka-farm-fotowoltaicznych-z-wykorzystaniem-dronow* (access 21.06.2016)

[17] L. Pstraś, *Metodyka analizy rentowności inwestycji fotowoltaicznych*, „Rynek Energii" 2014

to the harmful substances already deposited on the panel. Continuously accumulated contaminants may degrade the Surface of the screens in short time. Lack of proper cleaning can have a significant impact, reducing production of the energy. It is assumed that the dirt may cause a loss of power from 8% to 15%, depending on conditions. The photovoltaic system can be cleaned in two ways: manual and mechanical. Often it is necessary to hire a special cleaning company and the costs associated with cleaning of the entire system should be included in the investment photovoltaic plan.[18] The next stage of maintenance of the PV system is to remove the snow that accumulates on the surface of PV panels.[19]

Computer Vision methods in the surface diagnosis in the photovoltaic panels

Computer Vision methods are often used to maintain and control the quality of the product. They are widely used in the diagnosis of various types of objects - from small and precise, by analyzing the movement of certain elements, to large scale object like photovoltaic farms and power lines systems. An important advantage of using computer vision methods in the diagnosis, is the fact that they are non-destructive, and do not interfere in any way in the production process. Each vision system consists of at least two components: firstly, a sensor or a camera that records the image. This may be a classic camera image-recording band RGB, infrared camera, camera UV or spectral camera. The second element is the software that implements a predefined goal. This may be, for example: biometric identification, search the image certain features or patterns. The advantage of using vision techniques is the fact that regardless of the used sensor on the software side it still has to deal with the image. Which we could imagine in the most of cases as a 2D matrix. Of course, data formats and resolution of individual sensors differ from one another, but one can always lead to a situation where a single pixel on the screen represents the X, Y coordinates and additional information dependent on the sensor used. However, for this kind of data, one can use resources from well-documented and proven methods from the areas of segmentation, filtering or other methods of image analysis. A specific type of sensor is a thermal imaging camera which captures infrared radiation. This method is most commonly used to capture the heat losses. The individual temperature values are shown on the thermogram, and palette color or greyscale. Most infrared cameras offer temperature measurement of uncertainty of not less than 2 K, provided that they are properly established and introduce other parameters, such as emissivity and ambient temperature[20]. When the measurement

[18] *Czyszczenie instalacji fotowoltaicznej zwiększy jej wydajność, Portal zielonej energii, http://gramwzielone.pl/energia-sloneczna/17916/czyszczenie-instalacji-fotowoltaicznej-zwiekszy-jej-wydajnosc* (access 21.06.2016); *Fotowoltaiczna instalacja prosumencka – eksploatacja, Panele fotowoltaiczne, http://panele-fotowoltaiczne.pl/fotowoltaika-ciekawostki/instalacja-prosumencka-pv-eksploatacja* (access 21.06.2016); L. Pstraś, *Metodyka analizy rentowności inwestycji fotowoltaicznych*, „Rynek Energii" 2014

[19] *Fotowoltaiczna instalacja prosumencka – eksploatacja, Panele fotowoltaiczne, http://panele-fotowoltaiczne.pl/fotowoltaika-ciekawostki/instalacja-prosumencka-pv-eksploatacja* (access 21.06.2016); L. Pstraś, *Wpływ pokrywy śnieżnej na wydajność systemów fotowoltaicznych,* „Energetyka" 2013, nr 53

[20] S. Zator, P. Michalski, M. Lasar, *Niepewności pomiaru strat ciepła z instalacji energetycznych i urządzeń przemysłowych,* Monografia pt. „Diagnostyka procesów inwestycyjnych i eksploatacyjnych wybranych urządzeń energetycznych" Politechnika Opolska 2016

is performed from a distance, it is necessary to take into account the ambient temperature and the transmittance or attenuation atmosphere. In addition, the analysis of infrared photovoltaic panels, the phenomenon of reflection is very problematic, therefore, to obtain the most reliable results, the measurement should be performed on cloudy days. As mentioned earlier, the use of flying unit permits automation of detecting the hot-spots. Unfortunately, it is not always clear what may be causing the high temperature. Therefore, To diverse the sensors seems to be a proper approach. The most commonly used method is visual inspection, performed using visible light cameras. These cameras work in much higher resolutions compared to infrared cameras, which usually work at resolutions of 320 x 240 or 640 x 480 pixels. A higher resolution allows to capture details such as cracks or mechanical damage that can be easily located using appropriate filters. Another sensor, which has become increasingly popular, are laser scanners. Scanners stationary long-range and precision are highly valued due to the registration of the topology of large areas in a very short time. Unfortunately, until now it was not possible to use them in an efficient manner, examining photovoltaic farms, due to the nature of their construction. Currently on the market there are a light scanner unit dedicated to such UAV. YellowScan Surveyor, which allow obtaining a very dense data with a resolution of approximately 5 cm and the passing speed of 5 m / s. The scanner generates data in the form of a point cloud, which contains information about XYZ coordinate value and the intensity factor. On the basis of this ratio, it can be determined how strong the test object reflects light beam on a scale of 0-255 points. Objects whose surfaces absorb light, would then be characterized by a low coefficient values, ie. The range of 0-25 points, while those that are too shiny, would often reflect the light in such a way that the scanner will not be able to determine the coordinates of the point. Very often it happens when the scanned glittering surface is set up to the scanner vertically. This results in the lack of measuring points in this region. In the case of mobile scanners, this problem occurs to a lesser extent. Each of the presented methods have their strengths and weaknesses. Developments in the field of UAV construction has led to a state in which the possibility of free passage with additional weight within 10 kg does not surprise anyone. An example might be a UAV Tech E1100 V3 Zero Zero. Assuming that we are interested in the above methods, laser scanner is the heaviest element of the set which along with the battery, weighs 1.5 kg and allows to perform measurements for 2 h autonomously. Possibility to use multiple sensors makes possible to create synergies, which leads to creating a single coherent model of a digital object that is stored in both the three-dimensional geometry of the object, and a color corresponding to the actual information about the temperature at each point.

Results

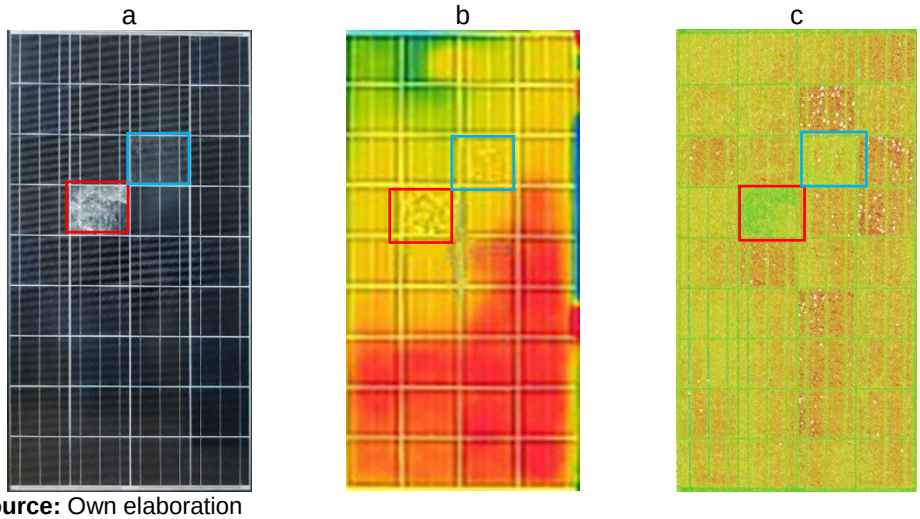
As part of the study examined there are potential possibilities for integrating different types of image data into one coherent model. The object for which the study was conducted, was a Monocrystalline 80W photovoltaic panel, shown in Figure 2, as a cloud of points with an applied band RGB. Another aspect was to investigate the possibility of Application of the vision techniques to determine the degree of soiling of PV and the decision of whether to carry out cleaning of the surface or not. Stains appearing on the surface of the PV may have a different

character, but the most common are bird droppings and all kinds of dust that deposited uniformly on the surface of the panel. In Figure 3 the authors show the PV with soiled fragments. Intentionally adopted two degrees of soiling substantial – bottom square and small - upper square. As can be seen in Figure 3a, considerable contamination is readily visible using either a camera, but there is little contamination practically invisible. In Figure 3b it cannot be determined, which results in a change of the temperature on the surface. Figure 3c shows data intensity factor, the value (0-255), which are assigned a color scale. The arithmetic mean value of the intensity points for the two study areas (cells) in the whole panel is the lowest, so it can be assumed that their surfaces are the most polluted.

Figure 2: The test panel as a hybrid model of video data

Source: Own elaboration

Figure 3: Photovoltaic panel digitized using various methods of vision: a - RGB, b - thetmovision, c - laser scanning



Source: Own elaboration

For RGB bandwidth, the possibility of creating a clean cell color pattern and then performing a comparison of the test panel with a prepared pattern was considered. This approach, however, has a significant drawback, due to slight differences in the color of the next cell. This pattern does not give information explicitly. Therefore, one should perform a pattern for each tested panel. If the measurement are performed automatically by the software, there is a problem with determining whether the panel is clean or dirty. In the case of bird droppings or leaves which drop on the surface of the panel shape pattern search can be applied. However, the dust deposited on the surface as a uniform distribution, effectively prevents both the using of a color pattern, and using a pattern shape. In the case of the measurement of infrared, the biggest problem is the previously mentioned reflection, which effectively impede the analysis of individual cells with uniform contamination. The problem is solved by the use of a laser scanner, for which color is not so great importance. The study was also conducted to verify the possibility of using a laser scanner to analyze the damaged panel of tempered glass, which was destroyed by hail. Unfortunately it is impossible to measure the glass surface due to the scattering of the laser beam, which in turn generates a measurement burdened not accurate or partial lack of the measuring points.

Conclusions

The research allows to formulate the thesis that the measurement of the surface of photovoltaic panels, using vision methods for tracking the contamination, is a legitimate approach. Even contamination of the surface is most problematic, but as presented, in this case it is possible to use the laser scanner and examine the reflectance value to find the impaired areas. In addition, a hybrid data model that stores the complete object information is proposed. The basis for the creation of such a model is a point cloud where every point stores information about XYZ, RGB color and the temperature at a given point.

Streszczenie

Artykuł porusza zagadnienia dotyczące możliwości wykorzystania metod wizyjnych w diagnostyce paneli fotowoltaicznych. Przedstawiono przegląd aktualnie wykorzystywanych metod diagnostycznych dla paneli fotowoltaicznych. Główny nacisk położono na metody, które można wykorzystywać dla dużych powierzchni, na jakich znajdują się farmy fotowoltaiczne. Autorzy zaproponowali również hybrydowy model danych, który integruje wiele z aktualnie dostępnych danych wizyjnych w jednym zbiorczym formacie. Model taki pozwala na przechowywanie informacji termowizyjnej, topologicznej, oraz o paśmie RGB. Dodatkowym aspektem badań było wykorzystanie parametru współczynnika odbicia, który można potraktować jako informację o czystości powierzchni badanej. Parametr jest wyznaczany podczas skanowania laserowego jako ilość energii, która powraca do urządzenia pomiarowego. Informację tę aktualnie wykorzystuje się na potrzeby segmentacji i filtracji danych skaningowych.

Słowa klucze: skaning laserowy, metody wizyjne, diagnostyka, współczynnik odbicia, fotowoltaika, panel fotowoltaiczny

Summary

The article focused on the possibility of using machine vision methods in the diagnosis of photovoltaic panels. Authors provides an overview of currently used diagnostic methods for photovoltaic panels. The main emphasis is on methods that can be used for large surface which may include photovoltaic farms . The authors also proposed a hybrid data model that integrates many of the currently available image data into one single format. This model allows to store information such infrared, topological and RGB. Another aspect of the research was the usage of reflectance parameter which can be treated as the purity of the surface. Parameter is determined during the laser scanning as the amount of energy that returns to the measuring device. This information is currently used for the purpose of segmentation and filtering data scanning.

Key words: laser scanning methods vision, diagnostics, reflectance, photovoltaic, photovoltaic panel

References

1. Almgren C., *Solar PV Cells Free Electricity from the Sun*
2. Bożek E., Basista G., *Thermographic Research of Photovoltaic System Operating in Shaded Conditions,* “Measurement Automation Monitoring” 2015, nr 61
3. Cader S., Dudek B., Fober R., Gontarz T., Wiśniewski W., *Zastosowanie robotyzacji i technik sztucznej inteligencji w eksploatacji sieci elektroenergetycznej pod napięciem Energetyka nr 10*, 2007 jako wykład osiemnasty w sesji 7 Akademii Energetyki
4. Cusano D., *CdTe solar cells and photovoltaic heterojunctions in II-VI compounds,* “Solid-State Electronics” 1963, nr 6
5. Czapaj-Atłas R., Dudek B., *Drony, mini- i mikrodrony – przegląd obszarów zastosowań bezzałogowych statków powietrznych dla potrzeb monitoringu i inspekcji, w szczególności w obszarze energetyki*. Energetyka, nr 8/2014
6. *Czyszczenie instalacji fotowoltaicznej zwiększy jej wydajność, Portal zielonej energii, http://gramwzielone.pl/energia-sloneczna/17916/czyszczenie-instalacji-fotowoltaicznej-zwiekszy-jej-wydajnosc* (access 21.06.2016 r.)
7. *Diagnostyka farm fotowoltaicznych z wykorzystaniem dronów, Portal zielonej energii, http://gramwzielone.pl/energia-sloneczna/13283/diagnostyka-farm-fotowoltaicznych-z-wykorzystaniem-dronow* (access 21.06.2016)
8. *Diagnostyka, Solartec, http://www.solartec.pl/pl/farmy-solarne/eksploatacja-elektrowni-pve/diagnostyka* (access 21.06.2016)
9. Dolara A., Leva S., Manzolini G., Ogliari E.*, Investigation on performance decay on photovoltaic modules: Snail trails and cell microcracks,* “IEEE Journal of Photovoltaics” 2014, nr 4
10. Duenow J., Barnes T., Dhere R., Bergeson J., Larson B., Blackburn J., Duda A., Teeter G., Gessert T., *Comparison of transparent back contacts for CdTe top cells in tandem thin-film photovoltaic devices,* “Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference” 2009

11. *Elementy systemów fotowoltaicznych, IOZE potencjał tkwi w naturze, http://ioze.pl/energetyka-sloneczna/elementy-systemow-fotowoltaicznych* (access 21.06.2016)
12. *Fotowoltaiczna instalacja prosumencka – eksploatacja, Panele fotowoltaiczne, http://panele-fotowoltaiczne.pl/fotowoltaika-ciekawostki/instalacja-prosumencka-pv-eksploatacja* (access 21.06.2016)
13. Frankowski P., *Perspektywy efektywnego wykorzystania energii słonecznej w gospodarstwach domowych.* Wydział Elektryczny Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
14. Gallon J., Horner G., Hudson J., Vasilyev L., Lu K., *PV Module Hotspot Detection,* "Tau Science Corporation"
15. Green M.A., *Photovoltaic principles, "*Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures" 2002, nr 14
16. Ho Yun J., Hwan Kim K., Tae Ahn B., Hoon Yoon K., *Effect of Na-doped Mo/Mo bilayer on CIGS cells and its photovoltaic properties,* "Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion" 2007, nr 112
17. *Jak zbudowany jest panel fotowoltaiczny, Watt tworzymy technologie solarne, http://www.watt.pl/pl/produkty/evoltica---moduly-fotowoltaiczne/jakie-panele-wyrozniamy.html* (access 21.06.2016)
18. Köntges M., Siebert M., Hinken D., Eitner U., Bothe K, Potthof T., *Quantitative analysis of PV-modules by electroluminescence images for quality control,* "24st European Photovoltaic Solar Energy Conference" 2009
19. Machnowski S., *Ogniwa fotowoltaiczne - rodzaje i parametry, Ładny dom poradnik budowlany, http://ladnydom.pl/budowa/1,106578,15530522,Ogniwa_fotowoltaiczne___rodzaje_i_parametry.html* (access 21.06.2016)
20. Perrenoud J., Buecheler S., Tiwari A., *Flexible CdTe solar cells with high photovoltaic conversion efficiency,* "Empa – Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research" 2009
21. Pstraś L., *Metodyka analizy rentowności inwestycji fotowoltaicznych,* „Rynek Energii" 2014
22. Pstraś L., *Wpływ pokrywy śnieżnej na wydajność systemów fotowoltaicznych,* „Energetyka" 2013, nr 53
23. *Rodzaje ogniw fotowoltaicznych i ich zastosowanie, IOZE potencjał tkwi w naturze, http://ioze.pl/energetyka-sloneczna/rodzaje-ogniw-fotowoltaicznych-i-ich-zastosowanie* (access 21.06.2016)
24. *Rodzaje ogniw fotowoltaicznych, Zielona Energia, http://www.zielonaenergia.eco.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=229:rodzaje-ogniw-fotowoltaicznych&catid=46:soce&Itemid=204* (access 21.06.2016)
25. Sestak M.N., Yan L., Eypert C., *Spectroscopic ellipsometry characterization of thin film photovoltaic materials and devices,* "Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference" 2013
26. Spataru S., Sera D., Kerekes T., Teodorescu R., *Diagnostic method for photovoltaic systems based on light I-V measurements.* "Solar Energy" 2015, nr 119

27. Szewczyk M., Żmuda L., *Analiza dostępnych na rynku technologii z zakresu energetyki słonecznej*
28. Świderski W., Szabra D., *Examples of processing image methods using in infrared thermograms problems,* Materiały z Międzynarodowej Konferencji OSAV'2004 /Saint Petersburg
29. *Technologie pozyskiwania energii promieniowania słonecznego, IOZE potencjał tkwi w naturze, http://ioze.pl/energetyka-sloneczna/technologie-pozyskiwania-energii-promieniowania-slonecznego* (access 21.06.2016)
30. *Typowe wady i możliwe uszkodzenia modułów fotowoltaicznych, Sklep ASAT, http://www.sklep.asat.pl/pl/i/Typowe-wady-i-mozliwe-uszkodzenia-modulow-fotowoltaicznych/21* (access 21.06.2016)
31. Zator S., Michalski P., Lasar M., Niepewności pomiaru strat ciepła z instalacji energetycznych i urządzeń przemysłowych, Monografia pt. „Diagnostyka procesów inwestycyjnych i eksploatacyjnych wybranych urządzeń energetycznych", Politechnika Opolska 2016