

Zastosowanie metody ANP do walidacji koncepcji instalacji elektrycznych w pojazdach samochodowych

Streszczenie. Artykuł przedstawia zastosowanie metodologii ANP (ang. Analytic Network Process) do walidacji koncepcji nowej samochodowej instalacji elektrycznej opracowanej przez autora pracy. Walidacja tej koncepcji została wykonana w oparciu o analizę BOCR i pozwoliła w efektywny sposób ocenić, czy nowy typ instalacji może być zastosowany w samochodowych instalacjach elektrycznych dużej mocy. Model decyzyjny został zaimplementowany w środowisku SuperDecisions, co pozwoliło na porównanie nowej koncepcji z istniejącymi wariantami instalacji elektrycznych w pojazdach osobowych.

Abstract. This article presents the application of the ANP (Analytic Network Process) methodology for validation of the concept of a new electrical installation. This concept is developed by the author of this paper. The validation of this concept was based on the BOCR analysis and allowed to effectively assess whether a new type of installation can be used in high power electrical installations. The decision model was implemented in the SuperDecisions environment, which allowed to compare the new concept with existing variants of electrical installations in vehicles. (**Application of the ANP method for validation of new concept of automotive electric system**)

Słowa kluczowe: Analityczny Proces Sieciowy, Analiza BOCR, Instalacje elektryczne w pojazdach samochodowych, Sterownik Centralnej Dystrybucji Energii

Keywords: Analytic Network Process, BOCR analysis, Automotive Electric Systems, Energy Distribution Controller

Wstęp

Procesy optymalizacji topologii instalacji elektrycznej spowodowały znaczny spadek masy, jednak masa wiązek elektrycznych oraz złącz wynosi wciąż ok. 60 kg w przypadku współczesnych pojazdów klasy wyższej (np. Audi A8 D5). Przeciętna łączna długość wiązek elektrycznych wynosi około 6000 – 7000m w zależności od wariantów wyposażenia samochodu. Złożone wiązki elektryczne jak i elementy mocujące zabierają cenną przestrzeń użytkową co jest niekorzystne, tym bardziej w przypadku pojazdów wyposażonych w liczne systemy wspomagające jazdę [1].

Rozwój instalacji elektrycznych w pojazdach umożliwił lepsze dostosowanie wiązek do obsługi wielu odbiorników energii, jednak pojazdy elektryczne i w przyszłości autonomiczne wymagają zastosowania podsieci 48V w celu redukcji strat mocy i ograniczenia prądu nominalnego [2]. Aby sprostać tym potrzebom należy zastosować instalację elektryczną, która pozwoli w efektywny sposób dostarczyć energię do odbiorników dużej mocy (np. elektryczne turbosprężarki, układy ogrzewania w pojazdach elektrycznych) [3].

Autor artykułu opracował koncepcję instalacji elektrycznej, która znajduje zastosowanie w pojazdach klasy wyższej [11]. Koncepcja ta obejmuje podsystem 48V i integruje Sterownik Centralnej Dystrybucji Energii, który odpowiada za zarządzanie przepływem energii w systemie elektrycznym pojazdu. Dzięki wykorzystaniu przetwornicy DC/DC możliwa jest integracja dwóch podsystemów elektrycznych o różnych poziomach napięć. Sterownik Centralnej Dystrybucji Energii posiada funkcje aktywnego zabezpieczenia obwodów przed przeciążeniami i przepięciami poprzez zastosowanie układów eFuse.

W artykule zostanie zaproponowana metoda wyboru wariantu instalacji elektrycznej dla pojazdów samochodowych w oparciu o metodę wielokryterialnego rozwiązywania problemów decyzyjnych ANP. Dane odnośnie budowy instalacji elektrycznych pojazdów pozyskano z serwisu A2MAC1 [13] który zajmuje się badaniem rozwiązań technicznych w branży motoryzacyjnej.

Kryteria wyboru rozwiązania technicznego

Metoda ANP (ang. Analytic Network Process) umożliwia dekompozycję złożonego problemu decyzyjnego oraz

ocenę rozwiązania technicznego poprzez utworzenie rankingu dla skończonego zbioru wariantów. Jako warianty zostaną przeanalizowane trzy typy instalacji elektrycznych: Instalacja 12V, Instalacja 12V/48V i Instalacja 12V/48V z zastosowaniem centralnej szyny zasilającej zainstalowanej w płycie podłogowej pojazdu [11]. Zaletą metody ANP jest specyficzne podejście do podejmowania decyzji, które pozwala łączyć kryteria kwantyfikowane z niekwantyfikowanymi oraz obiektywnie mierzalne z subiektywnymi, co jest bardzo istotne podczas krytycznej oceny nowych koncepcji i modeli [4].

Metoda ta jest szeroko stosowana we wspomaganiu decyzji ekonomicznych [5] i technicznych [6,7], co potwierdza jej przydatność w omawianych zastosowaniach.

W obszarze transportu metoda ta posłużyła do krytycznej oceny i walidacji systemów transportowych (Kaysi i Abdul Malak) [12], np. ocena korytarza kolejowego w Memphis, czy analiza problemów wielokryterialnych w transporcie drogowym.

Opis metody ANP

Analityczny Proces Sieciowy jest uogólnioną formą Analitycznego Procesu Hierarchicznego (AHP). Metoda ta jest powszechnie wykorzystywanym narzędziem do podejmowania złożonych decyzji w oparciu o znaną liczbę kryteriów. Metoda AHP umieszcza problem decyzyjny w hierarchii z celem, kryteriami decyzji i alternatywami, podczas gdy ANP strukturyzuje go jako sieć. Obie metody następnie używają systemu porównań parami, aby zmierzyć wagę komponentów struktury, a na końcu uszeregować alternatywy w decyzji [8].

W metodzie AHP każdy element w hierarchii jest uważany za niezależny od wszystkich pozostałych - kryteria decyzji są uważane za niezależne od siebie, alternatywy są uważane za niezależne od kryteriów decyzyjnych i od siebie nawzajem. W wielu rzeczywistych przypadkach istnieje współzależność między przedmiotami i alternatywami. Metoda ANP nie wymaga niezależności między elementami, dlatego może być w wielu przypadkach efektywnym narzędziem, co znajduje zastosowanie przy wyborze wariantu instalacji elektrycznej.

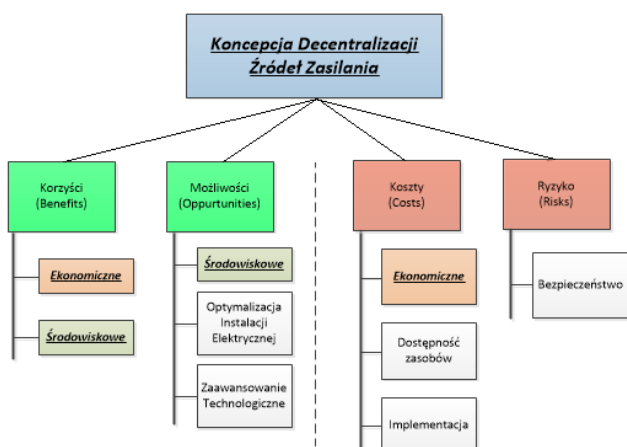
Algorytm metody ANP składa się z 4 etapów (kroków):

- I. Hierarchizacja problemu – tworzenie hierarchicznej struktury procesu decyzyjnego,

- II. Ocena kryteriów przez porównania parami,
- III. Określenie wzajemnych wag w odniesieniu do kryteriów i wariantów decyzyjnych,
- IV. Analiza wyników – tworzenie rankingu końcowego

Etap I - Polega na stworzeniu hierarchicznej struktury procesu decyzyjnego. Składa się z kilku poziomów, w których definiuje się następujące elementy: cele, kryteria, podkryteria, warianty. Głównym celem tego etapu jest abstrakcyjne przedstawienie opisu problemu, uczestników oraz głównego celu. Kolejnym krokiem jest dekompozycja problemu w postaci celu nadrzędnego, czynników głównych oraz cząstkowych. Rozważane warianty stanowią reprezentację funkcji celów, które definiowane są na poszczególnych poziomach modelu hierarchicznego [7].

Struktura hierarchiczna zastosowana do oceny instalacji elektrycznej przedstawiona jest na rys. 1 (ogólny poziom szczegółowości).



Rys.1. Hierarchiczna struktura modelu decyzyjnego.

Etap II - Preferencje decydenta określane są przy pomocy względnych ocen kryteriów i wariantów. Oceny te powstają poprzez porównywanie parami wszystkich obiektów znajdujących się na danym poziomie hierarchii. Preferencje określane są dla wszystkich poziomów hierarchii. Oceny wyrażane są przy pomocy wartości liczbowych. Zaproponowana przez Saaty'ego skala zakłada wartości od 1 do 9.

Tabela 1. Skala ocen dla kryteriów i wariantów

Skala ważności	Wyjaśnienie
1	Równoważność obu porównywanych elementów (oba elementy w równym stopniu przyczyniają się do realizacji żądanego celu).
3	Słabe (umiarkowane) znaczenie lub przewaga jednego elementu nad drugim (jeden element ma nieco większe znaczenie niż drugi).
5	Mocna przewaga jednego elementu nad innym.
7	Dominujące znaczenie lub bardzo mocna przewaga jednego elementu nad drugim.
9	Absolutne większe znaczenie jednego elementu nad drugim (przewaga jednego elementu nad drugim jest na najwyższym możliwym do określenia poziomie).
2, 4, 6, 8	Czasami istnieje potrzeba interpolacji numerycznej kompromisowych opinii, ponieważ nie ma dobrego słowa do ich opisanie (stosowane są wówczas wartości środkowe z powyższej skali).
1,1 – 1,9	Jeżeli znaczenia elementów są bliskie i prawie nie do odróżnienia, to przyjmujemy średnią równą 1,3 a ekstremum = 1,9.
Odwrotność powyższych skal	Jeżeli element <i>j</i> przyjmuje niezerowe wartości liczb oznaczające wynik porównania z elementem <i>i</i> , wtedy <i>j</i> ma odwrotną wartość, kiedy porównujemy go z elementem <i>i</i> . Jeżeli porównaniu <i>X</i> z <i>Y</i> przyporządkujemy wartość <i>a</i> , to wtedy automatycznie należy przyjąć, że wynikiem porównania <i>Y</i> z <i>X</i> musi być 1/ <i>a</i> .

Oceny o relacjach odwrotnych oznacza się przez odwrotności liczb całkowitych [7]. Dopuszczalne jest także zastosowanie wartości pośrednich. Skala ocen dla kryteriów i wariantów przedstawiona jest w Tabeli 1.

Etap kończy się utworzeniem macierzy $A=[a_{ij}]$ o wymiarach $n \times n$, w której dokonuje się $n(n-1)/2$ porównań [8]. Przekątna macierzy składa się z 1 o własności $a_{ij}=1/a_{ji}$. Macierz porównania parami przedstawiona jest poniżej:

$$(1) \quad A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Etap III – Etap ten polega na badaniu spójności macierzy. W celu zbadania tej właściwości Saaty zaproponował obliczenie dwóch współczynników spójności. Po zbudowaniu macierzy dokonuje się wyliczenia wag kryterium [8]. Sumowane są znormalizowane wiersze macierzy i wyliczony jest wektor własny. Oceny ważności elementów nie zawsze są całkowicie obiektywne, dlatego należy wprowadzić współczynnik niespójności IR, definiowany jako:

$$(2) \quad IR = \frac{CI}{RI} < 0,2$$

gdzie: *IR* – współczynnik niespójności, *CI* – współczynnik konsekwencji, *RI* – indeks losowy,

przy czym:

$$(3) \quad CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} < 0,10$$

W przypadku gdy $\lambda_{max}=n$ i $CI=0$, współczynnik *CI* oblicza się w odniesieniu do losowego wskaźnika *RI* który jest wartością średnią współczynnika konsekwencji *CI*. Parametr λ_{max} określane jest jako maksymalna własność własna.

Etap IV – Ranking końcowy tworzony jest poprzez obliczanie dla każdego wariantu wartości agregującej funkcji użyteczności. Wartość ta jest sumą iloczynów bezwzględnych wag wariantu na drodze od wariantu poprzez kryteria do celu. Bezwzględne wagi każdej macierzy oblicza się poprzez wyznaczenie jej wektora własnego. W celu wyznaczenia współczynników *CI* i *CR* danej macierzy konieczne jest znalezienie jej największej wartości własnej [8].

Implementacja modelu decyzyjnego na podstawie metody ANP została zrealizowana w środowisku SuperDecisions.

Analiza BOCR


Decyzja o wyborze wariantu realizacji koncepcji bądź projektu, wymaga zbadania wariantów pod kątem ich pozytywnego i negatywnego oddziaływania. Do pozytywnych aspektów zalicza się korzyści (Benefits) i możliwości (Opportunities), natomiast do negatywnych należą elementy związane z kosztami (Costs) i ryzykiem (Risks).

Problem z oceną wymienionych aspektów polega na trudności wyrażenia ich w kategoriach liczbowych. Aby uniknąć błędów i przypadkowości wyboru, konieczne jest odwołanie się do sprawdzonych w praktyce metod matematycznych. Do takich należy zaliczyć metody wielokryterialnego podejmowania decyzji – Multiple Criteria Decision Making (MCDM). Tworzą one dziedzinę badań operacyjnych, które są rozwijane i wdrażane, jako narzędzia wspomagające proces podejmowania decyzji [9].

Dzięki wykorzystaniu metody ANP/AHP oraz analizy BOCR można dokonać krytycznej walidacji problemu decyzyjnego. Po wykonaniu wszystkich porównań parami dokonywana jest synteza wyników wewnątrz każdego kontrolnego subsystemu: korzyści, możliwości, kosztów i ryzyka. Przed wskazaniem najlepszego rozwiązania (wybór najlepszej alternatywy decyzyjnej) należy dokonać połączenia wyników otrzymanych dla czterech kontrolnych subsystemów.

W końcowej fazie analizy BOCR dokonywana jest analiza wrażliwości dla alternatyw decyzyjnych. Analiza wykresu wrażliwości funkcji decyzyjnej to kluczowa część procedury, dzięki niej możliwe jest rozpatrzenie pozostałych wariantów pod kątem określenia końcowej decyzji. Często pojawia się wątpliwość: Czy inne rozwiązanie z podobną wielkością priorytetu może również stanowić dobre rozwiązanie i dlaczego? Właśnie na podstawie stabilności przebiegu funkcji wrażliwości można to określić.

BMW 7 Series 750i 4.4 xDrive



Teardown Year:	2016
Model Year:	2016
Production year:	2015
Number of Pictures:	46445
Number of parts:	2712
Weight:	2071.569 kg
Segment:	E

Product Summary

- Overview
- + Body 704.512 kg
- + Interior 109.845 kg
- + Seats 93.262 kg
- + Accessories 13.648 kg
- + Electrical 107.313 kg**
- + Suspension 262.085 kg
- + Exhaust 65.089 kg
- + Engine 207.227 kg
- + Transmission System 175.718 kg
- + Brakes Mechanism 86.526 kg
- + Air System 10.527 kg
- + Clutch System 19.922 kg
- + Heating System 17.121 kg
- + Air Conditioning System 10.808 kg
- + Steering System 25.508 kg
- + Cooling System - Water 38.884 kg
- + Safety System 18.458 kg
- + Fuel System 19.701 kg
- + Pedals System 2.042 kg
- + Fluids 83.373 kg

Rys.2. Masa podzespołów pojazdu BMW 750i – A2MAC1 [13].

Walidacja koncepcji decentralizacji źródeł zasilania

Walidacja Koncepcji Decentralizacji Źródeł Zasilania została wykonana w oparciu o metodę ANP opisywaną w poprzednich rozdziałach tego artykułu. Podczas tworzenia modelu decyzyjnego rozważono złożoną instalację elektryczną pojazdu BMW 750i (G11) 4.4 xDrive. Samochód ten jest wyposażony w odbiorniki dużej mocy i sterowniki, które wymagają układów zarządzających dystrybucją energii.

Rozpatrzono kompletną masę instalacji elektrycznej, w przybliżeniu 107 kg (rys. 2). Odliczając masę alternatora (7 kg) i akumulatorów (26 kg) przyjęto masę kompletnej instalacji na poziomie 74 kg.

Do tej masy wlicza się masę poszczególnych wiązek (w sumie 35,064 kg):

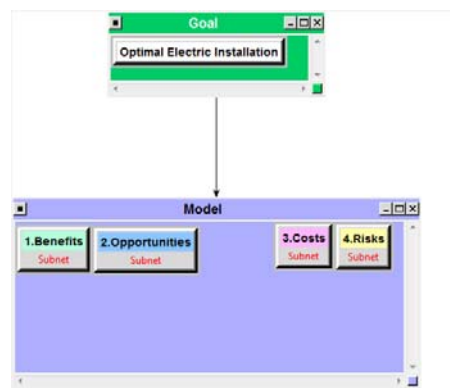
- wiązka kabiny pasażerskiej (28,937 kg)
- wiązka osprzętu silnika (3,734 kg)
- wiązka strefy przyrodziowej (1,453 kg)
- wiązka pasa przedniego (0,354 kg)
- wiązka tunelu środkowego (0,369 kg)
- pozostałe wiązki (0,208 kg).

Na rys. 2 pokazano zestawienie podzespołów wchodzących w skład samochodu BMW 750i na podstawie danych z serwisu A2MAC1 [13].

Po rozpatrzeniu budowy tej konkretnej instalacji elektrycznej opracowano model decyzyjny w środowisku SuperDecisions.

Implementacja modelu w środowisku SuperDecisions

Model decyzyjny wyboru wariantu instalacji elektrycznej został opracowany w całości przez autora w środowisku SuperDecisions. Struktura decyzyjna odnosi się do obiektu nadrzędnego jakim jest cel. Jest to w tym przypadku wybór wariantu optymalnej instalacji elektrycznej. Każda ze struktur modelu BOCR odnosi się do wydzielonych podsieci decyzyjnych. W modelu decyzyjnym zaimplementowano struktury podrzędne które reprezentują gałęzie korzyści, możliwości, kosztów oraz ryzyk zgodnie z modelem BOCR. Model ten przedstawiony na rys.2.



Rys.2 Hierarchiczny Model Decyzyjny – Implementacja w środowisku SuperDecisions.

Tabelaryczne zestawienie parametrów modelu wraz bezwzględnymi wagami dla kryteriów i subkryteriów pokazano w tabelach 2-5. Wagi określono na podstawie wiedzy eksperckiej z dziedziny projektowania instalacji elektrycznych dla pojazdów samochodowych.

W dalszej części modelu określono kryteria i subkryteria w modelu decyzyjnym (Etap II). Na rysunku 3 pokazano przykładowe sprzężenie pomiędzy gałęziami zalet (ang. Benefits) i kosztów (ang. Costs) w modelu decyzyjnym według procesu sieciowego ANP.

Tabela 2. Wagi bezwzględne gałęzi korzyści (Benefits)

Kryteria	Waga	Subkryteria	Waga
Ekonomiczne	0,098835	Koszt instalacji elektrycznej	0,04942
		Koszt projektu	0,04942
Środowiskowe	0,098835	Ograniczenie szkodliwych surowców	0,04942
		Recykling instalacji elektrycznej	0,04942

Tabela 3. Wagi bezwzględne gałęzi możliwości (Opportunities)

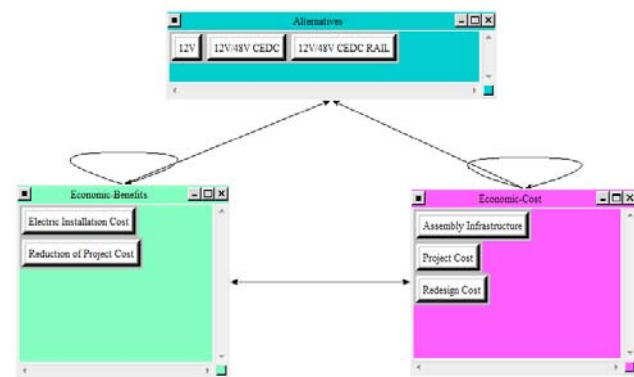
Kryteria	Waga	Subkryteria	Waga
Środowiskowe	0,11511	Wykorzystanie surowców	0,11511
Optymalizacja Instalacji Elektrycznych	0,11511	Ograniczenie strat mocy	0,03837
		Uproszczenie topologii	0,03837
		Ograniczenie ilości kontaktów	0,03837
Zaawansowanie Technologiczne	0,11511	Zastosowanie eFuse	0,02302
		Zastosowanie Centralnego Sterowania przez sterownik SCDE	0,02302
		Wykorzystanie energii z dodatkowych źródeł	0,02302
		Dostosowanie instalacji do odbiorników o dużej mocy	0,02302
		Inteligentne zarządzanie przepływem energii	0,02302

Tabela 4. Wagi bezwzględne gałęzi kosztów (Costs)

Kryteria	Waga	Subkryteria	Waga
Ekonomiczne	0,0825633	Koszt projektu	0,02752
		Infrastruktura montażu	0,02752
		Koszt przeprojektowania obecnych instalacji	0,02752
Dostępność zasobów	0,0825633	Koszt patentu	0,04128
		Koszt komponentów	0,04128
Implementacja	0,0825633	Koszt implementacji	0,04128

Tabela 5. Wagi bezwzględne gałęzi ryzyk (Risks)

Kryteria	Waga	Subkryteria	Waga
Bezpieczeństwo	0,20931	Bezpieczeństwo pasażerów	0,10466
		Bezpieczeństwo serwisu i obsługi	0,10466



Rys.3. Sieciowy Model Decyzyjny – Implementacja w środowisku SuperDecisions.

Po opracowaniu struktury modelu decyzyjnego w środowisku SuperDecisions określono wagi dla każdej z alternatyw według skali ocen opisanej w punkcie 2 (Etap II).

Środowisko SuperDecisions na podstawie danych wprowadzonych w konfiguratorze modelu stworzyło macierz porównań parami. Końcowym etapem analizy jest porównanie rezultatów dla każdego z wariantów instalacji.

Instalacja 12V/48V z integracją szyny zasilającej i implementacją Sterownika Centralnej Dystrybucji Energii to najlepszy wariant instalacji, ponieważ umożliwia efektywną

dystrybucję energii do rozbudowanej sieci odbiorników. Obwody są kontrolowane przez układy eFuse. Sterownik Centralnej Dystrybucji Energii z wykorzystaniem przetwornicy DC/DC pozwala na wykorzystanie energii z wielu źródeł zasilania. Ostateczne zestawienie wyników wyboru wariantu instalacji elektrycznej pokazane jest w tabeli 6.

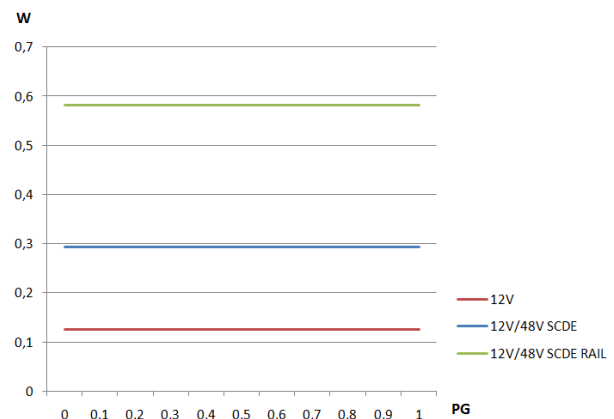
Tabela 6. Rezultaty modelu decyzyjnego dla wariantów instalacji elektrycznej

Poziom modelu	Wariant	Rezultat
BOCR	12V	0,125023
	12V/48V SCDE	0,293836
	12V/48V SCDE RAIL	0,581141
Gałąź zalet (Benefits)	12V	0,127565
	12V/48V SCDE	0,376828
	12V/48V SCDE RAIL	0,495607
Gałąź możliwości (Opportunities)	12V	0,109384
	12V/48V SCDE	0,402302
	12V/48V SCDE RAIL	0,488314
Gałąź kosztów (Costs)	12V	0,266484
	12V/48V SCDE	0,308525
	12V/48V SCDE RAIL	0,424991
Gałąź ryzyk (Risks)	12V	0,136381
	12V/48V SCDE	0,544537
	12V/48V SCDE RAIL	0,585970

Oprogramowanie SuperDecisions umożliwia wykonywanie analiz wrażliwości modeli decyzyjnych. Analiza ta określa jaki wpływ na końcowe wyniki i wybór wariantu mają kolejne gałęzie modelu decyzyjnego (BOCR). Zgodnie z wykresem zamieszczonym na rys. 3 wariant instalacji 12V/48V z integracją szyny zasilającej to najlepszy wariant modelu BOCR pod kątem analizy wrażliwości (najwyższa ustabilizowana wartość funkcji dla tego wariantu). Drugim co do wartości funkcji wrażliwości wariantem jest instalacja 12V/48V bez integracji szyny zasilającej. Najgorszym typem w ogólnym rozrachunku jest instalacja 12V.

Wszystkie warianty instalacji posiadają ustabilizowany poziom wrażliwości w głównej gałęzi modelu BOCR, co oznacza że wyniki końcowe są jednoznacznie określone dla każdego z wariantów instalacji elektrycznej (rys. 4).

Oś OX wykresu oznaczona jako PG (przejście gałęzi) odnosi się do wartości przejścia przez gałąź modelu BOCR. W niektórych źródłach parametr PG oznaczony jest jako definicja eksperymentu (ang. experiment) dla konkretnej gałęzi modelu decyzyjnego. Oś OY przedstawia wartość funkcji wrażliwości.



Rys.4. Analiza wrażliwości modelu BOCR

Podsumowanie

Opracowując nową koncepcję instalacji elektrycznej dla pojazdów samochodowych należy odnieść ją do istniejących rozwiązań i krytycznie ocenić. Przy ocenie nowych rozwiązań technicznych należy uwzględnić nie tylko aspekty techniczne, ale także środowiskowe i ekonomiczne.

Określenie w tym przypadku jednej złożonej funkcji celu nie jest efektywne pod kątem walidacji rozwiązania technicznego. Model decyzyjny pozwolił uszeregować kryteria wyboru wariantu instalacji elektrycznej przez co metoda ta jest przejrzysta i efektywna. W tym przypadku koncepcja nowej instalacji elektrycznej została zwalidowana przy użyciu metody ANP, która pozwoliła ocenić te aspekty.

Analiza koncepcji decentralizacji źródeł zasilania wykonana z wykorzystaniem metody wielokryterialnego rozwiązywania problemów decyzyjnych wykazała, że koncepcja decentralizacji źródeł zasilania jest zasadna dla pojazdów o rozbudowanej instalacji elektrycznej (pojazdy klasy wyższej).

Rozbudowane instalacje elektryczne wymagają zastosowania podsystemu 48V w celu ograniczenia strat mocy oraz obniżenia wagi. Koncepcja zaproponowana przez autora obejmuje ten podsystem i integruje Sterownik Centralnej Dystrybucji Energii, który odpowiada za zarządzanie przepływem energii w systemie elektrycznym pojazdu [11].

Wykorzystanie metod wielokryterialnego rozwiązywania problemów decyzyjnych jest powszechne w inżynierii do oceny nowych rozwiązań technicznych i koncepcji. Świadczą o tym publikacje i prace z dziedziny inżynierii transportu, budownictwa i ekonomii [8]. Środowisko SuperDecisions umożliwiło walidację nowej koncepcji systemu elektrycznego z wykorzystaniem omawianej metody ANP.

Autor: mgr inż. Bartłomiej Tworek, Politechnika Śląska, Instytut Elektrotechniki i Informatyki, Zakład Maszyn Elektrycznych i Inżynierii Elektrycznej w Transporcie, ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice, E-mail: bartlomiej.tworek@polsl.pl

LITERATURA

- [1] German Electrical and Electronic Manufacturers Association, *48-Volt Electrical Systems – A Key Technology Paving the Road to Electric Mobility*, Zwei: Die Elektroindustrie, Frankfurt am Main, April 2016,
- [2] Ernst M., Heuermann M., *Die wichtigsten Bordnetz-Trends*, Elektronik Automotive Sonderheft Bordnetz, September 2014,
- [3] Vollmer A., *48-V-Mildhybrid*, Automobil Elektronik 05-06/2016, June 2016,
- [4] Bartłomowicz T., *Implementacja Metody AHP w pakiecie AHPMETHOD programu R*, Informatyka Ekonomiczna 3(41) 2016,
- [5] Tułęcki A., *Modele decyzyjne z wykorzystaniem metody Hierarchy Process (AHP) w obszarze transportu*, Problemy Eksploatacji, Kraków 2007
- [6] Saaty T., *Decision Making for Leaders. The Analytic Hierarchy Process for Decision in a Complex World*, RWS Publications, Pittsburgh PA 2001,
- [7] Saaty T., *Decision Making with Dependence and Feedback, The Analytic Network Process*, RWS Publications, Pittsburgh PA 2001
- [8] Saaty T., *Fundamentals of the Analytic Network Process. Multiple Network with Benefits, Costs, Opportunities and Risks*, Journal of Systems Science and System Engineering, published at Tsinghua University, Beijing 2004.
- [9] Diederik J., *Analysis of benefits, opportunities, costs, and risks (BOCR) with the AHP-ANP: A critical validation*, Hague 2007
- [10] Diederik J., *Analysis of benefits, opportunities, costs, and risks (BOCR) with the AHP-ANP: A critical validation*, Hague 2007
- [11] Tworek B., *Development of electric systems for hybrid and electric vehicles*, Przegląd Elektrotechniczny 6(2018), 152-154, doi:10.15199/48.2018.06.30
- [12] A. Kaysi, U. Abdul-Malak, *Decision Structuring and Robustness Analysis in Selecting Urban Transit Alternatives*, Journal of Public Transportation 4 (1): 73-102. doi: <https://doi.org/10.5038/2375-0901.4.1.5>
- [13] A2MAC1, <http://portal.a2mac1.com>