

WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20

Prace badawczo – rozwojowe w celu opracowania inteligentnego systemu do zarządzania flotą pojazdów elektrycznych i stacji ładowania w celu optymalizacji kosztów utrzymania i wprowadzenia transportu niskoemisyjnego przez przedsiębiorstwa

Od niepewności do opłacalności. Rola systemów DSS w eliminowaniu barier adopcji pojazdów elektrycznych we flotach

A. Domańska, Chruzik K., I. Krzyżewska,

Abstrakt

W artykule przeanalizowano aspekty decyzyjne, wdrożeniowe i ekonomiczne inteligentnego systemu wspomagania decyzji (DSS) *FLOTLupp*, opracowanego w ramach projektu badawczo-rozwojowego (nr WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20-003) przez Kotrak S.A. we współpracy z Akademią WSB. Publikacja odpowiada na kwestie związane z *barierami poznawczymi i decyzyjnymi* przedsiębiorców, którzy z powodu braku wiedzy o specyfice pojazdów elektrycznych (BEV), obaw o ich zasięg (*range anxiety*), jak również trwałość akumulatorów oraz koszty przyłączy energetycznych, wykazują opór przed zieloną transformacją. W pracy wskazano lukę rynkową – większość istniejących narzędzi zarządza jedynie *istniejącą* flotą samochodów, rzadko biorąc pod uwagę szczególne „uwarunkowania techniczne” pojazdów 100% elektrycznych, ignorując kluczowy etap planowania i oceny opłacalności inwestycji (TCO). Ponadto zaprezentowano autorską, trójpoziomą koncepcję oceny opłacalności (TCO). Koncepcja ta stanowi rozwinięcie modelu pierwotnie zakładanego w projekcie, tj. dwupoziomowego, którego rozszerzenie okazało się konieczne dla pełnej realizacji jego celów. Poziom strategiczny obejmuje wstępny kalkulator finansowy oparty na danych deklaracyjnych, pozwalający na ocenę zasadności zakupu przed wdrożeniem, poziom operacyjny to wewnątrzsystemowy moduł analityczny przetwarzający m.in. dane telemetryczne per samochód. W artykule zaprezentowano architekturę systemu, analizę wdrożenia wewnętrznego (*in-house*) w Kotrak S.A. oraz przedstawiono przykładową wycenę oszczędności dla danej firmy przy określonych warunkach wstępnych dla wymian określonych samochodów.

Słowa kluczowe: elektromobilność, bariery adopcji BEV, zarządzanie flotą, TCO, system wspomagania decyzji, DSS, smart charging, transformacja niskoemisyjna.

1. Wstęp

Wdrażanie napędów alternatywnych w transporcie wynika z unijnych dyrektyw ESG oraz krajowych polityk klimatycznych. W ostatnich latach dynamika rozwoju ww. rynku w Polsce odnotowała zauważalny wzrost – według danych Licznika Elektromobilności PZPM i PSNM, na koniec czerwca 2026 r. zarejestrowanych było 154 947 samochodów całkowicie elektrycznych (BEV), co oznacza 22% więcej niż w tym samym okresie 2025 roku (PZPM & PSNM, 2026). Natomiast liczba ogólnodostępnych punktów ładowania wzrosła do 13 201 (PZPM & PSNM, 2026).

Pomimo tak intensywnego wzrostu, na poziomie poszczególnych przedsiębiorstw widoczny jest sceptycyzm w stosunku do wprowadzania samochodów elektrycznych do działalności operacyjnej, który wynika z niezrozumienia specyfiki segmentu BEV, i tym samym jest wyrazem wyraźnego oporu

WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20

Prace badawczo – rozwojowe w celu opracowania inteligentnego systemu do zarządzania flotą pojazdów elektrycznych i stacji ładowania w celu optymalizacji kosztów utrzymania i wprowadzenia transportu niskoemisyjnego przez przedsiębiorstwa

poznawczego i organizacyjnego. Ponadto należy zaznaczyć, że do tej pory wiele firm nie rozwinęło wewnętrznych kompetencji w zakresie zarządzania nową technologią napędową, w tym BEV, i tym samym nie widzi potrzeby wprowadzania zmiany w swoich flotach i zarządzania taką zmianą w działalności operacyjnej. Brak zrozumienia specyfiki eksploatacji pojazdów elektrycznych znajduje odzwierciedlenie w trzech kluczowych aspektach:

- **lęk przed zasięgiem (*range anxiety*) i trwałością baterii** - sceptycyzm co do realnego zasięgu BEV, który zależy od szeregu czynników w tym od warunków atmosferycznych, stylu jazdy kierowcy, oraz obawa przed szybką degradacją akumulatorów trakcyjnych i ewentualnymi kosztami ich wymiany;
- **błędna ocena ekonomiczna (podejście zorientowane na CAPEX)** - badając rentowność inwestycji, osoby decyzyjne (najczęściej menadżerowie) biorą pod uwagę wyłącznie cenę zakupu pojazdu (CAPEX), ignorując znaczny spadek kosztów operacyjnych (OPEX) oraz długoterminowy rachunek całkowitego kosztu posiadania (*Total Cost of Ownership – TCO*);
- **obawa przed niewystarczającą infrastrukturą energetyczną** - brak wiedzy dotyczącej wymogów w zakresie mocy przyłączeniowej, luka kompetencyjna w zakresie wiedzy o stacjach ładowania i procesie ładowania samochodów elektrycznych, ryzyko przekroczenia mocy umownej i kar nakładanych przez Operatorów Systemów Dystrybucyjnych (OSD), a także nieznajomość procedur formalno-prawnych (np. odbiorów UDT).

Jednocześnie należy zauważyć, że dotychczasowe oprogramowanie komercyjne obecne na rynku wykazuje fundamentalną wadę koncepcyjną, koncentrując się niemal wyłącznie albo na monitorowaniu już zakupionych pojazdów elektrycznych albo na obsłudze stacji publicznych lub półpublicznych. Brakuje systemów wspomagania decyzji wspierających przedsiębiorcę na etapie przedwdrożeniowym – pomagających odpowiedzieć na pytania: *czy w specyfice naszej firmy samochody elektryczne przyniosą długofalowe korzyści; ile stacji ładowania naprawdę potrzebujemy?; jak ładować auta, by nie przekroczyć mocy umownej?*

Artykuł ma na celu przybliżenie koncepcji oraz omówienie efektów implementacji systemu wspomagania decyzji *FLOTlupp*, który z założenia rozdziela proces decyzyjny na etap strategiczny (przedwdrożeniowy) i operacyjny (wdrożeniowy), tym samym pozwala przezwyciężyć deficyty wiedzy u przedsiębiorców, rozwiązuje kluczowe problemy decyzyjne na etapie transformacji flotowej oraz weryfikuje korzyści ekonomiczne wynikające z holistycznego zarządzania flotą samochodów i stacji ładowania na użytek własny.

2. Aktualny stan badań

Deficyt wiedzy po stronie osób decyzyjnych oraz potrzeba kompleksowego wspomagania decyzji są szczegółowo badane w literaturze światowej. Ma i Fang (2022) zauważają, że transformacja floty na elektryczną wymusza odejście od intuicyjnych metod zarządzania na rzecz zaawansowanych modeli optymalizacyjnych. Autorzy podkreślają, że często popełniany jest błąd sprowadzający się do oddzielnego planowania nabycia (leasing/kredyt) pojazdów typu BEV i stworzenia lub rozbudowy infrastruktury ładowania, co tym samym skutkuje nieefektywną alokacją kapitału poprzez

WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20

Prace badawczo – rozwojowe w celu opracowania inteligentnego systemu do zarządzania flotą pojazdów elektrycznych i stacji ładowania w celu optymalizacji kosztów utrzymania i wprowadzenia transportu niskoemisyjnego przez przedsiębiorstwa

suboptymalne decyzje inwestycyjne i niepotrzebne zwiększanie mocy umownej lub przewymiarowania kosztów przyłącza.

W najnowszych badaniach Varma, Castro i Maguluri (2025) wykazali za pomocą modelowania matematycznego, że dopasowanie lokalizacji i mocy stacji ładowania do rzeczywistych profili tras pozwala zredukować wymaganą liczebność floty BEV nawet o kilkanaście procent bez szkody dla działań operacyjnych. Z kolei Boubaker i in. (2025) oraz Wang i in. (2025) wskazują na konieczność stosowania algorytmów *smart charging*, które wykorzystując wnioskowanie predykcyjne, dostosowują procesy ładowania do ograniczeń przesyłowych sieci elektroenergetycznej, jak również istniejących zmiennych taryf cenowych.

Mimo rozwoju modeli teoretycznych, raporty branżowe (Ayvens, 2026; Electra, 2026; Locus, 2026) potwierdzają występowanie znacznej *luki wiedzy* (*knowledge gap*) wśród MŚP i korporacji. Choć aż 81% profili flotowych zyskuje na przejściu na BEV pod względem TCO (Ayvens, 2026), przedsiębiorcom brakuje odpowiednich narzędzi do samodzielnego przeprowadzenia takiej analizy i weryfikacji. Wskazuje to na kluczową rolę tworzenia i wdrażania zintegrowanych systemów klasy DSS łączących analitykę strategiczną TCO z bieżącym zarządzaniem operacyjnym.

2.1. Problemy decyzyjne przedsiębiorstw i ich rozwiązanie w systemie *FLOTIupp*

Opracowany w ramach projektu badawczo-rozwojowego system, a zarazem produkt *FLOTIupp* (Kotrak S.A. / Akademia WSB) odpowiada na luki kompetencyjne i bariery decyzyjne, stosując precyzyjny podział narzędzi analitycznych w zależności od etapu decyzyjnego:

BARIERY I OBAWY PRZEDSIĘBIORCY	Trójpoziomowe ROZWIĄZANIE W SYSTEMIE <i>FLOTIupp</i>
lęk przed ceną zakupu i niepewne TCO ->	wstępny Kalkulator TCO (deklaratywny / poziom STRATEGICZNY)
obawa przed nieodpowiednią infrastrukturą ->	dobór liczby stacji, punktów i mocy ładowarek (Poziom TAKTYCZNY)
potrzeba bieżącej optymalizacji auta -->	– wewnątrzsystemowa analityka (w tym telemetryczna) per pojazd (poziom OPERACYJNY)

2.2. Poziom strategiczny (przedwdrożeniowy): „wstępny” kalkulator TCO oparty na danych deklaracyjnych

Na poziomie strategicznym podstawową przeszkodą na etapie decyzyjnym dla przedsiębiorcy rozważającego nawet częściową „elektryfikację” swojej floty jest obawa, że wyższy początkowy koszt zakupu pojazdu elektrycznego (BEV) nigdy się nie zwróci. Wyzwanie to pogłębia fakt, że często przed podjęciem inwestycji firma nie dysponuje jeszcze ani pojazdami elektrycznymi (a jeśli takowe posiada to bardziej do celów marketingowych czy wizerunkowych niż do operacyjnych), ani opomiarowaniem telemetrycznym, które umożliwiłyby przeprowadzenie rygorystycznej estymacji kosztów operacyjnych.

WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20

Prace badawczo – rozwojowe w celu opracowania inteligentnego systemu do zarządzania flotą pojazdów elektrycznych i stacji ładowania w celu optymalizacji kosztów utrzymania i wprowadzenia transportu niskoemisyjnego przez przedsiębiorstwa

Odpowiedzią na te rynkowe wyzwania jest wstępny Kalkulator Finansowy TCO, czy też Kalkulator Finansowy dla Właścicieli Flot (Rys. 1 i Rys. 2). Moduł ten nie wymaga bezpośredniego zasilania danymi z telematyki zainstalowanej w samochodzie – opiera się na informacjach wprowadzanych samodzielnie (deklaratywnie) przez, takich jak szacowane miesięczne przebiegi, maksymalne dystanse dzienne, średnie miesięczne przebiegi czy wybrany segment pojazdów.

Rys. 1

WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20

Prace badawczo – rozwojowe w celu opracowania inteligentnego systemu do zarządzania flotą pojazdów elektrycznych i stacji ładowania w celu optymalizacji kosztów utrzymania i wprowadzenia transportu niskoemisyjnego przez przedsiębiorstwa

Rys.2

Na tej bazie system dokonuje predykcyjnego zestawienia potencjalnych wyników porównawczych pojazdu spalinowego z elektrycznym w tym w horyzoncie 5-letnim, uwzględniając koszty serwisu, ubezpieczenia oraz prognozowane wydatki na paliwo i energię, etc.. W efekcie menadżer floty lub inna osoba decyzyjna otrzymuje sugestię strategiczną i uzasadnienie biznesowe jeszcze przed podjęciem wiążących decyzji o wymianie floty.

2.3. Poziom taktyczny: dobór infrastruktury ładowania i monitorowanie umownej mocy

Na poziomie taktycznym, ale również i operacyjnym kluczowym wyzwaniem decyzyjnym dla przedsiębiorstwa staje się obawa przed nietrafnym doбором infrastruktury ładowania oraz ryzykiem przekroczenia mocy umownej. Niekontrolowane, czy też nieplanowane, jednoczesne ładowanie pojazdów flotowych może nie tylko generować wysokie kary finansowe, ale również wymuszać kosztowną przebudowę przyłącza energetycznego lub budowy nowego przyłącza.

Odpowiedzią systemu *FLOTlupp* na te obawy są również sugestie zarówno na poziomie strategicznym, jak i operacyjnym. System analizuje szczegółowo parametry floty: liczbę samochodów, pojemności ich akumulatorów, specyfikę pokonywanych tras, etc. Na tej podstawie *FLOTlupp*, w tym też wspomniany kalkulator, proponuje optymalną strukturę sprzętową – wyznacza właściwą liczbę stacji i punktów ładowania oraz ich zróżnicowanie pod kątem mocy, dobierając odpowiednie proporcje pomiędzy punktami prądu przemiennego (AC do 22 kW) a tzw. „szybkimi” stacjami ładowania prądu stałego (DC).

Zintegrowana funkcjonalność zarządzania mocą zapobiega przewymiarowaniu infrastruktury, efektywnie chroniąc przyłącze przed przeciążeniem i dopasowując nakłady inwestycyjne do rzeczywistych potrzeb operacyjnych danej firmy.

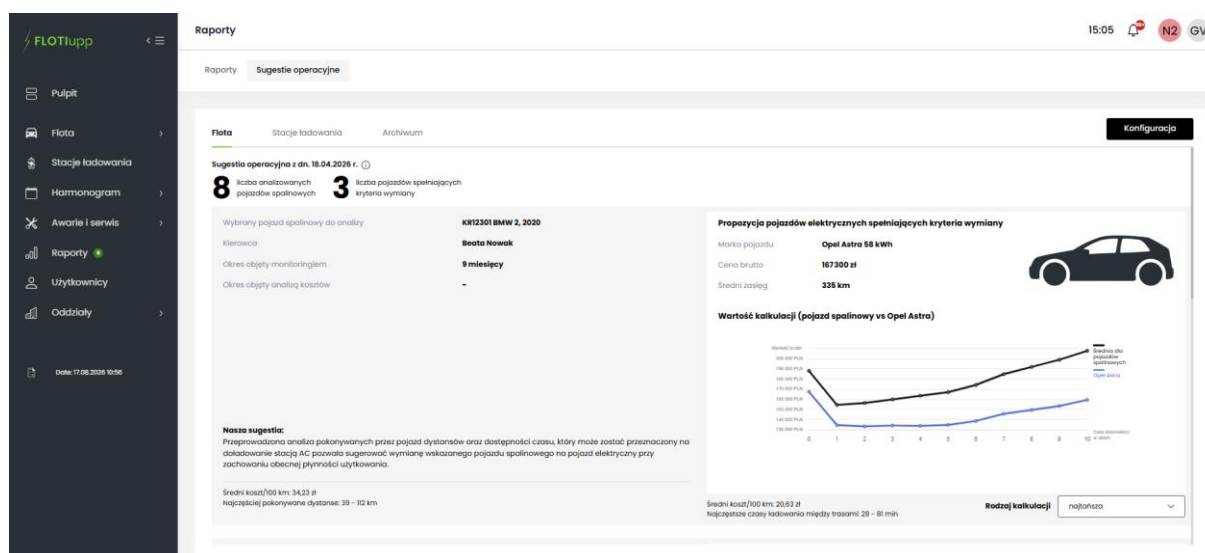
2.4. Poziom operacyjny (wdrożeniowy / per pojazd): analityka oparta na rzeczywistej telematyce i innych rzeczywistych danych

Na poziomie operacyjnym, obejmującym codzienną eksploatację floty, głównym wyzwaniem menadżera czy innej osoby odpowiadającej za utrzymanie ruchu staje się konieczność zachowania precyzyjnej kontroli nad kosztami, zużyciem energii oraz poziomem naładowania poszczególnych pojazdów w celu zapewnienia płynności realizowanych zadań operacyjnych. Po wdrożeniu systemu *FLOTlupp* we flocie uruchamiany jest właściwy moduł raportowy, z tak zwanymi raportami operacyjnymi, który pobiera w czasie rzeczywistym dane telemetryczne bezpośrednio z poszczególnych aut, jak i inne dane w tym ze stacji ładowania, z monitorów energii, etc. Analiza danych w rozbiciu na poszczególne pojazdy bierze pod uwagę przebiegi, bieżący stan naładowania akumulatorów (SOC) oraz rzeczywiste zużycie energii (kWh/100 km). Na tej podstawie system realizuje kluczowe funkcje operacyjne, a tym wylicza faktycznie poniesiony koszt TCO dla każdego samochodu, a jeśli z bieżącej analizy wynika potencjał do dalszej optymalizacji, system podpowiada, który z pojazdów warto zastąpić nowym modelem elektrycznym, wskazując przy tym konkretne, najlepiej

WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20

Prace badawczo – rozwojowe w celu opracowania inteligentnego systemu do zarządzania flotą pojazdów elektrycznych i stacji ładowania w celu optymalizacji kosztów utrzymania i wprowadzenia transportu niskoemisyjnego przez przedsiębiorstwa

dopasowane warianty pojazdów (przykłady takiej sugestii później).
pokazane dalej w niniejszym artykule.



Rys. 3

3. Metodyka, architektura i studium przypadku wdrożenia wewnętrznego

Badanie przeprowadzono z wykorzystaniem podejścia łączącego analizę funkcjonalną systemu wspomagania decyzji (DSS), studium przypadku wdrożenia wewnętrznego oraz analizę scenariuszową całkowitego kosztu posiadania pojazdów (Total Cost of Ownership – TCO). Przyjęte podejście miało na celu ocenę możliwości wykorzystania systemu FLOTIupp do wspomagania przedsiębiorstw na kolejnych etapach transformacji floty w kierunku elektromobilności: od wstępnej oceny zasadności ekonomicznej inwestycji, przez dobór infrastruktury ładowania, po operacyjne zarządzanie pojazdami i energią.

Proces badawczy podzielono na trzy wzajemnie powiązane poziomy analizy: strategiczny, taktyczny i operacyjny. Na poziomie strategicznym przedmiotem analizy była możliwość przeprowadzenia wstępnej oceny ekonomicznej elektryfikacji floty na podstawie danych deklaracyjnych dostępnych przedsiębiorcy przed dokonaniem inwestycji. Dane wejściowe obejmowały m.in. szacowane miesięczne przebiegi, maksymalne dystanse codzienne oraz segment użytkowanych pojazdów. Na ich podstawie kalkulator TCO umożliwiał porównanie wariantu spalinowego i elektrycznego w pięcioletnim horyzoncie eksploatacji, z uwzględnieniem kosztów finansowania lub zakupu, utraty wartości, serwisu, ubezpieczenia oraz prognozowanych kosztów paliwa i energii.

Na poziomie taktycznym analizowano możliwość dopasowania infrastruktury ładowania do charakterystyki floty i ograniczeń energetycznych przedsiębiorstwa. Uwzględniano w szczególności liczbę pojazdów, pojemność ich akumulatorów, charakter realizowanych tras oraz dostępne okresy postoju w bazie. Wynikiem analizy było określenie rekomendowanej liczby punktów ładowania, ich mocy oraz struktury obejmującej rozwiązania AC i DC. Elementem oceny była również możliwość

WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20

Prace badawczo – rozwojowe w celu opracowania inteligentnego systemu do zarządzania flotą pojazdów elektrycznych i stacji ładowania w celu optymalizacji kosztów utrzymania i wprowadzenia transportu niskoemisyjnego przez przedsiębiorstwa

wykorzystania mechanizmów zarządzania mocą w celu ograniczenia ryzyka przekroczenia mocy zamówionej oraz przewymiarowania infrastruktury.

Poziom operacyjny obejmował analizę działania systemu po wdrożeniu, z wykorzystaniem rzeczywistych danych telemetrycznych pochodzących z pojazdów. Analizie podlegały w szczególności rzeczywiste przebiegi, stan naładowania akumulatora (State of Charge – SOC) oraz zużycie energii wyrażone w kWh/100 km. Dane te stanowiły podstawę do bieżącej oceny kosztów eksploatacyjnych poszczególnych pojazdów oraz wspomagania decyzji dotyczących wykorzystania floty i harmonogramowania procesów ładowania.

Walidację wdrożeniową przeprowadzono w formule studium przypadku (*case study*) w środowisku wewnętrznym Kotrak S.A. Pilotaż obejmował zastosowanie systemu *FLOTLupp* do zarządzania samochodami służbowymi i punktami ładowania oraz weryfikację działania algorytmów smart charging w warunkach rzeczywistych ograniczeń przyłącza energetycznego budynku. Studium przypadku wykorzystano do oceny możliwości przejścia od przedwdrożeniowych analiz opartych na danych deklaracyjnych do operacyjnego zarządzania wykorzystującego dane telemetryczne.

Uzupełnieniem studium przypadku była analiza scenariuszowa TCO przeprowadzona dla dwóch profili flotowych. Pierwszy obejmował flotę trzech pojazdów segmentu kompaktowego, dla której punktem odniesienia był pojazd spalinowy Volkswagen Golf. Drugi dotyczył pojazdu wyższej klasy średniej, z modelem BMW 330i xDrive przyjętym jako spalinowy punkt odniesienia. Dla analizowanych przypadków zastosowano pięcioletni horyzont eksploatacji oraz porównano warianty wykorzystujące ładowanie komercyjne i własną infrastrukturę ładowania. Dla poszczególnych scenariuszy określono całkowity koszt eksploatacji oraz różnicę kosztową względem odpowiadającego im wariantu spalinowego.

Przyjęta metodyka umożliwiła zatem ocenę systemu w trzech komplementarnych wymiarach: decyzyjnym – poprzez ocenę zdolności DSS do wspierania wyborów dotyczących elektryfikacji floty, wdrożeniowym – poprzez studium przypadku zastosowania systemu w środowisku przedsiębiorstwa, oraz ekonomicznym – poprzez porównawczą analizę TCO dla wybranych scenariuszy eksploatacyjnych. Ze względu na charakter studium przypadku oraz scenariuszowy charakter kalkulacji TCO uzyskane rezultaty należy interpretować jako ocenę funkcjonalności i potencjału ekonomicznego badanego rozwiązania w analizowanych warunkach, a nie jako podstawę do bezpośredniej generalizacji wyników na wszystkie typy flot przedsiębiorstw.

3.1. Model formalny i architektura zamkniętej pętli decyzyjnej

System *FLOTLupp* został formalnie ujęty jako hierarchiczny system DSS zdefiniowany strukturą:

$$DSS = \{D, A, O, R\}$$

gdzie *D* reprezentuje zbiór danych wejściowych (zarówno wstępnych danych deklaracyjnych na poziomie strategicznym, jak i spływającej telematyki IoT na poziomie operacyjnym), *A* stanowi procedury analityczne, *O* obejmuje algorytmy optymalizacyjne (*Smart Charging*, balansowanie mocy), a *R* reprezentuje zestaw generowanych rekomendacji zarządczych.

WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20

Prace badawczo – rozwojowe w celu opracowania inteligentnego systemu do zarządzania flotą pojazdów elektrycznych i stacji ładowania w celu optymalizacji kosztów utrzymania i wprowadzenia transportu niskoemisyjnego przez przedsiębiorstwa

Logika funkcjonowania opiera się na zamkniętej pętli decyzyjnej $R = f(O(A(D)))$, w której na etapie operacyjnym bieżące dane z telematyki pojazdowej i stacji ładowania zasilają kolejne iteracje optymalizacyjne.

[ETAP STRATEGICZNY (Przedwdrożeniowy)]

Dane deklaratywne (użytkownika) ---> Wstępny Kalkulator TCO ---> Decyzja o zakupie floty

|

v

[ETAP OPERACYJNY (Wdrożeniowy)]

|

Telematyka IoT (per samochód) i Stacje ładowania ---> Analityka rzeczywista ---> Smart Charging & harmonogramowanie ładowań

3.2. Studium przypadku wdrożenia wewnętrznego (*In-House Validation*)

Biorąc pod uwagę początkowy dystans sektora B2B spowodowany luką kompetencyjną wynikającą z niedostatecznej wiedzy o korzyściach z elektromobilności, środowiskiem walidacyjnym stała się spółka Kotrak S.A. Firma (dysponująca ponad 30-letnim doświadczeniem w branży IT, zespołem programistycznym oraz siecią serwisową) przeprowadziła wewnętrzne wdrożenie pilotażowe obejmujące:

- wdrożenie systemu *FLOTLupp* do zarządzania autami służbowymi i punktami ładowania należącymi do spółki, tylko i wyłącznie na jej użytek wewnętrzny,
- walidację algorytmów *smart charging*, jak również balansowanie mocy w warunkach rzeczywistych wynikających zarówno z umownej mocy, jak i ograniczeń przyłącza energetycznego budynku.

Przeprowadzone wdrożenie udowodniło, że przejście od szacunków strategicznych do operacyjnej działalności pozwala zarówno zredukować ryzyko przekroczenia mocy umownej, jak i zoptymalizować wykorzystanie floty.

3.3. Analiza scenariuszowa TCO dla wybranych profili flotowych

W celu weryfikacji skuteczności i dokładności predykcyjnej wstępnego kalkulatora TCO, czyli Kalkulator Finansowy dla Właścicieli Flot, przeprowadzono symulacje porównawcze dla dwóch reprezentatywnych profili flotowych: małej floty 3 pojazdów segmentu kompaktowego (z punktem odniesienia w postaci modelu z napędem spalinowym Volkswagen Golf) oraz pojazdu wyższej klasy średniej (z punktem odniesienia w postaci modelu BMW 330i xDrive). W obu przypadkach przeanalizowano 5-letni horyzont eksploatacji, porównując warianty oparte na ładowaniu komercyjnym oraz na własnej infrastrukturze ładowania.

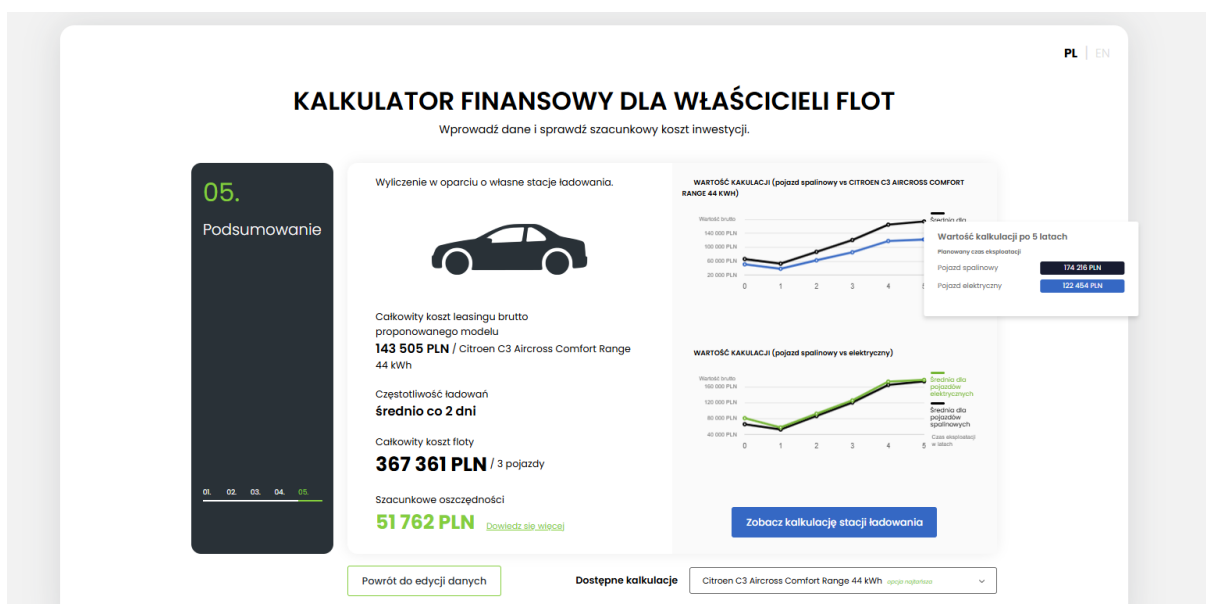
WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20

Prace badawczo – rozwojowe w celu opracowania inteligentnego systemu do zarządzania flotą pojazdów elektrycznych i stacji ładowania w celu optymalizacji kosztów utrzymania i wprowadzenia transportu niskoemisyjnego przez przedsiębiorstwa

W pierwszym przypadku biznesowym, obejmującym flotę 3 pojazdów kompaktowych o skumulowanym 5-letnim koszcie eksploatacji spalinowego punktu odniesienia równym 174 216 PLN *per* pojazd, system wygenerował trzy warianty elektryfikacji różniące się nakładami inwestycyjnymi oraz wygenerowaną oszczędnością:

- **wariant najbardziej ekonomiczny (Citroen C3 Aircross Comfort Range 44 kWh)** - całkowity 5-letni koszt eksploatacji floty 3 pojazdów oszacowano na 367 361 PLN, przy kosztach leasingu brutto 143 505 PLN za pojazd. Wartość eksploatacji pojedynczego auta po 5 latach wyniosła 122 454 PLN, co w porównaniu do spalinowego odpowiednika (174 216 PLN) wykazuje oszczędność w wysokości **51 762 PLN na pojazd** (ponad 10 350 PLN rocznie na auto), dając łącznie dla całej floty 155 286 PLN oszczędności.
- **wariant zoptymalizowany (Volkswagen ID.3 Pure)** - całkowity koszt floty wyniósł 399 149 PLN, generując oszczędności na poziomie **41 166 PLN na pojazd** w horyzoncie 5-letnim.
- **wariant wyższej klasy (Cupra Born 150 kW - 59 kWh)** - Przy wyższym koszcie leasingu brutto (215 971 PLN) i całkowitym koszcie floty 504 038 PLN, oszczędność TCO wyniosła **6 203 PLN na pojazd** w okresie 5 lat.

Doświadczenie wdrożeniowe wykazało również kluczową rolę własnej infrastruktury ładowania. W wariantcie ekonomicznym rekomendowana struktura sprzętowa obejmująca 2 stacje z 3 punktami ładowania AC o mocy 11 kW pozwoliła obniżyć 5-letni koszt ładowania pojazdów z 58 106 PLN (w przypadku wyłącznego korzystania ze stacji komercyjnych/ ogólnodostępnych) do 30 744 PLN przy użyciu stacji firmowych, generując zmniejszenie wydatków na ładowanie o ponad 47%.



Rys. 4

WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20

Prace badawczo – rozwojowe w celu opracowania inteligentnego systemu do zarządzania flotą pojazdów elektrycznych i stacji ładowania w celu optymalizacji kosztów utrzymania i wprowadzenia transportu niskoemisyjnego przez przedsiębiorstwa

PL | EN

KALKULATOR FINANSOWY DLA WŁAŚCICIELI FLOT

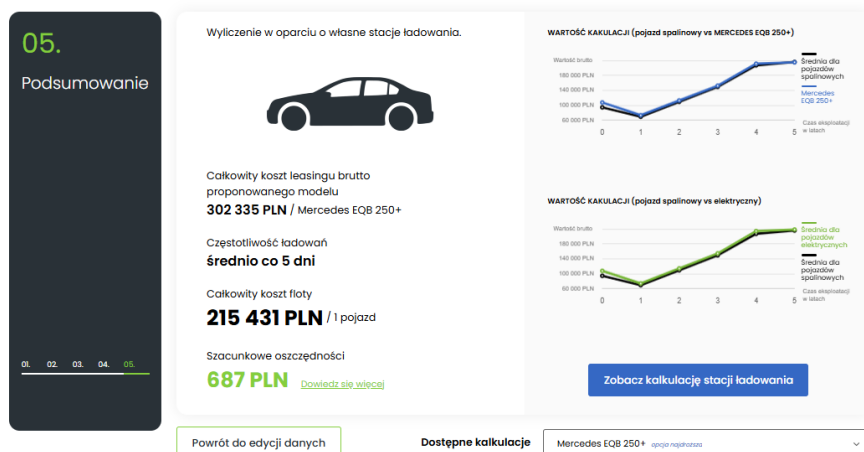
Wprowadź dane i sprawdź szacunkowy koszt inwestycji.



Rys.5

KALKULATOR FINANSOWY DLA WŁAŚCICIELI FLOT

Wprowadź dane i sprawdź szacunkowy koszt inwestycji.



Rys. 6

WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20

Prace badawczo – rozwojowe w celu opracowania inteligentnego systemu do zarządzania flotą pojazdów elektrycznych i stacji ładowania w celu optymalizacji kosztów utrzymania i wprowadzenia transportu niskoemisyjnego przez przedsiębiorstwa

PL | EN

KALKULATOR FINANSOWY DLA WŁAŚCICIELI FLOT

Wprowadź dane i sprawdź szacunkowy koszt inwestycji.



Rys.7

Należy podkreślić, iż wyniki prowadzą do następującego wniosku - efektywność ekonomiczna transformacji floty nie jest wartością stałą i zależy od właściwego dopasowania segmentu pojazdu oraz struktury finansowania, jak również wyboru też sposobu ładowania samochodów. Warianty budżetowe i średnie pozwalają na redukcję kosztów operacyjnych w stopniu, który pozwala przewidywać szybki zwrot z inwestycji (ROI) w oprogramowanie klasy DSS., podczas gdy w przypadku modeli klasy premium wysoki koszt początkowy (CAPEX) może znacząco wydłużyć okres zwrotu z inwestycji. Zastosowanie dedykowanego kalkulatora zapewnia osobom decyzyjnym natychmiastowy wgląd i wybór optymalnego wariantu.

4. Identyfikacja barier wdrożeniowych i potencjału. Analiza SWOT

Poniższa analiza SWOT syntetyzuje kluczowe wnioski z badania otoczenia rynkowego oraz doświadczeń z wdrożenia wewnętrznego.

Tabela 1. Analiza SWOT wdrożenia i komercjalizacji systemu FLOTLupp

(Źródło: Opracowanie własne)

Kategoria	Opis / Czynniki
Mocne strony (Strengths)	- tójpoziomowa analityka TCO: od deklaratywnego kalkulatora strategicznego po telematykę operacyjną per auto. >30 lat doświadczenia IT, >100 programistów i zaplecze serwisowe Kotrak S.A.

WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20

Prace badawczo – rozwojowe w celu opracowania inteligentnego systemu do zarządzania flotą pojazdów elektrycznych i stacji ładowania w celu optymalizacji kosztów utrzymania i wprowadzenia transportu niskoemisyjnego przez przedsiębiorstwa

	• pełne przetestowanie i zweryfikowanie oprogramowania w środowisku własnym (in-house). • Dedykowane ekosystemy towarzyszące (Boosterupp, etc.).
Słabe strony (Weaknesses)	• brak powszechnej rozpoznawalności marki Kotrak jako dostawcy w stricte segmencie elektromobilności. • konieczność budowy wyspecjalizowanych struktur wsparcia technicznego (Call Center 24/7). • wymóg ciągłego dostosowywania wzorców umownych (RODO, DPA, SLA) do regulacji prawnych.
Szanse (Opportunities)	• narastające unijne wymogi raportowania esg oraz tworzenie stref czystego transportu w miastach. • edukacja rynku poprzez wizualizację realnych oszczędności TCO (x tys. zł/auto/rok). • rosnąca popularność modeli dostarczania oprogramowania w chmurze (SAAS), obniżających barierę wejścia. • możliwość partnerstw z deweloperami komercyjnymi oraz operatorami systemów dystrybucyjnych (OSD).
Zagrożenia (Threats)	• konkurencja ze strony podmiotów o ustabilizowanej pozycji na rynku usług ładowania. • sceptycyzm decydentów, lęk przed nową technologią i brak wiedzy o TCO po stronie MŚP. • ograniczenia przepustowości krajowych sieci elektroenergetycznych oraz wydłużone procedury odbiorcze UDT.

5. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania oraz analiza wdrożeniowa wskazują, że kluczowym czynnikiem niwelującym lukę kompetencyjną po stronie przedsiębiorców jest zastosowanie dwupoziomowej architektury analitycznej TCO (tj. poziomu strategicznego i operacyjnego). Wyodrębnienie jako osobny moduł czy też produkt Kalkulator Finansowy dla Właścicieli Flot, który opiera się na wstępnych deklaracjach użytkownika, pozwala na zobiektywizowaną ocenę opłacalności inwestycji jeszcze przed podjęciem decyzji o inwestycji w samochody elektryczne czy też stacje ładowania. Z kolei zasilenie systemu *FLOTIupp* rzeczywistymi danymi telemetrycznymi przesyłanymi z poszczególnych aut umożliwia kontrolę oraz precyzyjną optymalizację kosztów eksploatacyjnych na poziomie operacyjnym oraz optymalizację procesów ładowania. Taki układ narzędzi analitycznych skutecznie przełamuje opór przed zmianami u osób decyzyjnych na etapie planowania, dostarczając zarazem instrumentu w fazie operacyjnej działalności.

Równolegle przedstawione rezultaty stanowią dowód na to, że efektywne zarządzanie flotą pojazdów elektrycznych wymaga ścisłego powiązania parametrów operacyjnych (związanych z działalnością bieżącą firmy) z parametrami przyłącza. Synergia obszaru flotowego i energetycznego jest warunkiem *sine qua non* efektywnego przejścia na model niskoemisyjny przez danego przedsiębiorcę. Zastosowanie w opracowanym systemie mechanizmów *smart charging* pozwala na skuteczną ochronę przyłącza zakładowego przed przekroczeniem mocy umownej i tym samym zmniejszenia ryzyka kar

WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20

Prace badawczo – rozwojowe w celu opracowania inteligentnego systemu do zarządzania flotą pojazdów elektrycznych i stacji ładowania w celu optymalizacji kosztów utrzymania i wprowadzenia transportu niskoemisyjnego przez przedsiębiorstwa

finansowych, dbając jednocześnie o sprawne harmonogramowanie ładowania dostosowane do planu działań operacyjnych i mocy umownej.

Należy podkreślić, iż prawidłowo zaplanowana i o nadzorowana elektryfikacja floty pozwala wyraźnie obniżyć codzienne koszty operacyjne. Wyniki dostarczają twardych danych liczbowych, pozwalających na zmniejszenie widocznego sceptycyzmu kadry zarządzającej wobec zielonych technologii

Bibliografia

1. Alam, M. R., & Guo, Z. (2023). *A review on the charging station planning and fleet operation for electric freight vehicles*. arXiv preprint. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.16419>
2. Ayvens. (2026). *Mobility 2026 Study: Electric vehicles represent 81% of the most competitive profiles in terms of TCO*. Ayvens Global Mobility Benchmark Report. <https://www.ayvens.com/en-pt/about-us/news/mobility-2026-study/>
3. Boubaker, S., Kraiem, H., Ghazouani, N., Kamel, S., Mellit, A., Alsubaei, F. S., Bourennani, F., Meskine, W., & Alqubaysi, T. (2025). *Multi-objective optimization framework for electric vehicle charging and discharging scheduling in distribution networks*. Scientific Reports, 15, Article 97473. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97473-7>
4. Chruzik, K., Krzyżewska, I., & Domańska, A. (2025). *Inteligentne wspomaganie decyzji inwestycyjnych i operacyjnych w transformacji flot przedsiębiorstw w kierunku elektromobilności*. Badania i Rozwój w Przedsiębiorstwach, Kotrak S.A. & Akademia WSB (Projekt WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20-003).
5. Electra. (2026). *Electric Vehicle Fleet 2026: A Strategic Guide for Businesses*. Electra Mobility Strategic Reports. <https://www.go-electra.com/en/newsroom/electric-vehicle-fleet-2026-a-strategic-guide-for-businesses/>
6. Locus. (2026). *Electric Vehicle Fleet Management: Complete Guide & Adoption Trends for 2026*. Locus Mobility Insights. <https://locus.sh/blogs/electric-vehicle-fleet-management/>
7. Ma, T.-Y., & Fang, Y. (2022). *Survey of charging management and infrastructure planning for electrified demand-responsive transport systems: Methodologies and recent developments*. European Transport Research Review, 14(1), 60. <https://doi.org/10.1186/s12544-022-00560-3>
8. Polski Związek Przemysłu Motoryzacyjnego (PZPM), & Polskie Stowarzyszenie Nowej Mobilności (PSNM). (2026). *Licznik Elektromobilności – stan na grudzień 2025 r.* PZPM & PSNM, Warszawa.
9. Varma, S. M., Castro, F., & Maguluri, S. T. (2025). *Electric vehicle fleet and charging infrastructure planning*. Management Science. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2024.08524>

WND-RPSL.01.02.00-24-0B15/20

Prace badawczo – rozwojowe w celu opracowania inteligentnego systemu do zarządzania flotą pojazdów elektrycznych i stacji ładowania w celu optymalizacji kosztów utrzymania i wprowadzenia transportu niskoemisyjnego przez przedsiębiorstwa

10. Wang, H., Guo, B., Zhou, X., Wang, S., Hong, Z., & He, T. (2025). *Resource-oriented optimization of electric vehicle systems: A data-driven survey on charging infrastructure, scheduling, and fleet management*. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/2509.04533>