

Paweł ZMUDA-TRZEBIATOWSKI*, Jacek ŻAK*

WIELOKRYTERIALNA OCENA NOWYCH ZAMIATAREK KOMPAKTOWYCH Z WYKORZYSTANIEM METODY ELECTRE III

Streszczenie

W niniejszej pracy podjęto zagadnienia związane z wielokryterialną oceną nowych zamiatarek kompaktowych. W pracy przeanalizowano stosowane w praktyce kryteria oceny zamiatarek poprzez dokonanie przeglądu polskich i zagranicznych przetargów na dostawę tego typu urządzeń. Przedstawiono również metodykę rozwiązywania tego typu problemów decyzyjnych z wykorzystaniem metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji ELECTRE III. Zaprezentowano też przykładowy eksperyment obliczeniowy dla oceny nowych zamiatarek kompaktowych, który rozwiązano z wykorzystaniem tej metody.

Słowa kluczowe: problem oceny zamiatarek, ELECTRE III, wielokryterialne wspomaganie decyzji

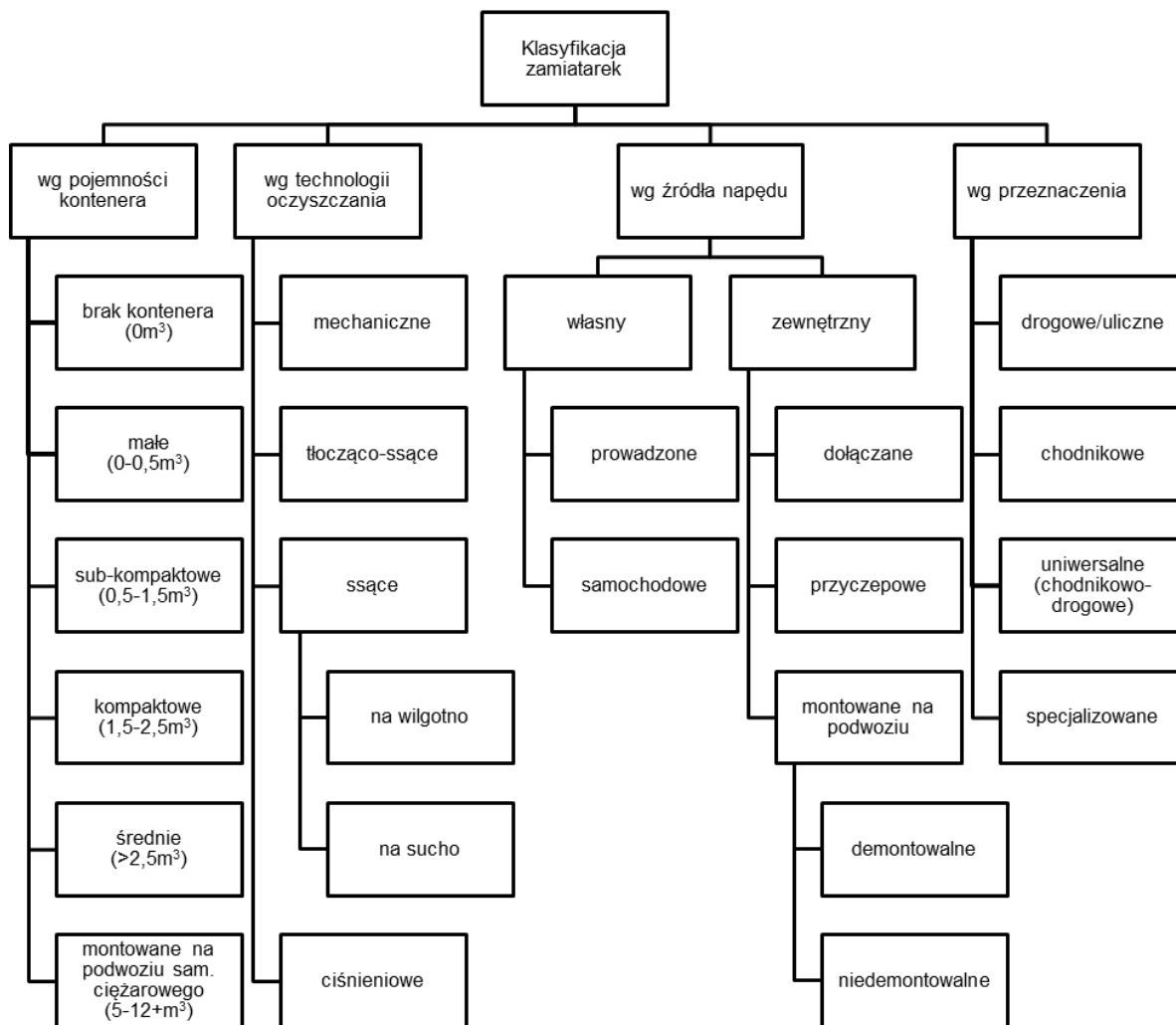
1. WPROWADZENIE

Podjętym w niniejszej pracy zagadnieniem oceny zamiatarek mieści się w szerszej problematyce oceny taboru przeznaczanego do letniego oczyszczania pasów drogowych. Oczyszczaniem pasów drogowych są czynności mające na celu usuwanie zmiotek, czyli piasku, błota, liści i innych substancji sypkich, jak również innych zanieczyszczeń, takich jak gałęzie, opakowania, czy też elementy samochodowe z powierzchni pasa drogowego [20]. Oczyszczanie pasów drogowych jest elementem ich bieżącego utrzymania i wykonywane może być w kilku celach [20], takich jak: zwiększenie estetyki i warunków higienicznych oraz poprawa bezpieczeństwa ruchu, a także ochrona środowiska naturalnego. Może być też jednym z narzędzi polityki promowania transportu rowerowego i wsparcia osób niepełnosprawnych. Oczyszczanie pasów drogowych mieści się zatem w sferze zainteresowań ekologii, a w obszarze miast, także logistyki miejskiej [20].

Na oczyszczanie pasów drogowych składają trzy rodzaje działań, tj.: oczyszczanie mechaniczne (ręczne lub z wykorzystaniem zamiatarek), polewanie i mycie ciśnieniowe [20]. W niniejszej pracy autorzy rozważają zagadnienie związane z oczyszczaniem mechanicznym z wykorzystaniem zamiatarek. Na rynku dostępnych jest wiele rodzajów zamiatarek. Przedstawiona w pracy Zmuda-Trzebiatowskiego [20] klasyfikacja uwzględnia cztery główne sposoby podziału tych urządzeń, ze względu na: (I) pojemność kontenera na zmiotki, (II) technologię oczyszczania, (III) źródło napędu oraz (IV) przeznaczenie zamiatarki. Szczegółową klasyfikację przedstawiono na rys. 1.

Niniejsza praca rozpoczyna się od przedstawienia istoty problematyki wielokryterialnej oceny zamiatarek wraz z przeglądem stosowanych w praktyce kryteriów oceny. Następnie zdefiniowany zostaje problem oceny kompaktowych, ssących, samochodowych zamiatarek chodnikowo-drogowych wraz z propozycją spójnej rodziny kryteriów, którą można stosować w tego typu problemach. Dalej przedstawiono istotę metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji ELECTRE III, która zostaje następnie wykorzystana do rozwiązania wzmiarkowanego problemu. Całość zakończono podsumowaniem.

* Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu



Rys. 1. Klasyfikacja zamiatarek mechanicznych
Źródło: [20]

2. ISTOTA PROBLEMATYKI WIELOKRYTERIALNEJ OCENY ZAMIATAREK

Istota problematyki wielokryterialnego wspomaganie decyzji

Rozpatrywane zagadnienie jest jednym z wielu problemów decyzyjnych, czyli złożonych zadań lub zagadnień wymagających rozwiązania lub rozstrzygnięcia [24]. Problem decyzyjny powstaje, gdy podmiot podejmujący decyzję (decydent) poszukuje najbardziej pożądanej decyzji spośród wielu dopuszczalnych wariantów [24]. Istnieje wiele klasyfikacji problemów decyzyjnych [24]. Ze względu na horyzont czasowy podejmowanej decyzji problemy te mogą mieć charakter strategiczny, taktyczny i operacyjny. Czasem wyróżnia się też problemy czasu rzeczywistego o bardzo krótkim horyzoncie, które związane są np. z aktualnie panującymi warunkami atmosferycznymi [13]. Ze względu na liczbę kryteriów oceny rozróżnia się problemy jedno- i wielokryterialne. W drugim przypadku przy ich analizie uwzględnia się wiele, często przeciwstawnych punktów widzenia (kryteriów oceny). Z powodu tej przeciwstawności, podczas rozwiązywania tego rodzaju problemów niemożliwe jest uzyskanie rozwiązań optymalnych, czyli najlepszych pod względem wszystkich punktów widzenia. Poszukiwane natomiast jest rozwiązanie kompromisowe, w którym uwzględnia się jednocześnie preferencje decydenta oraz analizę strat i zysków w odniesieniu do wybranych kryteriów [17][18].

Rozwiązywanie wielokryterialnych problemów o decyzyjnych leży w obszarze zainteresowań wywodzącej się z badań operacyjnych dziedziny wiedzy zwanej Wielokryterialnym Wspomaganiem Decyzji (WWD). Celem WWD jest wyposażenie decydenta w procedury, narzędzia i metody matematyczno-informatyczne umożliwiające rozwiązywanie złożonych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych [24]. Zgodnie z definicją przedstawioną przez Roy'a [16] WWD jest działalnością analityka, który w procesie decyzyjnym pomaga decydentowi znaleźć odpowiedzi na pytania związane z poszukiwaniem najbardziej pożądanego rozwiązania przy uwzględnieniu wielości kryteriów oceniających te rozwiązania. W efekcie prowadzi to do rozwiązania wyżej wzmiankowanych wielokryterialnych problemów decyzyjnych, czyli sytuacji, w której mając zdefiniowany zbiór rozwiązań A oraz spójną rodzinę kryteriów oceny F decydent dąży do:

- określenia wariantu uważanego za najlepszy (problemy wyboru),
- dokonania podziału wariantów na określone klasy (problemy klasyfikacji),
- uszeregowania wariantów od najlepszego do najgorszego (problemy szeregowania).

Są to trzy podstawowe kategorie wielokryterialnych problemów decyzyjnych [14][18]. Ich podstawowymi atrybutami są: zbiór rozwiązań A oraz spójna rodzina kryteriów oceny F . Zbiór rozwiązań A to zbiór obiektów, decyzji, kandydatów, wariantów lub czynności, które mają być poddane analizie i ocenie w trakcie procedury decyzyjnej. Spójną rodzinę kryteriów F stanowi taki zbiór kryteriów, który spełnia następujące wymagania [16]:

- wyczerpywalności oceny, co oznacza uwzględnienie wszystkich możliwych aspektów rozważanego problemu,
- spójności oceny, czyli właściwego kształtowania przez każde kryterium globalnych preferencji decydenta,
- nieredundancji kryteriów, czyli niepowtarzalności zakresów znaczeniowych kryteriów.

Metodyka WWD w sposób precyzyjny identyfikuje głównych uczestników procesu decyzyjnego, tj. decydenta, analityka i interwenientów [24]. Decydent – indywidualny lub zbiorowy – określa cele procesu decyzyjnego, wyraża preferencje i ostatecznie ocenia uzyskane rozwiązania. Analityk jest odpowiedzialny za przebieg procesu wspomagania decyzji, będąc jednocześnie podmiotem zewnętrznym wobec rozważanego problemu decyzyjnego. Jego zadaniem jest konstrukcja modelu decyzyjnego, dokonanie wyboru odpowiednich metod oraz narzędzi pozwalających na rozwiązanie problemu decyzyjnego, poszukiwanie odpowiedzi na pytania stojące przed decydentem oraz wyjaśnianie mu konsekwencji określonych decyzji i wsparcie przy wyborze najbardziej pożądanego rozwiązania [16]. Interwenientami w procesie decyzyjnym są inne podmioty zainteresowane jego rezultatami [24].

WWD dostarcza dużą gamę narzędzi pomocnych podczas analizy wielokryterialnej. Dzielą się one na cztery zasadnicze grupy [24]. Pierwszą z nich są metody oparte o wieloatrybutową teorię użyteczności (np. AHP i UTA). Drugą grupę stanowią metody oparte o relację przewyższenia (np. Promethee I i II, Oreste, rodzina metod ELECTRE). W trzeciej grupie znajdują się metody wykorzystujące zarówno wieloatrybutową teorię użyteczności, jak i relację przewyższenia (np. Mappac, Pragma, Idra). Ostatnią grupę stanowią metody interaktywne, zwane też metodami dialogowej oceny lokalnej (np. LBS, STEM) [24]. Ze względu na konieczność wykonywania dużej liczby obliczeń w trakcie prowadzenia analizy wielokryterialnej narzędzia te występują w formie algorytmów lub programów komputerowych [24].

Metodyka WWD ma uniwersalny charakter, co oznacza, że może być zastosowana w wielu obszarach i dziedzinach życia. Jej popularność systematycznie rośnie, a prace wielu autorów dowodzą, że jest skutecznym narzędziem rozwiązywania złożonych problemów decyzyjnych, również w takich obszarach, jak: transport publiczny [1][23], logistyka miejska [21], czy też zarządzanie taborem [22].

Istota problematyki oceny zamiatarek

Problem oceny zamiatarek kompaktowych można rozpatrywać jako szczególny przypadek problemu szeregowania taboru. W problemach tych dokonuje się wszechstronnej oceny rozważanych marek i kategorii pojazdów, w wyniku czego można stworzyć ranking i wskazać na najbardziej odpowiadający potrzebom użytkownika wariant (model pojazdu) [24]. Problemy oceny taboru wpisują się w szerszą problematykę zarządzania taborem i mają charakter strategiczny [24]. Żak w swojej pracy [24] dokonał przeglądu literatury w zakresie ww. problematyki w transporcie. Wyniki wskazały na wielokryterialny charakter tego rodzaju problemów, przy rozpatrywaniu których istotne jest uwzględnienie zestawu kryteriów obejmujących między innymi: parametry techniczno-eksploatacyjne, czynniki ekonomiczne, komfort i bezpieczeństwo podróży, jak również aspekty ekologiczne. W szczególności sugeruje się, że w ramach oceny pojazdów powinno się uwzględniać takie elementy, jak: cena zakupu, koszty eksploatacji pojazdów, bezpieczeństwo i wygoda przewozów, trwałość i niezawodność pojazdu, nowoczesność rozwiązań i walory estetyczne, przyjazność dla środowiska oraz inne [24]. Reguły oceny taboru mają charakter uniwersalny. Wymagają jednak adaptacji do specyfiki rozważanego zagadnienia.

W celu rozpoznania wykorzystywanych w praktyce kryteriów oceny zamiatarek, autorzy dokonali przeglądu przetargów ogłaszanych przez organizacje publiczne – zarówno polskie, jak i zagraniczne. W przypadku krajów innych, niż Polska, za przykłady mogą służyć przetargi zorganizowane w australijskich miastach Perth [9][10] oraz Sheelharbour [12]. We wszystkich trzech przytoczonych przykładach do oceny wariantów zastosowano wiele kryteriów. W przypadku przetargów z Perth kryteriami oprócz ceny były [9][10]: zgodność ze specyfikacjami przetargowymi, manewrowość, generowany poziom hałasu, ergonomia i bezpieczeństwo pracy operatora, koszt i dostępność części zamiennych oraz poziom emisji cząstek stałych. Przetarg w Shellharbour uwzględniał takie kryteria, jak [12]: cena, zgodność ze specyfikacjami przetargowymi, zdolność do pokonywania wzniesień i krawężników, manewrowość, warunki gwarancyjne, widoczność z kabiny operatora, prędkość transportowa, wydajność zamiatania oraz zasysania, hałas wewnętrzny i zewnętrzny, długość okresu czasu od początku dostępności produktu na rynku, a także warunki serwisowe. Dodatkowo ocenie poddano również samych oferentów, co wyrażono w poprzez finansową zdolność do zrealizowania oferty. Także w przypadku oceny ofert w walijskim hrabstwie Carmarthenshire, można odnotować uwzględnianie innych kryteriów, niż tylko cena [4][5][6]. Decydujące były w tym przypadku takie charakterystyki zamiatarek, jak pojemność kontenera na odpady, czy też lepsza wydajność lub manewrowość [4].

Autorzy, poprzez wykorzystanie baz informacji o przetargach w Polsce [7][8][11], przyjrzeni się również procesom oceny zamiatarek w podlegających procedurom przetargowym polskich organizacjach. Dla przedziału luty 2009 – kwiecień 2011 (26 miesięcy) w bazach tych odnaleziono łącznie 62 przetargi na zamiatarki (zarówno nowe, jak i używane), z czego 12 na samochodowe, ssące zamiatarki kompaktowe, co stanowi 19,35% udział. W 92% rozpatrywanych przypadków (57 przetargów) jedynym kryterium oceny ofert była cena. Podobna sytuacja wystąpiła także w podgrupie zamiatarek kompaktowych – cena była jedynym kryterium w 11 przypadkach. Spośród pozostałych 5 przypadków (w tym jednego w podgrupie zamiatarek kompaktowych), w których do oceny wykorzystywano więcej kryteriów, dwa dotyczyły zakupu pojazdów używanych (w tym jeden przetarg dotyczył zamiatarki kompaktowej). W tym przypadku dodatkowymi, poza ceną, kryteriami oceny były: rok produkcji (2 przypadki), wskazania licznika motogodzin (1 przypadek) oraz długość udzielonej gwarancji (1 przypadek). W przypadku pozostałych trzech przetargów na dostawę nowych pojazdów kryteriami były: długość udzielonej gwarancji (2 przetargi) oraz warunki leasingu (1 przypadek). Warto w tym miejscu

zaznaczyć, iż w warunkach polskich, podmioty publiczne zobowiązane są do stosowania zasad ustawy „Prawo Zamówień Publicznych” [2]. Artykuł 91 tejże ustawy w pkt 2 wskazuje, że cena jest koniecznym kryterium przy ocenie ofert w procedurze przetargowej. Punkt 3 z kolei wyłącza ze zbioru dopuszczalnych kryteriów takie, które dotyczą właściwości wykonawcy, w szczególności jego wiarygodności ekonomicznej, technicznej lub finansowej.

Należy zauważyć, iż w rozpatrywanych przetargach do procedury oceny wprowadzono szereg wymagań (ograniczeń) wyrażających oczekiwania stawiane oferowanym produktom. Łącznie zidentyfikowano ponad 140 warunków ograniczających, z czego 70 występowało w przetargach na zamiatarki kompaktowe. W odczuciu autorów, przynajmniej część spośród tych ograniczeń może przyjąć formę dodatkowych kryteriów oceny ofert.

Powyższe rozważania wskazują na stosowanie w rozpatrywanych przypadkach różnych zbiorów kryteriów oceny zamiatarek, z których żaden nie spełnia wymogu spójności postulowanego przez Roy'a [16].

3. ISTOTA PROBLEMU OCENY ZAMIATAREK KOMPAKTOWYCH

W niniejszej pracy przedstawiono problematykę wielokryterialnej oceny nowych ssących, zamiatarek kompaktowych. Urządzenia te poddawane są wszechstronnej analizie, a wybrany model staje się przedmiotem zakupu przez prywatne przedsiębiorstwo świadczące usługi komunalne na obszarze polskiego miasta. Kierownictwo przedsiębiorstwa pełni rolę decydenta. Interwenientami w procesie decyzyjnym są pracownicy firmy oraz użytkownicy dróg, w tym mieszkańcy miasta. Dodatkowo wyróżnić można zarządcę dróg oraz administrację rządową, którzy poprzez regulacje wprowadzane w ramach specyfikacji istotnych warunków zamówień ogłaszanych przetargów i innych aktów prawnych, nakładają pewne ograniczenia odnośnie pojazdów możliwych do wykorzystania przy oczyszczaniu pasów drogowych.

Głównym wymogiem decydenta jest możliwość wykorzystania zamiatarki zarówno do pracy na chodnikach, jak i ulicach. Stąd wybór został ograniczony do modeli, których dopuszczalna masa całkowita nie przekracza 4,5 tony. Zrezygnowano również z rozpatrywania mniejszych zamiatarek sub-kompaktowych, przeznaczonych do pracy głównie na chodnikach. Kolejnym stawianym przez decydenta ograniczeniem jest wymóg możliwości pracy zamiatarki na drogach publicznych oraz spełnianie najnowszych norm dotyczących tego rodzaju urządzeń, np. norm emisji spalin. Ważnym wymogiem jest też konieczność ich wyposażenia w dodatkową rurę do zbierania liści, a także w agregat myjący z laną, węzłem i dyszą do wysokociśnieniowego mycia pojemników, koszy i innych urządzeń. Dodatkowo w celu zapewnienia zgodności z obecnie wykorzystywanym sprzętem postawiono wymóg, by wysokość wysypywania zmiotek z kontenera wynosiła 130 cm. Analiza rynku dostępnych zamiatarek wskazała na 10 urządzeń spełniających powyższe ograniczenia. Ich lista obejmuje następujące modele: Antoli 1500L, Bucher CityCat2020, HAKO Citymaster 2000, Johnston CX200, Mathieu Azura Concept, Nilfisk Advance RS2200, Scarab Minor, Schmidt Swingo 200, Sicas SA 2.2 oraz Tennant A60.

Autorzy na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury zaproponowali wykorzystanie następującej grupy kryteriów oceny powyższych urządzeń:

K1 – całkowity koszt zakupu i eksploatacji – minimalizowane kryterium o charakterze ekonomicznym wyrażające całkowity koszt zakupu i eksploatacji urządzenia w jego cyklu życia (w rozważaniach przyjęto 5 lat). W skład kosztów eksploatacji wchodzi m.in. takie składniki, jak: koszt szkoleń pracowników, koszty obsługi technicznej, koszty operacyjne związane ze zużyciem szczotek, paliwa i innych płynów eksploatacyjnych, jak również inne

koszty, jak np. amortyzacji, czy też ubezpieczeń. Kryterium wyrażone w wartości pieniężnej – tys. PLN.

K2 – wydajność – maksymalizowane kryterium o charakterze technicznym oceniające szybkość i sprawność zmiatania jednostkowej powierzchni drogi/chodnika przez dane urządzenie. Kryterium uwzględnia wydajność zmiatania określonej powierzchni w jednostce czasu przy zdefiniowanych wymaganych poziomach jakości zmiatania (np. zebranie 75%, 95% oraz 99% masy odpadów z oczyszczanej powierzchni). Wydajność ta jest zdefiniowana dla różnych trybów pracy zmiatarki, tj. ekologicznego, normalnego i maks. wydajności. W definicji kryterium uwzględniono ponadto osiąganą przez rozpatrywany wariant maksymalną jakość oraz wydajność zmiatania (na co wpływ ma m.in. charakterystyka układów ssącego i zmiatającego) oraz charakterystyki wpływające na sprawność zmiatania w trudnych warunkach. Zdefiniowano tu np. zasięg trzeciej szczotki, czy też maksymalne gabaryty zbieranych odpadów (ograniczenie związane z szerokością ssawy oraz kanału ssącego). Kryterium wyrażane w skali punktowej na podstawie oceny eksperckiej.

K3 – udział czasu czynności niebędących zmiataniem w czasie pracy – minimalizowane kryterium wyrażające procentowy udział czasu czynności niebędących zmiataniem w całkowitym dobowym czasie pracy urządzenia ($t_{\text{całkowite}}$). Kryterium uwzględnia trzy rodzaje czynności, wpływających na wartość tego udziału. Są to:

(I) Czas niezbędny na dotarcie zmiatarki do miejsca pracy oraz powrót do bazy (t_{przejzdu}), uzależniony od osiągniętej prędkości przejazdowej.

(II) Czas wymagany na opróżnianie pełnego kontenera na zmiotki ($t_{\text{opróżniania}}$). Jest on uzależniony od pojemności ww. kontenera oraz istnienia rozwiązań zwiększających gęstość zmiotek w kontenerze.

(III) Czas poświęcany na czynności obsługowe zmiatarki ($t_{\text{obsługi}}$), w tym czynności regulacyjne oraz napełnianie zbiorników paliwa i wody, na co wpływ ma pojemność ww. zbiorników, a także obecność ewentualnych systemów recyrkulacji wody. W dwóch ostatnich rodzajach czasów, uwzględniono też czas niezbędny na dotarcie do miejsca obsługi lub miejsce opróżniania kontenera na zmiotki oraz powrót do miejsca pracy. Wartość kryterium obliczana jest zgodnie z równaniem (1):

(1)

K4 – manewrowość – maksymalizowane kryterium oceniające zwrotność i zdolność do pokonywania przeszkód terenowych przez daną zmiatarkę. Kryterium uwzględnia maksymalną wysokość krawężników, którą dana zmiatarka ma możliwość pokonywania przy zmiennej lub stałej prędkości, zdolność do pracy na wzniesieniach, jak również minimalne promienie skrętu (między ścianami oraz między krawężnikami) osiąganą przez zmiatarkę. Kryterium wyrażone w skali punktowej na podstawie oceny eksperckiej.

K5 – bezpieczeństwo pracy – maksymalizowane kryterium oceniające możliwość bezwypadkowego wykonywania pracy przez zmiatarkę, a także poziom ochrony życia i zdrowia operatora oraz osób postronnych w przypadku awarii urządzenia lub wypadku. Kryterium uwzględnia stopień widoczności strefy zmiatania i otoczenia zmiatarki dla różnych warunków atmosferycznych oraz pór dnia, a także wyposażenie wpływające na tę widoczność, takie jak: wycieraczki, osłony przeciwsłoneczne, dodatkowe oświetlenie, kamery umiejscowione z tyłu pojazdu. Ponadto rozważana jest sama konstrukcja zmiatarki, w tym obecność (bądź też nie) połączeń przegubowych pomiędzy kabiną operatora, a kontenerem. Uwzględniono również wpływ obecności innych systemów bezpieczeństwa biernego i czynnego, takich jak pasy bezpieczeństwa, rodzaj systemów hamulcowych, zabezpieczenia przed wywróceniem się pojazdu, czy też związane z procesem zbierania odpadów.

Dodatkowo w definicji kryterium uwzględniono obecność systemów zabezpieczających przed samoczynnym opuszczaniem się kontenera na zmiotki w trakcie wykonywania czynności obsługowych. Kryterium wyrażone w skali punktowej na podstawie oceny eksperckiej.

K6 – ergonomia pracy – maksymalizowane kryterium określające komfort i warunki pracy operatora zmiatarki. Kryterium uwzględnia poziom hałasu i wibracji emitowanych wewnątrz kabiny w trakcie pracy zmiatarki (w trybach ekologicznym, normalnym oraz maks. wydajności), rozmieszczenie przyrządów sterujących zmiatarką oraz liczbę funkcji sterowania dostępnych z kabiny, jak również możliwość regulacji kierownicy oraz fotela operatora. Uwzględniono także wyposażenie dodatkowe, takie jak radio, klimatyzacja i ogrzewanie. Kryterium wyrażone w skali punktowej na podstawie oceny eksperckiej.

K7 – funkcjonalność – maksymalizowane kryterium o charakterze technicznym oceniające dodatkowe wyposażenie zmiatarki. Uwzględnia ono obecność rozwiązań umożliwiających zdalny monitoring pracy (np. systemy oparte o GPS), a także pozwalających na płynną regulację wysokości wysypywania zmiotek z kontenera oraz parametrów zmiatania i przemieszczania. Ponadto w kryterium uwzględniono charakterystyki rury do zbierania liści (zasięg w przestrzeni wokół pojazdu, przekrój, siła ssąca), agregatu do mycia ciśnieniowego (zasięg w przestrzeni wokół pojazdu, maksymalne ciśnienie, rozwiązania techniczne dyszy), a także możliwość instalacji szorowarki i urządzeń do zimowego utrzymania dróg. Kryterium wyrażone w skali punktowej na podstawie opinii eksperckiej.

K8 – niezawodność – maksymalizowane kryterium oceniające zdolność do poprawnej i bezawaryjnej pracy zmiatarki. Uwzględniono w nim rodzaj materiałów i technologii wykorzystywanych przy budowie kluczowych elementów zmiatarki, takich, jak kontener na zmiotki, zbiornik na wodę, ssawa, kanał ssący, czy też szczotki oraz wynikającą z tego bezawaryjność pracy ww. elementów. Ponadto pod uwagę brane jest istnienie rozwiązań zwiększających niezawodność, takich jak np. automatyczny system smarowania, czy też system informujący o usterkach. Dodatkowo w kryterium uwzględnia się czynniki mające wpływ na szybkość napraw w przypadku wystąpienia awarii. Pod uwagę brane są tu: długość udzielonej gwarancji oraz serwisu pogwarancyjnego na urządzenie, długość okresu gwarantowania dostępności części zamiennych, dostępność do autoryzowanego serwisu, czas oczekiwania na części zamienne lub usługę serwisową, a także maksymalna długość czasu naprawy bez dostarczania sprzętu zastępczego. Kryterium wyrażone w punktach na podstawie oceny eksperckiej.

K9 – trwałość – maksymalizowane kryterium oceniające długość okresu czasu, w którym rozpatrywany wariant zachowuje swoje wartości użytkowe. Miarą kryterium jest liczba motogodzin (zamiennie można stosować także liczbę miesięcy) pracy, po których dana zmiatarka powinna mieć wykonaną naprawę główną.

K10 – przyjazność dla środowiska – maksymalizowane kryterium określające wpływ pojazdu na otoczenie. Kryterium uwzględnia poziom emitowanego do otoczenia hałasu (nie wliczając wnętrza kabiny operatora) w trakcie pracy i przejazdów urządzenia w poszczególnych trybach pracy (ekologiczny, normalny, maks. wydajności). Uwzględnia także poziom emisji pyłów w trakcie pracy oraz rozmiar emitowanych cząstek stałych. Dodatkowo uwzględniany jest poziom emisji spalin oraz spełnianie norm emisji ponad wymagane (np. w przypadku napędów elektrycznych), a także obecność i rozwiązania systemów recyrkulacji wody. Kryterium wyrażone w skali punktowej na podstawie opinii eksperckiej.

K11 – doświadczenie producenta – maksymalizowane kryterium oceniające doświadczenie rynkowe danego producenta w produkcji zmiatarek (mierzone w latach), a także popularność poszczególnych modeli zmiatarek wśród użytkowników (mierzone liczbą sprzedanych zmiatarek danego modelu). Kryterium wyrażone w punktach na podstawie oceny eksperckiej.

Warto zwrócić uwagę na fakt, iż w przypadku nabywania urządzenia używanego, jak również w przypadku nabycia pojazdu w formie leasingu, możliwe jest występowanie innych, dodatkowych kryteriów oceny, związanych z tymi aspektami.

Należy zauważyć też, że wskazane modele zamiatarek mogą być w pewnym zakresie dostosowywane do oczekiwań odbiorców oraz, że cena i warunki gwarancji mogą być różne w zależności od dostawcy lub prowadzonych negocjacji. Różnice te mają wpływ na ocenę poszczególnych modeli każdorazowo podczas podejmowania decyzji o zakupie. Stąd też w dalszych rozważaniach, nazwy tych zamiatarek zostały zaszyfrowane i są oznaczane: W1, W2, ..., W10.

4. ISTOTA METODY ELECTRE III

Do rozwiązania rozpatrywanego problemu zaproponowano wykorzystanie metody WWD ELECTRE III. Metoda ta jest wielokryterialną metodą porządkowania skończonego zbioru wariantów [3][15][18]. Jej algorytm obliczeniowy obejmuje trzy podstawowe fazy, tj.: (I) konstrukcji macierzy ocen i definicji modelu preferencji decydenta; (II) konstrukcji relacji przewyższenia; oraz (III) wykorzystania relacji przewyższenia.

W fazie I określany jest zbiór wariantów A , a także zdefiniowana zostaje spójna rodzina kryteriów F . Dla wszystkich wariantów określa się wartości poszczególnych funkcji kryterialnych f_j . Następnie za pomocą współczynników ważności w_j , a także progów równoważności q_j i preferencji p_j oraz fakultatywnego progów weta v_j , dla każdego kryterium j definiowany jest model preferencji decydenta. Obowiązuje tu zasada, że $0 \leq q_j \leq p_j \leq v_j$. Próg równoważności q_j określa różnicę wartości funkcji kryterialnych porównywanych wariantów, która musi zostać przekroczona, aby w odczuciu decydenta warianty te były rozróżnialne. Podobnie próg preferencji p_j określa wymaganą do przekroczenia różnicę wartości, aby jeden wariant był w odczuciu decydenta silnie preferowany względem drugiego. Pomiędzy oboma progami występuje obszar słabej preferencji. Próg weta v_j może być zastosowany przez decydenta w celu wskazania takiej różnicy funkcji kryterialnych porównywanych wariantów, po przekroczeniu której niemożliwe jest w jego odczuciu wskazanie, że gorszy z porównywanych pod względem danego kryterium wariant (a) może być globalnie (ze względu na wszystkie kryteria) postrzegany, jako tak samo dobry, co wariant lepszy (b) – nawet w sytuacji, gdy dla wszystkich pozostałych kryteriów, wariant (a) jest preferowany względem wariantu (b).

Faza II i III są fazami obliczeniowymi. Ich szczegółowy opis można znaleźć m.in. w pracy Żaka [20]. W fazie II dla każdej pary wariantów (a, b) wyznaczone są kolejno: współczynniki zgodności $c_j(a, b)$; indeks zgodności tworzący macierz zgodności; współczynniki niezgodności $D_j(a, b)$; oraz relacja przewyższania, zdefiniowana poprzez stopień przewyższania $S(a, b)$. W fazie III następuje szeregowanie wariantów na podstawie uzyskanych stopni przewyższania $S(a, b)$. Etap ten rozpoczyna się od zdefiniowania wartości λ , na podstawie których oblicza się współczynnik kwalifikacji każdego wariantu $Q(a)$. Szeregowanie wariantów jest oparte na dwóch algorytmach klasyfikowania: destylacji zstępującej oraz destylacji wstępującej. Obie destylacje zmierzają do uszeregowania wariantów od najlepszego, o najwyższym współczynniku kwalifikacji $Q(a)$, do najgorszego, o najniższym współczynniku kwalifikacji. W przypadku destylacji zstępującej proces szeregowania rozpoczyna się od wyboru wariantu najlepszego i umieszczeniu go na szczycie klasyfikacji. Następnie, spośród pozostałych wariantów ponownie wybierany jest wariant najlepszy i umieszczany na kolejnym miejscu klasyfikacji. Procedura ta jest powtarzana do wyczerpania zbioru A . W przypadku destylacji wstępującej proces szeregowania rozpoczyna się od wyboru wariantu najgorszego i umieszczeniu go na końcu rankingu. Dalej

postępowanie przebiega podobnie, jak w destylacji zstępującej, z tym, że w kolejnych iteracjach wybierany jest zawsze element najgorszy i umieszczany na kolejnych pozycjach uszeregowania „od dołu”. Końcowym krokiem fazy III jest tworzenie rankingu finalnego na podstawie preporządku zstępującego i wstępującego, w oparciu o następujące zasady:

- wariant a jest uważany za lepszy od wariantu b - (aPb), jeżeli w co najmniej jednym z preporządków zupełnych a jest umieszczony przed b , a w drugim jest co najmniej tak dobrze sklasyfikowany,
- wariant a jest oceniany równorzędnie względem b - (aIb), jeżeli oba warianty należą do tej samej klasy w każdym z dwóch uszeregowień,
- warianty a i b są nieporównywalne - (aRb), jeżeli w jednym z dwóch uszeregowień wariant a jest na lepszej pozycji niż b , a w drugim uszeregowaniu jest sytuacja odwrotna.

W rezultacie powstaje końcowe uszeregowanie wariantów, w którym pomiędzy wariantami mogą wystąpić sytuacje: równoważności - I , preferencji - P , odwrotności preferencji - P^{-} oraz nieporównywalności - R .

Metoda ELECTRE III w porównaniu do innych metod wielokryterialnego szeregowania wariantów, jak np. AHP, posiada szereg zalet. Umożliwia m.in. na precyzyjne modelowanie preferencji decydenta względem każdego z kryteriów, jak również na dokładne ustalenie ważności kryteriów. Dodatkowo do modelowania i eksperymentów obliczeniowych wykorzystuje się rzeczywiste (a nie względne) wartości ocen kryterialnych dla poszczególnych wariantów. Natomiast wartości poszczególnych progów preferencji mogą być wyrażone zarówno jako wartości stałe, jak i proporcjonalnie (liniowo) względem porównywanych wartości kryterialnych. Warto w tym miejscu zaznaczyć, iż w przypadku wyrażania progów preferencji w sposób proporcjonalny, istnieje możliwość określenia, czy proporcjonalność ta ma być ustalana wprost, czy też odwrotnie. W pierwszym przypadku przy wyznaczaniu wartości progów dla danej pary wariantów przyjmuje się wartość kryterialną gorszego z nich. W drugim przypadku występuje sytuacja odwrotna, tj. do wyznaczania wartości progów wykorzystuje się wartość kryterialną lepszego wariantu. Jedną z zalet metody jest też stosunkowo niska czasochłonność etapu modelowania preferencji przez decydenta. Metoda ta posiada też pewne wady. Do ważniejszych zaliczyć można jej wrażliwość na zmianę liczby wariantów – dodanie lub usunięcie wariantu może spowodować zmianę siły preferencji pomiędzy pozostałymi wariantami, a także zmianę ich pozycji w preporządkach/rankingu finalnym [19]. Dodatkowo metoda ta nie pozwala na bezpośrednie zastosowanie podkryteriów, a także nie zapewnia informacji nt. odległości pomiędzy poszczególnymi wariantami w rankingu finalnym.

5. ROZWIĄZANIE PROBLEMU OCENY NOWEJ ZAMIATARKI KOMPAKTOWEJ Z WYKORZYSTANIEM METODY ELECTRE III

Pierwszym krokiem zaproponowanej procedury ELECTRE III jest określenie zbioru wariantów A oraz spójnej rodziny kryteriów F . Zostały one przedstawione w rozdziale 3 niniejszej pracy. Na podstawie danych producentów dla poszczególnych wariantów (W1-W10) określono wartości funkcji kryterialnych f_j , co przedstawiono w tablicy 1.

Kolejnym krokiem procedury jest określenie przez decydenta wag poszczególnych kryteriów w_j , jak również określenie progów równoważności q_j , preferencji p_j , oraz weta v_j . Dla rozpatrywanego przykładu wartości te zostały przedstawione w tablicy 2. Wagi kryteriów przyjmują wartości od 1 do 10, gdzie 10 oznacza kryterium o najwyższej wadze, a 1 – o najniższej. W odczuciu decydenta, najważniejszymi kryteriami oceny były K1 (całkowity koszt zakupu i eksploatacji), K2 (wydajność) i K4 (manewrowość), a najmniej ważnym K9 (trwałość). Niska waga przydzielona temu kryterium jest związana z faktem, iż wszystkie

spośród rozpatrywanych wariantów cechują się wystarczającą trwałością, by nie było potrzeby dokonywania naprawy głównej przez cały zakładany okres użytkowania pojazdu w przedsiębiorstwie.

Tablica 1. Wartości kryterialne f_j dla poszczególnych wariantów.

Kryteria	Warianty										
	Miara	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10
K1	tys.PLN	519	536	495	518	482	542	488	502	538	469
K2	%	33	31	28	27	22	24	21	20	32	20
K3	pkt	17,9	17,55	16,1	17,9	20,67	16,5	20,33	18,33	17,33	22,1
K4	pkt	31	27	30	24	20	28	21	26	30	20
K5	pkt	8,3	8,2	8,3	8	7,6	8,1	7,8	7,9	8,6	7,2
K6	pkt	31,22	28,59	27,47	26,12	26,12	27,47	26,36	29,36	31,22	25,12
K7	pkt	51,24	48,97	50,44	45,77	45,04	42,67	43,83	45,69	52,56	41,11
K8	pkt	2,95	2,9	1,6	1,85	0,4	1,65	0,55	1,5	2,95	0,4
K9	tys.mtg	12	10	7,5	9	6	7,5	7,5	8	10	5
K10	pkt	24	24	21	20	18	20	17	19	25	15
K11	pkt	5,10	3,58	7,66	3,17	0,71	4,98	1,14	1,35	4,56	0,75

Źródło: opracowanie własne

Poszczególne progi określono zgodnie z przyjętą miarą poszczególnych kryteriów. Dla kryteriów K3, K5 oraz K9 nie zastosowano progu weta. W przypadku większości kryteriów, wartości progów wyrażono jako wartości stałe. Wyjątek stanowią kryteria K1 oraz K9, gdzie wartości te wyrażone zostały proporcjonalnie. W obu przypadkach proporcjonalność wyrażona została odwrotnie – w bezpośrednich porównaniach przy obliczaniu progów uwzględniano wartości kryterialne wariantów lepszych. W przypadku minimalizowanego kryterium K1 za lepsze są uznawane wartości niższe. W przypadku maksymalizowanego kryterium K9 jest odwrotnie – za lepsze uznaje się wartości wyższe.

Tablica 2. Przyjęte wagi w_j oraz wartości progów równoważności q_j , preferencji p_j i weta v_j dla poszczególnych kryteriów.

Kryterium	Kierunek preferencji	Waga w_j	Próg q_j	Próg p_j	Próg v_j	Proporcjonalność wyrażona
K1	min	10	3%	8%	20%	odwrotnie
K2	max	9	1	3	9	n.d.
K3	min	7	1,5	2,5	---	n.d.
K4	max	9	2	5	10	n.d.
K5	max	8	0,2	0,4	---	n.d.
K6	max	6	0,7	1,3	4,1	n.d.
K7	max	8	2	4	7	n.d.
K8	max	7	0,1	0,8	2,21	n.d.
K9	max	3	10%	33%	---	odwrotnie
K10	max	6	2	5	7	n.d.
K11	max	4	1	2,5	4	n.d.

Źródło: opracowanie własne

W fazie II procedury obliczeniowej wyznacza się dla par wariantów indeks zgodności tworzący tzw. macierz zgodności, którą przedstawia tablica 3. Macierz ta zawiera indeksy zgodności ($C(a,b)$) dla każdej z par wariantów. Ich wartości określają stopień zgodności ze stwierdzeniem, że wariant a jest co najmniej tak dobry jak b przy uwzględnieniu wszystkich

kryteriów. Wartość indeksu zgodności ($C(a,b)$) wynosi 1 w przypadku, gdy wariant a jest preferowany lub nierozróżnialny względem wariantu b . Jeżeli natomiast wariant b jest silnie preferowany względem a , to wartość tego indeksu jest równa 0. W sytuacji słabej preferencji wariantu b , względem a , wartość indeksu przyjmuje wartości między 0, a 1. W analizowanym przypadku można stwierdzić, że indeks zgodności dla pary wariantów ($W1, W2$) jest wyższy ($C(W1, W2)=1$), niż w odwrotnej relacji ($W2, W1$), gdzie $C(W2, W1)=0,74$.

Tablica 3. Macierz zgodności wariantów $C(a,b)$

	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10
W1	1	1	0,86	1	0,87	1	0,89	0,99	0,95	0,87
W2	0,74	1	0,78	0,98	0,87	0,99	0,87	0,87	0,7	0,87
W3	0,65	0,69	1	0,97	1	1	1	0,92	0,58	0,92
W4	0,33	0,56	0,52	1	0,87	0,82	0,9	0,92	0,3	0,87
W5	0,13	0,13	0,21	0,43	1	0,39	0,98	0,56	0,13	1
W6	0,43	0,56	0,6	0,75	0,85	1	0,87	0,74	0,41	0,87
W7	0,14	0,15	0,22	0,6	1	0,4	1	0,67	0,15	0,96
W8	0,22	0,54	0,48	0,82	0,9	0,79	1	1	0,28	0,87
W9	0,97	1	0,82	0,97	0,87	1	0,87	0,87	1	0,87
W10	0,13	0,13	0,13	0,21	0,66	0,23	0,72	0,32	0,13	1

Źródło: opracowanie własne

Po wyznaczeniu macierzy zgodności następuje wyznaczenie współczynników niezgodności, a następnie, na podstawie wcześniej wyznaczonych wartości, konstruowana jest przedstawiona w tablicy 4 macierz wiarygodności ($d(a,b)$) uwzględniająca osłabienie indeksów zgodności przez indeksy niezgodności. Tablicę 4 należy odczytywać identycznie, jak tablicę 3.

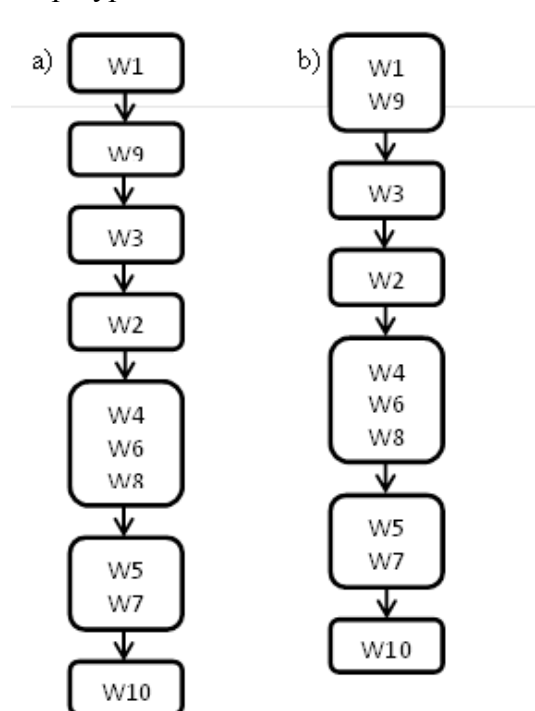
Tablica 4. Macierz wiarygodności wariantów $d(a,b)$

	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10
W1	1	1	0,86	1	0,87	1	0,89	0,99	0,95	0,87
W2	0,74	1	0	0,98	0,87	0,99	0,87	0,87	0,7	0,87
W3	0,23	0,69	1	0,97	1	1	1	0,92	0,17	0,92
W4	0	0,56	0	1	0,87	0,82	0,9	0,92	0	0,87
W5	0	0	0	0,41	1	0	0,98	0,4	0	1
W6	0	0,22	0	0,75	0,85	1	0,87	0,74	0	0,87
W7	0	0	0	0,6	1	0,072	1	0,67	0	0,96
W8	0	0	0	0,82	0,9	0,79	1	1	0	0,87
W9	0,97	1	0,82	0,97	0,87	1	0,87	0,87	1	0,87
W10	0	0	0	0,06	0,66	0	0,72	0	0	1

Źródło: opracowanie własne

Na tej bazie tworzona relacja przewyższania, która wskazuje jak bardzo dany wariant a przewyższa globalnie wariant b . W fazie III metody ELECTRE III na podstawie relacji przewyższania następuje porządkowanie wariantów oparte na dwóch algorytmach klasyfikowania – destylacji zstępującej i wstępującej. Wyniki destylacji (stanowiące preporządki) przedstawiono na rysunku 2 w formie grafu. Należy je rozumieć w ten sposób, że warianty znajdujące się wewnątrz ramek są wzajemnie równoważne, natomiast strzałki wskazują na relację preferencji – od bardziej do mniej preferowanego wariantu. Na górze każdego grafu znajdują się warianty, które zajęły pierwsze miejsca w rankingu. I tak przykładowo wynik destylacji zstępującej wskazuje, że pierwsze miejsce w rankingu zajął wariant W1, który preferowany jest względem wariantu W9. Natomiast wynik destylacji

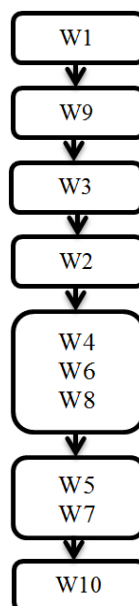
wstępującej wskazuje na to, że pierwsze miejsce w rankingu zajęły ex aequo wzajemnie równoważne warianty W1 oraz W9, które preferowane są względem wariantu W3. Ostatnie miejsce w obu preporządkach przypadło wariantowi W10.



Rys. 2. Preporządki (a) zstępujący i (b) wstępujący dla rozpatrywanego problemu

Źródło: Opracowanie własne

W rezultacie obliczeń, na podstawie preporządków wstępującego i zstępującego, tworzony jest ranking finalny w postaci grafu, gdzie na szczycie znajduje się rozwiązanie najlepsze zaś na samym dole rozwiązanie najgorsze. Dla rozpatrywanego problemu ranking ten został przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3. Finalny ranking dla problemu oceny zamiatarek kompaktowych

Źródło: Opracowanie własne

Przy odczytywaniu grafu obowiązują te same zasady, co w przypadku grafów przedstawiających wyniki destylacji. Warianty znajdujące się wewnątrz ramek są wzajemnie równoważne, natomiast strzałki wskazują na relację preferencji od bardziej preferowanego do mniej preferowanego. Pierwsze miejsce w rankingu zdobył wariant W1. Jest on najlepszy pod względem kryteriów K2 i K9 oraz, ex aequo z wariantem W9, pod względem kryteriów K6 i K8. Drugie miejsce zajął wariant K9, będący najlepszym pod względem kryteriów K5, K7 i K10. O takim umiejscowieniu wariantów względem siebie zdecydował model preferencji decydenta. Różnice funkcji kryterialnych pomiędzy tymi wariantami są w odczuciu decydenta zbyt małe dla kryteriów K2, K3, K4, K6, K7, K8, K10 i K11, by można było mówić o preferowaniu jednego wariantu względem drugiego. Wariant W1 jest słabo preferowany względem wariantu W9 dla kryteriów K9, a także K1 (gdzie W1 nie jest najlepszym wariantem ze wszystkich dostępnych). Przeciwna sytuacja miała miejsce w przypadku kryterium K5, gdzie słabo preferowany jest wariant W9. Jednakże kryterium K1 przydzielona została większa waga, co zdecydowało o ostatecznym kształcie rankingu finalnego. Sugeruje to, choć zastosowana metoda bezpośrednio na to nie pozwala, na stosunkowo bliskie położenie wariantów w rankingu względem siebie. Z przeprowadzonej analizy „co-jeżeli?” wynika, iż warianty te stają się wzajemnie równoważne po obniżeniu dla wariantu W9 kosztów zakupu i eksploatacji o 14 tys. PLN, co stanowi około 3% wartości kryterium. Warto zauważyć, iż najmniej kosztowny w zestawieniu wariant W10 (najlepsza wartość kryterium K1) został sklasyfikowany na ostatnim miejscu w rankingu. Jest to spowodowane faktem, iż wariant ten jest najgorszy pod względem niemal wszystkich pozostałych kryteriów, za wyjątkiem K11. Fakt ten zaważył na niskiej pozycji tego wariantu w rankingu. Warianty W4, W6 i W8, podobnie jak warianty W5 i W7 zostały sklasyfikowane, jako wzajemnie równoważne. Ostatecznie rekomendację do zakupu uzyskał wariant W1.

6. PODSUMOWANIE

Mnogość modeli zamiatarek dostępnych na rynku, a także znaczna liczba ocenianych charakterystyk sprawia, że rozpatrywany problem oceny nowych, samochodowych, ssących zamiatarek kompaktowych cechuje się znacznym poziomem złożoności i wymaga uwzględnienia wielu kryteriów oceny. W niniejszej pracy opracowano spójną rodzinę kryteriów dla ww. problemu. W celu jego rozwiązania zaproponowano zastosowanie metody ELECTRE III. Jej zaletami są: możliwość szybkiego i dokładnego modelowania preferencji decydenta oraz uwzględnienie wielu kryteriów oceny. Głównymi wadami są natomiast: wymóg przedstawienia rozpatrywanych kryteriów w sposób zagregowany (brak podkryteriów), a także możliwość wystąpienia sytuacji, w której na pierwszym miejscu w rankingu znajdują się dwa równoważne warianty. Autorzy sugerują w takiej sytuacji ponowne przyjrzenie się stworzonemu przez decydenta modelowi preferencji w celu jego ewentualnej poprawy. Możliwe jest też podjęcie negocjacji z oferentami najlepszych wariantów, w celu zmiany wartości funkcji kryterialnych – w szczególności dla kryteriów K1 i K8 (w mniejszym stopniu innych). W ostateczności finalną decyzję można pozostawić decydentowi.

Opracowana metodyka ma uniwersalny charakter w zakresie wyboru nowych, samochodowych, ssących zamiatarek kompaktowych. Może ona stanowić wsparcie dla decydentów w codziennej praktyce wyboru zamiatarek kompaktowych. Możliwym problemem w aplikacji tej metodyki w różnych krajach mogą być różnice w zakresie regulacji prawnych uniemożliwiające stosowanie niektórych kryteriów oceny. W przypadku problemów oceny innego rodzaju zamiatarek, zaproponowana rodzina kryteriów może wymagać pewnych modyfikacji.

LITERATURA

- [1] Bieńczak M., Fierek Sz., Kruszyński M., Żak J.: Wielokryterialna ocena tramwajów przeznaczonych do obsługi systemu transportu publicznego. [W:] Bukowski A. (red.): Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej. Oficyna Wydawnicza Text, Kraków, 2009.
- [2] Dz.U. 2004 nr 19 poz. 177. Ustawa z dnia 29 stycznia 2004 r. Prawo zamówień publicznych.
- [3] Figueira J., Mousseau V., Roy B.: ELECTRE Methods. W: Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (red.): Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys. Springer, Nowy York, 2005, ss. 133-162.
- [4] http://online.carmarthenshire.gov.uk/agendas/eng/EENV20040123/REP02_01.htm [d:11.06.20].
- [5] <http://online.carmarthenshire.gov.uk/agendas/eng/EENV20040223/REP03.htm> [d: 11.06.20].
- [6] <http://online.carmarthenshire.gov.uk/agendas/eng/ENVI20050322/REP03.htm> [d: 11.06.20].
- [7] <http://www.eprzetargi.org/> [d: 11.03.21].
- [8] <http://www.infohouse.pl/> [d: 11.03.21].
- [9] <http://www.perth.wa.gov.au/documentdb/1710.pdf> [d: 10.11.15].
- [10] <http://www.perth.wa.gov.au/documentdb/1996.pdf> [d: 10.11.15].
- [11] <http://www.przetargi-polska.com/> [d: 11.03.21].
- [12] [http://www.shellharbour.nsw.gov.au/filedata/pdf/12.2.3 15 December 2009.pdf](http://www.shellharbour.nsw.gov.au/filedata/pdf/12.2.3%2015%20December%202009.pdf) [d: 10.11.15].
- [13] Perrier N., Langevin A., Campbell J.: A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part I: system design for spreading and plowing. *Comput Oper Res*, vol. 33, 2006, ss. 209-238.
- [14] Roy B.: Decision-Aid and Decision Making. *Eur J Oper Res*, Vol. 45, 1990, ss. 324–331.
- [15] Roy B.: The Outranking Approach and the Foundations of ELECTRE Methods. W: Bana e Costa C. (red.): *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*. Springer-Verlag, Berlin, 1990, ss. 155-183.
- [16] Roy B.: *Wielokryterialne wspomaganie decyzji*. WNT, Warszawa, 1990.
- [17] Steuer R.: *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application*. Wiley&Sons, Nowy York, 1986.
- [18] Vincke P.: *Multicriteria Decision-Aid*. Wiley&Sons, Chichester, 1992.
- [19] Wang X., Triantaphyllou E.: Ranking Irregularities when Evaluating Alternatives by Using Some ELECTRE Methods. *Omega-Int J Manage S*, Vol. 36, nr 1, 2008, ss. 45-63.
- [20] Zmuda-Trzebiatowski P.: Selected Aspects of Road Cleansing in the City of Poznan. *LogForum*, vol. 6, zeszyt 3, nr 8, 2010, ss. 81-89.
- [21] Żak J., Fierek Sz., Nijak D.: Design and multiple criteria evaluation of alternative bicycle paths/tracks in the mid-sized metropolitan area. *Materiały konferencyjne: 23rd European Conference on Operational Research Bonn*, 5-8 lipca, 2009.
- [22] Żak J., Redmer A., Sawicki P.: Multiple Objective Optimization of the Fleet Sizing Problem for Road Freight Transportation. *J Adv Transport*, Vol. 42, nr 4, 2008, ss. 379-427.
- [23] Żak J.: The methodology of multiple criteria decision making/aiding in public transportation. *J Adv Transport*, vol. 45, nr 1, 2011, ss. 1-20.
- [24] Żak J.: *Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym*, Wyd. PP, Poznań, 2005.

MULTIPLE CRITERIA EVALUATION OF NEW COMPACT STREET SWEEPERS USING ELECTRE III METHOD

Abstract

The paper concerns with issues regarding multiple criteria evaluation of new compact street sweepers. The review of polish and international tenders regarding purchasing or leasing street sweepers was conducted in order to analyse used in practice criteria for evaluation of such devices. The method of evaluating such devices by using multiple criteria decision aiding tool ELECTRE III is also provided. An example of using such method in the case of purchasing a new compact street sweeper is also presented.

Keywords: problem of street sweepers evaluation, ELECTRE III, multiple criteria decision aiding