

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa

Dyscyplina: inżynieria mechaniczna

ROZPRAWA DOKTORSKA

**PREDYKCJA JAKOŚCI PRODUKTÓW
Z UWZGLĘDNIENIEM WYMAGAŃ KLIENTÓW**

mgr inż. Dominika Siwiec

Promotor:

dr hab. inż. Andrzej Pacana, prof. PRz

Rzeszów 2022

Spis treści

Wykaz wybranych terminów i akronimów	4
Wprowadzenie	7
1. Syntetyczny przegląd prac dotyczących wymagań klienta wobec wyrobu	9
1.1. Weryfikacja prac do wstępnej analizy treści	9
1.2. Pozyskiwanie wymagań klientów	16
1.3. Przetwarzanie i precyzowanie wymagań klientów	21
1.4. Ocena jakości produktu z uwzględnieniem wymagań klientów	29
1.5. Przewidywanie wymagań klientów	33
1.6. Wnioski z przeglądu literatury i luki badawcze	37
2. Problem naukowy, cel i teza	40
3. Koncepcja, założenia i uwarunkowania modelu	42
3.1. Koncepcja modelu	42
3.2. Założenia modelu	42
3.3. Uwarunkowania i ograniczenia doboru metod i narzędzi	46
4. Model predykcji jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów	49
4.1. Algorytm modelu predykcji jakości produktów	49
4.2. Charakterystyka etapów modelu predykcji jakości produktów	49
5. Weryfikacja opracowanego modelu	79
5.1. Zainicjowanie	79
5.2. Działania przygotowawcze	81
5.3. Przetwarzanie i precyzowanie	85
5.4. Przewidywanie	95
5.5. Doskonalenie	98
6. Podsumowanie, wnioski i propozycje rozwoju problematyki badawczej	99
Literatura	102
Spis rysunków i tabel	118

Załączniki.....	120
Streszczenie.....	136
Summary	137

Wykaz wybranych terminów i akronimów

Algorytm Yager'a – algorytm do ważnościowania wymagań, w tym wymagań obojętnych, tj. nie mających znaczenia [46].

ART2 – adaptacyjna teoria rezonansu [19, 173].

Dwukrotki (2-krotki) językowe (2-tuple linguistic) – technika pozwalająca na jednoczesne przedstawienie wymagań klientów za pomocą terminu (opisu/informacji o wymaganiu) oraz liczby będącej odległością do centralnej wartości danego terminu językowego [100, 101, 217].

Jakość Kansei (KQ, Kansei Quality) – jakość produktu finalnego uwzględniająca wpływ cech emocjonalnych (wartości osobistych) na wymagania klienta, np.: zapach, dotyk, kolor, czy zawartość określonych substancji produktu [53, 193].

Jakość produktu – spełnialność wymagań klienta [141].

Jakość produktu (w ujęciu ekonomicznym) – poziom zgodności produktu z wymaganiami klientów wynikających np. z jego potrzeb, dochodów i cen produktu [12].

Jakość produktu (w ujęciu techniczno-ekonomicznym) – nawiązuje do wymagań klientów odnośnie właściwości produktu, których spełnienie na wymaganym przez nich poziomie warunkuje osiągnięcie jakości produktu [12].

Jakość produktu (w ujęciu technicznym) – osiągnięcie przez produkt stanu w niewielkim stopniu odbiegającym od zadanych w technice wzorców, np. normy, standardy, projekty [12].

Klient – osoba zewnętrzna (niebędąca pracownikiem organizacji) dla której przeznaczony jest produkt końcowy [78].

Metoda AHP (Analytic Hierarchy Process) – wielokryterialna metoda stosowana do hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych [38, 52, 69].

Metoda DEMATEL (The Decision Making Trial And Evaluation Laboratory) – Próba Decyzyjna i Laboratorium Decyzyjne opiera się na teorii grafów i macierzy, zapewnia ustrukturyzowaną wizualizację w formie diagramu skomplikowanych związków przyczynowych, metoda stosowana do określenia modyfikacji produktu poprzez przeanalizowanie zależności wymagań klientów z uwzględnieniem ich wag (ważności) [128].

Metoda FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) – rozmyta wielokryterialna metoda stosowana do hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych [38, 52, 58].

Metoda FMEA (Failure Mode And Effects Analysis) – metoda mająca zastosowanie do analizy rodzajów i skutków możliwych błędów. Celem metody FMEA jest zapobieganie skutkom wad mogących wystąpić w fazie projektowania i wytwarzania [22, 59].

Metoda GRA (Szara Analiza Relacyjna, Grey Relational Analysis) – część teorii szarego systemu do analizy relacji szeregów lub zachowań danych, której celem jest przekształcenie nieznanymi wymagań klientów w znane wymagania klientów przez porównanie znanych sekwencji wymagań z sekwencją uwzględniającą wymagania nieznanymi [112, 167, 209, 210].

Metoda IPA (Importance-Performance Analysis) – analiza ważności i wydajności [63, 170].

Metoda QFD (Quality Function Deployment) – wdrożenie funkcji jakości [6, 11, 21].

Metoda RAHP (Rough Analytic Hierarchy Process) – przybliżona hierarchia analityczna, będąca zmodyfikowaną metodą AHP, w której porównanie parami ocen wymagań klientów odbywa się na liczbach przybliżonych [227].

Model HWWP (Health – zdrowie, Weapon – broń, Wealth – bogactwo, Prospect – perspektywa) – model opracowany poprzez matematyczne modelowanie wymagań klientów oraz możliwych do wdrożenia modyfikacji cech produktu [227].

Model Kano – teoria rozwoju produktu oraz zadowolenia klienta [107, 188, 195].

Model łańcucha Markov’a – model stosowany do przewidywania niepewnych zjawisk (stanów) krótko- i długoterminowych [223].

Naiwny Klasyfikator Bayesa (NB, Naive Bayes) – metoda uczenia maszynowego stosowana do opisywania relacji pomiędzy niepewnymi danymi i poziomami ich hierarchii dla niezależnych danych np. subiektywnych (jakościowych), funkcjonalnych (ilościowych) cech produktu; stosowany głównie do określania modyfikacji produktu satysfakcjonującej klienta [83, 230].

Oczekiwania klienta – pragnienia, przypuszczenia i wymagania w kontekście przyszłości [178].

Poziom jakości produktu – poziom w jakim spełniono wymagania klienta, przy czym poziom ten może być różny (np. niski, wysoki, najwyższy) i dotyczy tylko konkretnego przeznaczenia użytkowego produktu [89].

Prawo osądu porównawczego Thurstone’a – prawo według którego istnieje jednowymiarowość skali reprezentującej znaczenie wymagań klienta, gdzie ważność każdego wymagania ma rozkład normalny z nieznaną średnią wartością i wariancją tego wymagania [47].

Produkt – wyrób materialny lub usługa – niematerialny produkt [141].

RBF (Radial Basis Function) – radialna funkcja bazowa [20].

Satysfakcja klienta – subiektywne uczucie zadowolenia, spełnienia oczekiwań, potrzeb i wymagań [178].

Sferyczne zbiory rozmyte (SFS, Spherical Fuzzy Sets) – stanowią uogólnienie np. zbiorów pitagorejskich [95].

SMART(-ER) (specific, measurable, achievable, relevant, „based on timeline”, exciting, recorded) – metoda wspomagająca precyzyjne określenie celu [98].

Sztuczny Układ Odpornościowy (AIS, Artificial Immune System) – układ adaptacyjny oparty na algorytmach uczenia maszynowego, mający zdolność do ciągłego uczenia się i przystosowywania się do zmiennego środowiska [27].

Teoria Rozwiązywania Innowacyjnych Zadań (TRIZ, Theory of Innovative Problems Solving) – obejmuje ewolucję produktu w kontekście fizycznego nośnika informacji o wymaganiach klientów, tj. zapewnia odzwierciedlenie zmian trendów popytu klientów, liczebności produktów historycznych (niemodyfikowanych) i modyfikacji cech produktu [136, 208].

Teoria Szarości (Grey Theory) – teoria stosowana do modelowania niepełnych i niepewnych informacji przede wszystkim w przewidywaniu i podejmowaniu decyzji, przy czym szary model zawiera oryginalne i uporządkowane dane do przewidywania wymagań klientów według równania różniczkowego [18, 187].

Teoria Zbiorów Przybliżonych – grupa zamkniętych przedziałów zawierających górną oraz dolną granicę, jak i średni przybliżony interwał każdego elementu macierzy porównań parami ocen wymagań klientów [227].

Usługa – działalność gospodarcza, która ma charakter nieprodukcyjny [141].

Wymagania klienta – potrzeby, preferencje [193].

Wyrób – przedmiot będący końcowym produktem fizycznym [141].

Wprowadzenie

Dynamiczne zmiany technologiczne, jak i konkurencyjne środowisko spowodowały, że wiodącym trendem w obszarze produkcyjnym stał się rozwój produktu zorientowany na klienta [5, 15, 134, 212, 243]. Orientacja ta obejmuje oczekiwania klienta w celu zapewnienia satysfakcjonującego dla niego poziomu jakości produktu [32, 74, 114, 134, 149]. Dotyczy to projektowania nowych produktów oraz doskonalenia poziomu jakości produktów już istniejących. Poziom ten określany jest między innymi z uwzględnieniem satysfakcji klienta z produktu jaki otrzymał oraz z produktu jakiego oczekiwał [134, 193]. Przy czym, im wyższy poziom jakości produktu, tym wyższy poziom spełnienia oczekiwań klienta [122]. Wspomiane spełnienie oczekiwań klienta na stosunkowo najwyższym poziomie jest możliwe głównie w przypadku usług i produkcji jednostkowej [89, 146], która obejmuje personalizację i współtworzenie z klientem produktów, tak aby dopasować się do jego indywidualnych oczekiwań [5, 93]. Problemem staje się to w przypadku produkcji seryjnej i masowej. Wynika to z potrzeby jednoczesnego uwzględnienia odmiennych oczekiwań i preferencji znacznie większej liczby klientów [89], co jest wyzwaniem na przykład w procesach projektowania i planowania produkcji [51, 60]. W tym celu niezbędnym jest stosowanie działań rozwoju produktów obejmujących między innymi pozyskiwanie, przetwarzanie i określanie oczekiwań klientów względem jakości produktu [60, 74, 182, 236]. Odpowiednio określone oczekiwania należy konfrontować z możliwościami produkcyjnymi i finansowymi [24, 40, 74, 121, 193, 243]. Dodatkowo, organizacje zyskują na przewadze gdy poszukują rozwiązań mających na celu zapewnianie satysfakcji klientów z produktów. Dotyczy to poszukiwania w różny sposób możliwych rozwiązań w produktach już istniejących, tak aby przewidywać jakość tych produktów opartą o przyszłe oczekiwania klientów [187]. Takie postępowanie sprzyja nie tylko większej satysfakcji klientów, ale także dobrym wynikom ekonomicznym. Efektem takiego działania może być eliminacja marnotrawstwa (muda) w obszarze badań i rozwoju (B&R), czy badań oczekiwań klientów.

Dlatego też, wciąż poszukuje się możliwych modyfikacji produktów już istniejących, tak aby dostosować ich jakość nie tylko do aktualnych, ale też do zmieniających się i przyszłych oczekiwań klientów. Problematicznym jest to w przypadku wspomnianej produkcji seryjnej, ale także masowej, w której niezbędnym jest uwzględnianie oczekiwań możliwie jak największej liczby klientów. W tym kontekście wskazano brak jednego, spójnego modelu, który jednocześnie zapewniałoby pozyskanie wymagań klientów, ich przetworzenie i precyzowanie, a kolejno przewidywanie oczekiwanego poziomu jakości produktu.

Opracowanie takiego modelu umożliwi ustalenie wariantowej ścieżki modyfikacji wyrobu w kontekście jego przyszłej jakości. Miałoby to pozytywny wpływ na konkurencyjność produktu, a w konsekwencji na kondycję finansową przedsiębiorstwa.

Nowatorstwem dysertacji jest opracowanie modelu predykcji jakości produktów, który umożliwi określenie kierunku rozwoju produktów. Jednocześnie model ten umożliwi pozyskanie oczekiwań klientów wobec aktualnej i przyszłej jakości produktów oraz oszacowanie wymaganej liczności próby badawczej. Dodatkowo, model zapewni sklasyfikowanie poziomów jakości produktów wynikających z kombinacji stanów ich cech (kryteriów) oraz z oceny spełnialności oczekiwań klientów wobec tych cech.

1. Syntetyczny przegląd prac dotyczących wymagań klienta wobec wyrobu

1.1. Weryfikacja prac do wstępnej analizy treści

Dynamiczne zmiany w obszarze doskonalenia jakości produktów spowodowały, że kluczowym stał się rozwój produktów zorientowany na klienta. Odnosi się to do potrzeby uwzględniania tzw. głosu klientów (VoC – Voice of Customers) w celu zapewnienia satysfakcjonującego dla nich poziomu jakości. Przyjmuje się, że im wyższa spełnialność oczekiwań klientów, tym wyższa jakości produktu.

Celem przeglądu literatury było przeanalizowanie prac z obszaru wymagań klientów w kontekście produktu fizycznego. Przegląd literatury rozpoczęto w październiku 2019 roku i zakończono w kwietniu 2022 roku. Bazowano jedynie na pracach o otwartym dostępie, które zidentyfikowano w międzynarodowych bazach danych, tj.: Web of Science oraz Scopus. Kryteria doboru i liczebność zidentyfikowanych prac w ramach wstępnej analizy treści przedstawia tabela 1.1.

Tabela 1.1. Zestawienie kryteriów i liczności prac w ramach wstępnej analizy treści.

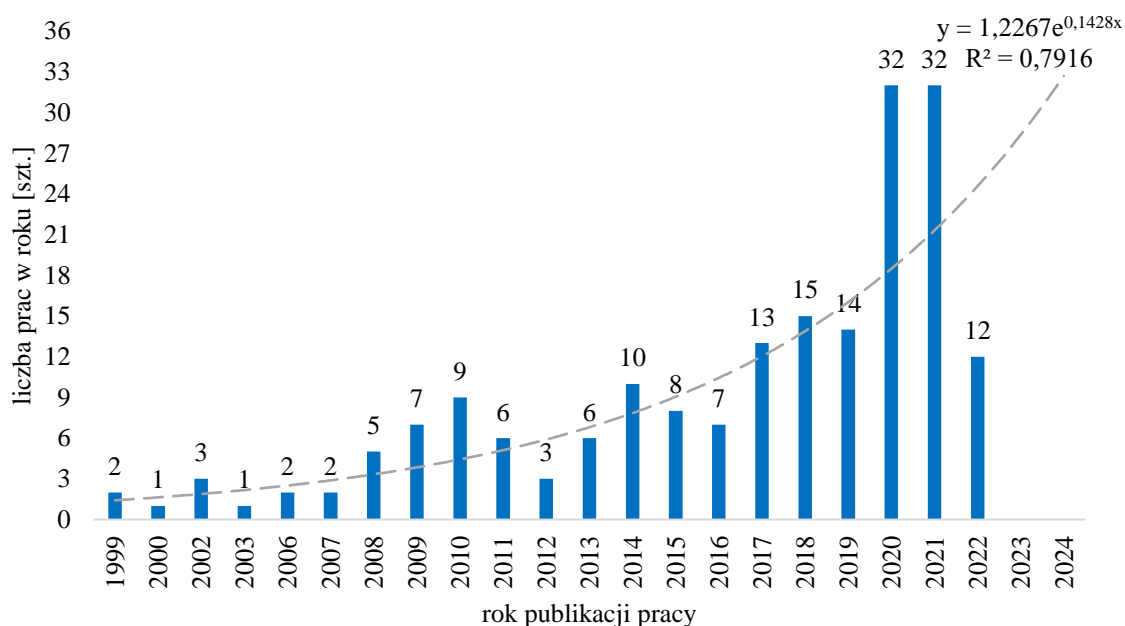
Web of Science		
Kryteria	hasło	wymagania klienta, eng. customer requirements
	źródło	tytuł, streszczenie, słowa kluczowe
	okres	1900-2022
liczba wszystkich prac dla zadanych kryteriów		19 617
<i>ograniczenia</i>		<i>liczba publikacji</i>
prace o otwartym dostępie		3 540
prace zgodne z obszarem badań		104
Scopus		
Kryteria	hasło	wymagania klienta, eng. customer requirements
	źródło	tytuł, streszczenie, słowa kluczowe
	okres	1916-2022
liczba wszystkich prac dla zadanych kryteriów		37 846
<i>ograniczenia</i>		<i>liczba publikacji</i>
tytuł lub słowa kluczowe		5 977
prace o otwartym dostępie		747
		79
prace zgodne z obszarem badań		w tym prace zidentyfikowane w bazie Web of Science
		23
liczba wszystkich prac poddanych analizie treści		183

Proces identyfikacji prac do wstępnej analizy treści rozpoczęto od zidentyfikowania w wybranych bazach wszystkich prac zawierających w tytule, streszczeniu lub słowach kluczowych hasło „wymagania klienta” (customer requirements). Dobrane do analizy ramy czasowe (od 1900 do 2022 roku – Web of Science oraz od 1916 do 2022 roku - Scopus) wynikały z okresu zakończenia identyfikacji prac do analizy treści (tj. kwiecień 2022 roku) oraz z maksymalnych ram czasowych tych baz. Dla zadanych kryteriów zidentyfikowano 19 617 prac w bazie Web of Science oraz 33 975 prac w bazie Scopus. Następnie, zgodnie z warunkami prowadzenia systematycznej analizy literatury, na zadane kryteria nałożono ograniczenia. Pierwszym ograniczeniem było zredukowanie liczby wszystkich zidentyfikowanych prac do tych, które zawierają tylko w tytule lub w słowach kluczowych hasło „wymagania klienta”. Drugim ograniczeniem było zidentyfikowanie prac tylko o otwartym dostępie. W przypadku braku bezpośredniego dostępu do danej pracy w bazie, sprawdzano jej dostęp w innych źródłach za pośrednictwem przeglądarki internetowej. Następnie, poddano analizie streszczenia wszystkich wybranych prac w celu określenia prac zgodnych z analizowanym obszarem badań (tj. wymagania klienta w kontekście produktu fizycznego). Ostatecznie uzyskano 183 prace, spośród których wybrano 104 prace z bazy Web of Science oraz 79 prac z bazy Scopus – wśród których 23 prace były tożsame z pracami z bazy Web of Science. Wszystkie wybrane prace zostały poddane analizie pod względem: liczby i rodzaju prac, słów kluczowych, wzajemnych cytowań prac, przypisów bibliograficznych oraz głównych obszarów tematycznych. W tym celu wykorzystano np. technikę bibliometryczną, technikę frekwencyjności, oprogramowanie komputerowe Gephi oraz dodatek do programu Microsoft Word, tzw. „chmura słów”. W pierwszym etapie przeanalizowano liczbę i rodzaj opublikowanych prac.

Celem analizy liczby publikacji na przestrzeni lat było wskazanie okresu przypadającego na fazę rozwoju analizowanego obszaru badań. Dodatkowo, w ramach określenia przyszłych publikacji utworzono trend liczby publikacji na lata 2021-2022 (rysunek 1.1).

Analizując liczbę opublikowanych prac w roku rozróżniono cztery fazy publikacyjne. Pierwsza to faza rozwoju analizowanego obszaru badań (lata 1994-2007), w której publikacje stanowiły głównie od 1 do 2 prac w roku. Po 2007 roku nastąpił wzrost liczby publikacji i trwał do roku 2012, w którym nastąpiła druga faza, czyli spowolnienia rozwoju wybranego obszaru badań. Wynikała ona prawdopodobnie z panującego wówczas kryzysu gospodarczego. W 2012 roku opublikowanych zostało jedynie 3 prace. Trzecia i czwarta faza, przypadająca na lata 2008-2011 oraz 2013-2016, to faza wzrostu zainteresowania analizowanym obszarem badań, w którym opublikowanych zostało od 5 do 10 prac w roku. Zaobserwowano, że od roku 2017

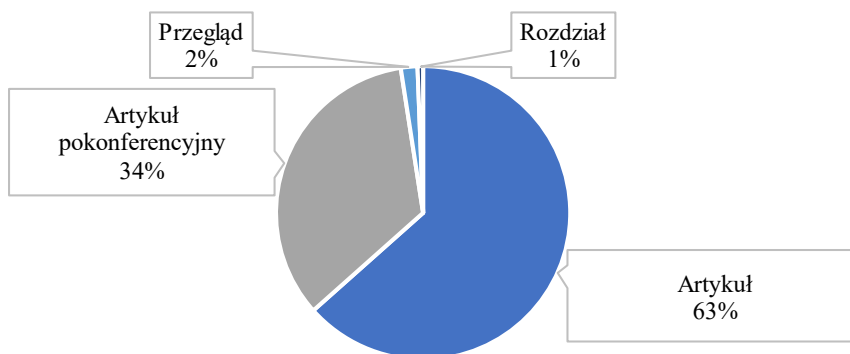
następuje faza wzmożonego rozwoju analizowanego obszaru badań, która prognozowana jest również na kolejne lata (2023-2024).



Rysunek 1.1. Liczba i trend publikacji analizowanych prac.

Wspomniane zainteresowanie analizowanym obszarem badań, a tym samym stosunkowo krótki okres fazy jego znaczącego rozwoju (od roku 2017), generuje możliwość wystąpienia luk badawczych. Z kolei uzasadnia to zasadność wyboru tego obszaru do badań.

Z tego względu, celowym było określenie znaczenia tych prac pod względem naukowym i utylitarnym. W tym celu przeanalizowano wybrane prace w kontekście rodzaju ich publikacji (rysunek 1.2).



Rysunek 1.2. Analiza rodzaju opublikowanych prac.

Wykazano, że przeważająca liczba prac (63%) to artykuły naukowe, a kolejno artykuły pokonferencyjne (34%). Pozostałe prace stanowią przegląd (2%) i rozdział w monografii (1%). Z tego względu, wybrany obszar badań uznano za istotny zarówno pod względem naukowym, jak i utylitarnym. Dlatego, zasadnym było określenie tematyki warunkującej rozwój analizowanego obszaru badań w kontekście naukowym i utylitarnym. W tym celu przeprowadzono analizę słów kluczowych.

Proces analizy słów kluczowych rozpoczęto od określenia liczby prac zawierających słowa kluczowe. Wykazano, że słowa kluczowe zawarto w 131 z 183 prac. Sumaryczna liczba wszystkich słów kluczowych wyniosła 650, gdzie niepowtarzających się słów kluczowych było 454. Analiza polegała na zwizualizowaniu słów kluczowych i określeniu słów najczęściej występujących. Początkowo utworzono tzw. chmurę słów, gdzie im większy rozmiar czcionki tym liczebność wystąpienia słowa jest większa w porównaniu do pozostałych (rysunek 1.3).



Rysunek 1.3. Chmura słów kluczowych.

Na podstawie chmury słów wstępnie wykazano, że najczęściej występującymi słowami kluczowymi były m. in: wymagania klienta, model Kano i metoda QFD (Quality Function Deployment). W ramach precyzyjnego określenia najczęściej występujących słów kluczowych zredukowano ich liczbę do trzech najczęściej powtarzających się, jak przedstawia tabela 1.2. Największa liczność słów kluczowych (43 z 650 słów) dotyczyła wdrożenia funkcji jakości i jego nazw pochodnych (QFD – Quality Function Deployment). Kolejno najczęściej występowały słowa kluczowe obejmujące wymagania klientów (32 z 650 słów), które były

jednocześnie kryterium (hasłem) według którego przeprowadzono przegląd literatury przedmiotu.

Tabela 1.2. Zestawienie rodzaju i liczebności najczęściej występujących słów kluczowych.

Zidentyfikowane słowa kluczowe	liczność (z 650 słów)
wdrożenie funkcji jakości (w tym: wdrożenie funkcji jakości (QFD); dom jakości; planowanie domu jakości; QFD)	43
wymagania klienta (lub wymagania klientów)	42
model Kano (w tym: Kano; koncepcja Kano)	12
projekt produktu	12
jakość	6
satysfakcja klienta	5

Następnymi często występującymi słowami był model Kano oraz projekt produktu (odpowiednio 12 z 650 słów). Kolejno, były to jakość (6 z 650 słów) i satysfakcja klienta (5 z 650 słów). Wywnioskowano, że prace w ramach wybranego obszaru badań koncentrowały się głównie na wdrażaniu funkcji jakości (QFD) i modelu Kano, czyli w ogólnym ujęciu na przekształcaniu wymagań klientów w celu osiągnięcia ich satysfakcji z produktu. Z tego względu, zasadnym było wskazanie prac, które wywarły największy wpływ na rozwój analizowanego obszaru badań.

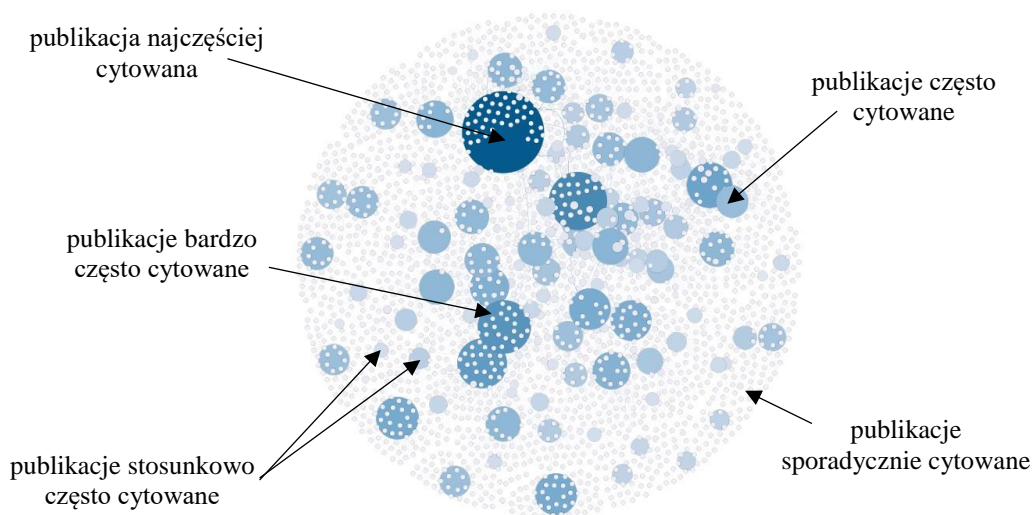
W ramach wskazania prac, które wywarły największy wpływ na rozwój analizowanego obszaru badań, przeprowadzono analizę wzajemnych cytowań prac i przypisów bibliograficznych. Wykorzystano w tym celu program Gephi. Z przeprowadzonej analizy wzajemnych cytowań (rysunek 1.4.) oraz przypisów bibliograficznych (rysunek 1.5.) wywnioskowano, że wyłonione podczas przeglądu literatury prace są powiązane merytorycznie.

Największą liczbą wzajemnych cytowań charakteryzowały się prace autorów Siwiec i Pacana, np. [142], Jiao i Chen, np. [81], czy Kang, Yang i Wu, np. [86]. Autorzy wskazanych prac byli wzajemnie najczęściej cytowani wśród wszystkich weryfikowanych przypisów bibliograficznych tych prac. Prace te dotyczyły głównie zapewnienie satysfakcji klienta przez odpowiednie pozyskiwanie, ocenę i przetwarzanie ich wymagań. Następnie, przeprowadzono analizę przypisów bibliograficznych w celu określenia, które z analizowanych prac stanowiły istotne źródło wiedzy wybranego obszaru badań.

Analizie poddano wszystkie przypisy literaturowe zidentyfikowane w wybranych 183 publikacjach. Ich liczba wynosiła 3 552 prac możliwych do zidentyfikowania, czyli zawierających np. adnotację o autorze, tytule i czasopiśmie (rysunek 1.5).



Rysunek 1.4. Sieć najczęściej powtarzających się wzajemnych cytowań autorów prac.



Rysunek 1.5. Sieć powiązań pozycji bibliograficznych wszystkich analizowanych prac.

Utworzona sieć pozycji bibliograficznych okazała się być spójna, a pozycje bibliograficzne wybranych do analizy prac były powiązane. W ten sposób wykazano, że w sposób poprawny

dobrano prace do przeglądu literatury. Dodatkowo, za pomocą wizualizacji sieci powiązań bibliograficznych wyróżniono prace najczęściej cytowane (tabela 1.3).

Tabela 1.3. Zestawienie wybranych, najczęściej cytowanych pozycji bibliograficznych.

Lp.	Autorzy	Publikacja (pozycja bibliograficzna)	Liczba cytowań
1.	Chan LK., Wu ML.	Quality function deployment: A literature review. <i>European Journal of Operational Research</i> , 143 (3), 2002.	34
2.	Chan LK., Kao HP., Ng A., Wu ML	Rating the importance of customer needs in quality function deployment by fuzzy and entropy methods. <i>International Journal of Production Research</i> , 37(11), 1999.	15
3.	Hauser JR., Clausing D.	The house of quality. <i>Harvard Business Review</i> , 66, 1988.	13
4.	Karsak EE.	Fuzzy Multiple Objective Programming Framework to Prioritize Design Requirements in Quality Function Deployment. <i>Computers & Industrial Engineering</i> , 47(2–3), 2004.	10
5.	Griffin A., Hauser JR.	The Voice of the Customer. <i>Marketing Science</i> , 12(1), 1993.	10

Po przeprowadzonej analizie wykazano, że najczęściej cytowanymi pozycjami były prace koncentrujące się na analizie metody QFD (wdrożenie funkcji jakości) oraz na zastosowaniu rozmytego podejścia do analizy nieprecyzyjnych i subiektywnych informacji.

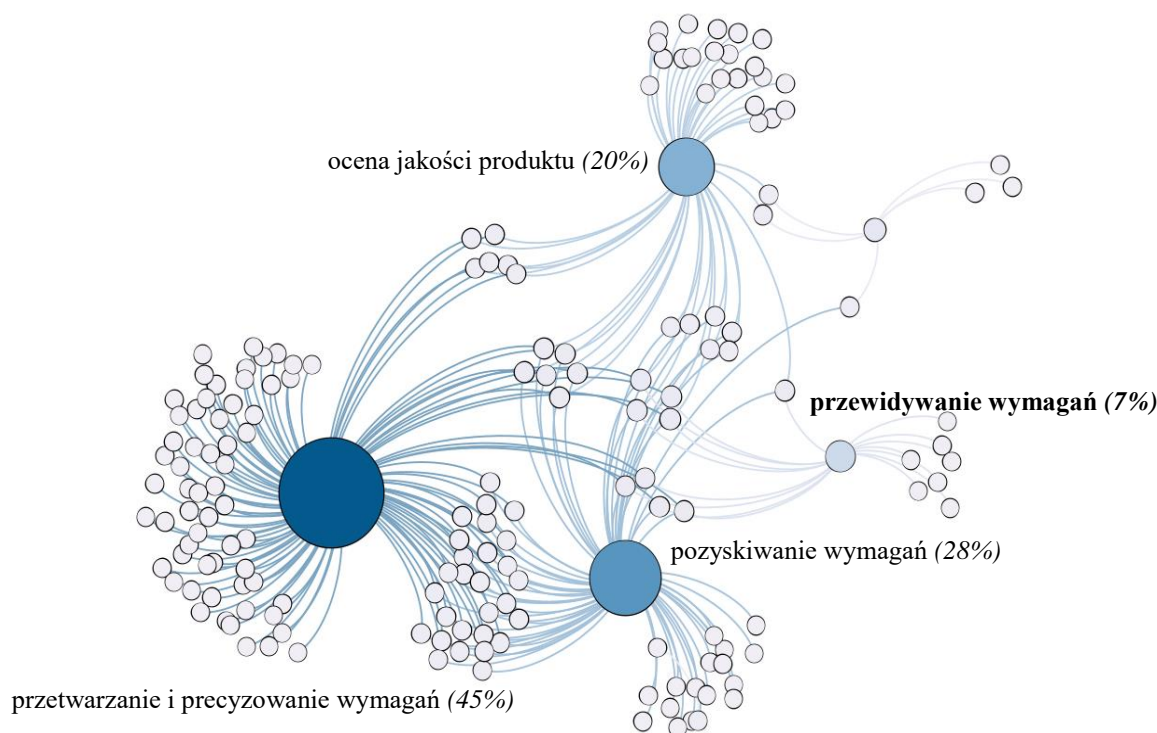
Wynioskowano, że źródłem rozwoju prac z analizowanego obszaru badań (wymagania klienta w kontekście produktu materialnego) jest metoda QFD i rozmyte metody decyzyjne, od których w dużej mierze uwarunkowany jest aktualny stan wiedzy. Po tym etapie przeprowadzono wstępną kategoryzację (grupowanie) wybranych prac ze względu na obszary tematyczne.

Kategoryzację przeprowadzono na podstawie wstępnej analizy treści prac. W rezultacie wyszczególniono cztery główne grupy tematyczne, tj.:

- pozyskiwanie wymagań klientów,
- przetwarzanie i precyzowanie wymagań klientów,
- ocena jakości produktu,
- przewidywanie wymagań klientów

Największa liczba wybranych do analizy prac dotyczyła przetwarzania i precyzowania wymagań klientów (45%), kolejno pozyskiwania wymagań klientów (28%) oraz oceny jakości produktu (20%). Z kolei najmniejsza liczba prac obejmowała obszar przewidywania wymagań

klientów (7%). Opracowaną wizualizację grup tematycznych prac oraz ich wzajemnych powiązań przedstawi rysunek 1.6.



Rysunek 1.6. Główne obszary tematyczne analizowanych prac.

Uznano, że przewidywanie wymagań klientów i ocena jakości produktu stanowi koncentrację luk badawczych. Dlatego, zasadnym było poszukiwanie możliwych rozwiązań produktów z uwzględnieniem wymagań klientów w nawiązaniu do oceny jakości produktu oraz przewidywania ich satysfakcji z tej jakości. W tym celu przeprowadzono dogłębną analizę treści wybranych do analizy prac zgodnie ze wskazanym podziałem tematycznym, tj. pozyskiwanie wymagań klientów, przetwarzanie i precyzowanie wymagań klientów, ocena jakości produktu z uwzględnieniem wymagań klientów i przewidywanie wymagań klientów. Analizę treści prac rozpoczęto od analizy prac dotyczących pozyskiwania wymagań klientów.

1.2. Pozyskiwanie wymagań klientów

Osiągnięcie oczekiwanego poziomu jakości produktu realizowane jest w ramach wczesnego pozyskiwania wymagań klientów [193, 243] i uwzględniania tych wymagań na etapie projektowania produktu [40, 60, 74, 93, 146, 147, 236]. Pozyskanie wymagań klientów pozwala m. in. na ich skonfrontowanie z możliwościami produkcyjnymi [121, 243], przekształcenie w funkcje produktu [49], czy skrócenie czasu projektowania produktów i poniesienia niższych

kosztów produkcji [35, 89]. Jednak wdrożenie strategii wytwarzania produktów zgodnie z wymaganiami klientów stanowi duże wyzwanie dla organizacji w procesach planowania i kontroli produkcji [60]. Właśnie w ramach osiągnięcia zadowolenia klienta powstały koncepcje takie jak personalizacja, marketing, masowe dostosowanie oraz współtworzenie dopasowujące się do indywidualnych wymagań klientów [5, 93]. Przykładowo, w przypadku produkcji jednostkowej, a tym samym wspomnianych produktów personalizowanych, wczesne pozyskiwanie wymagań klientów nie stanowi problemu, ponieważ organizacje mają możliwość dostosowywania produktu do oczekiwań klientów [33]. Jednak przy produkcji seryjnej i masowej, wyzwaniem stało się umożliwienie aktywnego uczestniczenia klientów w procesie projektowania produktu [68, 193]. Wynika to z braku możliwości jednoczesnego osiągnięcia oczekiwanego poziomu jakości produktu ze względu różnych i często niesprecyzowanych wymagań klientów [93]. Pomimo wykorzystywania technik do pozyskiwania oczekiwanych wymagań klientów, nadal problemem otwartym jest zapewnienie możliwości produkcyjnych przedsiębiorstwa przy jednoczesnym osiągnięciu wymaganego poziomu jakości. Dotyczy to głównie pozyskania wymagań klientów, tak aby osiągnąć poziom jakości produktów dla produkcji seryjnej oraz masowej [60, 203]. W tym kontekście, dotychczas wykorzystywanymi technikami do pozyskania wymagań klientów były, np.:

- ankiety [6, 20, 41, 75, 81, 93, 99, 108, 138, 154, 158, 172, 175, 192, 193, 209, 232, 238],
- kwestionariusze [35, 58, 69, 93, 108, 142, 176, 193, 209, 238],
- komentarze, opinie lub recenzje klientów o produkcie [9, 94, 102, 115, 127, 132, 170, 171, 199, 189],
- wywiady [46, 81, 104, 111, 131, 162, 193, 210],
- bezpośredni kontakt z klientami [97, 155, 167, 210],
- analiza reklam i monitorowanie Internetu (analiza marketingowa) [97, 111, 156],
- technika sortowania [81, 173, 229],
- technika drabinkowa [19, 20, 81],
- skargi i sugestie [111, 123, 227],
- platforma internetowa wspomagana siecią Bayesian'a [215, 233],
- ankiety mailowe lub telefoniczne [104, 210],
- obserwacje klientów [81, 131] oraz rzeczywiste kontrole interakcji klientów na wirtualne prototypy [40, 111],
- burza mózgów [34, 123],

- grupy fokusowe [210],
- dane transakcyjne [216],
- aplikacja bazująca na metodzie QFD [139],
- wymagania z dokumentów patentowych [136],
- audyty wewnętrzne [111],
- dane historyczne [18],
- lista kontrolna Osborna [123],
- platforma e-commerce [102],
- model skojarzeń słownych [225].

Wśród zidentyfikowanych technik, najczęściej stosowanymi do pozyskiwania wymagań klientów były ankiety, kwestionariusze i wywiady. Przykładowo, autorzy Wu i Shieh [223] w ramach badań ankietowych dokonali oceny aktualnych oraz przeszłych zmian produktu. Kolejno, na podstawie wyników ankietowych obliczyli początkowe prawdopodobieństwo wystąpienia wymagań klientów oraz zmianę tego prawdopodobieństwa, według którego przewidywali wspomniane wymagania. Z kolei, w nawiązaniu do techniki wywiadu, jako przykład można uznać opracowanie [193], w którym Styliadis'a i in. scharakteryzowali oraz przetestowali tę technikę do pozyskania wymagań klientów. Polegało to na przeprowadzeniu wywiadu, jego nagraniu i kolejno przepisywaniu na formę tekstową. Kodowanie tekstu oraz jego analiza została przeprowadzona za pomocą oprogramowania NVivo mającego zastosowanie do analizy danych jakościowych. Rezultat z wywiadu stanowił zgodność uzyskanych wyników, którą obliczono stosując współczynnik Kappa Cohena. Natomiast Shi i Peng [171] zaproponowali metodę pozyskiwania i weryfikowania wymagań klientów według analizy big data. Polega to na pozyskiwaniu wymagań klientów według tzw. słownych wektorów zgodnie z modelem ciągłego worka słów. Weryfikacja wymagań realizowana jest przez przeszukiwanie i następnie indeksowanie części mowy i częstotliwości ich słów. Następnie zdefiniowane słowa są grupowane za pomocą metody grupowania propagacji powinowactwa. Pogrupowane w ten sposób słowa klientów mają zastosowanie przy projektowaniu produktu. Innymi, stosunkowo często wykorzystywanymi do pozyskania wymagań klientów technikami były np. technika sortowania oraz technika drabinkowa.

Wspomniana technika sortowania [81] polega na ocenie zdjęć demonstrujących cechy produktu. W tym celu klienci wielokrotnie uporządkowują zdjęcia produktu, które przedstawiają inną, pojedynczą cechę produktu. Sortowanie zdjęć (obrazów) cech produktu ma nakłonić klientów do wykrycia niewielkich różnic pomiędzy posortowanymi zdjęciami

i wskazania przyczyny sposobu w jaki zdjęcia zostały posortowane, czyli motywację jaką kierował się klient sortując zdjęcia [81, 173, 229]. Z kolei technika drabinkowa [19, 20, 81], którą zintegrowano z modułem analizy marketingowej [19] oraz z modułem analizy wielokulturowej [20], jest zbliżoną formą do techniki wywiadu, w której respondent udziela odpowiedzi na określony zestaw pytań. W technice drabinkowej niezbędne jest określenie tzw. hierarchii (szczebla) aspektu lub wymiaru produktu, np. konstrukcja produktu wymuszona (modyfikowana) lub dosłowna (aktualna). Respondent wybiera z każdego szczebla dowolne, główne aspekty lub wymiary produktu, według których zgodnie z ich hierarchią zadawane są odpowiednio przygotowane pytania. W przypadku braku możliwości przeprowadzenia wywiadu z respondentem w sposób hierarchiczny, możliwe jest przemieszczanie się po tzw. drabinie pytań. Odpowiedzi na zadawane pytania dekomponowane są np. w klasy lub atrybuty, według których określana jest złożoność wymagań klientów. Omówiona technika drabinkowa, ale też pozostałe techniki zidentyfikowane w wybranych do analizy treści pracach, zostały również uwzględnione w innych publikacjach oraz normach.

W nawiązaniu do technik do pozyskiwania danych przydatnym jest wskazanie normy ISO 16355, która dotyczy metody QFD (wdrażanie funkcji jakości). W tej normie wymienionych zostało 17 technik mających zastosowanie do pozyskiwania danych o wymaganiach klienta (tzw. głos klienta). Technikami tymi są:

- metody wywiadu:
 - grupy fokusowe,
 - wywiad indywidualny,
 - metody ankietowe,
- metody analizy dokumentacji (treści):
 - systemy pomocy i wsparcia klientów,
 - badania satysfakcji klienta,
 - reklamacje,
 - dokumentacja zwrotów towarów,
 - raporty,
 - analizy,
 - referaty konferencyjne,
 - raporty sprzedaży,
 - zapisy z prac serwisowych,
 - analiza big data,
 - zapisy z mediów społecznościowych,

- metody obserwacji:
 - gemba walk,
 - analiza głównego użytkownika,
 - prezentacje produktu,
- metody projekcyjne:
 - symulacje,
 - design thinking,
 - model czynności użytkownika produktu [80, 30].

Wskazane narzędzia, w nawiązaniu do rodzaju sposobu zbierania danych są adekwatne technikom zbierania danych w procesie badawczym [30]. Przegląd literatury dotyczący pozyskiwania oczekiwań klientów przedstawili także autorzy pracy [204], gdzie weryfikowano techniki do pozyskania oczekiwań klientów jeżeli problematycznym jest wprowadzenie produktu na rynek, np. ze względu na utrudniony dostęp do klientów.

Dodatkowo, przegląd literatury wskazuje, że wykorzystywano różne metody do określania liczności próby badawczej. Za ich pomocą szacowano licznosc do przetestowania z góry przyjętych hipotez oraz określano moc do wykrywania relacji dla określonej liczności próby. Także weryfikowano możliwość wykrycia istotnie statystycznej różnicy dla danej mocy testu i wielkości próby badawczej [26, 64, 129, 146, 149, 165, 197]. Jednak nie są dostępne, ani powszechnie stosowane metody do określania liczności próby badawczej do przewidywania poziomu jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów.

W rezultacie wywnioskowano, że najczęściej stosowanym narzędziem pozyskiwania oczekiwań klientów są badania ankietowe [6, 20, 41, 75, 81, 93, 99, 108, 154, 172, 192, 193, 209, 232, 238]. Wykazano, że za ich pomocą możliwe jest pozyskanie oczekiwań w ramach przewidywania poziomu jakości produktu. Przykładem jest opracowanie [223], w którym za pośrednictwem badań ankietowych klienci oceniali aktualne i przeszłe zmiany cech produktu. Dodatkowo ukazano, że korzystnym jest pozyskiwanie oczekiwań klienta odnośnie ważności cech produktu oraz stanu cech produktu, np. stan dosłowny (aktualny) i tzw. wymuszony [19, 20, 81]. Jednak, dotychczasowe badania ankietowe nie były wykorzystywane do pozyskania oczekiwań klientów dotyczących aktualnej i zmodyfikowanej jakości cech produktu. Oprócz tego, w pracach tych nie odnaleziono informacji o wymaganej liczności klientów od których należy pozyskać oczekiwania do przewidywania jakości produktu. Równocześnie, prace te nie prezentowały metod zapewniających oszacowanie takiej liczności próby badawczej. Uznano to za luki badawcze, które starano się wypełnić w dalszym etapie badań poprzez opracowanie dwóch procedur, tj. procedury do pozyskiwania oczekiwań klientów i procedury do określania

wymaganej liczności próby badawczej. Natomiast w ramach przyjęcia sposobu przetworzenia i precyzowania oczekiwań klientów przeprowadzono przegląd kolejnych prac.

1.3. Przetwarzanie i precyzowanie wymagań klientów

Przetwarzanie i precyzowanie wymagań klientów to podstawowe działania podejmowane w ramach określenia satysfakcjonującego poziomu jakości produktu [109, 143, 144, 156, 216]. Dotyczy to zarówno wymagań klientów względem cech technicznych produktu (tj. ilościowych, mierzalnych), jak i cech subiektywnych (jakościowych), np. wygląd, estetyka i komfort użytkowania [216]. Jednak, w tradycyjnym projektowaniu produktów często występuje zjawisko nasilenia uwzględniania cech technicznych względem cech subiektywnych. Powoduje ono powstawanie zniekształceń i nadinterpretacji podczas określania wymaganego poziomu jakości produktu [52, 144, 179]. Wynika to z problematycznego określenia wymagań subiektywnych, które zależą od wielu różnych czynników, np. zasady którymi kieruje się klient, jego nastrój lub sytuacja materialna. Z tego względu, wymagania subiektywne są często pomijane, a mogą stanowić istotne źródło informacji podczas projektowania produktu [52, 110, 179, 181, 216]. Dlatego, aby zapewnić możliwość efektywnego uwzględniania wymagań subiektywnych, a tym samym wymagań cech technicznych produktu, po pozyskaniu wymagań klientów stosowane są różne metody ich przetwarzania i precyzowania [43, 144, 180, 181].

Wśród najczęściej wykorzystywanych metod do przetwarzania i precyzowania wymagań klientów była metoda QFD (wdrażanie funkcji jakości) [2, 6, 10, 11, 13, 21, 22, 28, 38, 39, 41, 44, 48, 52, 55, 54, 56, 57, 59, 66, 79, 81, 90, 95, 96, 97, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 115, 116, 118, 126, 128, 131, 135, 136, 137, 140, 145, 169, 172, 175, 188, 195, 202, 208, 210, 218, 222, 224, 225, 230, 235]. W ramach tej metody wykorzystywano przede wszystkim techniki ważnościowania (nadawania wag) wymagań klientów, np.:

- metoda AHP (Analytic Hierarchy Process) [28, 38, 52, 69, 75, 81, 96, 102, 103, 104, 105, 106, 137, 140, 175, 230],
- oraz metoda FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) [2, 38, 52, 58, 59, 81, 85, 118, 186, 224], które wykorzystywano przede wszystkim do określenia ważności wymagań klientów, stosunkowo często z uwzględnieniem pozycji konkurencyjnej [58, 81, 97, 104, 105], ale także w ramach analizy relacji produkt-usługa [2],
- rozmyta skala ocen Saaty'ego [9, 22, 38, 58, 59, 85, 96, 97, 116, 118, 186, 224], której celem było dokładniejsze przełożenie wymagań klientów na jakość produktu,

np. zredukowanie niespójności i nieprecyzyjności wymagań klientów [38, 85, 118, 186] lub dokonanie wyboru cech produktu wymagających natychmiastowej poprawy [103,118].

Metodę QFD łączono również z innymi instrumentami. Wśród wspomnianych połączeń metody QFD były:

- metoda FAHP oraz metoda FMEA (Failure Mode And Effects Analysis) [22, 59],
- analiza Pareto-Lorenza [39],
- teoria zbiorów przybliżonych, metoda AHP i model Kano [107, 188, 195, 227, 243] oraz metoda RAHP (Rough Analytic Hierarchy Process) [227],
- dwukrotki językowe [100, 101],
- liniowe programowanie celów (LGP, Linear Goal Programming) [217],
- metoda porządkowania priorytetów właściwości inżynierskich produktu (EC, Engineering Characteristics) [45],
- porządkowa metoda priorytetów (OPM, Ordinal Prioritization Method) [52],
- sferyczne zbiory rozmyte (SFS, Spherical Fuzzy Sets), które stanowią uogólnienie, np. zbiorów pitagorejskich [95],
- prawo osądu porównawczego Thurstone'a [47],
- algorytm Yager'a (Yager's Algorithm) [46],
- szara analiza relacyjna (GRA, Grey Relational Analysis) [112, 167, 209, 210] i jej połączenie z algorytmem optymalizacji immunologicznego roju cząstek (IPSO, Immune Particle Swarm Optimization) [210], lub maksymalizacją odchylenia (MD, maximizing deviation) [209],
- metoda DEMATEL (Próba Decyzyjna i Laboratorium Decyzyjne, The Decision Making Trial And Evaluation Laboratory) [128, 137, 140],
- metodyka analizy korelacji wymagań klientów [237],
- metoda ANP (Analityczny Proces Sieciowy, Analytic Network Process), która stanowi ogólny model metody AHP [116],
- Technika Inżynierii Kansei [54],
- teoria TRIZ (Teoria Innowacyjnego Rozwiązywania Problemów, Theory of Innovative Problems Solving) [31, 103, 126, 136, 208],
- wykres preferencji (PG – preference graph), metoda korelacji rozmytej i algorytm genetyczny [235, 244].

Przykładowo, celem integracji metody QFD z metodami FAHP, FMEA (Failure Mode And Effects Analysis) [22, 59] i analizą Pareto-Lorenza [39] było zapewnienie precyzyjnego określenia istotnych dla klientów cech produktu [22, 39] oraz wskazania ważności skutków awarii tych cech [59]. Oprócz tego, w ramach precyzyjnego określenia ważności wymagań klientów integrowano metodę QFD z teorią zbiorów przybliżonych, metodą AHP i modelem Kano [107, 188, 195, 227, 243]. Wspomniana teoria zbiorów przybliżonych, to grupa zamkniętych przedziałów zawierających górną oraz dolną granicę, jak i średni przybliżony interwał każdego elementu macierzy porównań parami ocen wymagań klientów. W tym połączeniu metod, zastosowanie teorii zbiorów przybliżonych miało na celu precyzyjne określenie ważności wymagań klientów. Ważności te wdrożono w metodę QFD, a kolejno metodą AHP obliczono możliwość osiągnięcia wskaźnika ważności tych wymagań. W rezultacie według modelu Kano analizowano satysfakcję klienta. Podobne połączenie metody QFD z teorią zbiorów przybliżonych przedstawili Xie i in. [227], w którym dodatkowo zastosowano metodę RAHP (Rough Analytic Hierarchy Process). Metoda RAHP to przybliżona hierarchia analityczna, będąca zmodyfikowaną metodą AHP, w której porównanie parami ocen wymagań klientów odbywa się na liczbach przybliżonych. Celem tego połączenia było zniwelowanie niejasności i niepewności ocen oraz zapewnienie zachowania obiektywności oryginalnych danych, ponieważ liczby przybliżone uznawane są za efektywniejsze niż liczby rozmyte oraz rzeczywiste [227]. Nawiązując do precyzyjnego określenia wymagań klientów, stosowano także połączenie metody QFD z 2-krotkami językowymi, jak przykładowo dokonał tego Li M. w artykułach [100, 101]. Wspomniane 2-krotki językowe zapewniają przedstawienie wymagań klientów za pomocą terminu (opisu/informacji o wymaganiu), jak i liczby będącej odległością do centralnej wartości danego terminu językowego. Połączenie ich z metodą QFD zapewniło nie tylko sprecyzowanie wymagań klientów, ale także zapobieżenie utracie informacji o istotnych wymaganiach, które mogą wystąpić podczas przekształcania wymagań klientów. Na wspomnianą potrzebę stosowania metody ograniczającej utratę lub zniekształcenie pozyskanych danych, zwrócili także uwagę autorzy pracy Wang'a i Chin'a [217], którzy w tym celu zintegrowali metodę QFD z liniowym programowaniem celów (LGP, Linear Goal Programming). Istotą tego połączenia było dokonanie oceny względnych wag wymagań klientów bez konieczności ich przekształcania. W tym celu opracowany został model matematyczny bazujący na LGP do wyznaczania ważności wymagań klientów, które wyrażone były w różny sposób, np. w formie porządkowej. Wspomniane ważnościowanie wymagań klientów w skali porządkowej zostało przeprowadzone także w ramach połączenia metody QFD z metodą porządkowania priorytetów

właściwości inżynierskich produktu (EC, Engineering Characteristics) [45]. Następny przykład zredukowania zniekształceń wymagań klientów wynikających ze stosowania różnych metod ich ważnościowania został przedstawiony w artykule autorstwa Gen'a LS. i Gen'a LX. [52], w którym połączono metodę QFD z porządkową metodą priorytetów (OPM, Ordinal Prioritization Method). W tym celu początkowo uwzględniano cechy techniczne produktu jako silnie związane z wymaganiami klientów. Kolejno, dokonano ich normalizacji według najwyższego stopnia wagi, aby zredukować różnice występujące w ważności wymagań na wejściu QFD. Natomiast ważność wymagań na wyjściu w QFD uzyskano poprzez dwukrotne rankingowanie tych wymagań według sumy i najwyższego stopnia udziału wymagań na wyjściu. W kontekście określenia nieprecyzyjnych i niejasnych wymagań klientów, połączono także metodę QFD ze sferycznymi zbiorami rozmytymi (SFS, Spherical Fuzzy Sets), które stanowią uogólnienie np. zbiorów pitagorejskich [95]. Połączenie to zapewniło przedstawienie wymagań w formie ocen opisowych (terminów językowych) i interwałowych wartości liczbowych. Wspomniane przekształcanie wymagań klientów na interwałowe wartości liczbowe zostało także zrealizowane w ramach tzw. prawa osądu porównawczego Thurstone'a [47]. W metodzie tej, wymagania pozyskiwane są w 5-stopniowej skali Likerta za pomocą macierzy porównań parami. Wynika to z założeń Thurstone'a, według których istnieje jednowymiarowość skali reprezentującej znaczenie wymagań klienta, dlatego ważność każdego wymagania ma rozkład normalny z nieznaną średnią wartości i wariancji tego wymagania. W rezultacie wymagania te przekształcane są w skalę interwałową, tak aby określić względne znaczenie wymagań klientów. Ważność wymagań klientów została także analizowana w kontekście różnych, wybrakowanych wymagań oraz z uwzględnieniem lub pominięciem dowolnej liczby wymagań. W tym celu połączono metodę QFD z algorytmem Yager'a (Yager's Algorithm) [46], za pomocą którego możliwe jest ważnościowanie wymagań nawet w przypadku wymagań obojętnych (nie mającymi znaczenia). Również w kontekście analizy wybrakowanych (niekompletnych) i niepewnych wymagań klientów, integrowano metodę QFD z szarą analizą relacyjną (GRA, Grey Relational Analysis) [112, 167, 209, 210], która jest częścią teorii szarego systemu pozwalającą na analizę relacji szeregów lub zachowań danych [209]. Celem teorii szarego systemu jest przekształcenie nieznanych wymagań klientów w znane wymagania klientów. Odbywa się to na zasadzie porównywania znanych sekwencji wymagań z sekwencją uwzględniającą wymagania nieznanne. Polega to na określeniu stopnia korelacji tych wymagań będącego tzw. szarą analizą relacyjną, a kolejno oceny tzw. stopnia szarości (niepewnych wymagań) w zależności od stopnia prawdopodobieństwa lub też różnicy powstającego trendu tych wymagań [112, 167]. Metoda GRA jest efektywna na małej liczbie

danych (nawet 4 dane) i rozpoczyna się od tzw. szarego generowania relacyjnego, czyli od przetworzenia sekwencji danych na sekwencję porównawczą. W ten sposób tworzona jest szara macierz. Następnie, na jej podstawie obliczane zostają szare współczynniki relacyjne, przy czym szara ocena relacyjna jest poziomem korelacji pomiędzy analizowaną parą danych. Integracja metody GRA z metodą QFD została także rozszerzona o algorytm optymalizacji immunologicznego roju cząstek (IPSO, Immune Particle Swarm Optimization), w celu określenia współczynników względnej ważności wymagań klientów z uwzględnieniem zróżnicowania tych wymagań oraz nieznanymi informacjami o ich ważności, które pozyskano w ramach wdrażania funkcji jakości [210]. Oprócz tego, metodę GRA integrowano z maksymalizacją odchylenia (MD, maximizing deviation), która przyjmuje wartości maksymalnego odchylenia uwzględniające zachowanie psychologiczne klientów [209]. Kontynuując analizę obszaru dotyczącego wymagań klientów, kolejnym przykładem jest połączenie metody QFD z metodą DEMATEL (Próba Decyzyjna i Laboratorium Decyzyjne, The Decision Making Trial And Evaluation Laboratory). W ramach tej metody możliwym jest ukazanie modyfikacji produktu poprzez przeanalizowanie zależności wymagań klientów z uwzględnieniem ich wag (ważności). Dodatkowo, metoda DEMATEL opiera się na teorii grafów i macierzy, dlatego też zapewnia ustrukturyzowaną wizualizację w formie diagramu skomplikowanych związków przyczynowych. Połączenie metody DEMATEL z metodą QFD miało na celu m. in. przeanalizowanie korelacji pomiędzy wymaganiami klientów [128, 140]. W nawiązaniu do analizy korelacji wymagań klientów, podobną metodykę zaproponowali Yiangkamolsing i in. w artykule [237], gdzie celem było uzyskanie listy najistotniejszych, skorelowanych oraz niepowtarzających się wymagań. Po usunięciu zbędnych wymagań ich liczba nadal była zbyt duża, dlatego opracowany został kwestionariusz, za pomocą którego określono tylko najistotniejsze według klienta wymagania. Kolejno, zastosowano analizę czynnikową, tak aby wyeliminować nieskorelowane wymagania. Następnie dla uzyskanej, skróconej listy wymagań klientów obliczono średnią oraz wariancję z ocen wymagań klientów w skali Likerta. Ostatecznie obliczono macierz kowariancji, a wymagania klientów wysoko skorelowane zostały pogrupowane według tzw. wspólnych czynników, które dotyczą czynników odpowiadających za zmienność pierwotnego wymagania klienta. Następnym, stosunkowo często przytaczanym obszarem analizy poprzez wdrożenie metody QFD jest przetwarzanie wymagań klientów i wymagań projektowych. Przykładowo, w tym celu połączono metodę QFD z metodą ANP (Analityczny Proces Sieciowy, Analytic Network Process), która stanowi ogólny model metody AHP. Metoda ANP ma zastosowanie do rozwiązywania problemów decyzyjnych i opiera się na skonstruowaniu diagramu sieci oraz

określeniu priorytetów analizowanych elementów. Integracja ANP z metodą QFD zapewniła jednocześnie uwzględnienie wymagań klientów oraz projektantów w ramach pozyskania istotnych informacji podczas projektowania produktu, np. znaczenie i poziom wąskich gardeł charakterystyk elementów produktu [116]. W ramach efektywnego projektowania produktu także stosunkowo często łączono metodę QFD z teorią TRIZ (Teoria Innowacyjnego Rozwiązywania Problemów, Theory of Innovative Problems Solving) [31, 103, 126, 136, 208]. Metoda TRIZ dotyczy ewolucji produktu w kontekście fizycznego nośnika informacji o wymaganiach klientów, dlatego pozwala na odzwierciedlenie zmian trendów popytu klientów. Scharakteryzowanie produktu za pomocą metody TRIZ pozwala określić liczebności produktów historycznych (niemodyfikowanych). Także ma zastosowanie do przeanalizowania zmiany atrybutów produktu (modyfikacji produktu) w nawiązaniu do określenia potencjalnych potrzeb klientów. W połączeniu metody TRIZ z metodą QFD określono m. in. zadowalające klientów wymagania, a kolejno analizowano występujące sprzeczności wymagań klientów i możliwości zapewnienia satysfakcjonującego projektu produktu [136, 208]. Metodę tę zastosowano również do utworzenia modelu, polegającego na analizie wymagań dotyczących poprzednich produktów z uwzględnieniem praw ewolucji systemu technologicznego produktu [31]. Oprócz tego, metodę QFD i teorię TRIZ integrowano z metodą AHP, za pomocą której określano wagi wymagań klientów. Celem połączenia tych trzech metod było np. przełożenie wymagań klientów na produkty i procesy, wybranie cech wymagających natychmiastowej poprawy oraz wdrożenie innowacyjnych rozwiązań [103, 126].

Oprócz wspomnianych integracji z powszechnie znaną i często stosowaną metodą QFD, wykorzystywane były inne metody w ramach przetwarzania i precyzowania wymagań klientów. Metody te polegały głównie na grupowaniu [2, 18, 42, 62, 104, 157, 161, 162, 164, 195, 226, 245] oraz analizie niepewnych i niekompletnych wymagań klientów [33, 54, 120, 186]. W nawiązaniu do grupowania wymagań klientów, wykorzystywano metodę nazywaną analizą skupień lub klastrowaniem (eng. clustering). Metoda ta polega na przypisywaniu pozyskanych wymagań do określonych kategorii (grup tematycznych) w ramach ich usystematyzowania. Do grupowania wymagań klientów możliwe jest zastosowanie różnych technik, jak np. zastosowany w pracy Fazlollahtabar'a [42] algorytm k-średnich, będących jednym z najmniej skomplikowanych algorytmów uczenia bez nadzoru. Wymagania klientów poddane klastrowaniu można pozyskiwać różnymi technikami, np. techniką wywiadu, czy listą kontrolną, jak przykładowo w pracach Roder'a i in. [161, 162]. Także możliwe jest określenie różnych relacji pomiędzy tymi wymaganiami w klastrze, np. w pracy Sawai'a i in. [164] zaproponowane zostały równania matematyczne zapewniające klastrowanie wymagań

z uwzględnieniem ich ważności. Również grupowanie wymagań klientów odbywać się może bez określenia relacji pomiędzy tymi wymaganiami w klastrze. Wówczas realizowane jest to poprzez zainicjowanie jedynie kryterium podziału wymagań, po czym w grupach wymagań kryterium podziału nie jest już uwzględniane [18, 42, 104, 161, 162, 164, 195]. W nawiązaniu do grupowania (klasyfikacji) wymagań klientów, innym przykładem jest artykuł Xiao i in. [226], w którym przedstawiono modele matematyczne bazujące na normalizacji ilościowej. Natomiast Song, Li i Ergu [189] zaproponowali możliwość tworzenia rankingu produktów według informacji od klientów. Podejście to opierało się na teorii metody rankingowej produktów, która integrowała oceny produktów pozyskane od klientów w sposób online lub jako tzw. obiektywne dane. Innym przykładem jest publikacja Zhuanga i innych [245], którzy zastosowali metody uczenia maszynowego, w tym głębokiego uczenia maszynowego i metody uczenia zespołowego. Celem było efektywne posortowanie danych odnośnie produktu w zamian ręcznego sortowania danych. W nawiązaniu do metod uczenia maszynowego, także stosunkowo często wykorzystywano sieci neuronowe w celu przeanalizowania niepewnych i niekompletnych wymagań klientów [19, 20, 173, 186], tj. ART2 – adaptacyjna teoria rezonansu [19, 173] oraz RBF – radialna funkcja bazowa [20]. Sieci te zastosowano do oceny wymagań klientów w ramach podjęcia wstępnych decyzji projektowych [173] oraz w kontekście możliwości marketingowych [19] i czynników wielokulturowych [20]. Zastosowanie sieci neuronowych miało również na celu uzyskanie najbardziej preferowanej dla klienta alternatywy, gdzie na wejściu do sieci wprowadzono wagi wymagań klientów określone rozmytą skalą Saaty’ego [186]. Natomiast Zhang i inni [239] wykorzystali wielowarstwowy ważony model k-najbliższych sąsiadów, który powstał przy wspomaganie metody entropii oraz metody AHP. Celem było spersonalizowanie produktu zgodnie z oczekiwaniami klienta. Z kolei autorzy Dou i Zong [33] zarówno do przetwarzania, jak i precyzowania wymagań klientów zastosowali interaktywny algorytm genetyczny (IGA, eng. Interactive Genetic Algorithm). Algorytm IGA opierał się dodatkowo np. na zestawach rozmytych, wprowadzenia tzw. szumu oraz sztucznych sieci neuronowych. Celem opracowanego algorytmu było przetworzenie wymagań klientów w taki sposób, aby zredukować powstałe niepewności i dwuznaczności w określaniu ich wymagań wynikające, np. ze zmieniających się doświadczeń psychologicznych i osobistych preferencji klientów. W podobnym celu algorytm genetyczny wykorzystali Zhu i inni, jak przedstawiono w artykule [244]. Natomiast autor Mu i inni [132] analizowali wymagania klientów opracowaną macierzą wartości sentymentu funkcji recenzji (R-FSV), która powstała po zweryfikowaniu cech produktu, odczuć (sentymentu) klientów do produktu i wykorzystywanego przez nich słownictwa podczas tworzenia recenzji online dla

produktu. Funkcja R-FSV dotyczyła wielowymiarowego, liniowego modelu regresji. Celem było zweryfikowanie satysfakcji klientów, gdzie wymagania klientów analizowano na podstawie modelu Kano. Wymagania klientów przetwarzali także Liu i inni [117], gdzie ocenie poddana została pewność podejmowanych decyzji klientów. W tym celu opracowali metodę oceny bazującą na liczbach Z, gdzie uwzględniane były wymagania klienta i jego zaufanie do podejmowanych decyzji. Polegało to na wykorzystaniu metody FAHP i metody TOPSIS ze środowiskiem liczby Z. Natomiast Hentschke, Formoso i Echeveste [68] opracowali ramy kategorii decyzyjnych nawiązujące do zintegrowania klienta z procesem masowej personalizacji, które powstały na podstawie przeglądu literatury i podczas badania empirycznego. Innym przykładem jest praca [218], w której autorzy opracowali model weryfikujący relacje pomiędzy wymaganiami klientów i cechami produktu. Następuje to poprzez pozyskanie różnych oczekiwań klientów, a kolejno określenie różnych alternatywach produktu w metodzie QFD. Alternatywy te wynikają z terminów językowych wykorzystywanych przez klientów do określenia wymaganego produktu.

W ramach przetwarzania i precyzowania wymagań klientów istnieją także inne metody oraz ich połączenia, które zostały scharakteryzowane w literaturze przedmiotu, np.: [3, 13, 25, 48, 85, 108, 158, 176, 207, 211, 213, 232, 234, 238, 200, 220].

Po przeprowadzonym przeglądzie literatury przedmiotu wywnioskowano, że przetwarzanie i precyzowanie wymagań klientów dotyczyło głównie określenia ważności (wag) wymagań w kontekście istotności (ważności) cech produktu dla klienta. Wykazano, że wskazanym jest między innymi:

- pozyskanie wymagań klientów w skali Likerta [47, 237],
- przeprowadzanie ważnościowania wymagań klientów dla niezbędnych cech produktu, gdzie im mniej cech tym proces ważnościowania jest efektywniejszy [52, 237],
- pogrupowanie wymagań klientów z uwzględnieniem ich ważności według zastosowania odpowiedniego kryterium podziału, jak np. w pracach [18, 42, 104, 161, 162, 164, 195],
- przedstawienie możliwych modyfikacji produktu w ramach uwzględnienia występujących zależności pomiędzy wymaganiami klientów i ich ważnością (wagą) [128],
- porównywanie znanych i nieznanymi sekwencji cech produktu, jak np. w pracach [112, 136, 167, 208, 209, 210].

Uznano, że niezbędnym w przewidywaniu jakości produktu jest ustalenie kombinacji cech, a dodatkowo uwzględnienie ich ważności (wag). Wykazano, że nie integrowano wag cech produktu z ocenami klientów przyznanych w celu utworzenia kombinacji stanów cech aktualnych i zmodyfikowanych [128]. Pomimo, że w pracach [112, 136, 167, 208, 209, 210] stosowano podejście porównywania znanych i nieznanymi sekwencji cech produktu, to nie dotyczyło ono połączenia wag cech produktu i jednocześnie porównania istniejących (aktualnych) cech produktu (np. jako sekwencja znana) z nieistniejącymi cechami produktu – hipotetycznie modyfikowanymi (np. jako sekwencja nieznaną). Uznano to za luki badawcze, które przyjęto wypełnić w ramach realizowanych badań. Kolejno zweryfikowano prace obejmujące ocenę jakości produktu z uwzględnieniem wymagań klientów.

1.4. Ocena jakości produktu z uwzględnieniem wymagań klientów

Uzyskanie przewagi konkurencyjnej organizacji za sprawą oferowanych produktów nawiązuje do ich oceny w ramach osiągnięcia satysfakcjonującego poziomu jakości [74, 76, 114, 134, 206]. Wspomniany satysfakcjonujący poziom jakości produktu, czyli poziom zadowolenia klienta z jakości produktu, oznacza jednocześnie uwzględnienie jego zadowolenia z tego co otrzymał w porównaniu do tego czego oczekiwał. Z tego względu, zadowolenie klienta z jednej strony jest uczuciem przyjemności lub uzależnienia, a z drugiej może być rozczarowaniem i oczekiwaniami, które klient może odczuć porównując produkt z innymi [134]. Dlatego przyjmuje się, że im wyższy poziom spełnienia wymagań klienta (jego satysfakcji), tym wyższy jest poziom jakości produktu [122]. Dlatego też, organizacje wykorzystują różne metody za pomocą których możliwe jest ocenienie jakości produktu z uwzględnieniem wymagań klientów. Do najczęściej stosowanych należą, np.:

- model Kano oraz jego połączenia z innymi metodami (głównie z metodą QFD) [4, 8, 10, 14, 21, 67, 73, 77, 86, 99, 102, 113, 115, 127, 130, 137, 154, 170, 196, 201, 203, 241, 225],
- Naiwny Klasyfikator Bayesa (Naive Bayes Classifier) [82, 215, 216, 231, 233],
- Jakość Kansei (KQ, Kansei Quality), czyli tzw. Inżynierię Kansei (KE, Kansei Engineering) [53, 54, 196, 228].

Techniki te mają zastosowanie głównie do określania możliwych modyfikacji produktu satysfakcjonujących klienta [4, 8, 67, 82, 99, 154, 170, 215, 230, 231, 233, 241].

Wspomniana integracja modelu Kano z metodą QFD polegała głównie na zastosowaniu metody QFD do wyznaczenia ważności wymagań klientów [4, 225], a modelu Kano do

określenia satysfakcjonującej modyfikacji produktu [8, 77, 137]. Przykładowo, autorzy Liu, Jia i Kong [115] zastosowali model Kano do zidentyfikowania, a następnie sklasyfikowania i uszeregowania wymagań klienta. Natomiast metodę QFD do przetworzenia wymagań klienta na cechy techniczne produktu i do uszeregowania wskaźników ważności tych cech. Z kolei autorzy pracy [102] zintegrowali model Kano, metodę QFD i metodę AHP z intuicjonistycznym zbiorem rozmytym. Celem było rozwiązywanie problemów decyzyjnych w ramach oszacowania rozmytej jakości produktu. Dotyczyło to między innymi określenia wag cech produktu w ramach połączenia wzorców konkurencyjnych produktów i produktów rodzimej firmy. Z kolei w pracy [99] osiągnięto zadowalającą modyfikację produktu poprzez połączenie metody Kano i metody QFD w ramach systemu konfiguracji produktu [99]. System ten polegał na zdefiniowaniu i pogrupowaniu cech produktu, a kolejno na poszukiwaniu relacji pomiędzy wymaganiami klienta i ich satysfakcją. Następnie, za pomocą modelu matematycznego określany był maksymalny poziom satysfakcji klienta w zależności od konfiguracji produktu. Z kolei personalizacja produktu w zależności od potrzeb klientów, następowała przez wykorzystanie analizy wrażliwości. Wspomniany związek pomiędzy satysfakcją klienta, a modyfikacją produktu analizowali również autorzy prac [67, 170, 241], w których m. in. połączono relacje pomiędzy wymaganiami i satysfakcją klienta z procesem pozyskiwania wymagań klienta i procesem modyfikacji produktu. Wyniki tego połączenia w ramach modelu Kano uzyskano poprzez formułowanie funkcji w mieszanym, nieliniowym modelu programowania. Podobne podejście zaproponowali Romadhani i inni [10], gdzie do zaprojektowania ekologicznego produktu zintegrowali metodę QFD, model Kano i programowanie celów. Do przetworzenia głosu klienta stosowano metodę QFD, a kolejno model Kano w celu określenia zadowolenia klientów z produktu. Programowanie celów wspomagało zmniejszenie niejednoznaczności w weryfikacji danych od klientów. Oprócz wspomnianych przykładów, poprzez połączenie modelu Kano i metody QFD, starano się poprawić precyzję w określaniu satysfakcjonującej modyfikacji produktu. W tym celu, np. Shi i Peng [170] połączyli te metody z metodą poprawiającą dokładność wskaźnika w metodzie QFD, który ma za zadanie określać ważności wymagań klientów (IR, importance rate). Dodatkowo, model Kano i metodę QFD łączono z analizą ważności i wydajności (IPA, Importance-Performance Analysis), gdzie celem było m. in. wspomoczenie opracowania strategii konkurencyjnej organizacji opartej na jakości produktu [63, 170]. Innym przykładem zwiększenia precyzji połączonego modelu Kano i metody QFD jest wdrożenie tych metod w rozmyte środowisko decyzyjne [21, 67, 85, 113]. Przykładowo, poprzez zaimplementowanie trójkątnych liczb rozmytych, jak w pracach [21, 86], w których opracowano rozmyte,

nieliniowy model do określania wymagań projektowych z uwzględnieniem satysfakcji klienta. Kolejnym przykładem jest zastosowanie rozmytych zmiennych językowych (tj. 2-krotkowe zmienne językowe), za pomocą których opracowany został tzw. rozmyty model Kano do modelowania niepewności i różnorodności ocen klientów [67, 113]. Oprócz wskazanych połączeń modelu Kano i metody QFD z innymi technikami, stosowano także inne połączenia jak przedstawiono np. w pracach Huang i in. [73], Pugna i in. [154] oraz Turisova [203].

Wspomniane inne połączenia technik z modelem Kano realizowane były między innymi w ramach procesu projektowania produktu. W tym celu zintegrowano model Kano z metodą TRIZ, aby opracować nowy element produktu z uwzględnieniem satysfakcji klientów [73]. Z kolei Pugna i in. [154], w celu klasyfikacji wymagań klientów podczas projektowania nowego produktu, połączyli model Kano z modelem HWWP (Health, Weapon, Wealth, Prospect, tj. zdrowie, broń, bogactwo i perspektywa). Model HWWP tworzony był poprzez matematyczne modelowanie możliwości spełnienia oczekiwanych wymagań klientów oraz możliwych do wdrożenia modyfikacji cech produktu. Oprócz wskazanych połączeń różnych metod z modelem Kano, wystąpiły próby jego modyfikacji.

Modyfikacja modelu Kano miała na celu np. określenie stopnia atrakcyjności i obowiązku wystąpienia cechy produktu [201], które polegały na uwzględnieniu w kwestionariuszu Kano dwóch dodatkowych odpowiedzi, tj.: bardzo satysfakcjonujący oraz bardzo niesatysfakcjonujący. Innym przykładem modyfikacji modelu Kano, jest zmiana wymagań klientów wobec atrybutów produktu w stosunku do uwzględnienia kategorii cenowych produktu [203]. Modyfikacja ta polegała na badaniu wpływu uwzględnienia produktu w danej kategorii cenowej na kategoryzację jakości jego cech w kontekście modelu Kano. Modyfikację zrealizowano w ramach pozyskania od klientów informacji o modelu badanego produktu i ocen atrakcyjności jego cech. Następnie pogrupowano je na trzy grupy w zależności od przedziału cenowego zakupu tych produktów. Uzyskane wyniki poddano analizie ANOVA, po czym wykazano, że zmniejszenie ceny zwiększa atrakcyjność cechy produktu, jednak nie wpływa na jego indywidualną jakość. Oprócz wspomnianych modyfikacji modelu Kano, badano także relacje pomiędzy indeksami satysfakcji klienta, a znaczeniem wymagań klientów w tym modelu. Pozostałe z poddanych analizie treści prac dotyczyły stosunkowo często zastosowania Naiwnego Klasyfikatora Bayesa [82, 215, 216, 231, 233].

Naiwny Klasyfikator Bayesa (Naive Bayes Classifier) ma zastosowanie do opisywania relacji pomiędzy niepewnymi danymi i poziomami ich hierarchii. Według autorów pracy [83] jest efektywniejszy niż drzewo decyzyjne, k-najbliższych sąsiadów oraz perceptron wielowarstwowy będący metodą sztucznych sieci neuronowych. Warunkiem zapewniającym

jego efektywność jest występowanie niezależności danych na każdym poziomie hierarchii. Dotyczy to możliwości opisywania zależności pomiędzy relacjami danych, np. subiektywnych i funkcjonalnych oraz cechami produktu [216]. Klasyfikator Bayes'a stosowano głównie do określenia modyfikacji produktu satysfakcjonującego klienta. Podczas jego wykorzystania uwzględniano jednocześnie wymagania klientów i np. koszty produktu [231], dane zakupowe [216] oraz cechy i modyfikacje produktu [82, 215, 230, 233]. Kolejnym z narzędzi stosunkowo często występujących w analizowanych pozycjach literatury przedmiotu była tzw. Jakość Kansei (KQ) [53, 54, 196, 228].

Technika KQ wykorzystywana była w ramach zwiększenia jakości produktu i maksymalizacji satysfakcji klientów. Jakość Kansei dotyczy jakości produktu finalnego, która powstaje w skutek uwzględnienia, że na wymagania klienta mają wpływ jego wartości osobiste, czyli cechy emocjonalne. Cechy te wyrażone są poprzez np.: zapach, dotyk, kolor, czy zawartość określonych substancji produktu. Z tego względu, w celu określenia satysfakcjonującego poziomu jakości produktu z uwzględnieniem zarówno emocjonalnych wymagań klienta, jak i funkcjonalnych (mierzalnych cech produktu), technikę tę integrowano np. z metodą QFD [53], modelem Kano [196] oraz metodą klastrowania (do pogrupowania wymagań) i metodą siatki ocen (do uchwycenia wymagań wyrażonych w Jakości Kansei) [228]. Natomiast Ginting i inni [54] połączyli metodę QFD z metodą Kansei, tak aby przetworzyć odczucia klientów (wyrażone w sposób nieprecyzyjny) na wymagania techniczne produktu. Oprócz przytoczonych dotychczas metod, wykorzystywano również inne metody, głównie w kontekście określania modyfikacji produktu satysfakcjonującej klienta, jak np. w artykułach Harangozo i in. [65], Hong'a i in. [71], Wang'a i Tseng'a [215].

Przykładowo, opracowano schemat modelowania hybrydowego, czyli drzewo decyzyjne AND-OR (tzw. drzewo projektu) [71]. W modelu tym uwzględniano parametry projektowe produktu, a modelowanie odbywało się na podstawie bazy danych zawierającej np. wymagania klientów, czy informacje o rodzinie produktów. Celem zastosowania schematu modelowania hybrydowego było m. in. wspomaganie określenia modyfikacji projektowych produktu oraz wskazanie różnic w ogólnej rodzinie produktów. W podobnym celu, ponieważ do określenia kombinacji ważnych cech produktu satysfakcjonujących klienta pod względem użytkowania, zastosowano metodę wspieraną oprogramowaniem komputerowym SPSS (Statistical Package for Social Sciences) [65]. Kolejnym przykładem jest metoda zaproponowana w artykule Wang'a i in. [214], w którym do określenia satysfakcjonującej modyfikacji produktu zastosowano konfigurator bazujący na wymaganiach klienta. Jego działanie polega na przypisaniu wymagań klienta do odpowiednio skonfigurowanej cechy produktu. Metoda ta

powstała w ramach porównywania przez klientów możliwych modyfikacji cech dwóch różnych produktów. Kolejno, cechy produktu pogrupowane zostały pod względem istotności różnic tych porównań. Z kolei na podstawie grup cech produktu utworzony został ranking ważności tych cech. Dodatkowo, wykorzystując sieci neuronowe (maszynę wektorów nośnych, SVM, support vector machine) uczono cechy produktu względem zestawu funkcji rankingu ważności tych cech. Innym przykładem jest artykuł [175], w którym proces doskonalenia jakości produktu przeprowadzono w ramach precyzyjnego określenia źródła niezgodności. Do oceny jakości produktu i weryfikacji przyczyn niezgodności zidentyfikowanej po badaniach nieniszczących (NDT) zastosowano w sposób połączony: burzę mózgow (BM), diagram przyczynowo-skutkowy, metodę FAHP i metodę 5Why.

Po przeglądzie literatury wywnioskowano, że dotychczasowe prace dotyczyły określania satysfakcjonującego klientów poziomu jakości produktu w ramach weryfikacji możliwych modyfikacji cech produktu [4, 8, 67, 82, 99, 154, 170, 214, 215, 216, 231, 233, 241]. Uznano jednak, że nie poddano weryfikacji możliwości modyfikacji cech produktu w ramach określenia satysfakcjonującego poziomu jakości produktu z uwzględnieniem ważności cech produktu. Jednocześnie w taki sposób, aby ocena jakości odbywała się według kombinacji ocen stopnia spełnienia cech produktu wyrażonych w stanie aktualnym i zmodyfikowanym (hipotetycznym, przyszłym). Stwierdzono, że jest to luka badawcza, którą przyjęto wypełnić. Kolejno poddano przeglądowi prace dotyczące obszaru przewidywania wymagań klientów.

1.5. Przewidywanie wymagań klientów

W ramach osiągnięcia oczekiwanego poziomu jakości produktu, organizacje poszukują możliwych rozwiązań w produktach już istniejących. Dotyczy to określania poziomu jakości z uwzględnieniem satysfakcji klienta, czyli jego zadowolenia z tego co otrzymał (aktualny produkt) oraz z tego czego się spodziewał (produkt jakiego oczekiwał). Z kolei wspomniane oczekiwania klienta dotyczą tego czego klient pragnie, przypuszcza i czego się spodziewa w kontekście przyszłości. Obejmuje to potrzebę wyznaczenia kierunku zmiany stanów cech produktu, tak aby możliwe było przewidywanie korzystnych modyfikacji cech produktu z uwzględnieniem oczekiwań klienta. Wówczas możliwym jest z wyprzedzeniem zaprojektowanie konkurencyjnego produktu i spełniającego przyszłe oczekiwania klientów [183, 184].

Przełąd literatury przedmiotu wskazuje, że w celu zapewnienia przyszłych potrzeb klientów bazowano głównie na modelu łańcucha Markov'a [172, 187, 223], który integrowano

z metodą QFD [172, 223], modelem Kano i teorią szarości (Grey Theory) [187]. Natomiast Horan [72] opracował nowe podejście w ramach dynamicznego wdrażania funkcji jakości dla zrównoważonego rozwoju (Dynamic QFDS). Za jego pomocą modelowano zmiany wymagań klientów, które obejmowały zrównoważone projektowanie w czasie, czyli zmiany produktu przyjazne środowisku. Uwzględnione zostały także np. wymagania ekonomiczne i społeczne. Z kolei wspomniany model Markov'a wykorzystywany był do przewidywania wymagań klientów i uwzględniał, np. oceny klientów odnośnie modyfikacji produktu [223] oraz warunków ekonomicznych [172]. Wynikało to z zastosowania modelu łańcucha Markov'a do przewidywania niepewnych zjawisk (stanów) krótko- i długoterminowych [223], pozyskanych na powtarzalnych próbach w następujących po sobie okresach czasu. W modelu tym przyjmuje się, że analizowane zjawisko (system) rozpoczyna się w danym stanie (lub też w stanie początkowym), jednak stan ten ulega zmianom w czasie. Dlatego, niezbędne jest określenie prawdopodobieństwa tego stanu lub prawdopodobieństwa zmiany tego stanu w czasie. Zmiany te są oznaczane w macierzy prawdopodobieństw przedstawiającej warunkowe prawdopodobieństwa stanu przyszłego z uwzględnieniem stanu obecnego. Z kolei wspomniana teoria szarości ma zastosowanie do modelowania niepełnych i niepewnych informacji, głównie w ramach przewidywania i podejmowania decyzji. Szary model reprezentuje oryginalne, uporządkowane dane, na podstawie których ustalany jest model przewidywania przyszłych wymagań klientów za pomocą równania różniczkowego. Przykłady przewidywania wymagań klientów za pomocą modelu łańcucha Markov'a połączonego z teorią szarości przedstawiono np. w pracach Chen'a i Wang'a [18] oraz Song'a i in. [187]. We wskazanych dla przykładu pracach początkowo sklasyfikowano wymagania klientów za pomocą modelu Kano. Kolejno, stosując teorię szarości opisano trendy zmian wymagań klientów, które pozyskano z danych historycznych i wyników ankietowych dotyczących aktualnych wymagań klientów [18]. Następnie wykorzystano model Markov'a do modelowania lokalnych zmian w prognozach wymagań klientów. Wspomniane przewidywanie wymagań klientów na podstawie trendów zmiany wymagań przedstawiono także w pracy Marthaler'a i in. [124], w której zastosowano metodę bazującą na ocenach aktualnych cech produktu i ocenach cech wyznaczonych na podstawie tzw. trendów cech. W tym przypadku oceny aktualnych cech produktu pozyskano za pomocą ankiety. Natomiast przyszłe wymagania klientów określono poprzez porównywanie parami i przypisywanie każdemu wymaganiu tzw. wartości tendencyjnej określającej trend zmiany tych wymagań. Kolejno, wyznaczone trendy porównywano z aktualnymi wymaganiami klientów. Celem tego porównania było przeprowadzenie analizy spójności do wskazania która z przewidywanych zmian cech produktu (tj. trend zmiany) jest korzystna lub niekorzystna

w porównaniu do stanu aktualnego cechy. Oprócz zastosowania modelu łańcucha Markov'a do przewidywania wymagań klientów stosowano inne techniki, przedstawione np. w artykułach [17, 27, 219, 233].

Przykładowo, w artykule Yang'a i in. [233] przewidywanie wymagań klientów o satysfakcjonującej modyfikacji produktu odbyło się za pomocą sieci Bayesian'a. W tym celu, początkowo utworzono strukturę produktu zawierającą informacje o kliencie, funkcjach produktu i konfiguracji produktu. Następnie, na podstawie tych danych opracowany został graf (sieć), w którym każdy węzeł był niezależny od pozostałych. Kolejno, ustalony został rozkład prawdopodobieństwa warunkowego, zgodnie z którym nastąpiło uczenie każdego węzła w sieci. Wówczas na podstawie algorytmu drzewa połączeń węzłów i związanych z nimi informacji przewidywano modyfikacje produktu oczekiwane przez klientów. Również autorzy artykułu [138] przewidywali oczekiwany przez klientów produkt wykorzystując opracowany model wspomagany siecią Bayesian'a. Polegało to na pozyskaniu oczekiwań klientów wobec produktów za pomocą ankiety ze skalą Likerta. Klienci ocenili kryteria produktów, które były określone przez różne stany ich kryteriów. Do obliczenia jakości zastosowano model sumy ważonej (WSM), który zweryfikowano na podstawie uniwersalnej skali stanów względnych. Kierunek poprawy jakości produktów przewidziano za pomocą naiwnego klasyfikatora Bayesa (NKB). Kolejny przykład nawiązujący do uczenia sieci na potrzeby przewidywania wymagań klientów zawiera praca Chong'a i Chen'a [27], w której zastosowano metodykę obliczeniową polegającą na sztucznej sieci neuronowej i sztucznym układzie odpornościowym (AIS, Artificial Immune System). Układ AIS jest układem adaptacyjnym opartym na algorytmach uczenia maszynowego, mający zdolność do ciągłego uczenia się i przystosowywania się do zmiennego środowiska. W nawiązaniu do uczenia maszynowego, w artykule [242] zaproponowany został projekt systemu sfederowanego uczenia bazujący na danych od klientów, będący systemem Internet rzeczy (IoT – Internet of Things). Celem było przewidywanie wymagań klientów i ich zachowań w przyszłości dla urządzeń gospodarstwa domowego. Początkowo klienci dostarczają danych dla producenta za pośrednictwem telefonu komórkowego i serwera Mobile Edge Computing (MEC). Na ich podstawie tworzone są modele, które wysyłane są na odpowiednią platformę, którą śledzą producenci. Stosowana jest technika normalizacji, która zapewnia ochronę prywatności danych od klientów oraz wspomaga wyszczególnienie cech urządzeń. Z kolei w artykule Chahadi'a i in. [17] przetwarzano pozyskane wymagania klientów poprzez zastosowanie tzw. taksonomii produktów, w celu opracowania prototypu produktu w wersji 3D. Polegało to na początkowym skonfigurowaniu procesu projektowania produktu, czyli przewidywaniu rzeczywistej wartości poszczególnych

wymagań klientów na podstawie schematu pojęć właściwości zewnętrznych produktu. Kolejno, zoptymalizowano w sposób matematyczny geometrię kształtu i topologii produktu oraz skonfrontowano możliwości projektowe z produkcyjnymi. W rezultacie utworzone zostało drzewo rozwiązań z uwzględnieniem wymagań klientów, którego węzły prezentują operacje produkcyjne. Na jego podstawie utworzony został model 3D-CAD produktu, możliwy do modyfikowania komputerowo przez przedsiębiorstwo (np. utworzenie otworów, frezów i innych). Następnym przykładem jest metoda projektowania rodziny produktów, bazująca na technikach analizy i prognozy niepewnych wymagań klientów, przedstawiona przez autorów artykułu [219]. Metoda ta obejmowała stworzenie platformy do dynamicznego reagowania na zmiany rynkowe (zmiany wymagań) rodziny produktów. Natomiast prognozowanie wymagań klientów dotyczyło zastosowania modelu numerycznego powstałego z rozmytej teorii matematycznej i metody Delphi, tak aby przekształcić niepewnie wyrażone wymagania oraz na ich podstawie przewidywać przyszłe wymagania klientów. Natomiast w pracach [142, 176, 177] jednocześnie pozyskiwano, przetwarzano i precyzowano oczekiwania klientów, a kolejno oceniano jakość produktu i przewidywano najkorzystniejszy z produktów dla klientów. Przykładowo w pracy [176] wykorzystano do tego m. in. kwestionariusz, metodę unitaryzacji zerowej (MUZ), model sumy ważonej (Weighted Sum Model, WSM) i analizę kosztowo-jakościową (AKJ). Ideą było zintegrowanie jakości produktu z kosztem jego zakupu w ramach określenia satysfakcjonującego produktu pod względem jakościowo-kosztowym. Z kolei w pracy [142] opracowano model, gdzie metodą SMART(-ER) określono cel analizy, kolejno według burzy mózgów (BM) określano kryteria weryfikowanych produktów w grupie kryteriów technicznych, użytkowych i estetycznych. Klienci oceniali produkty za pomocą kwestionariusza z metodą porównania w parach kryteriów produktu w skali Likerta. Następnie, oceny klientów dla produktów poddane były weryfikacji metodą AHP. Wynikiem były wagi (ważność) kryteriów dla klientów. Kolejno, metodą DEMATEL określono relacje pomiędzy trzema grupami kryteriów (techniczne, użytkowe i estetyczne). Tylko dla kryteriów technicznych skorelowanych z oczekiwanymi kryteriami klientów obliczana była jakość produktu. Zastosowany został do tego model sumy ważonej WPM (Weighted Sum Model). Na podstawie oszacowanych poziomów jakości weryfikowano produkt najkorzystniejszy dla klientów. Wykorzystano w tym celu skalę stanów względnych. W podobnym charakterze opracowano model przedstawiony w artykule [177]. Celem było opracowanie modelu wspomagającego podejmowanie decyzji podczas rozwoju produktu z uwzględnieniem zrównoważonego rozwoju. W modelu wykorzystano np. metodę FAHP i metodę FTOPSIS do

określenia najkorzystniejszego dla klienta produktu pod względem jakościowo-środowiskowym.

Po przeglądzie wybranych prac wywnioskowano, że przewidywanie oczekiwań klientów obejmowało głównie zweryfikowanie ocen klientów wobec modyfikacji produktu [223]. W tym celu stosunkowo często określano stan przyszły na podstawie ocen stanu obecnego (aktualnego) [18, 124, 223], przeszłego [18] lub trendów powstających ze zmiany tych wymagań w czasie [124]. Oceny te pozyskiwano np. w ramach badań ankietowych [18, 124]. Mimo to, przewidywanie oczekiwań klientów nie dotyczyło oszacowania jakości produktu z uwzględnieniem wag cech produktu i według kombinacji ocen stanów cech aktualnych i przyszłych (zmodyfikowanych). Z tego względu, uznano to za lukę badawczą, którą przyjęto wypełnić w ramach opracowania proponowanego modelu przewidywania jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów.

1.6. Wnioski z przeglądu literatury i luki badawcze

Przeprowadzono syntetyczny przegląd literatury i przegląd treści prac. Analizie poddano 183 prace wybrane z bazy Web of Science oraz Scopus. Prace te dotyczyły obszaru wymagań klienta w kontekście produktu materialnego. Przegląd literatury zakończono w kwietniu 2022 roku. Po analizie wzajemnych cytowań, a tym samym na podstawie utworzonej sieci pozycji bibliograficznych, wykazano spójność i powiązanie merytoryczne tych prac. Dodatkowo, wyciągnięto następujące wnioski:

- faza wzmożonego rozwoju analizowanego obszaru badań przypadła od roku 2017, przy czym od tego roku liczba publikacji na kolejne lata charakteryzuje się trendem wzrostowym,
- wybrany obszar badań jest istotny zarówno pod względem naukowym i utylitarnym, tj. artykuły naukowe (63% prac) i artykuły pokonferencyjne (34% prac),
- największa liczba wybranych do analizy prac dotyczyła przetwarzania i precyzowania wymagań klientów (45%), nieco mniej pozyskiwania wymagań klientów (28%),
- najmniejsza liczba prac obejmowała obszar przewidywania wymagań klientów (7%),
- największy wpływ na rozwój stanu wiedzy z analizowanego obszaru badań miały prace dotyczące metody QFD, która jednocześnie była najczęściej wykorzystywaną metodą do przetwarzania i precyzowania wymagań klientów (42%), głównie w ramach zastosowania różnych technik ważnościowania (nadawania wag) wymagań klientów;

- głównymi technikami pozyskiwania wymagań klientów były ankiety (10%), kwestionariusze (5%), komentarze, opinie lub recenzje klientów o produkcie (5%) i wywiady (4%),
- ważność wymagań klientów określano głównie za pomocą metody AHP (9%), metody FAHP (8%) oraz stosując rozmytą skalę ocen (7%),
- ocenę jakości produktu najczęściej określano w skutek oceny modyfikacji produktu satysfakcjonującej klienta, wykorzystując w tym celu najczęściej model Kano oraz jego połączenia z innymi metodami (przede wszystkim z metodą QFD) (13%), Naiwny Klasyfikator Bayesa (Naive Bayes) (3%) oraz Jakość Kansei, czyli tzw. Inżynierię Kansei (2%),
- przewidywanie wymagań klientów odbywało się przede wszystkim w ramach wykorzystania modelu łańcucha Markov'a, który integrowano np. z metodą QFD, modelem Kano i teorią szarości,
- podczas wykorzystania modelu Markov'a do przewidywania wymagań klientów uwzględniano m. in. oceny klientów odnośnie modyfikacji produktu oraz warunków ekonomicznych.

Przeprowadzono także przegląd treści wybranych do analizy prac, po którym wyciągnięto następujące wnioski:

- preferowanym narzędziem pozyskiwania oczekiwań klientów są badania ankietowe ze skalą Likerta,
- efektywnym jest określanie wag wymagań klientów tylko dla niezbędnych (głównych) cech produktu,
- preferowanym jest pogrupowanie wymagań klientów według ich ważności,
- efektywnym jest przetwarzanie i precyzowanie wymagań klientów w celu określenia ważności (wag) wymagań, tj. istotności (ważności) cech produktu dla klienta,
- wskazanym jest przedstawienie możliwych modyfikacji produktu z uwzględnieniem występujących zależności pomiędzy wymaganiami klientów i ich ważnością (wagą),
- zalecanym jest wyłonienie oczekiwań klientów przez umożliwienie im porównywania znanych i nieznanymi cech produktu, np. istniejących (aktualnych) cech produktu z nieistniejącymi w stanie aktualnym,
- efektywnym jest porównywanie wymagań klientów dotyczących różnych modyfikacji cech produktu wraz z uwzględnieniem ważności tych cech,

- korzystnym jest pozyskiwanie oczekiwań klientów z uwzględnieniem oceny stanów aktualnych cech oraz stanów przyszłych tych cech.

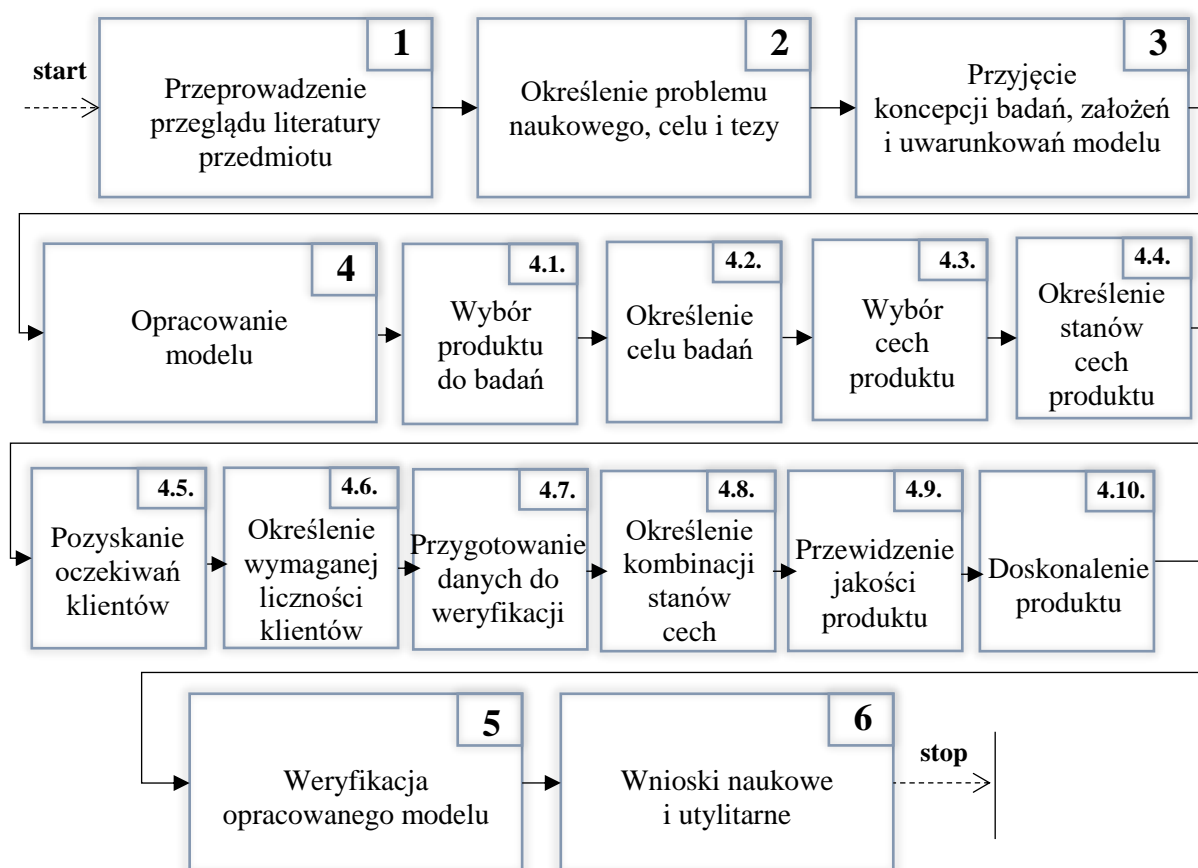
Wykazano, że koncentrację luk badawczych stanowi obszar przewidywania wymagań klientów. Jednocześnie, perspektywę dalszych badań potwierdza stosunkowo krótki okres wzmożonego rozwoju badań w tym obszarze (od roku 2017 do 2022, tj. 5 lat). Zidentyfikowane luki badawcze dotyczyły braku:

- wykorzystania badań ankietowych do pozyskania oczekiwań klientów, ale charakteryzujących się tym, że wykorzystuje się aktualną i zmodyfikowaną (przyszłą) jakość cech produktu,
- zarówno informacji, jak i metody dotyczącej wymaganej liczności grupy badanych klientów w celu przewidywania jakości produktu,
- porównywania stanów cech produktu w czasie aktualnym i przyszłym,
- weryfikacji poziomu jakości produktu uwzględniającego wagi i stany cech aktualne i zmodyfikowane,
- przewidywania oczekiwań klientów uwzględniających wagi i stany cech produktu z uwzględnieniem kombinacji ocen tych cech w stanach aktualnych i zmodyfikowanych (hipotetycznych, przyszłych).

Określone luki badawcze stanowiły podstawę do sformułowania celu, tezy pracy oraz założeń modelu predykcji jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów.

2. Problem naukowy, cel i teza

Organizacje zyskują na przewadze, gdy poszukują rozwiązań w ramach zrównoważonego rozwoju produktów. Ich rolą jest zapewnianie satysfakcji klientów z produktów poprzez poszukiwanie możliwych rozwiązań produktowych [187]. Takie postępowanie sprzyja nie tylko większej satysfakcji klientów, ale też dobremu wynikowi ekonomicznemu. Korzystnym w tym zakresie jest poszukiwanie możliwych modyfikacji w produktach już istniejących w celu ich dostosowywania do oczekiwań klientów. W tym podejściu stanowi to obszar realizowanych badań ukierunkowany na przewidywanie jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów. Obszar ten uznano za aktualny i zasadny do podjęcia ze względu na koncentrację luk badawczych. W celu wypełnienia zidentyfikowanych luk, przyjęto opracowanie modelu predykcji jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów. Ogólną koncepcję badań przedstawia rysunek 2.1.



Rysunek 2.1. Ogólna koncepcja badań.

Motywacją badań było wypracowanie modelu zapewniającego przewidywanie jakości produktów na podstawie jakości oczekiwanej przez klientów z uwzględnieniem wag cech

produktu. Jednocześnie, jakość będzie określana według kombinacji ocen stanów cech produktu (aktualnych i zmodyfikowanych). W proponowanym podejściu, aktualny stan cechy produktu to stan istniejący obecnie w produkcji. Z kolei stan modyfikowany to stan hipotetycznie powstały z aktualnego stanu cechy produktu. Natomiast za klientów przyjmuje się nabywców lub potencjalnych użytkowników produktu.

Problemem naukowym była nikła możliwość metodycznej predykcji jakości wyrobu w wyniku hipotetycznych zmian jego cech i ich ważności.

Celem badawczym było opracowanie modelu, który zapewniłby przewidzenie poziomu jakości produktu w wyniku hipotetycznych cech proponowanych na podstawie informacji od klientów. Model uwzględniałby oczekiwania klientów wobec jakości produktu, które pozyskiwane byłyby w postaci ocen dotyczących aktualnych i hipotetycznie zmodyfikowanych cech (kryteriów) produktu oraz ważności tych cech dla klientów.

Teza badawcza: Zaoferowanie przez przedsiębiorstwo produktu o jakości zgodnej z wymaganiami rynku (klientów) wymaga zdefiniowania oraz uwzględnienia ważności cech jakościowych i ilościowych (cech kwalitatywnych i kwantytatywnych) produktu, a także możliwości produkcyjnych przedsiębiorstwa.

Nowatorstwem jest opracowanie modelu predykcji jakości produktu, który umożliwi określenie kierunku rozwoju produktu wraz z oczekiwanymi parametrami jego cech. Jednocześnie model ten umożliwi pozyskanie oczekiwań klientów wobec aktualnej i przyszłej jakości produktu oraz oszacowanie wymaganej liczności próby badawczej. Dodatkowo, model zapewni sklasyfikowanie poziomów jakości produktu wynikających z kombinacji stanów jego cech (kryteriów) wynikających z oceny spełnialności oczekiwań klientów.

3. Koncepcja, założenia i uwarunkowania modelu

3.1. Koncepcja modelu

Analiza treści wybranych do weryfikacji prac umożliwiła zidentyfikowanie luk badawczych, na podstawie których określono koncepcję badań. Przyjęto, że koncepcja badań ukierunkowana będzie na wypracowanie modelu wspierającego przewidywanie jakości produktów według kombinacji stanów cech produktu (aktualnych i zmodyfikowanych) i ważności tych cech. Początkowo określany jest cel badań. Kolejno, dokonywany jest wybór produktu do badań oraz jego cechy, dla których określone zostają stany aktualne i zmodyfikowane. Następnie, pozyskiwane są oczekiwania klientów, których liczebność jest odpowiednio szacowana w ramach przewidywania jakości produktu. Na podstawie ocen ważności cech produktu obliczane są wagi cech produktu. Kolejno, według wag cech produktu wyznaczone zostają cechy ważne dla klientów. Następnie, uwzględniając ważność cech produktu określone są kombinacje stanów cech produktu. Kombinacje te obejmują oceny klientów przyznane aktualnym oraz zmodyfikowanym stanom cech produktu. Według tych kombinacji przewidywana jest jakość produktu. Na podstawie koncepcji badań przyjęto założenia do modelu.

3.2. Założenia modelu

Na podstawie wniosków z przeglądu literatury przedmiotu oraz przyjętej koncepcji modelu określono założenia do modelu predykcji jakości z uwzględnieniem oczekiwań klientów. W rezultacie przyjęto dziewięć założeń, tj.:

Założenie 1. Produkt do badań może być nowym produktem lub powszechnie wykorzystywanym (minimum 10000 sprzedanych sztuk rocznie) [203, 215, 227], który jest produktem średnio złożonym, materialnym, fizycznym i przemysłowym [151, 150, 159, 160].

Założenie 2. Liczba cech produktu branych pod uwagę powinna wynosić od około 14 do 25 cech [3, 4, 6, 8, 135].

Założenie 3. Każdą cechę produktu określać się będzie przez wartość stanów: aktualnego i modyfikowanego w przyszłości (maksymalnie 7 ± 2 stany dla jednej cechy [133,]), np. poprzez opis, wizualizację [81], parametr (wartość) lub zakres wartości z uwzględnieniem międzynarodowych jednostek metrycznych (SI).

Założenie 4. Oczekiwania klientów pozyskiwane będą procedurą opartą na badaniach ankietowych [3, 20, 99, 108], w których klienci oceniają ważność cech produktu oraz satysfakcję (zadowolenie) ze stanu aktualnego i modyfikowanego cechy produktu.

Założenie 5. Oczekiwania klientów pozyskane będą przynajmniej od 100 klientów [178, 198, 221], a kolejno liczba klientów dostosowana zostanie do wyników uzyskanych procedurą określania wymaganej liczności próby badawczej do przewidywania jakości produktu z uwzględnieniem wymagań klientów.

Założenie 6. Wagi cech produktu obliczone zostaną jako średnia arytmetyczna z wszystkich ocen odnoszących się do ważności cech produktu [29, 129, 198, 221].

Założenie 7. Cechy produktu grupowane będą według ich ważności i przyjętego kryterium podziału [18, 42, 104, 161, 162, 164, 195], gdzie maksymalna liczba cech ważnych wynika z zasady Pareto-Lorenza (20/80).

Założenie 8. Kombinacje ocen jakości stanów cech produktu określane zostaną z uwzględnieniem ważności cech oraz na podstawie ocen stopnia spełnienia cech produktu wyrażonych w stanie aktualnym i zmodyfikowanym (hipotetycznym, przyszłym).

Założenie 9. Poziom jakości produktu określany będzie na podstawie kombinacji jakości stanów cech produktu, gdzie do obliczenia poziomu jakości produktu wykorzystana zostanie metoda, w której spełnialność oczekiwań klienta określana jest w przedziale od 0 do 1 [7, 88, 92, 174, 205].

W celu przyjęcia koncepcji opracowania modelu określono zadania badawcze. Zadania te wytyczono w ramach zidentyfikowanych luk badawczych. W rezultacie przyjęto pięć głównych zadań niezbędnych do wykonania na drodze do osiągnięcia celu badań:

Zadanie 1. Przyjęcie podejścia porównywania przez klientów znanych i nieznanymi sekwencji cech produktu, czyli odpowiednio aktualnych i zmodyfikowanych cech produktu.

Zadanie 2. Opracowanie procedury pozyskiwania oczekiwań klientów, która powstanie w ramach badań ankietowych ze skalą Likerta. Oczekiwania klientów dotyczą oceny ważności i stopnia spełnienia niezbędnych (głównych) cech produktu (aktualnych i zmodyfikowanych).

Zadanie 3. Opracowanie procedury określania wymaganej liczności próby badawczej do przewidywania jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów, gdzie przewidywanie to dotyczyć będzie ocen stanów cech produktu (aktualnych i zmodyfikowanych) oraz oszacowanego poziomu jakości produktu uwzględniającego wagi cech produktu.

Zadanie 4. Zintegrowanie wag cech produktu z ocenami stopnia spełnienia cech produktu w ramach utworzenia kombinacji stanów cech aktualnych i zmodyfikowanych.

Zadanie 5. Przewidywanie jakości produktu na podstawie jakości produktu oszacowanej według kombinacji stanów cech produktów (aktualnych i zmodyfikowanych) z uwzględnieniem ważności cech produktu.

Następnie, po wyznaczeniu zadań badawczych określono ogólną koncepcję opracowania proponowanego modelu. W tym celu przyjęto zrealizowanie modelu w pięciu głównych fazach, tj.: (1) zainicjowanie, (2) działania przygotowawcze i pozyskanie oczekiwań klientów, (3) przetwarzanie i precyzowanie, (4) przewidywanie oraz (5) doskonalenie. Fazy te przyjęto na podstawie przeprowadzonej wstępnej analizie treści prac wybranych do przeglądu literatury przedmiotu. Dodatkowo, wyznaczono główne etapy realizacji modelu w oparciu o wytyczone zadania badawcze. W rezultacie przyjęto, że model opracowany zostanie w 5 fazach i 10 głównych etapach, tj.:

Faza 1. Zainicjowanie

Etap 1. Wybór produktu do badań

Etap 2. Określenie celu badań

Faza 2. Działania przygotowawcze i pozyskanie oczekiwań klientów

Etap 3. Wybór cech produktu

Etap 4. Określenie stanów cech produktu

Etap 5. Pozyskanie oczekiwań klientów

Etap 6. Określenie wymaganej liczności klientów

Faza 3. Przetwarzanie i precyzowanie

Etap 7. Przygotowanie danych do weryfikacji

Faza 4. Przewidywanie

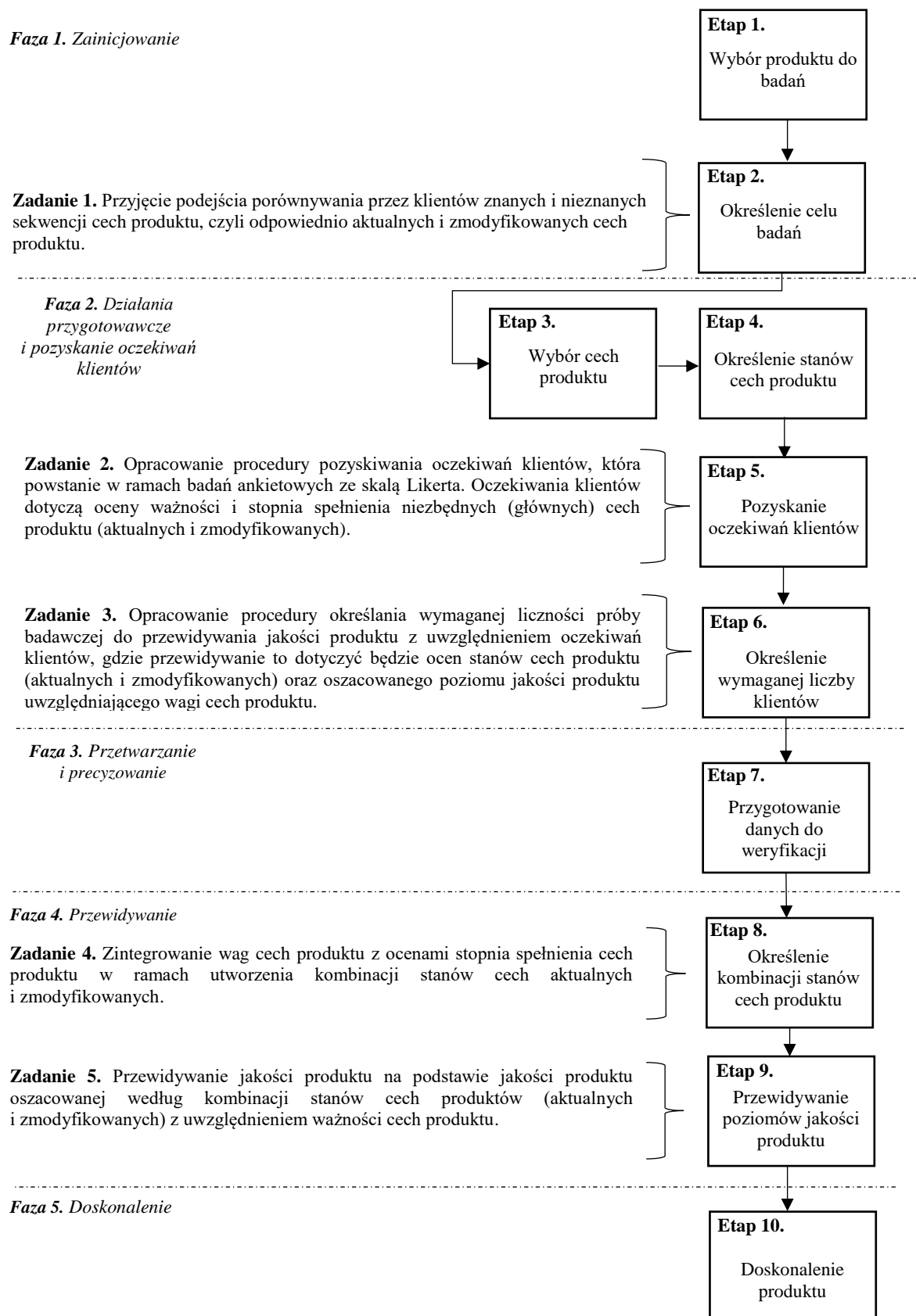
Etap 8. Określenie kombinacji stanów cech produktu

Etap 9. Przewidywanie poziomów jakości produktu

Faza 5. Doskonalenie

Etap 10. Doskonalenie produktu

Uproszczony schemat przyjętej koncepcji i założeń w ramach wypracowania modelu do przewidywania jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów przedstawia rysunek 3.1.



Rysunek 3.1. Uproszczony schemat koncepcji i zadań w celu opracowania modelu.

Po wypracowaniu koncepcji modelu możliwym było dobranie metod i narzędzi wspomagających poszczególne etapy modelu, jak przedstawia kolejna część dysertacji.

3.3. Uwarunkowania i ograniczenia doboru metod i narzędzi

Według przyjętej koncepcji i założeń wybrano metody i narzędzia wspomagające realizację poszczególnych etapów modelu. Wyboru dokonano na podstawie przeglądu literatury przedmiotu, np. [18, 19, 20, 29, 42, 63, 70, 87, 91, 98, 175, 192, 198, 215, 221]. Instrumentami, które przyjęto wykorzystać w modelu były: metoda SMART(-ER) [98], burza mózgów (BM) [91], badania ankietowe [19, 20, 21, 22], średnia arytmetyczna [29, 198, 221], zasada Pareto-Lorenza (20/80) [70, 175], program MATLAB, metoda alternatywno-punktowa (MAP, Czechowskiego) [7, 88, 92, 174, 205] i naiwny klasyfikator Bayesa [23, 83, 119, 194, 240]. Uwarunkowania i ograniczenia dobranych metod i narzędzi były następujące:

- **metoda SMART(-ER)** – etap określenia celu badań:

Do określenia celu badań przyjęto zastosowanie metody SMART(-ER) [98]. Wybór metody SMART(-ER) wynikał z korzyści tej metody, np.: określenie celu badań w nawiązaniu do procesu, oddziaływania, wyników lub celów osobistych, czy uwzględnienie w ramach celu działań, uczestników, interakcji, terminu i efektów działań, wiedzy oraz zachowań i osobistych preferencji.

- **burza mózgów (BM)** – etapy wyboru produktu do badań, cech produktu i określenia stanów cech produktu:

Wybór BM uwarunkowany był jej popularnością i zastosowaniem do wygenerowania możliwie jak największej liczby pomysłów w danym obszarze analizy. Jest to najpopularniejsza metoda pracy zespołowej [91], mająca również zastosowanie w pozyskiwaniu oczekiwań klientów [34, 123].

Ograniczeniem burzy mózgów jest subiektywność podejmowanych decyzji, których trafność uzależniona jest od wiedzy i doświadczenia ekspertów.

- **badania ankietowe** – etap pozyskania oczekiwań klientów:

Badania ankietowe są popularną, nieskomplikowaną i najczęściej wykorzystywaną techniką [6, 20, 41, 75, 81, 87, 93, 99, 108, 154, 172, 192, 193, 209, 232, 238]. Z tego względu, uznano je za zasadne do wykorzystania w ramach etapu pozyskania oczekiwań klientów [19, 20, 21, 22]. Badania ankietowe to zestaw pytań przygotowany w ustandaryzowany sposób, tj. celowy i odpowiednio uporządkowany zgodnie z określonymi wytycznymi i właściwym sposobem dla danego badania. Dodatkowo, ankieta umożliwia nieskomplikowane przebadanie

dużej zbiorowości, dlatego jest tzw. techniką bezpośredniego gromadzenia danych. Wykorzystanie badań ankietowych wspomaga osiągnięcie przewagi konkurencyjnej oraz określenie działań zapewniających wzrost satysfakcji klienta z poziomu jakości produktu [19, 20, 21, 87, 192]. W badaniach ankietowych stosunkowo często wykorzystuje się skalę Likerta [210, 217].

Mimo to, zastosowanie badań ankietowych ma ograniczenia, tj.: potrzeba zgromadzenia reprezentatywnej próbki, brak możliwości bezpośredniego zadawania pytań, czy określenia stopnia samodzielności respondenta w uzupełnianiu ankiety [19, 22].

- **średnia arytmetyczna** – etap obliczenia wag cech produktu:

Do obliczenia wag cech produktu przyjęto zastosowanie średniej arytmetycznej. Wynikało to z faktu, że jest to estymator nieobciążony [29, 221], a przy tym mający największą wiarygodność wartości oczekiwanej zmiennej losowej, gdy liczba zdarzeń jest dostatecznie duża (>100) [146] lub rozkład zmiennej jest normalny.

Można uznać, że ograniczeniem średniej arytmetycznej jest potrzeba pozyskania dużej liczby danych (>100) [198], gdzie dla niewielkiej liczby obserwacji, lub gdy rozkład nie jest normalny np. występują elementy odstające, wówczas wiarygodniejsze wyniki może dawać mediana [221]. Dodatkowo, średnia arytmetyczna jest wrażliwa na występowanie skrajnych wartości przy niewielkiej liczbie danych.

- **zasada Pareto-Lorenza (20/80)** [70, 175] – etap wyznaczenia cech produktu ważnych dla klienta:

Do wyznaczenia cech produktu ważnych dla klienta wybrano zastosowanie zasady Pareto-Lorenza (20/80). Wynikało to z założenia do modelu, w którym przyjęto, że cechy produktu grupowane będą według ich ważności i przyjętego kryterium podziału [18, 42, 104, 161, 162, 164, 195]. Oprócz tego, za autorami prac [63, 215] uznano, że im mniejsza liczba cech do weryfikacji tym lepiej. Jest to zgodnie z zasadą Pareto-Lorenza, według której nawet niewielka liczba cech ważnych dla klienta ma istotny wpływ na poziom jakości produktu, gdzie wpływ pozostałych cech jest mniejszy [70, 175].

Pewnym ograniczeniem zastosowania analizy Pareto-Lorenza jest podział cech jedynie na dwie grupy, tj. cechy ważne i mniej ważne dla klientów. Dodatkowo, granica 20/80 jest umowna i może być stosunkowo dowolnie dostosowywana do potrzeb analizy.

- **program MATLAB** – określenie kombinacji stanów cech produktu:

W ramach określenia kombinacji stanów cech produktu przyjęto zastosowanie oprogramowania MATLAB. Wynikało to z potrzeby określenia możliwych kombinacji stanów cech produktu z uwzględnieniem ich ważności. Oprogramowanie MATLAB pozwala na

zainicjowanie odpowiednio dobranych komend, w tym takich, które zapewniają określenie kombinacji weryfikowanych danych.

Jednak w oprogramowaniu MATLAB istnieje ograniczenie dotyczące liczby kombinacji możliwych do wygenerowania, np. utworzenie kombinacji z maksymalnie około 10 rekordów gdzie każdy zawiera po 3 różne dane.

- **metoda alternatywno-punktowa (MAP, Czechowskiego)** – obliczenie poziomu jakości produktu:

Metodę alternatywno-punktową (MAP) przyjęto wykorzystać do obliczenia poziomu jakości produktu. Wybór MAP uwarunkowany był jej nieskomplikowaną metodyką. Uznano, że jej zastosowanie usprawni proces określania jakości produktu wynikającego z dużej liczby kombinacji stanów jego cech. Dodatkowo, metoda MAP zapewnia określenie ważności cech produktu. Oprócz tego, spełnialność oczekiwań klienta w metodzie MAP jest określana w przedziale od 0 do 1 [7, 74, 88, 92, 205].

Z kolei ograniczeniem metody alternatywno-punktowej jest jej przeznaczenie do uproszczonego szacowania jakości produktu. Wynika to z braku zaleceń ujednociających, które utrudniają interpretację wyników obliczeń. Jednak w kontekście przewidywania jakości produktu, który jednocześnie nie jest procesem wysoce precyzyjnym, uznano ją za wystarczającą.

- **naiwny klasyfikator Bayesa** – etap przewidywania jakości produktu:

Na etapie przewidywania jakości produktu przyjęto zastosowanie narzędzia uczenia maszynowego jakim jest naiwny klasyfikator Bayesa (NKB). Ideą było sklasyfikowanie przewidzianych poziomów jakości produktu według satysfakcji klientów. Wybór NKB uwarunkowany był jego przeznaczeniem do przewidywania i klasyfikacji dowolnych danych wyrażonych jakościowo i ilościowo [22, 119, 194, 240]. Także jest skutecznym narzędziem opisywania relacji pomiędzy niepewnymi danymi i poziomami ich hierarchii. Według autorów pracy [83] jest efektywniejszy niż drzewo decyzyjne, k-najbliższych sąsiadów oraz perceptron wielowarstwowy będący metodą sztucznych sieci neuronowych.

Następny rozdział dysertacji obejmuje opracowany model predykcji jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów.

4. Model predykcji jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów

4.1. Algorytm modelu predykcji jakości produktów

Opracowano algorytm modelu predykcji jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów. W algorytmie uwzględniono pięć faz oraz dziesięć głównych etapów modelu. Opracowany algorytm modelu przedstawiony został na rysunku 4.1.

4.2. Charakterystyka etapów modelu predykcji jakości produktów

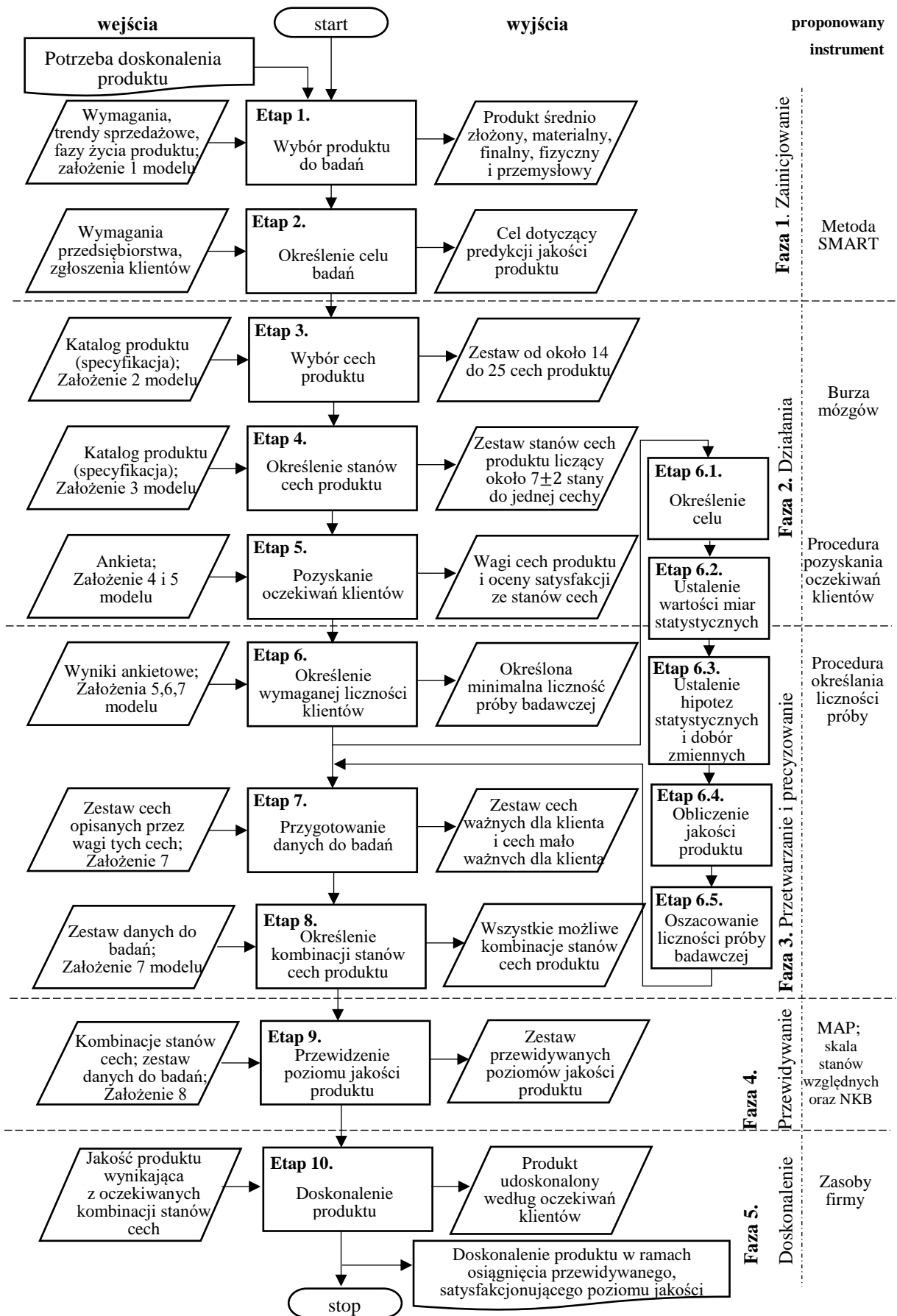
Charakterystykę modelu predykcji jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów przedstawiono zgodnie z opracowanym algorytmem modelu, czyli w dziesięciu głównych etapach.

Etap 1. Wybór produktu do badań

Wyboru produktu do badań dokonuje się zgodnie z założeniem 1 modelu. Dlatego produkt może być nowym produktem lub produktem wykorzystywanym. Powinien zostać wybrany z uwzględnieniem np. trendów sprzedażowych i fazy życia produktu. W ramach łatwiejszego wyrażenia wymagań przez klientów, produkt powinien być powszechnie wykorzystywany [15, 203, 227] tj. (min. 10000 sprzedanych sztuk rocznie), średnio złożony, materialny, finalny i przemysłowy.

Etap 2. Określenie celu badań

Określenie celu badań nawiązuje jednocześnie do zrealizowania pierwszego zadania badawczego, które dotyczy przyjęcia podejścia porównywania przez klientów znanych i nieznanymi sekwencji cech produktu, czyli odpowiednio aktualnych i zmodyfikowanych cech. Dlatego cel powinien obejmować przewidzenie jakości produktu oczekiwanego przez klientów, który odnosi się do dostosowania jakości produktu do oczekiwań klientów na podstawie przyszłych cech produktu. Dotyczy to przewidzenia jakości produktu z uwzględnieniem ważności jego cech i według kombinacji stanów tych cech aktualnych i zmodyfikowanych. W ramach precyzyjnego określenia celu badań stosuje się metodę SMART(-ER) [98].



Rysunek 4.1. Model predykcji jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów.

Etap 3. Wybór cech produktu

Wybór cech produktu jest niezbędny do obliczenia poziomu jakości produktu, gdzie cechy dobierane są zgodnie z założeniem 2 modelu. Wybór powinien być ukierunkowany przede wszystkim na cechy mierzalne (ilościowe) i podstawowe, tj. takie od których w dużej mierze zależy jakość produktu. Wyboru cech produktu dokonuje się np. na podstawie katalogu produktu [148] oraz w ramach burzy mózgów (BM). Za autorami prac [63, 215], przyjmuje się, że im mniejsza liczba cech tym lepiej, np. od około 14 do około 25 cech produktu [63, 75, 162, 203]. Ich ostateczna liczba wynika ze złożoności wyrobu, gdzie im bardziej złożony wyrób tym liczba cech jest większa. Na późniejszych etapach wybrane zostają spośród tych cech tylko cechy ważne dla klienta.

Etap 4. Określenie stanów cech produktu

Stany cech produktu określa się według założenia 3 modelu. Celem określenia stanów cech produktu jest precyzyjniejsze wyłonienie oczekiwań klientów wobec produktu przez porównanie stanu aktualnego cechy ze stanem mogącym wystąpić, tj. stan teoretycznie zmodyfikowany w przyszłości. Stan cechy produktu określa się na podstawie katalogu (specyfikacji) produktu w sposób nieskomplikowany i zrozumiały przez klientów, np. opis, wizualizacja [81], parametr (wartość) lub zakres wartości najlepiej z uwzględnieniem międzynarodowych jednostek metrycznych.

Do każdej cechy produktu wybranej na etapie trzecim modelu należy przypisać jeden stan aktualny i przynajmniej jeden stan modyfikowany. Stan aktualny cechy produktu to np. wartość adekwatna do wartości stanu cechy obecnej (fizycznie istniejącej). Z kolei stan modyfikowany to np. wartość umownie przyjęta (przyszła – nieistniejąca obecnie). Przyjmuje się za autorami pracy [133], że sumaryczna liczba stanów aktualnego i modyfikowanego dla jednej cechy produktu to maksymalnie 7 ± 2 stany, gdzie taka liczba stanów warunkuje ich efektywne porównanie. Do określenia stanu aktualnego cechy produktu wykorzystuje się np. katalog produktu (specyfikację). Natomiast do określenia stanu modyfikowanego cechy korzystnym jest rozważenie np. możliwości produkcyjnych przedsiębiorstwa, wyników z uprzednio podejmowanych działań doskonalących, danych historycznych lub opinii klientów o produkcie [18].

Etap 5. Pozyskanie oczekiwań klientów

Etap ten realizowany jest z uwzględnieniem 4 założenia modelu, tj. oczekiwania klientów pozyskane zostaną metodą opartą na badaniach ankietowych [3, 20, 99, 108], w których klienci ocenią ważność cech produktu oraz satysfakcję (zadowolenie) ze stanów tych cech (aktualnych

i zmodyfikowanych). Ważność cechy produktu to istotność (znaczenie) dla klienta obecności danej cechy w produkcie np. w kontekście użytkowania produktu. Zgodnie z koncepcją modelu, na podstawie ocen wag cech określone będą cechy ważne dla klientów, tj. cechy które należy dostosować do oczekiwań klientów w pierwszej kolejności. Natomiast oceny z satysfakcji (zadowolenia) klientów ze stanów cech aktualnych i modyfikowanych wykorzystane zostaną do obliczenia poziomu jakości produktu.

Jednocześnie etap piąty modelu dotyczy drugiego zadania badawczego, w którym przyjęto opracowanie procedury pozyskiwania oczekiwań klientów powstałej w ramach badań ankietowych ze skalą Likerta. W tym celu przyjęto założenia do procedury, które określono w nawiązaniu do założeń przyjętych do modelu. W rezultacie określono trzynaście założeń dla procedury pozyskiwania oczekiwań klientów, tj.:

Założenie 1a. Celem ankiety jest ocena ważności i stopnia spełnienia wybranych cech produktu.

Założenie 2a. Produkt weryfikowany podczas badań ankietowych jest produktem wybranym na etapie drugim modelu.

Założenie 3a. Ankieta zawiera metryczkę zapewniającą określenie podstawowych danych dotyczących klienta oraz produktu, np. płeć, wiek, czasu użytkowania produktu.

Założenie 4a. Ankieta uwzględnia dokonanie oceny stopnia ważności cech produktu w kontekście jego użytkowania [52, 128, 237].

Założenie 5a. Ankieta uwzględnia dokonanie oceny cech produktu pod względem stopnia spełnienia wymagań klienta [112, 136, 167, 208, 209, 210].

Założenie 6a. Ocena ważności i stopnia spełnienia wybranych cech produktu dokonywana jest w skali Likerta, która jest popularną i preferowaną w badaniach satysfakcji klienta [210, 217], gdzie oceny ważności cech produktu oznaczają odpowiednio 1 – nieistotna, 2 – istotna, 3 – ważna, 4 – bardzo ważna, 5 – absolutnie niezbędna; z kolei oceny stopnia spełnienia wybranych cech produktu oznaczają odpowiednio: 1 – w znikomym stopniu spełnia wymagania, 2 – słabo spełnia wymagania, 3 – spełnia wymagania, 4 – zadowalająco spełnia wymagania, 5 – absolutnie spełnia wymagania.

Założenie 7a. Pytania w ankiecie są pytaniami zamkniętymi jednokrotnego wyboru [87, 192].

Założenie 8a. Liczba cech produktu jest równa liczbie cech produktu określonej na etapie trzecim modelu.

Założenie 9a. Stany cech produktu są tożsame ze stanami cech produktu określonymi na etapie czwartym modelu.

Założenie 10a. Liczba pytań ankietowych do oceny ważności cech produktu powinna być równa liczbie cech produktu określonej zgodnie z założeniem 8a.

Założenie 11a. Liczba pytań ankietowych do oceny stopnia spełnienia wymagań klienta wynika ze stanów cech produktu (aktualnych i modyfikowanych), które określono na etapie czwartym modelu.

Założenie 12a. Ankieta jest doskonała po badaniach wstępnych przeprowadzonych z uwzględnieniem głosu klienta.

Założenie 13a. Przeprowadzenie jednej ankiety nie powinno zajmować więcej niż 30 minut [87, 192].

Uznano, że przyjęte założenia warunkują zalety procedury. Przykładowo, zapewnienie niewyczerpującej kafeterii ocen przez aktualny i zmodyfikowany stan cechy wyrażony przez wartości w przedziale obustronnie otwartym. Dodatkowo, zaletą jest możliwość wyboru dowolnego stanu cechy, a tym samym precyzyjniejszego określenia kierunku doskonalenia cechy produktu [4, 8, 67, 82, 99, 154, 170, 214, 215, 216, 231, 233, 241].

Ograniczeniem jest brak założeń dotyczących doboru klientów do pozyskania oczekiwań względem produktu. Ograniczenie to starano się zredukować przez założenia dotyczące powszechności produktu oraz porównanie stanu aktualnego cech i ich możliwych modyfikacji.

Etap 6. Określenie wymaganej liczności klientów

Określenie wymaganej liczności klientów oznacza oszacowanie od jakiej liczby klientów należy pozyskać oczekiwania, aby móc przewidywać jakość produktu. Określenie wymaganej liczności klientów dotyczy 5 założenia modelu, w którym przyjęto, że oczekiwania te pozyskiwane są przynajmniej od 100 klientów [178, 198, 221]. Kolejno dostosowywane są zgodnie z wynikami uzyskanymi metodą określania wymaganej liczności próby badawczej. Z tego względu, na tym etapie zrealizowano trzecie zadanie badawcze, które dotyczy opracowania procedury określania wymaganej liczności próby badawczej do przewidywania jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów. W tym ujęciu nawiązuje to do potrzeby wypracowania procedury w ramach której możliwe byłoby określenie liczności próby do przetestowania kilku hipotez statystycznych. Jednocześnie tak, aby zapewnić moc testu dla wskazanej liczności próby oraz wykrycia istotnych statystycznie różnic dla kilku relacji mając określoną licznosc próby i moc testu.

Z tego względu opracowano procedurę, która wynika z modyfikacji metody do określania wielkości próby badawczej.

W ramach opracowania procedury do określenia minimalnej liczby klientów przyjęto dwie hipotezy, tj.:

Hipoteza 3.1: Możliwe jest określenie liczby klientów od których należy pozyskać oczekiwania w celu ich przetworzenia do przewidywania poziomu jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów, a przewidywanie to dotyczy uwzględnienia ważności cech produktu i stanów cech produktu (aktualnych i zmodyfikowanych).

Hipoteza 3.2: Możliwe jest zmodyfikowanie metody określania licznosci próby według średniej arytmetycznej z próby, tak aby określić licznosc próby do przewidywania poziomu jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów.

Procedurę opracowano w nawiązaniu do metody określania licznosci próby, w której obliczany jest estymator wartości średniej w populacji generalnej, czyli średniej arytmetycznej z próby [29, 221]. Wynikało to ze spełnienia przez ten estymator wymaganych cech do określenia licznosci próby, tj.: zgodny, nieobciążony, efektywny, dostateczny [29]. W metodzie zainicjowano m. in.: uniwersalne hipotezy statystyczne, sposób doboru zmiennych i ich relacji, metodę MAP (Czechowskiego) do obliczenia poziomu jakości produktu według aktualnych oczekiwań klientów i z uwzględnieniem ważności cech produktu [88, 92, 205].

W ramach opracowania procedury określania wymaganej licznosci klientów przyjęto założenia. Wynikały one z przeglądu literatury przedmiotu oraz z założeń przyjętych w ramach modelu predykcji jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów. W rezultacie dobrano następujące założenia:

Założenie 1b. Licznosc próby badawczej określana jest z uwzględnieniem średniej arytmetycznej z próby [29, 221].

Założenie 2b. Wymagana licznosc próby badawczej szacowana jest na podstawie oczekiwań pozyskanych przynajmniej od 100 klientów [129, 198].

Założenie 3b. Wartości miar statystycznych ustalane są przed przystąpieniem do oszacowania wymaganej licznosci próby badawczej i nie powinny ulegać zmianie na późniejszych etapach procedury [26, 64, 129, 163, 165, 197, 198].

Założenie 4b. Hipotezy statystyczne powinny dotyczyć wykazania istotnych statystycznie różnic w odniesieniu do: poziomu jakości produktu w zależności od modyfikacji jego cech; oceny przez klientów modyfikacji cech produktu; aktualnie pozyskanej licznosci obserwacji oraz licznosci obserwacji wymaganej do uzyskania z przyjętą dokładnością poziomu jakości produktu w ramach zapewnienia wymaganej mocy testu.

Założenie 5b. Poziom jakości produktu jest zmienną zależną.

Założenie 6b. Cecha produktu jest zmienną niezależną.

Założenie 7b. Cecha produktu uznana za zmienną niezależną jest dowolną cechą produktu określoną przez dwie modyfikacje stanu aktualnego tej cechy.

Założenie 8b. Weryfikacji poddawane są oceny przyznane dla dwóch modyfikacji dowolnej cechy produktu.

Założenie 9b. Poziom jakości produktu obliczany jest metodą MAP (metoda Czechowskiego) na podstawie ocen stopnia spełnienia aktualnych cech produktu, które pozyskano za pośrednictwem badań ankietowych. Dlatego poziom jakości produktu jest równoznaczny z wartościami wskaźnika porównywalnego poziomu jakości produktu (q_i) [50, 92, 178].

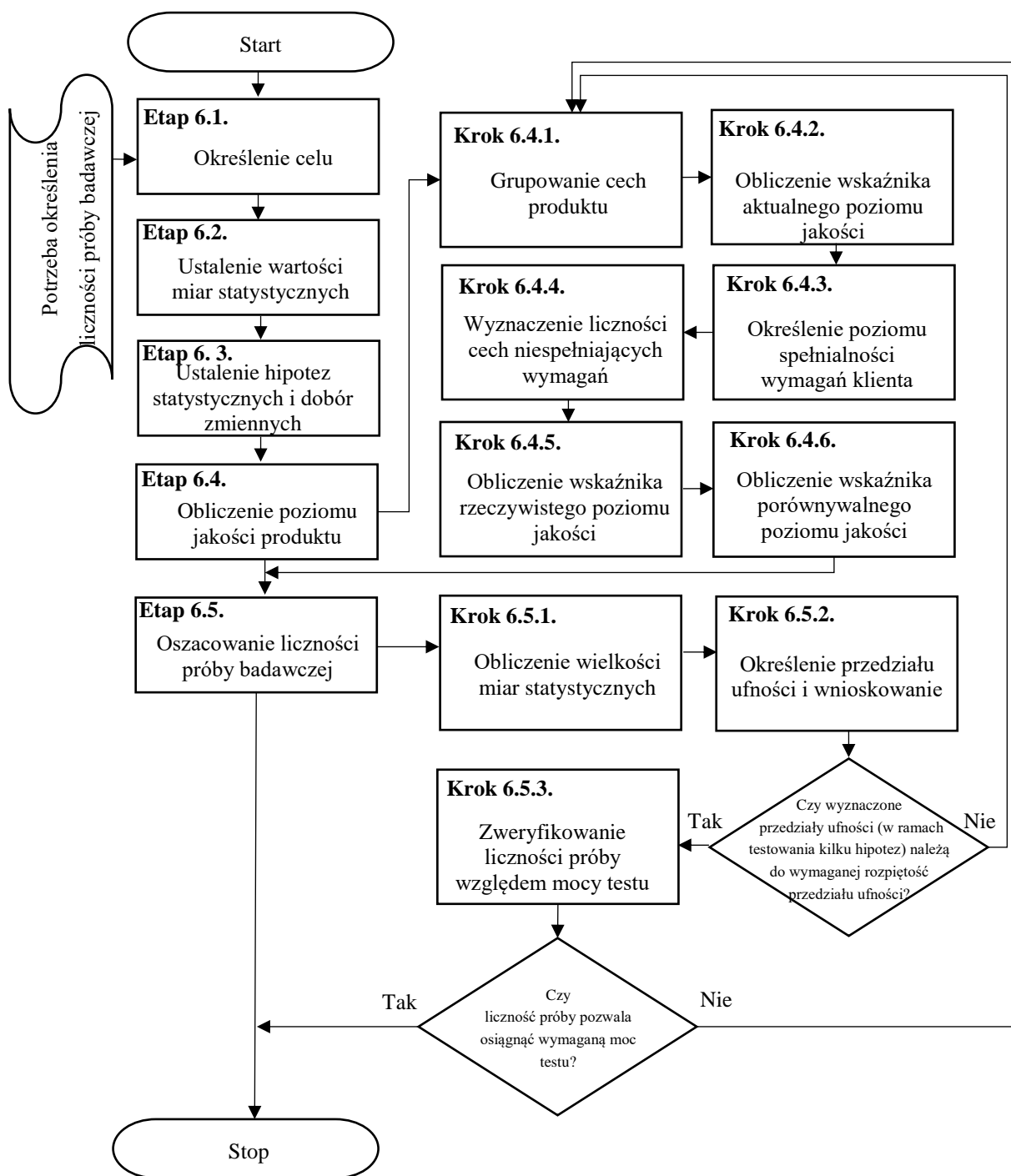
Założenie 10b. Cechy produktu grupowane są na trzy grupy, tj.: ważne, średnio ważne, mało ważne [92, 178], gdzie podział cech na grupy odbywa się na podstawie ocen ważności tych cech pozyskanych z badań ankietowych.

Założenie 11b. Poziom spełnialności oczekiwań klienta przez cechę produktu określany jest przez ocenę 3, gdzie oceny poniżej tej wartości oznaczają, że cecha produktu nie spełnia oczekiwań klientów.

Założenie 12b. Liczność próby badawczej zapewniająca przewidywanie jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów jest maksymalną wartością spośród wartości aktualnej liczności próby i trzech liczności próby oszacowanych według proponowanej procedury [163].

Uznano, że pewnym ograniczeniem proponowanej procedury jest zasadność jej zastosowania dla wstępnej próby badawczej wynoszącej minimum 100 klientów [129, 163]. Wynika to z faktu, że procedurę tę opracowano w ramach modyfikacji metody do określania liczności próby, w której obliczany jest estymator wartości średniej w populacji generalnej, czyli średniej arytmetycznej z próby. Jak wskazują autorzy prac [163, 185] zastosowanie średniej arytmetycznej jest efektywne dla dużej próby badawczej ($n > 100$). Dodatkowo, nawet z niewielką zmianą aktualnej liczności próby, każdorazowe jej weryfikowanie może ukazać inną wartość wymaganej liczności próby badawczej.

Algorytm procedury określania wymaganej liczności próby badawczej przedstawia rysunek 4.2.



Rysunek 4.2. Algorytm określania liczności próby do przewidywania poziomu jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów.

Charakterystykę realizacji poszczególnych etapów proponowanej procedury przedstawia dalsza część pracy.

Etap 6.1. Określenie celu

Cel określa się w ramach obliczenia liczności próby zapewniającej przewidywanie poziomu jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów. Cel powinien obejmować

możliwość jednoczesnego określenia licznosci próby do przetestowania kilku hipotez statystycznych, zapewniając moc testu dla wskazanej licznosci próby oraz wykrycia istotnych statystycznie różnic dla kilku relacji mając określoną licznosc próby i moc testu. Za relacje rozumie się aktualny poziom jakości produktu i poziomy jakości wynikające z modyfikowanych stanów cech produktu. W ramach odpowiedniego określenia celu należy zastosować metodę SMART, którą przedstawia literatura przedmiotu, np. [98].

Etap 6.2. Ustalenie wartości miar statystycznych

Etap ten dotyczy przyjętej hipotezy pierwszej w ramach opracowanej procedury (hipoteza 3.1.), tj. możliwe jest jednoczesne zapewnienie mocy testu dla wskazanej licznosci próby oraz wykrycia istotnych statystycznie różnic dla kilku relacji mając określoną licznosc próby i moc testu. Dlatego, zgodnie z autorami prac [26, 64, 129, 163, 165, 197, 198] przyjęto za niezbędne określenie wielkości następujących miar statystycznych:

- poziom istotności (α) (prawdopodobieństwo popełnienia błędu I rodzaju),
- prawdopodobieństwo popełnienia błędu II rodzaju (β),
- moc testu statystycznego ($\mu = 1 - \beta$),
- dokładność wyników analizy (tzw. błąd szacunku) (d).

Wskazane miary statystyczne odnoszą się m. in. do weryfikacji hipotez statystycznych podczas określania licznosci próby, gdzie istnieje prawdopodobieństwo popełnienia dwóch rodzajów błędów. Prawdopodobieństwa tych błędów oznaczane są przez α oraz β [64]. Poziom istotności (α) dotyczy prawdopodobieństwa popełnienia błędu I rodzaju (α), czyli błędnego potwierdzenia hipotezy alternatywnej (oznaczanej jako H_1) [26, 163, 165]. Z kolei prawdopodobieństwo popełnienia błędu II rodzaju (β) dotyczy skuteczności wykrywania nieprawdziwej hipotezy alternatywnej (H_1), której zaprzeczeniem jest hipoteza zerowa (H_0) [163]. Zakwestionowanie hipotezy zerowej jako hipotezy mało prawdopodobnej daje podstawę do przyjęcia hipotezy alternatywnej [163]. Jest to testowaniem odrzucająco-potwierdzającym (OP) [64], w którym podejmowane są decyzyjne przedstawione w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Podejmowanie decyzji podczas weryfikowania hipotez.

Hipoteza - prawdopodobieństwo			
Oznaczenie		H_0	H_1
Decyzja o wyborze hipotezy	H_0	Poprawne przyjęcie H_0 ($1-\beta$)	Błąd II rodzaju (β)
	H_1	Błąd I rodzaju (α)	Poprawne odrzucenie H_0 ($1 - \alpha$)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [149].

Początkowo przyjmuje się poziom istotności (α). Możliwe jest przyjęcie poziomu istotności równego 0,10; 0,05; 0,01 lub 0,001 [163], a wybór ten zależy od potrzeb badacza. Im niższy poziom istotności tym trudniej jest odrzucić hipotezę zerową (H_0). Dlatego poziom istotności równy 0,01 lub 0,001 jest zalecany dla wymagających analiz, np. w badaniach medycznych [163, 198]. Jak wskazują autorzy prac [26, 129, 163, 198], preferowaną wartością poziomu istotności jest $\alpha = 0,05$. Wynika to z faktu, że wartość ta stanowi tzw. kompromis uwzględniający możliwość pomyłki i efektywność wykorzystania aparatu statystycznego.

Następnie, określane jest prawdopodobieństwo popełnienia błędu II rodzaju (β) oraz moc testu statystycznego ($\mu = 1 - \beta$), która oznacza zdolność testu (w kontekście prawdopodobieństwa) do zidentyfikowania fałszywości hipotezy zerowej (H_0), gdy rzeczywiście jest ona mało prawdopodobna [165, 197]. Przyjmuje się, że duża różnica pomiędzy wartością zawartą w hipotezie zerowej (H_0), a wartością postulowaną w hipotezie alternatywnej (H_1) powoduje zwiększenie mocy testu w stosunku do małych różnic [163]. Ponieważ wykorzystywane w praktyce testy statystyczne są testami istotności, które nie kontrolują prawdopodobieństwa popełnienia błędu II rodzaju (β), to prawdopodobieństwo to nie powinno być wysokie. Ze względu, że preferowana moc testu statystycznego wynosi $\mu \geq 0,8$ [64, 165, 256], to prawdopodobieństwo popełnienia błędu II rodzaju (β) powinno zostać określone na poziomie $\beta \leq 0,2$ (co wynika z zależności: $\mu = 1 - \beta$) [163, 165, 211].

Kolejno, ustalana jest dokładność wyników analizy (tzw. błąd szacunku), np. na podstawie artykułów [163, 185]. W proponowanej metodzie odnosi się to do przyjęcia dokładności dla poziomu jakości produktu (aktualnego i modyfikowanego) oraz dokładności ocen stanów cech produktu.

Według przyjętych wielkości miar statystycznych oraz na podstawie tablic statystycznych [190, 191, 198] określane zostają wartości:

- poziomu ufności ($p = \alpha - 1$),
- krytycznej normalnego rozkładu standaryzowanego (αu),
- statystyki t o rozkładzie t-Studenta i n-1 stopniach swobody (αt),

które jak wskazują autorzy artykułów [64, 129, 163, 197, 198] są niezbędne do określenia liczności próby. Po przyjęciu wielkości miar statystycznych możliwym jest zrealizowanie kolejnego etapu procedury.

Etap 6.3. Ustalenie hipotez statystycznych i dobór zmiennych

Hipotezy statystyczne ustalane są w kontekście celu przyjętego na etapie pierwszym procedury [64, 163]. W proponowanym podejściu hipotezy statystyczne powinny zapewnić

zweryfikowanie licznosci próby do przewidywania poziomu jakości produktu z uwzględnieniem aktualnych oczekiwań klientów. W tym celu przyjęto trzy hipotezy alternatywne i ich hipotezy przeciwstawne.

Hipoteza statystyczna pierwsza odnosi się do wykazania istotnej statystycznie różnicy w poziomie jakości produktu w zależności od modyfikacji jego cech, tj.:

- H_0 : Nie ma różnicy w poziomie jakości produktu, gdy produkt ten jest modyfikowany.
- H_1 : Istnieje różnica w poziomie jakości produktu, gdy produkt ten jest modyfikowany.

Hipoteza statystyczna druga odnosi się do wykazania istotnej statystycznie różnicy w przypadku ocen przyznanych przez klientów modyfikacjom cech produktu, tj.:

- H_0 : Nie ma różnicy w ocenie modyfikacji cech produktu.
- H_1 : Istnieje różnica w ocenie modyfikacji cech produktu.

W ramach hipotezy statystycznej trzeciej przyjęto zweryfikowanie istotnej statystycznie różnicy w aktualnie pozyskanej licznosci obserwacji oraz licznosci obserwacji wymaganej do uzyskania z przyjętą dokładnością poziomu jakości produktu w ramach zapewnienia wymaganej mocy testu, tj.:

- H_0 : Nie ma różnicy w aktualnej i wymaganej licznosci obserwacji do zapewnienia z przyjętą dokładnością poziomu jakości produktu i mocy testu.
- H_1 : Istnieje różnica w aktualnej i wymaganej licznosci obserwacji do zapewnienia z przyjętą dokładnością poziomu jakości produktu i mocy testu.

Na podstawie zbudowanych hipotez statystycznych dobierane są zmienne. Ich liczba i rodzaj powinien zapewnić zweryfikowanie postawionych hipotez statystycznych, jak np. scharakteryzowano w artykule [168]. Dotyczy to określenia zmiennych niezależnych (wyjaśniających) oraz zmiennych zależnych (wyjaśnianych).

Zmienne niezależne, to zmienne które są kontrolowane oraz które mogą lub nie mogą mieć wpływu na zmienne zależne. Natomiast wspomniane zmienne zależne, to zmienne których wartości są mierzone [168]. W analizowanym kontekście za zmienną zależną przyjmuje się poziom jakości produktu. Z kolei za zmienne niezależne przyjmuje się zmienne dotyczące modyfikacji produktu.

Dobór zmiennych i ich relacje w ramach weryfikacji proponowanych hipotez statystycznych przedstawia tabela 4.2.

Tabela 4.2. Dobór zmiennych do weryfikacji proponowanych hipotez statystycznych.

Lp.	Hipotezy statystyczne		Zmienne
1	H ₀	Nie ma różnicy w poziomie jakości produktu, gdy produkt ten jest modyfikowany	poziom jakości produktu & modyfikacja produktu
	H ₁	Istnieje różnica w poziomie jakości produktu, gdy produkt ten jest modyfikowany	
2	H ₀	Nie ma różnicy w ocenie modyfikacji produktu	modyfikacja produktu & modyfikacja produktu*
	H ₁	Istnieje różnica w ocenie modyfikacji produktu	
3	H ₀	Nie ma różnicy w aktualnej i wymaganej liczności obserwacji do zapewnienia z przyjętą dokładnością poziomu jakości produktu i mocy testu	poziom jakości produktu
	H ₁	Istnieje w aktualnej i wymaganej liczności obserwacji do zapewnienia z przyjętą dokładnością poziomu jakości produktu i mocy testu	
*np. dwie dowolnie przyjęte, różne modyfikacje produktu			

Na podstawie określonych hipotez statystycznych i dobranych zmiennych możliwe jest zrealizowanie kolejnego etapu procedury.

Etap 6.4. Obliczenie poziomu jakości produktu

Etap ten dotyczy hipotezy pierwszej przyjętej w ramach opracowywanej proponowanej procedury (Hipoteza 3.1.), w której przyjęto, że przetworzenie oczekiwań klientów dotyczy obliczenia poziomu jakości produktu na podstawie ich ocen o aktualnym i modyfikowanym poziomie jakości produktu.

W opracowanej procedurze poziom jakości produktu oblicza się za pomocą metody MAP (metoda Czechowskiego), która ma zastosowanie do obliczenia poziomu jakości produktu z uwzględnieniem ważności kryteriów [50, 92, 178]. Proces obliczenia poziomu jakości produktu metodą MAP przedstawiono w 6 krokach.

Krok 6.4.1. Grupowanie cech produktu

Należy pogrupować wszystkie cechy produktu wybrane podczas realizacji procedury pozyskiwania oczekiwań klientów [148]. W celu pogrupowania cech produktu niezbędnym jest dokonanie oceny ważności tych cech. Według metody MAP oceny ważności cech może dokonać subiektywnie podmiot stosujący metodę (tzw. ekspert) [92, 178]. Jednak w ramach wyznaczenia poziomu jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów, ważność cech powinna być ustalona na podstawie ocen klientów [74, 114, 134], które pozyskano podczas badania ankietowego [6, 80]. Wówczas oceny przyznane przez klientów cechom produktu mają zastosowanie do pogrupowania tych cech według ich ważności. Zgodnie z założeniami metody MAP grupowania cech produktu można dokonać na grupy cech krytycznych (k), ważnych (w), średnio ważnych (s), mało ważnych (m). Jednak preferowane jest utożsamianie grupy cech

krytycznych z grupą cech ważnych. Wynika to z konieczności interpretacji cech krytycznych jako bezwzględnych do spełnienia [92, 178]. Waga cechy określana jest jako wartość średnia z wszystkich ocen przyznanych przez klientów dla danej cechy (4.1) [198]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.1)$$

gdzie: x_i – wartość badanej zmiennej dla i -tego elementu populacji generalnej wybranej do próby, n – licznosc próby.

Zastosowanie średniej arytmetycznej wynikało z faktu, że jest to estymator nieobciążony [29, 221], a przy tym mający największą wiarygodność wartości oczekiwanej zmiennej losowej, gdy liczba zdarzeń jest dostatecznie duża (>100) [198] lub rozkład zmiennej jest normalny. W przypadku, gdy podmiot stosujący metodę posiada niewielką liczbę obserwacji, lub rozkład nie jest normalny, np. występują elementy odstające, to wiarygodniejsze wyniki może dawać mediana [221].

Kolejno, możliwe jest pogrupowanie cech produktu. W tym celu określa się maksymalną (\bar{x}_{max}) i minimalną (\bar{x}_{min}) wartość średniej z wszystkich uzyskanych wartości. Następnie obliczany jest iloraz uzyskanych wartości maksymalnej i minimalnej do liczby grup cech (4.2):

$$z = \frac{\bar{x}_{max} - \bar{x}_{min}}{n_g} \quad (4.2)$$

gdzie: z – wartość określająca zakres przynależności cechy do grupy, \bar{x}_{max} – maksymalna wartość ocen, \bar{x}_{min} – minimalna wartość ocen, n_g – liczba grup cech.

W ramach wyznaczenia rozpiętości zakresu przynależności cechy do grupy cech ważnych, średnio ważnych i mało ważnych wykorzystuje się wzór (4.3) i określa się zakres przynależności cech do grup za pomocą wzoru (4.4):

$$\left. \begin{aligned} z_{w_i} = \bar{x}_{max} - z; \quad z_{s_i} = z_{w_i} - z; \quad z_{m_i} = z_{s_i} - z \\ \text{gdzie: } z_{m_i} = \bar{x}_{min} \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

$$\left. \begin{aligned} z_w \in < \bar{x}_{max}; z_{w_i} > \\ z_s \in (z_{w_i}; z_{s_i} > z_m \in (z_{s_i}; z_{m_i} > \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

gdzie: z_{w_i} – wartość określająca zakres przynależności cech do grup ważnych, z_{s_i} – wartość określająca zakres przynależności cech do grup średnio ważnych, z_{m_i} – wartość określająca zakres przynależności cech do grup mało ważnych, \bar{x}_{max} i \bar{x}_{min} , z – wartość określająca zakres przynależności cechy do grupy, z_w – zakres przynależności cech do grup ważnych, z_s – zakres przynależności cech do grup średnio ważnych, z_m – zakres przynależności cech do grup mało ważnych.

Po wyznaczeniu zakresu przynależności (z_w, z_s, z_m) grupuje się cechy produktu do grup cech ważnych, średnio ważnych i mało ważnych. Następnie określana jest liczebność cech w grupach, gdzie wagi grup tych cech są z góry określone w metodzie MAP jako 50; 10; 1 (tabela 4.3).

Tabela 4.3. Liczebność cech produktu w grupach z uwzględnieniem wag cech.

Oznaczenie cech produktu i wag cech produktu			Liczebność cech w grupach
symbol	opis	waga	liczba
n_w	liczba cech produktu w grupie cech ważnych	50	...
n_s	liczba cech produktu w grupie cech średnio ważnych	10	...
n_m	liczba cech produktu w grupie cech mało ważnych	1	...

Po określeniu liczebności cech w grupach możliwe jest zrealizowanie kolejnego kroku metody MAP.

Krok 6.4.2. Obliczenie wskaźnika aktualnego poziomu jakości produktu

Wskaźnik aktualnego poziomu jakości (Q_o) oznacza sytuację pełnego zaspokojenia oczekiwań klienta przez cechy produktu. Zgodnie z autorami prac [92, 178] wskaźnik ten określa wzór (4.5):

$$Q_o = 50n_w + 10n_s + 1n_m \quad (4.5)$$

gdzie: n_w – liczba cech produktu w grupie cech ważnych, n_s – liczba cech produktu w grupie cech średnio ważnych, n_m – liczba cech produktu w grupie cech mało ważnych, 50; 10; 1 – stałe wagi cech metody MAP.

Krok 6.4.3. Określenie poziomu spełnialności oczekiwań klienta przez cechę produktu

Poziom spełnialności oczekiwań klienta przez cechę produktu (q_s) [92, 178] określa się na podstawie skali ocen stopnia spełnienia cech produktu. Według przyjętej metody pozyskiwania oczekiwań klientów (założenie 6) jest to skala Likerta, w której oceny oznaczają odpowiednio: 1 – w znikomym stopniu spełnia wymagania, 2 – słabo spełnia wymagania, 3 – spełnia wymagania, 4 – zadowalająco spełnia wymagania, 5 – absolutnie spełnia wymagania. Dlatego przyjęto, że poziom spełnialności jakości produktu określany jest przez ocenę równą 3. Jest to pierwsza ocena w skali Likerta (po wartości równej 2), która spełnia wymagania klienta. Analizę spełnialności jakości produktu przedstawia kolejny krok proponowanej procedury.

Krok 6.4.4. Wyznaczenie liczności cech produktu niespełniających oczekiwań klienta

Liczność cech produktu niespełniających oczekiwań klienta określa się dla każdej obserwacji (tj. dla ocen przyznanych przez poszczególnych klientów) według poziomu spełnialności oczekiwań klienta przez cechę produktu. Według przyjętych założeń do procedury pozyskiwania oczekiwań klientów, poziom ten określany jest przez ocenę 3. Oceny poniżej tej wartości oznaczają, że cecha produktu nie spełnia oczekiwań klientów. Liczność cech produktu niespełniających oczekiwań klienta należy określić w grupach cech produktu (ważnych, średnio ważnych i mało ważnych). W tym celu porównuje się każdą ocenę cechy produktu w danej grupie z oceną równą 3 (q_s), jak ukazuje zależność ze wzoru (4.6):

$$\left. \begin{array}{l} \text{jeżeli } O_i \geq 3 \quad \text{to cecha produktu spełnia oczekiwania klienta} \\ \text{jeżeli } O_i < 3 \quad \text{to cecha produktu nie spełnia oczekiwań klienta} \\ \text{gdzie cechy produktu } \in (m_w \text{ lub } m_s \text{ lub } m_m) \end{array} \right\} \quad (4.6)$$

gdzie: O_i – ocena klienta, m_w – liczność ważnych cech produktu, których produkt nie spełnia, m_s – liczność średnio ważnych cech produktu, których produkt nie spełnia, m_m – liczność mało ważnych cech produktu, których produkt nie spełnia, $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Krok 6.4.5. Obliczenie wskaźnika rzeczywistego poziomu jakości produktu

Wskaźnik rzeczywistego poziomu jakości produktu (Q_i) to wskaźnik uwzględniający cechy niespełniające oczekiwań klienta, tj. poniżej przyjętego poziomu jakości [92, 178]. Wskaźnik obliczany jest dla każdej obserwacji (tj. dla ocen przyznanych przez poszczególnych klientów). Zgodnie z autorami prac [92, 178] wskaźnik ten określany jest na podstawie wzoru (4.7):

$$Q_i = 50(n_w - m_w) + 10(n_s - m_s) + (n_m - m_m) \quad (4.7)$$

gdzie: n_w – liczba cech produktu w grupie cech ważnych, n_s – liczba cech produktu w grupie cech średnio ważnych, n_m – liczba cech produktu w grupie cech mało ważnych, m_w – liczność ważnych cech produktu, których produkt nie spełnia, m_s – liczność średnio ważnych cech produktu, których produkt nie spełnia, m_m – liczność mało ważnych cech produktu, których produkt nie spełnia, 50; 10; 1 – stałe wagi cech przyjęte w metodzie MAP.

Krok 6.5.6. Obliczenie wskaźnika porównywalnego poziomu jakości produktu

Wskaźnik porównywalnego poziomu jakości produktu (q_i) jest szacowany jako iloraz wskaźnika aktualnego poziomu jakości produktu (Q_0) oraz wskaźnika rzeczywistego poziomu jakości produktu (Q_i). Wskaźnik porównywalny poziomu jakości produktu oblicza się dla

każdej obserwacji (tj. dla ocen przyznanych przez poszczególnych klientów). Przedstawia to wzór (4.8) [178, 92]:

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_o} \quad (4.8)$$

gdzie: Q_i – wskaźnik rzeczywistego poziom jakości produktu, Q_o – wskaźnik aktualnego poziomu cech produktu.

Wartości określające poziom jakości produktu (q_i) w uproszczonych metodach obliczania jakości produktu (w tym dla metody MAP) przyjmują wartości z przedziału $0 \leq q_i \leq 1$ [92, 178]. Dlatego jeżeli uzyskane wartości wskaźnika q_i nie należą do tego przedziału to proces określania poziomu jakości produktu należy powtarzać od kroku 6.4.1. procedury, aż do uzyskania poprawności obliczeń. Wartości wskaźnika q_i oznaczają oczekiwaną jakość produktu przez klienta. Przyjęto, że na podstawie wartości wskaźnika q_i określana jest minimalna liczności próby, która zapewni przewidywanie poziomu jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów. Po tym etapie możliwe jest wywnioskowanie o słuszności hipotezy pierwszej przyjętej w ramach procedury (hipoteza 3.1.).

Etap 6.5. Oszacowanie liczności próby badawczej

Na tym etapie procedury przyjęto zweryfikowanie hipotez przyjętych dla proponowanej procedury (tj. hipoteza 3.1. oraz hipoteza 3.2.). W ramach oszacowania liczności próby badawczej uwzględniany jest poziom jakości produktu (tj. wskaźnik q_i) oraz oceny stopnia spełnienia modyfikacji cech produktu, które pozyskane zostały podczas badania ankietowego.

W tym celu zgodnie z autorami prac [16, 163, 198] przyjęto za niezbędne określenie m. in.: wybranych wielkości miar tendencji centralnej, rozrzutu oraz przedziału ufności. Dodatkowo, zmodyfikowano proces wnioskowania o wymaganej liczności próby. Proces obliczania liczności próby zaprezentowano poprzez równania matematyczne oraz za pomocą narzędzi programu STATISTICA 13.3. Etap ten przedstawiono trzech krokach.

Krok 6.5.1. Określenie wielkości miar tendencji centralnej i rozrzutu

Określenie wybranych wielkości miar tendencji centralnej i rozrzutu jest niezbędne do określenia liczności próby badawczej. Według literatury przedmiotu przyjęto, że wielkościami tymi są [16, 163, 198]:

- aktualna liczność próby (n),
- średnia próby (\bar{x}),
- wariancja próby (s^2),

- odchylenie standardowe próby (s).

Wskazane wielkości miar tendencji centralnej i rozrzutu scharakteryzowane są w pozycjach literatury przedmiotu, np. [198].

Liczność obserwacji w próbie (n) oznacza pozyskaną licznosc próby do określenia wymaganej licznosci próby do przewidywania poziomu jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów. Według tego założenia określana jest dla każdej zmiennej (wybranej w etapie 3 procedury) wartość średnia z próby (\bar{x}), którą określa wzór (4.9) [198]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.9)$$

gdzie: x_i – wartość badanej zmiennej dla i-tego elementu populacji generalnej wybranego do próby, n – licznosc próby.

Następnie, dla każdej zmiennej (wybranej w etapie 3 procedury) określana jest wariancję z próby (s^2). Wykorzystuje się do tego wzór (4.10) [198]:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (4.10)$$

gdzie: x_i – wartość badanej zmiennej dla i-tego elementu populacji generalnej wybranego do próby, \bar{x} – średnia z próby, n – licznosc próby.

Po obliczeniu wariancji z próby możliwym jest obliczenie odchylenia standardowego z próby (s) dla każdej zmiennej wybranej w etapie 3 procedury. Odchylenie standardowe z próby (s) oblicza się za pomocą wzoru (4.11) [198]:

$$s = \sqrt{s^2} \quad (4.11)$$

gdzie: s^2 – wariancja z próby.

Do określenia wskazanych wielkości można zastosować narzędzia programu STATISTICA 13.3. (w: statystyki podstawowe, statystyki opisowe) [64, 163].

Krok 6.5.2. Określenie przedziału ufności dla średniej i wnioskowanie o licznosci próby

Przedział ufności (CI, tj. confidence interval) to statystyka, która pozwala określić, gdzie z przyjętym prawdopodobieństwem jest prawdziwy wynik [16]. Przedział ufności określa się dla każdej zmiennej wybranej w etapie 3 procedury. Celem jest oszacowanie nieznanego parametru populacji z założonym prawdopodobieństwem, czyli poziomem ufności ($p=1-\alpha$). Przedział ufności określa się dla średniej co wynika z metody, którą modyfikowano w ramach obliczenia estymatora wartości średniej w populacji generalnej [29, 221]. W przypadku

nieznanej średniej z populacji oraz przy założeniu, że licznosc próby jest duża, czyli $n > 100$ [129, 198], przedział ufności można określić z uwzględnieniem odchylenia standardowego obliczonego z próby (4.12) [198]:

$$\bar{x} - \frac{\alpha u \times s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + \frac{\alpha u \times s}{\sqrt{n}} \quad (4.12)$$

gdzie: \bar{x} – średnia z próby, s – odchylenie standardowe, αu – wartość krytyczna normalnego rozkładu standaryzowanego (ustalona w etapie 3), n – licznosc próby.

Kolejno, weryfikuje się czy aktualna licznosc próby badawczej zapewnia osiągnięcie wymaganej dokładności wyników analizy (d) dla przyjętego poziomu ufności (tj. poziomu istotności α). W tym celu wartości dokładności wyników analizy (przyjęte dla poziomu jakości produktu i dla modyfikacji cechy produktu) przyrównywane są do wartości oszacowanych ze wzorów (4.13) oraz (4.14) [198]:

$$\text{jeżeli } d \geq \frac{\alpha u \times s}{\sqrt{n}} \text{ to aktualna licznosc próby zapewnia osiągnięcie} \quad (4.13)$$

wymaganej dokładności wyników dla przyjętego poziomu ufności;

$$\text{jeżeli } d < \frac{\alpha u \times s}{\sqrt{n}} \text{ to aktualna licznosc próby nie zapewnia osiągnięcia} \quad (4.14)$$

wymaganej dokładności wyników dla przyjętego poziomu ufności

gdzie: μ – wymagana rozpiętość przedziału ufności, d – dokładność wyników analizy (błąd szacunku), s – odchylenie standardowe.

Przypadek 1. Aktualna licznosc próby nie zapewnia osiągnięcia wymaganej dokładności wyników dla przyjętego poziomu ufności.

Jeżeli aktualna licznosc próby nie zapewnia osiągnięcia wymaganej dokładności wyników dla przyjętego poziomu ufności, to przyjmuje się, że rozpiętość przedziału ufności przedstawiana jest jako funkcja licznosci próby. Wówczas, przedział ufności i dokładność określana jest ze wzorów (4.15) oraz (4.16). Z kolei wymagana licznosc obserwacji w próbie n_0 , która pozwala osiągnąć przedział ufności nie większy od założonej rozpiętości $2d$ określana jest ze wzoru (4.17) [198]:

$$\bar{x} - d < \mu < \bar{x} + d \quad (4.15)$$

$$d = \alpha t \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4.16)$$

$$n_0 = \frac{\alpha^2 t^2 s^2}{d^2} \quad (4.17)$$

gdzie: μ – wymagana rozpiętość przedziału ufności, \bar{x} – średnia z próby, d – dokładność wyników analizy (błąd szacunku), t_{α} – wartość statystyki t o rozkładzie t -Studenta i $n-1$ stopniach swobody, s – odchylenie standardowe z próby, n – liczebność próby, n_0 – wymagana liczebność obserwacji w próbie.

Jeżeli wymagana liczebność próby n_0 jest większa od aktualnej liczebności próby (n), to możliwym jest wyznaczenie dodatkowej liczby obserwacji w próbie (4.18) [198]:

$$n_d = n_0 - n \quad (4.18)$$

gdzie: n_d – liczba dodatkowych obserwacji w próbie, n_0 – liczba wymaganych obserwacji w próbie, n – aktualna liczebność próby.

Po pozyskaniu wymaganej liczby obserwacji należy proces określania liczebności próby badawczej powtarzać, aż do uzyskania liczebności próby zapewniającej osiągnięcie wymaganej dokładności wyników dla przyjętego poziomu ufności. Następnie należy realizować kolejne etapy proponowanej procedury.

Przypadek 2. Aktualna liczebność próby zapewnia osiągnięcie wymaganej dokładności wyników dla przyjętego poziomu ufności.

Jeżeli wszystkie z wyznaczonych przedziałów ufności należą do wymaganej rozpiętości przedziału ufności to sprawdza się czy aktualna liczebność próby pozwoli osiągnąć założoną moc testu. W tym celu proponuje się zastosowanie narzędzi komputerowych, np. programu STATISTICA [64, 163].

Krok 6.5.3. Zweryfikowanie liczebności próby względem mocy testu

W ramach koncepcji określania liczebności próby (przyjęcie trzech zmiennych – zależnej i niezależnych) możliwe jest przeprowadzenie często praktykowanego w tym celu testu t -Studenta dla jednej średniej oraz testu t -Studenta dla dwóch średnich [129, 168]. Parametry uwzględniane w tych testach przedstawiono na rysunku 4.3. Miara wartości średniej w populacji (δ) odnosi się do błędu szacunku analizowanej wartości od wartości rzeczywistej. Oznacza to obliczenie o jaką wartość może różnić się wartość średnia od wartości rzeczywistej. Miara wartości średniej w populacji (δ) określona jest przez wzór (4.19) [163]:

$$\delta = \pm d\bar{x} \quad (4.19)$$

gdzie: δ – średnia w populacji, d – dokładność wyników analizy (błąd szacunku), \bar{x} – średnia z próby dla zmiennej.

Hipoteza 1*	Hipoteza 2*	Hipoteza 3*
Test t-Studenta (1 średnia)	Test t-Studenta (2 średnie)	
<i>zmienna:</i>	<i>zmienna:</i>	<i>zmienna:</i>
poziom jakości produktu	poziom jakości produktu & modyfikacja produktu	modyfikacja produktu & modyfikacja produktu
<i>Parametr:</i>	<i>Parametr:</i>	
Średnia w populacji zerowej (δ_0)	Średnia w populacji (δ) – dla każdej zmiennej	
Średnia w populacji (δ)	Poziom istotności (α)	
Poziom istotności (α)	Odchylenie standardowe (s) – dla każdej zmiennej	
Odchylenie standardowe (s)	Moc docelowa (μ)	
Moc docelowa (μ)	R_o (korelacja między zmiennymi)	
Hipoteza zerowa	Hipoteza zerowa	

*hipotezy statystyczne przyjęte w trzecim kroku procedury

Rysunek 4.3. Parametry niezbędne do zastosowania testów t-Studenta.

W kontekście wyznaczenia średniej w populacji zerowej (δ_0) oraz hipotezy zerowej, zgodnie z autorem artykułu [163] przyjmuje się hipotezy tj.: $H_0: \delta_0 = 0$ i $H_1: \delta_0 \neq 0$. Wówczas średnia w populacji zerowej ma wartość $\delta_0 = 0$. Natomiast za autorami pracy [163] przyjmuje się hipotezę zerową jako dwustronną ($H_0=H_1$). Decyzja o przyjęciu hipotezy zerowej dwustronnej jest równoznaczna z postawieniem hipotez tj.:

- dla testu t-Studenta dla jednej średniej: $H_0: \delta = \delta_0$ i $H_1: \delta \neq \delta_0$,
- dla testu t-Studenta dla dwóch średnich, próby zależne: $H_0: \delta_1 = \delta_2$ i $H_1: \delta_1 \neq \delta_2$.

gdzie: δ , δ_1 , δ_2 – średnia w populacji, δ_0 – średnia w populacji zerowej.

Wartość korelacji można określić za pomocą narzędzi programu STATISTICA 13.3 (w: statystyki podstawowe – macierze korelacji). Poziom istotności (α) oraz moc docelowa są równoznaczne z miarami ustalonymi na etapie 3 procedury. Z kolei wartość odchylenia standardowego (s) to wartość, którą obliczoną w kroku 6.5.1 procedury. Po ustaleniu wszystkich niezbędnych miar wartości należy wprowadzić wszystkie wielkości do narzędzi programu STATISTICA 13.3 (w: analiza mocy testu), zainicjować uruchomienie testu i wnioskować o wymaganej liczności próby.

W ramach procedury weryfikowanych jest kilka hipotez statystycznych, dlatego w rezultacie określa się wielkość liczności próby z uwzględnieniem osiągnięcia wymaganej mocy testu w ramach każdej z postawionych hipotez statystycznych.

Z tego względu, niezbędnym jest sprawdzenie, czy uwzględniając zapewnienie mocy testu statystycznego, aktualna liczność próby jest większa lub równa każdej z oszacowanej wielkości liczności próby.

W tym celu należy rozważyć następujące warunki:

Warunek 1. Jeżeli aktualna licznosc próby jest większa lub równa każdej z uzyskanych wielkości licznosci próby (4.20) to wnioskuje się, że aktualna licznosc próby pozwala osiągnąć założoną mocy testu w przypadku weryfikowanych hipotez statystycznych [198]:

$$n \geq n_0 \quad (4.20)$$

gdzie: n – aktualna licznosc próby, n_0 – wymagana licznosc próby.

Jednocześnie przyjmuje się, że licznosc ta jest wystarczającą do przewidywania poziomu jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów. Możliwe jest zakończenie procesu określania licznosci próby badawczej.

Warunek 2. Jeżeli aktualna licznosc próby jest mniejsza przynajmniej od jednej z uzyskanych wielkości licznosci próby to wnioskuje się, że aktualna licznosc próby nie pozwala osiągnąć założonej mocy testu w przypadku weryfikowanych hipotez. Wówczas wymagana licznosc próby (n_0) to maksymalna licznosc próby (n_{max}) spośród wszystkich analizowanych wartości licznosci próby (4.21):

$$n_0 = n_{max}, \text{ gdzie } n_{max} \in \{n, n_1, n_2, \dots, n_n\} \quad (4.21)$$

gdzie: n_0 – wymagana licznosc próby, n_{max} – maksymalna licznosc próby spośród wszystkich określonych licznosci próby, n – aktualna licznosc próby.

Założenie, że wymagana licznoscą próby jest maksymalna licznosc próby spośród wszystkich analizowanych potwierdza fakt, że wraz ze wzrostem licznosci próby wzrasta moc testu [163]. Po pozyskaniu wyznaczonej licznosci próby, procedurę określania licznosci próby należy powtórzyć rozpoczynając od etapu 3. W przypadku potwierdzenia, że osiągnięto wymagana licznosc próby badawczej możliwe jest zakończenie procesu określania oczekiwanej licznosci klientów do przewidywania jakości produktu.

Etap 7. Przygotowanie danych do weryfikacji

W ramach usystematyzowanej analizy należy przygotować dane do weryfikacji. W tym celu, wszystkie cechy produktu należy opisać przez oceny klientów dotyczące aktualnego stanu cechy produktu. Dodatkowo, cechy należące do grupy cech ważnych należy opisać przez oceny klientów dotyczące stanów modyfikowanych tych cech. Wynika to z potrzeby obliczenia poziomów jakości produktu zależnych od kombinacji stanów cech produktu (aktualnych i zmodyfikowanych).

Zbiór stanów cech produktu do obliczenia poziomu jakości dla danej kombinacji określany jest na podstawie grup cech produktu, jak określa wzór (4.22):

$$S_{c_i}^j = \{y_{i,\dots,n} \in G_N, m_{i,\dots,n}^j \in G_I\} \quad (4.22)$$

gdzie: y – cecha określona przez stan aktualny, m – cecha określona przez stan wynikający z kombinacji stanów cech, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, $j = 1, 2, 3, \dots, n$, G_I – grupa cech ważnych (w), G_N – grupa cech produktu średnio ważnych (s) i mało ważnych (m).

W celu określenia kombinacji stanów cech, należy przyporządkować wszystkim stanom cech produktu liczbę porządkową w kolejności ciągłej. Dla cech z grupy średnio i mało ważnych należy przypisać liczbę porządkową tylko do stanu aktualnego. Podczas przypisywania liczb porządkowych do stanów cech ważnych należy zweryfikować liczbę stanów określonych dla tych cech na etapie czwartym modelu. Wynika to z możliwości przypisania różnej liczby stanów do cech produktu.

Etap 8. Określenie kombinacji stanów cech produktu

Etap określenia kombinacji stanów cech produktu dotyczy 8 założenia modelu, w którym przyjęto, że kombinacje ocen jakości stanów cech produktu określane zostaną z uwzględnieniem ważności cech. Jednocześnie uwzględnione zostaną oceny stopnia spełnienia cech produktu wyrażone w stanie aktualnym i zmodyfikowanym. Uznano, że w ten sposób oszacowane zostaną możliwe poziomy jakości produktu. Dodatkowo, na tym etapie zrealizowano 4 zadanie badawcze, które dotyczyło zintegrowania wag cech produktu z ocenami stopnia spełnienia tych cech produktu. Do określenia możliwych kombinacji stanów cech produktu opracowano algorytm w programie MATLAB 2022a (rysunek 4.4).

<code>N = [u_i u_i u_i]</code>	% zainicjowanie wszystkich stanów cech produktu
<code>M = nchoosek(1:n, k)</code>	% określenie wszystkich kombinacji
<code>I_j = [u_{ii} u_{ii} u_{ii}]</code>	% określenie niemożliwych kombinacji
<code>II_j = ismember(M, I_j)</code>	% usunięcie niemożliwych kombinacji z macierzy M
<code>S_j = sum(II_j, 2)</code>	
<code>F_j = find(any(S_j > 1, 2))</code>	
<code>M(F_j, :) = []</code>	

gdzie: u – liczba porządkowa dla stanu aktualnego i modyfikowanego cech, n – liczba zainicjowanych stanów cech produktu, k – liczba cech dla których zainicjowano stany cech, $i=1, 2, 3, \dots, n$, $ii = 1, 2, 3, \dots, k$, $j = 1, 2, 3, \dots, n$.

Rysunek 4.4. Zestaw komend do określenia kombinacji stanów ważnych cech produktu mający zastosowanie w programie MATLAB 2022a.

Niemożliwe kombinacje to kombinacje stanów cech uwzględniające jednocześnie dla tej samej cechy stan aktualny i modyfikowany. Po ich usunięciu, otrzymana macierz M jest macierzą możliwych do osiągnięcia kombinacji stanów ważnych cech produktu. Kolejno, możliwe jest przewidzenie poziomów jakości produktu wynikających z określonych kombinacji stanów cech produktu, jak przedstawia kolejny etap modelu.

Etap 9. Przewidzenie poziomu jakości produktu

Etap ten obejmuje przewidzenie wszystkich możliwych poziomów jakości produktu wynikających z kombinacji stanów cech produktu. Odnosi się to do piątego zadania badawczego. W zadaniu tym przyjęto, że przewidywanie jakości produktu realizowane będzie na podstawie jakości produktu oszacowanej według kombinacji stanów jego cech (aktualnych i zmodyfikowanych) oraz z uwzględnieniem ważności cech produktu. W tym celu następuje obliczenie poziomu jakości produktu i kolejno jego sklasyfikowanie według przewidywanej satysfakcji klientów. Według 9 założenia modelu przyjęto, że poziom jakości produktu określany będzie na podstawie kombinacji jakości stanów cech produktu, gdzie spełnialność oczekiwań klienta jest w przedziale od 0 do 1 [7, 88, 92, 174, 205].

Poziomy jakości produktu obliczane są zgodnie z metodą MAP, którą zmodyfikowano w celu obliczenia poziomów jakości produktu wynikających z kombinacji stanów jego cech. Początkowo, należy przyjąć wyniki uzyskane na etapie określania wymaganej liczności klientów.

Dotyczy to wyników uzyskanych z realizacji kroków procedury określania wymaganej liczności klientów (próby badawczej), tj.:

- grupowanie cech produktu,
- obliczenie wskaźnika aktualnego poziomu jakości,
- określenie poziomu spełnialności oczekiwań klienta przez cechę produktu.

Kolejno, wyznaczana jest liczność cech produktu niespełniających oczekiwań klientów. Liczność określa się dla każdej obserwacji (tj. dla ocen przyznanych przez poszczególnych klientów) według poziomu spełnialności oczekiwań klienta przez cechę produktu (oceny równej $q_s = 3$). Liczność należy określić w grupach cech produktu (ważnych, średnio ważnych i mało ważnych) zgodnie z kombinacjami stanów cech. Dlatego każdą ocenę cechy produktu należącą do danej kombinacji porównuje się z oceną równą 3 (4.23) oraz (4.24):

$$\begin{aligned}
 & \text{jeżeli } Q_i^j \geq 3 \text{ to cecha produktu spełnia oczekiwania klienta} \\
 & \text{gdzie cechy produktu } \in (m_w^j \text{ lub } m_s^j \text{ lub } m_m^j)
 \end{aligned}
 \tag{4.23}$$

$$\text{jeżeli } Q_i^j < 3 \text{ to cecha produktu nie spełnia oczekiwań klienta} \quad (4.24)$$

$$\text{gdzie cechy produktu } \in (m_w^j \text{ lub } m_s^j \text{ lub } m_m^j)$$

gdzie: Q – ocena i -tego klienta dla j -tej kombinacji, m_w – liczność ważnych cech produktu, których produkt nie spełnia, m_s – liczność średnio ważnych cech produktu, których produkt nie spełnia, m_m – liczność mało ważnych cech produktu, których produkt nie spełnia, j – kombinacja stanów cech produktu, i – ocena stanu cechy, $i = 1, 2, 3, \dots, n, j = 1, 2, 3, \dots, n$.

Następnie, obliczany jest wskaźnik rzeczywistego poziomu jakości produktu (Q_i), czyli wskaźnik uwzględniający cechy niespełniające oczekiwań klienta [92, 178]. Wskaźnik ten obliczany jest dla każdej obserwacji (tj. dla ocen przyznanych przez poszczególnych klientów) zgodnie z określonymi kombinacjami stanów cech, jak przedstawia wzór (4.25):

$$Q_i^j = 50(n_w^j - m_w^j) + 10(n_s^j - m_s^j) + (n_m^j - m_m^j) \quad (4.25)$$

gdzie: n_w – liczba cech produktu w grupie cech ważnych, n_s – liczba cech produktu w grupie cech średnio ważnych, n_m – liczba cech produktu w grupie cech mało ważnych, m_w – liczność ważnych cech produktu, których produkt nie spełnia, m_s – liczność średnio ważnych cech produktu, których produkt nie spełnia, m_m – liczność mało ważnych cech produktu, których produkt nie spełnia, 50; 10; 1 – stałe wagi cech przyjęte w metodzie MAP, j – kombinacja stanów cech produktu, i – ocena stanu cechy, $i = 1, 2, 3, \dots, n, j = 1, 2, 3, \dots, n$.

Następnie, obliczany jest wskaźnik porównywalnego poziomu jakości produktu (q_i^j). Wskaźnik ten obliczany jest jako iloraz wskaźnika rzeczywistego poziomu jakości produktu (Q_i^j) oraz wskaźnika aktualnego poziomu jakości produktu (Q_o) (4.26) [92, 178]:

$$q_i^j = \frac{Q_i^j}{Q_o} \quad (4.26)$$

gdzie: Q_i^j – wskaźnik rzeczywistego poziom jakości produktu, Q_o – wskaźnik aktualnego poziomu cech produktu, j – kombinacja stanów cech produktu, i – ocena stanu cechy, $i = 1, 2, 3, \dots, n, j = 1, 2, 3, \dots, n$.

Wskaźnik porównywalny poziomu jakości produktu oblicza się dla każdej obserwacji (tj. dla ocen przyznanych przez poszczególnych klientów) i dla każdej kombinacji stanów cech. Wartości wskaźnika q_i^j powinny być w przedziale $0 \leq q_i^j \leq 1$ [92, 178]. W innym przypadku

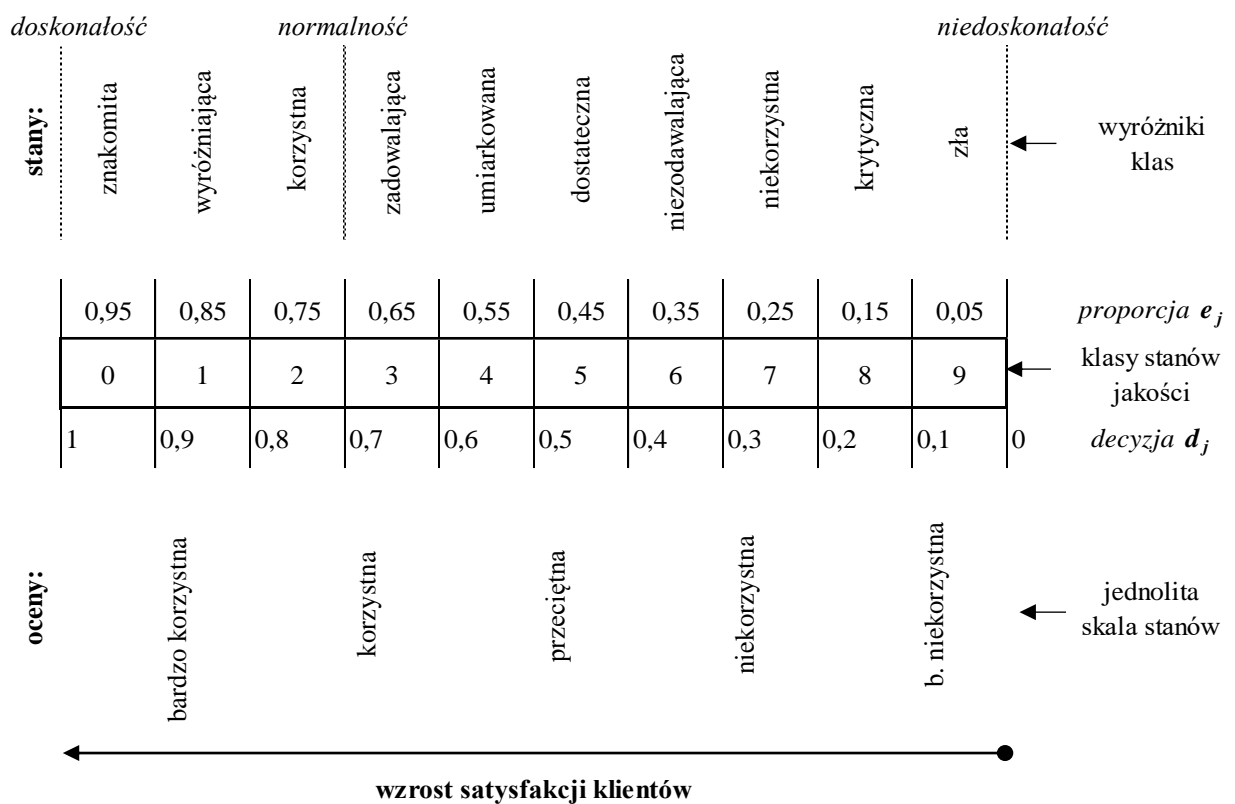
należy powtórzyć proces określania poziomu jakości produktu, aż do uzyskania poprawności obliczeń.

Następnie, dla każdej kombinacji stanów cech produktu obliczana jest wartość średnia ze wskaźników porównywalnych poziomu jakości produktu (4.27):

$$\bar{q}_i^j = \frac{q_i^j}{n_i} \quad (4.27)$$

gdzie: q_i^j – wskaźnik porównywalny poziomu jakości produktu, j – kombinacja stanów cech produktu, i – ocena stanu cechy, n – liczba ocen stanów cech (liczba klientów), $i = 1, 2, 3, \dots, n$, $j = 1, 2, 3, \dots, n$.

Średnia wartość wskaźnika porównywalnego poziomu jakości produktu (\bar{q}_i^j) to wartość poziomu jakości produktu wynikającego z kombinacji stanów jego cech. Na jego podstawie określana jest spełnialność satysfakcji klientów. W tym celu do każdego poziomu jakości produktu (tj. uśrednionego wskaźnika porównywalnego poziomu jakości), przypisuje się poziom spełnialności według skali stanów względnych (rysunek 4.5).



Rysunek 4.5. Interpretacja poziomu spełnialności jakości produktu.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [92].

Kolejno, możliwe jest sklasyfikowanie poziomów jakości według satysfakcji klientów (tj. spełnialności jakości produktu). Wykorzystuje się do tego Naiwny Klasyfikator Bayesa.

Sieć Bayesowska to graficzny model przedstawiający warunkową niezależność pomiędzy zmiennymi losowymi, tj. ukierunkowany graf acykliczny (DAG – directed acyclic graph). W sieci Bayesa możliwe jest przybliżenie łącznego rozkładu prawdopodobieństwa. Wynika to z możliwości rozłożenia rozkładu na iloczyn prawdopodobieństwa warunkowego dla każdej zmiennej. Jeżeli $V = \{X_0, X_1, \dots, X_n\}$ jest zbiorem zmiennych dyskretnych, gdzie $X_i = (i = 0, \dots, n)$ to może przyjmować wartości ze zbioru $\{1, \dots, r_i\}$. Dlatego, $X_i = k$, gdzie X_i ma stan k , połączony rozkład prawdopodobieństwa określony jest przez wzór (4.28) [194, 138, 240]:

$$P(X_0, X_1, \dots, X_n | G) = \prod_{i=0}^n P(X_i | P_{a_i}^G, G) \quad (4.28)$$

gdzie: $P_{a_i}^G$ – zbiór zmiennych X_i w G . Dla struktury G stosowany jest $P_{a_i}^G$ jako oznaczenie rodziców. Z kolei θ_{ijk} to warunkowy parametr prawdopodobieństwa $X_i = k$ gdy j -ta instancja rodziców x_i oraz $\theta_{ij} = U_{k=1}^{r_i} \{\theta_{ijk}\}$, $\theta = U_{i=0}^n U_{j=1}^{q^{P_{a_i}^G}} \{\theta_{ij}\}$, gdzie $q^{P_{a_i}^G} = \prod_{v: X_v \in P_{a_i}^G} r_v$. Sieć Bayesa jest parą $B = (G, \theta)$.

W tym ujęciu, struktura NKB przedstawia warunkowe twierdzenia o niezależności w rozkładzie prawdopodobieństwa przez d-separacje. Początkowo określany jest *collider* i jego d-separacja. Według tego, tzw. *path* jest sekwencją pobliskich zmiennych, gdzie *collider* określany jest według następujących definicji [23, 194]:

Definicja 1. Przyjmując, że istnieje struktura $G = (V, E)$, zmienna $Z \in V$ na *path* ρ jest wtedy i tylko wtedy, gdy istnieją dwie różne krawędzie przychodzące do Z od niesąsiadujących zmiennych.

Definicja 2. Przyjmując, że istnieje struktura $G = (V, E)$, $X, Y \in V$, oraz $Z \subseteq V \setminus \{X, Y\}$, dwie zmienne X i Y są d-separowalne, dając Z w G , wtedy i tylko wtedy gdy ρ jest pomiędzy X i Y oraz spełnia jeden z dwóch warunków, tj.: Z zawiera *non-collider* na ρ ; lub *collider* jest Z na ρ gdzie Z nie zawiera Z i jego potomków.

Według [138, 194] d-separacja pomiędzy X i Y jest określona w Z strukturze jako $D_{sepG}(X, Y | Z)$. Dwie zmienne są d-separowalne. Dlatego, jeżeli istnieją $x, Y, Z \in V$, oraz X i Y nie są sąsiadujące ze sobą, to występują trzy typy połączeń d-separacji: połączenie szeregowe

$(x \rightarrow Z \rightarrow Y)$, połączenie dywergencyjne $(X \leftarrow Z \leftarrow Y)$, połączenie konwergencji $(x \rightarrow Z \leftarrow Y)$. Połączenia te są prawdziwe, jeżeli zachodzą następujące twierdzenia:

Twierdzenie 1. Przyjmując, że istnieje struktura $G = (V, E)$, $X, Y \in V$, oraz $Z \subseteq V \setminus \{X, Y\}$, gdy istnieje połączenie zbieżne $(x \rightarrow Z \leftarrow Y)$, wtedy: $\forall Z \subseteq V \setminus \{X, Y, Z\}, \neg D_{sep_G}(X, Y | Z, Z)$ lub $\exists Z \subseteq V \setminus \{X, Y, Z\}, D_{sep_G}(X, Y | Z)$.

Jeżeli G ma połączenie szeregowo $(X \rightarrow Z \rightarrow Y)$ lub dywergencyjne $(X \leftarrow Z \leftarrow Y)$, występują dwie negacje dla wskazanych twierdzeń.

Następuje także zrównoważenie tych twierdzeń z teorią Markowa, jeżeli występują jednakowe d-separacje, tj. [23, 119, 138, 194]:

Definicja 3. Niech $G_1 = (V, E_1)$ oraz $G_2 = (V, E_2)$ będą dwoma DAGs, wtedy G_1 oraz G_2 są nazywane odpowiednikami Markowa, jeżeli (4.29):

$$\forall X, Y \in V, \forall Z \subseteq V \setminus \{X, Y\}, D_{sep_{G_1}}(X, Y | Z) \Leftrightarrow D_{sep_{G_2}}(X, Y | Z) \quad (4.29)$$

Za autorami [138, 194] przyjęto następujące twierdzenie dla równoważności Markowa:

Twierdzenie 2. Dwa DAGs są równoważne względem Markowa gdy mają takie samo połączenie (bez uwzględnienia kierunku) oraz mają takie samo połączenie zbieżności.

Według $I_{P^*}(X, Y | Z)$ gdzie X i Y są warunkowo niezależne i uwzględnione w Z jako prawdziwy połączony rozkład prawdopodobieństwa P^* . Wtedy struktura Naive Bayesa (G) jest niezależną mapą (I-map'a), gdy wszystkie d-separacje należące do G są związane z warunkowymi niezależnościami w P^* , tj. [119, 194]:

Definicja 4. Przyjmując prawdziwy łączny rozkład prawdopodobieństwa P^* zmiennych losowych należących do zbioru V i struktury $G = (V, E)$, wtedy G jest I-mapą jeżeli spełnione jest równanie (4.30):

$$\forall X, Y \in V, \forall Z \subseteq V \setminus \{X, Y\}, D_{sep_{G_1}}(X, Y | Z) \Leftrightarrow D_{sep_{G_2}}(X, Y | Z) \quad (4.30)$$

Wówczas rozkłady prawdopodobieństwa występujące w I-mapie łączą się w P^* dla próbki wystarczająco dużej.

Dlatego, uczenie naiwnego klasyfikatora Bayesa realizowane dla $D = \{x^1, \dots, x^d, \dots, x^N\}$ jest zbiorem danych składających się z N iteracji, gdzie każda z nich (x^d) jest wektorem $(x_0^d, x_1^d, \dots, x_n^d)$. Zestaw zmiennych $Z \subseteq V$ określany jest jako n_j^Z gdzie liczba próbek $Z=j$ należy do zbioru D i jest definiowana jako N_{ijk}^Z dla liczby próbek równej $x_i = k$. Wtedy $Z = j$ jest w D . Również określona jest tabela połączenia częstotliwości $JFT(Z)$ oraz warunkowa tabela częstotliwości $CFT(X_i, Z)$, gdzie lista N_j^Z dla $j=1, \dots, q^Z$ oraz N_{ijk}^Z dla $i=0, \dots, n; j = 1,$

..., q^Z , oraz $k=1, \dots, r_i$ [183]. Prawdopodobieństwo (B) w naiwnym klasyfikatorze Bayesa dla D jest określone przez wzór (4.31) [194, 240]:

$$P(D|B) = \prod_{d=1}^N P(x_0^d, x_1^d, \dots, x_n^d|B) = \prod_{i=0}^n \prod_{j=1}^{q^{Pa_i}} \prod_{k=1}^{r_i} \theta_{ijk}^{N_{ijk}^{Pa_i}} \quad (4.31)$$

gdzie: $P(x_0^d, x_1^d, \dots, x_n^d|B)$ reprezentuje $P(X_0 = x_0^d, X_1 = x_1^d, \dots, X_n = x_n^d|B)$.

Estymator o największej wiarygodności (θ_{ijk}) określany jest jako (4.32) [23,194]:

$$\hat{\theta}_{ijk} = \frac{N_{ijk}^{Pa_i}}{N_j^{Pa_i}} \quad (4.32)$$

Najpopularniejszym parametrem NKB jest oczekiwany *a posteriori* (EAP) z równania (4.33), który jest oczekiwanym (θ_{ijk}) dla gęstości $p(\theta_{ij}|D, G)$ z równania (4.34), gdzie przyjmuje się *a priori* gęstość $p(\theta_{ij}|G)$ z równania (4.35) [119,138, 194, 240]:

$$\hat{\theta}_{ijk} = E(\theta_{ijk}|D, G) = \int \theta_{ijk} p(\theta_{ij}|D, G) d\theta_{ij} = \frac{N'_{ijk} + N_{ijk}^{Pa_i}}{N'_{ij} + N_j^{Pa_i}} \quad (4.33)$$

$$p(\theta_{ij}|D, G) = \frac{\Gamma(\sum_{k=1}^{r_i} (N'_{ijk} + N_{ijk}^{Pa_i}))}{\prod_{k=1}^{r_i} \Gamma(N'_{ijk} + N_{ijk}^{Pa_i})} \prod_{k=1}^{r_i} \theta_{ijk}^{N'_{ijk} + N_{ijk}^{Pa_i} - 1} \quad (4.34)$$

$$p(\theta_{ij}|G) = \frac{\Gamma(\sum_{k=1}^{r_i} N'_{ijk})}{\prod_{k=1}^{r_i} \Gamma(N'_{ijk})} \prod_{k=1}^{r_i} \theta_{ijk}^{N'_{ijk} - 1} \quad (4.35)$$

gdzie: N'_{ijk} – hiperparametry dla rozkładów z $N'_{ij} = \sum_{k=1}^{r_i} N'_{ijk}$

Według określonych danych tworzona jest struktura Bayes'a. Z kolei do uczenia I-mapy dla minimalnej liczby parametrów, należy maksymalizować wyniki, tj. [194]:

Definicja 5. Dla struktur $G_1 = (V, E_1)$ oraz $G_2 = (V, E_2)$ kryterium punktacji ma asymptotyczny wymiar, jeżeli wielkość próbki jest wystarczająco duża oraz jeżeli: G_1 jest I-mapą oraz G_2 nie jest I-mapą, wtedy $Score(G_1) > Score(G_2)$; jeżeli mapami są G_1 oraz G_2 , oraz jeśli G_1 zawiera mniej parametrów niż G_2 , wtedy $Score(G_1) > Score(G_2)$.

Z tego względu, punktacja ma asymptotyczną konsystencję. Jeżeli przyjmuje się gęstość z równania (4.35), wówczas (4.36) [23,194]:

$$P(D|G) = \prod_{i=0}^n \prod_{j=1}^{q^{Pa_i}} \frac{\Gamma(N'_{ij})}{\Gamma(N'_{ij} + N_j^{Pa_i})} \prod_{k=1}^{r_i} \frac{\Gamma(N'_{ijk} + N_{ijk}^{Pa_i})}{\Gamma(N'_{ijk})}, \quad (4.36)$$

Dlatego, klasyfikacja NKB dotyczy zmiennej klasy X_0 oraz zmiennej funkcji X_1, \dots, X_n dla których tworzona jest klasa c przez maksymalizację prawdopodobieństwo *a priori* X_0 jak we wzorze (4.37) [23, 119, 138, 194, 240]:

$$\begin{aligned} \hat{c} &= \arg \max_{c \in \{1, \dots, r_0\}} P(c | x_1, \dots, x_n, B) \\ &= \arg \max_{c \in \{1, \dots, r_0\}} \prod_{i=0}^n \prod_{j=1}^{q^{P_{a_i}}} \prod_{k=1}^{r_i} (\theta_{ijk})^{1_{ijk}} \\ &= \arg \max_{c \in \{1, \dots, r_0\}} \prod_{j=1}^{q^{P_{a_0}}} \prod_{k=1}^{r_0} (\theta_{0jk})^{1_{0jk}} \times \prod_{i: X_i \in C} \prod_{j=1}^{q^{P_{a_0}}} \prod_{k=1}^{r_i} (\theta_{ijk})^{1_{ijk}} \end{aligned} \quad (4.37)$$

gdzie: $1_{ijk} = 1$ jeżeli $X_i = k$ oraz $P_{a_i} = j$, gdzie dla x i $1_{ijk} = 0$ w innym przypadku, C – zbiór elementów zmiennej klasy x_0 .

Uszczegółowiony opis Naiwnego Klasyfikatora Bayesa przedstawiono np. w pracy [194]. Narzędzie to jest dostępne w oprogramowaniu STATISTICA 13.3. W przypadku jego zastosowania należy przyjąć wartość poziomu jakości jako predyktor ilościowy, natomiast poziom spełnialności satysfakcji klienta jako zmienną zależną. Jak przyjęto w pracach [206, 176], klasyfikacja realizowana jest przy podziale danych na próbę uczącą i testową w sposób losowy, gdzie licznosc próby uczącej wynosi 75%, natomiast jądro jest równe 1000.

Po sklasyfikowaniu poziomów jakości produktu według satysfakcji klientów możliwym jest określenie kierunku doskonalenia produktu. Oznacza to wybór jednej grupy poziomów jakości produktu, spośród której wybrany zostanie oczekiwany poziom jakości produktu. Wyboru dokonuje się według wartości *a priori* określonych spełnialności satysfakcji klientów oraz na podstawie aktualnego poziomu jakości produktu. Z tego względu należy wybrać grupę poziomów jakości produktu, która będzie charakteryzowała się większą spełnialnością satysfakcji klientów. Jednocześnie, grupa poziomów jakości produktu powinna mieć stosunkowo dużą wartość *a priori* według NKB. Wówczas taka grupa poziomów jakości produktu będzie oczekiwaną przez większość klientów, a jednocześnie będzie obejmowała takie kombinacje stanów cech produktu, które zapewnią wzrost poziomu jakości produktu. Spośród wybranej grupy poziomów jakości produktu należy dokonać wyboru jednego poziomu jakości, gdzie wybór ten dokonywany jest przez podmiot stosujący model (np. ekspert, broker, oferent). Oznacza to wybór poziomu jakości produktu, który będzie zawierał najkorzystniejsze dla podmiotu kombinacje stanów cech produktu. Mogą to być kombinacje najmniej kosztowne lub możliwe do osiągnięcia w stosunkowo krótkim czasie. Takie postępowanie wspomaga

w ukierunkowaniu produkcji produktów, a tym samym w określeniu kierunku ich rozwoju i doskonalenia.

Etap 10. Doskonalenie produktu

Etap ostatni modelu wynika z idei zastosowania proponowanego modelu w ramach wsparcia producentów w rozwoju produktów zgodnie z ideą ciągłego doskonalenia. Doskonalenie produktu realizowane jest na podstawie wyników uzyskanych na etapie dziewiątym modelu, czyli w oparciu o poziom jakości produktu obejmujący najkorzystniejsze kombinacje stanów cech produktu. Na jego podstawie producent powinien podejmować działania przygotowawcze i kolejno modyfikować stany cech produktu. Udoskonalony w ten sposób produkt będzie jednocześnie satysfakcjonujący dla klientów i konkurencyjny na rynku.

5. Weryfikacja opracowanego modelu

W kolejnych rozdziałach dysertacji przedstawiono wyniki weryfikacji opracowanego modelu predykcji jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów. Weryfikacji modelu dokonano zgodnie z przyjętymi fazami i etapami modelu przedstawionymi na rysunku 4.1. Z tego względu, następne rozdziały pracy odnoszą się do pięciu faz modelu i dziesięciu etapów głównych modelu.

5.1. Zainicjowanie

Pierwsza faza modelu to zainicjowanie. W tej fazie weryfikacji poddane zostały dwa pierwsze etapy modelu, tj.: wybór produktu do badań i określenie celu badań.

Etap 1. Wybór produktu do badań

Na etapie pierwszym modelu dokonano wyboru produktu do badań. Wyboru dokonano w ramach analizy produktów zarejestrowanych przez Główny Urząd Statystyczny (GUS). Źródłem danych były Roczniki Statystyczne Przemysłu oraz zestawienia produkcji wyrobów przemysłowych, np. [151, 150, 159, 160]. Zgodnie z założeniem 1 modelu, produkt do badań powinien być produktem nowym lub powszechnie wykorzystywanym (minimum 10000 sprzedanych sztuk rocznie) [203, 215, 227], średnio złożonym, materialnym, fizycznym i przemysłowym. Założenie to według GUS pozwoliło określić kategorie, w których przedmiot badań powinien być: przemysłowy, materialny, fizyczny, będący urządzeniem/maszyną, średnio złożony i powszechnie używany. Rodzaj produktów ze względu na przyjęte kategorie i ich liczebność określono w tabeli 5.1.

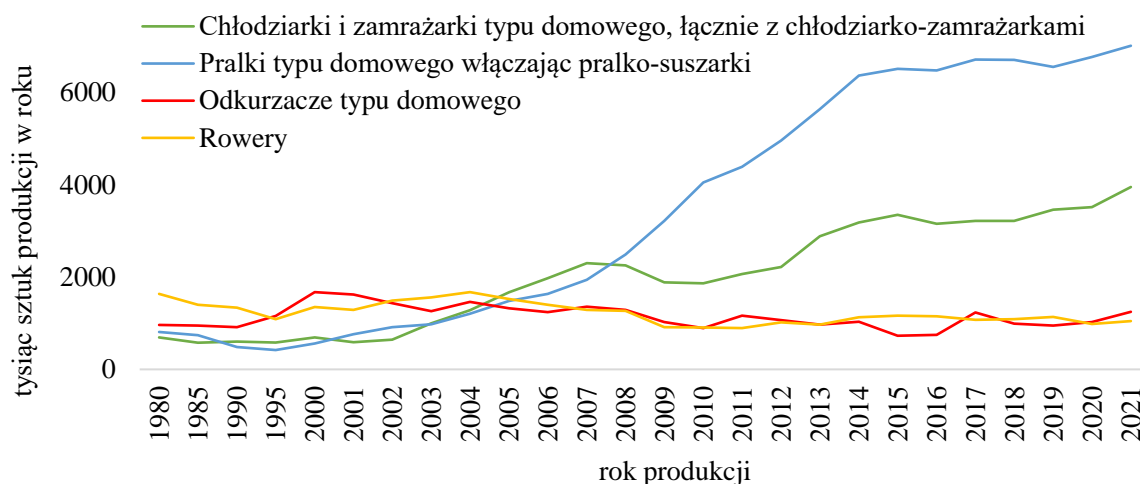
Tabela 5.1. Rodzaj i liczebność produktu według analizy danych z GUS.

Lp.	Rodzaj produktu	Liczebność
1.	Produkt przemysłowy	41
2.	Produkt materialny	
3.	Produkt finalny	
4.	Produkt będący urządzeniem/maszyną	14
5.	Produkt średnio złożony	9
6.	Produkt powszechnie używany	4

Zródło: opracowanie własne na podstawie [150, 151, 159, 160].

Według GUS produktami spełniającymi przyjęte założenia były: chłodziarki i zamrażarki typu domowego, pralki typu domowego włączając w to pralko-suszarki, odkurzacze typu domowego i rowery.

Wyniki analizy danych GUS obejmujące produkty spełniające przyjęte założenia, jak i liczbę w tysiącach sztuk produkcji tych produktów w roku przedstawia rysunek 5.1.



Rysunek 5.1. Liczba wyprodukowanych wybranych produktów w roku.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [150, 151, 159, 160].

Ostatecznie wybrano odkurzacz do użytku domowego, który stał się produktem do weryfikacji opracowanego modelu. Był to odkurzacz PROFI 1.2, przedsiębiorstwa MasterProfi Sp. z o. o. Przykład odkurzacza poddanego badaniom przedstawia rysunek 5.2.



Rysunek 5.2. Wizualizacja odkurzacza PROFI 1.2, i jego akcesoriów.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [125].

Wybór odkurzacza PROFI 1.2, uwarunkowany był jego powszechnością, dostępnością i stosunkowo krótkim okresem produkcji. Dodatkowo, na wybór tego rodzaju odkurzacza miały

wpływ indywidualne potrzeby przedsiębiorstwa. Przykładowo, wynikały one z rozmów z klientami i liczby sprzedanych sztuk odkurzacza PROFi 1.2., tj. około 40 000 z 200 000 sztuk odkurzaczy w okresie od 2014 do lutego 2020 roku. Dotychczasowe działania doskonalące ten produkt obejmowały jedynie zmianę różnego rodzaju tworzyw odpornych na uderzenia oraz zmianę kolorystyki (wyglądu). Szczegółowe informacje charakteryzujące odkurzaczy PROFi 1.2. przedstawia literatura przedmiotu [125].

Etap 2. Określenie celu badań

Na etapie drugim modelu określono cel badań. Celem badań było przewidzenie jakości odkurzacza PROFi 1.2. oczekiwanego przez klientów. Dotyczy to przewidzenia jego jakości z uwzględnieniem ważności jego cech i według kombinacji stanów aktualnych i zmodyfikowanych tych cech.

5.2. Działania przygotowawcze

Druga faza modelu to działania przygotowawcze. W tej fazie weryfikacji poddane zostały etapy modelu, tj.: (3) wybór cech produktu, (4) określenie stanów cech produktu, oraz (5) pozyskanie oczekiwań klientów.

Etap 3. Wybór cech produktu

Na etapie trzecim modelu wybrano cechy produktu. Cechy odkurzacza PROFi 1.2. wybrano w ramach burzy mózgów (BM) oraz na podstawie katalogu (specyfikacji). Odkurzaczy PROFi 1.2. to produkt średnio złożony, który w katalogu scharakteryzowany był przez 20 cech głównych (podstawowych) i jednocześnie mierzalnych (ilościowych, technicznych). Dlatego, wszystkie z tych cech wybrano do weryfikacji. Dodatkowo, po przeprowadzonym przeglądzie literatury przedmiotu [203, 216] określono dwie dodatkowe cechy niemierzalne (jakościowe), tj. wygląd i cena zakupu. Mimo to, ostatecznie pominięto te dwie cechy w przewidywaniu jakości odkurzacza. Uznano, że ewentualne modyfikacje wyglądu odkurzacza będą mogły wynikać z przewidywanej modyfikacji jego aktualnych cech mierzalnych (ilościowych), które poddano analizie. Natomiast cechę ceny zakupu odkurzacza wykluczono, ze względu na brak zasadności jej uwzględnienia w określeniu poziomu jakości odkurzacza. W rezultacie przyjęto do analizy 20 cechy odkurzacza PROFi 1.2., tj.:

- moc silnika odkurzacza,
- podciśnienie w rurze ssącej,
- długość przewodu zasilającego,
- system zwijania przewodu zasilającego,

- zasięg pracy odkurzacza podpiętego do przewodu zasilającego,
- wymiary odkurzacza,
- waga odkurzacza,
- pojemność zbiornika odkurzacza,
- poziom hałasu podczas pracy odkurzacza,
- rodzaj filtra pyłu odkurzacza,
- typ worka odkurzacza,
- średnica przewodu ssącego (rury ssącej),
- długość przewodu ssącego (rury ssącej),
- możliwość sterowania podciśnieniem odkurzacza w uchwycie roboczym,
- ochronniki gumowe chroniące meble przed obijaniem,
- rodzaj tworzywa kół jezdnych odkurzacza,
- typ włączania/wyłączania odkurzacza,
- zabezpieczenie termiczne (przed przegrzaniem),
- gniazdo na elektroszczotkę,
- liczba akcesoriów w zestawie z odkurzaczem (rury ssące i ssawki).

W kolejnym etapie modelu określone zostały dla tych cech stany aktualne i ich możliwe modyfikacje.

Etap 4. Określenie stanów cech produktu

Na etapie czwartym modelu, określono stany cech dla odkurzacza PROFİ 1.2. Określono stany aktualne i stany możliwe do zmodyfikowania w przyszłości. Stany określono podczas burzy mózgów dla 20 cech odkurzacza, które wybrano na etapie trzecim modelu. Dlatego też, zgodnie z katalogiem (specyfikacją) odkurzacza PROFİ 1.2. wszystkie cechy określono przez stan aktualny, który był wartością liczbową lub opisem cechy. Kolejno, na podstawie stanu aktualnego cech określono stany zmodyfikowane. Do każdej cechy odkurzacza PROFİ 1.2. określono przynajmniej jeden stan zmodyfikowany, jednak nie więcej niż dwa stany zmodyfikowane. Spełniono tym samym założenie modelu, w którym przyjęto, aby sumaryczna liczba stanów aktualnego i modyfikowanego dla jednej cechy odkurzacza wynosiła maksymalnie 7 ± 2 stanów. Jeżeli stan aktualny cech odkurzacza był wartością liczbową, to przyjęto dla tej cechy dwa stany zmodyfikowane będące zakresem liczbowym obustronnie otwartym większym lub mniejszym od wartości stanu aktualnego cechy. Natomiast, gdy stan aktualny cechy odkurzacza był opisem, to przyjęto dla tej cechy jeden lub dwa stany zmodyfikowane będące możliwościami zmiany aktualnego stanu tej cechy.

Określone stany cech odkurzacza PROFİ 1.2. (stan aktualny i przynajmniej dwa stany zmodyfikowane) przedstawia tabela 5.2.

Tabela 5.2. Stany cech odkurzacza PROFİ 1.2.

Lp.	Cecha odkurzacza	Stan cechy odkurzacza PROFİ 1.2.		
		modyfikowana 1	aktualna	modyfikowana 2
1.	Moc silnika odkurzacza	poniżej 900 W	900 W	powyżej 900 W
2.	Podciśnienie w rurze ssącej	poniżej 27000 Pa	27000 Pa	powyżej 27000 Pa
3.	Długość przewodu zasilającego	poniżej 15 m	15 m	powyżej 15 m
4.	System zwijania przewodu zasilającego	automatyczny	ręczny	-
5.	Zasięg pracy odkurzacza podpiętego do przewodu zasilającego	poniżej 19 m	19 m	powyżej 19 m
6.	Wymiary odkurzacza	mniejszy niż 35x42x32 cm	35x42x32 cm	większy niż 35x42x32 cm
7.	Waga odkurzacza	mniejsza niż 7,7 kg	7,7 kg	większa niż 7,7 kg
8.	Pojemność zbiornika odkurzacza	poniżej 10 l	10 l	powyżej 10 l
9.	Poziom hałasu podczas pracy odkurzacza	poniżej 67 dB	67 dB	powyżej 67 dB
10.	Rodzaj filtra pyłu odkurzacza	podstawowy (worek)	Hepa	anty alergiczny
11.	Typ worka odkurzacza	wielorazowy	papierowy lub polipropyle nowy	odkurzac bezworkowy
12.	Średnica przewodu ssącego (rury ssącej)	mniejsza niż Ø36	Ø36	większa niż Ø36
13.	Długość przewodu ssącego (rury ssącej)	mniej niż 2,8 m	2,8 m	więcej niż 2,8 m
14.	Możliwość sterowania podciśnieniem odkurzacza w uchwycie roboczym	nie	tak	-
15.	Ochronniki gumowe chroniące meble przed obijaniem	nie	tak	-
16.	Rodzaj tworzywa kół jezdnych odkurzacza	zwykle, rysujące podłoże	gumowe, nierysujące podłoże	-
17.	Typ włączania/wyłączania odkurzacza	przycisk przesuwny	przycisk na wcisk	przycisk-pokrętło
18.	Zabezpieczenie termiczne (przed przegrzaniem)	brak zabezpieczenia	automatyczne wyłączenie	-

19.	Gniazdo na elektroszczotkę	jest gniazdo na elektroszczotkę	jest opcja zamontowania	brak gniazda na elektroszczotkę
20.	Liczba akcesoriów w zestawie z odkurzaczem (rury ssące i ssawki)	mniej niż 6 sztuk	6 sztuk	więcej niż 6 sztuk

Spośród 20 weryfikowanych cech, dla 15 cech określono trzy stany (aktualny i dwa zmodyfikowane). Dla pozostałych 5 cech odkurzacza określono dwa stany (aktualny i zmodyfikowany).

Etap 5. Pozyskanie oczekiwań klientów

Etap piąty modelu obejmował pozyskania oczekiwań klientów wobec odkurzacza PROFi 1.2. Oczekiwania pozyskano w ramach badań ankietowych, które powstały zgodnie z opracowaną procedurą pozyskiwania oczekiwań klientów. Celem ankiety była ocena ważności i stopnia spełnienia wybranych cech odkurzacza PROFi 1.2. W ankiecie uwzględniono metryczkę składającą się z czterech pytań obejmujących płeć, wiek, czas użytkowania odkurzacza i powierzchnię podlegającą odkurzaniu. Pierwsza część ankiety dotyczyła oceny ważności cech odkurzacza. W tej części uwzględniono wszystkie cechy odkurzacza, które wybrano na etapie trzecim modelu. Druga część ankiety obejmowała ocenę stopnia spełnienia cech odkurzacza (tj. stanów aktualnych i możliwych do zmodyfikowania w przyszłości), które określono na etapie czwartym modelu. Zgodnie z założeniem procedury pozyskiwania oczekiwań klientów, ocena ważności i stopnia spełnienia wybranych cech odkurzacza PROFi 1.2. dokonywana była w skali Likerta. Oceny ważności cech odkurzacza oznaczały odpowiednio: 1 – nieistotna, 2 – istotna, 3 – ważna, 4 – bardzo ważna, 5 – absolutnie niezbędna. Natomiast oceny stopnia spełnienia wybranych cech odkurzacza oznaczały odpowiednio: 1 – w znikomym stopniu spełnia wymagania, 2 – słabo spełnia wymagania, 3 – spełnia wymagania, 4 – zadowalająco spełnia wymagania, 5 – absolutnie spełnia wymagania. Trzecia część ankiety dotyczyła oceny wyglądu odkurzacza PROFi 1.2. oraz zawierała pytania ogólne obejmujące rodzaj tego typu produktów, np. ocena dostosowywania odkurzacza do wymagań klientów, innowacyjność odkurzaczy aktualnie dostępnych na rynku i ich żywotność (czas eksploatacji). Wszystkie pytania w ankiecie były pytaniami zamkniętymi jednokrotnego wyboru, przy czym przeprowadzenie ankiety nie zajmowało więcej niż 30 minut. Opracowaną ankietę doskonalono po badaniach wstępnych przeprowadzonych z uwzględnieniem głosu klienta, które zrealizowano w marcu 2020 roku wśród 25 klientów. Ostatecznie przyjętą formę

ankiety w ramach realizowanych badań przedstawia załącznik 4 oraz literatura przedmiotu [152].

Za pośrednictwem opracowanej ankiety badawczej pozyskiwano oczekiwania klientów w okresie od kwietnia 2020 roku do kwietnia 2022 roku. Otrzymano próbkę liczącą 240 klientów. Spośród otrzymanych odpowiedzi klientów zidentyfikowano sześć braków danych. Ze względu na stosunkowo niewielką liczbę braków danych (poniżej 10%) uznano, że korzystnym jest usunięcie tych wybrakowanych obserwacji [153]. W rezultacie uzyskano oczekiwania od 234 klientów, które następnie poddano weryfikacji metodą określania wymaganej liczności próby badawczej.

5.3. Przetwarzanie i precyzowanie

Trzecia faza modelu to przetwarzanie i precyzowanie. Faza ta obejmuje etapy modelu, tj.: (6) określenie wymaganej liczności klientów, (7) przygotowanie danych do weryfikacji, oraz (8) określenie kombinacji stanów cech produktu. Zgodnie z tymi etapami dokonano dalszej weryfikacji modelu.

Etap 6. Określenie wymaganej liczności klientów

Etap 6.1. Określenie celu

W ramach etapu pierwszego określono cel. Przyjęto, że celem było oszacowanie liczności próby badawczej zapewniającej przewidywanie poziomu jakości odkurzacza PROFI 1.2. z uwzględnieniem oczekiwań klientów. Oznaczało to określenie liczności próby z uwzględnieniem oczekiwań 234 klientów wobec aktualnego i modyfikowanego poziomu jakości, jak i weryfikację trzech hipotez statystycznych dla trzech relacji zmiennych przy jednoczesnym zapewnieniu mocy testu równej $\mu \geq 0,8$.

Etap 6.2. Ustalenie wartości miar statystycznych

Na etapie drugim metody ustalono wartości miar statystycznych. Poziom istotności (α) (dotyczący prawdopodobieństwa popełnienia błędu I rodzaju), przyjęto za autorami prac [26, 129, 163, 198] na poziomie $\alpha = 0,05$. Dlatego też, przyjmując poziom istotności $\alpha = 0,05$ możliwe było określenie na podstawie tablic statystycznych poziomu (współczynnika) ufności, który wyniósł $p = \alpha - 1 = 0,95$ [190, 191, 198]. Następnie, na podstawie dobranego poziomu istotności przyjęto wartość krytyczną u dla normalnego rozkładu standaryzowanego spełniając warunek $P\{-u < u\} = 1 - \alpha$. Wartość ta wyniosła $u_{0,05} = 1,960$ [190, 191, 198]. Z kolei wykorzystując tablice statystyczne zawierające wartości krytyczne $t(\alpha, n)$ w rozkładzie t-Studenta określono wartość statystyki t o rozkładzie t-Studenta i liczbie stopni swobody,

gdzie liczbę stopni swobody oszacowano na podstawie wzoru $n - 1$, gdzie n – liczność próby. Wartość ta wyniosła $t_{0,05} = 1,960$ [190, 191, 198]. Następnie dobrano dokładność wyników analizy (tzw. błąd szacunku), który wynikał z założenia o dokładności wartości poziomu jakości produktu oraz wartości ocen dotyczących satysfakcji z modyfikacji cech produktu. Poziom jakości produktu określany był metodą MAP (której wyniki mieszczą się w przedziale od 0 do 1). Z tego względu dokładność dla poziomu jakości produktu przyjęto jako $d_{pj} = 0,05$ [185]. Z kolei, dokładność dla wartości ocen satysfakcji z modyfikacji cech produktu ustalono jako $d_{oc} = 0,5$ [185]. Wynikało to z rozpiętości ocen skali Likerta, którą zastosowano do pozyskania wspomnianych ocen satysfakcji z modyfikacji cech produktu [84]. Kolejną z miar statystycznych było prawdopodobieństwo popełnienia błędu II rodzaju (β) oraz moc testu statystycznego ($\mu = 1 - \beta$). Zgodnie z autorami prac [64, 129, 163] mocy testu statystycznego przyjęto na poziomie $\mu \geq 0,8$ co uwarunkowało prawdopodobieństwo popełnienia błędu II rodzaju na poziomie $\beta \leq 0,2$ [163].

Ustalone na tym etapie badawczym wielkości miar statystycznych zestawiono w tabeli 5.3.

Tabela 5.3. Ustalone wartości miar statystycznych.

Symbol	Miara statystyczna	Wartość
α	poziom istotności (prawdopodobieństwo popełnienia błędu I rodzaju)	0,05
$\alpha - 1$	poziom (współczynnik) ufności	0,95
u_{α}	wartość krytyczna normalnego rozkładu standaryzowanego spełniająca warunek: $P\{-u_{\alpha} < u_{\alpha}\} = 1 - \alpha$	1,960
t_{α}	wartość statystyki t o rozkładzie t-Studenta i n-1 stopniach swobody	1,960
d_{pj}	dokładność (błąd szacunku) dla poziomu jakości produktu	0,05
d_{oc}	dokładność (błąd szacunku) dla ocen cech produktu	0,5
β	prawdopodobieństwo popełnienia błędu II rodzaju	$\leq 0,2$
$\mu = 1 - \beta$	moc testu statystycznego	$\geq 0,8$

Na podstawie określonych wielkości miar statystycznych dokonano realizacji dalszych etapów procedury określania wymaganej liczności klientów.

Etap 6.3. Ustalenie hipotez statystycznych i dobór zmiennych

Przyjęto trzy hipotezy statystyczne i dobrano zmienne do ich zweryfikowania. Zmienną zależną był poziom jakości odkurzacza. Zmiennymi niezależnymi były dwie dowolnie wybrane modyfikacje cechy odkurzacza, tj.: moc silnika poniżej 900 W oraz moc silnika odkurzacza

powyżej 900 W. Przyjęte hipotezy statystyczne i relacje dla dobranych zmiennych przedstawia tabela 5.4.

Tabela 5.4. Przyjęte hipotezy statystyczne i relacje dobranych zmiennych.

Lp.		Hipotezy statystyczne	Zmienne
1	H ₀	Nie ma różnicy w poziomie jakości odkurzacza, gdy odkurzacz ten jest modyfikowany	poziom jakości odkurzacza & moc silnika odkurzacza poniżej 900W
	H ₁	Istnieje różnica w poziomie jakości odkurzacza, gdy odkurzacz ten jest modyfikowany	
2	H ₀	Nie ma różnicy w ocenie modyfikacji cech odkurzacza	moc silnika odkurzacza poniżej 900W & moc silnika odkurzacza powyżej 900W
	H ₁	Istnieje różnica w ocenie modyfikacji cech odkurzacza	
3	H ₀	Nie ma różnicy w aktualnej i wymaganej liczności obserwacji do zapewnienia z przyjętą dokładnością poziomu jakości odkurzacza i mocy testu	poziom jakości odkurzacza
	H ₁	Istnieje w aktualnej i wymaganej liczności obserwacji do zapewnienia z przyjętą dokładnością poziomu jakości odkurzacza i mocy testu	

Na podstawie określonych hipotez statystycznych i dobranych zmiennych zrealizowano kolejne etapy procedury.

Etap 6.4. Obliczenie poziomu jakości produktu

Krok 6.4.1. Grupowanie cech produktu

Wszystkie 20 cech odkurzacza PROFI 1.2. wybrane na etapie trzecim modelu zostały pogrupowane według ocen ich ważności. Oceny te pozyskano w ramach badań ankietowych w skali Likerta. Według przyjętych założeń, cechy odkurzacza pogrupowano na trzy grupy, tj. cechy ważne (w), średnio ważne (s) i mało ważne (m). Wykorzystując wzór (4.1) obliczono dla każdej analizowanej cechy odkurzacza wartość średnią arytmetyczną z wszystkich ocen przyznanych przez klientów dla danej cechy. Kolejno, określono maksymalną (\bar{x}_{max}) i minimalną (\bar{x}_{min}) wartość średniej z wszystkich uzyskanych wartości, gdzie $\bar{x}_{max} = 3,71$ oraz $\bar{x}_{min} = 2,30$. Wykorzystując wzór (4.2) obliczono iloraz różnicy wartości maksymalnej i minimalnej (5.1). Kolejno, według wzorów (4.3) oraz (4.4) wyznaczono rozpiętość zakresu przynależności cech do grup cech (ważnych, średnio ważnych i mało ważnych) oraz wyznaczono zakresy przynależności cech do tych grup (5.2-5.7):

$$z = \frac{3,71 - 2,30}{3} = 0,47 \quad (5.1)$$

$$z_{wi} = 3,71 - 0,47 = 3,24 \quad (5.2)$$

$$z_{s_i} = 3,24 - 0,47 = 2,77 \quad (5.3)$$

$$z_{m_i} = 2,77 - 0,47 = 2,30 \quad (5.4)$$

$$z_w \in < 3,71; 3,24 > \quad (5.5)$$

$$z_s \in (3,24; 2,77 > \quad (5.6)$$

$$z_m \in (2,77; 2,30 > \quad (5.7)$$

gdzie: z_w – zakres przynależności cech do grup ważnych, z_s – zakres przynależności cech do grup średnio ważnych, z_m – zakres przynależności cech do grup mało ważnych.

Na podstawie wyznaczonych zakresów przynależności pogrupowano wszystkie 20 cech odkurzacza (tabela 5.5).

Tabela 5.5. Cechy odkurzacza pogrupowane według ważności.

Lp.	Cecha odkurzacza	Waga cechy	
1	Podciśnienie w rurze ssącej	3,71	w
2	Moc silnika odkurzacza	3,69	w
3	Długość przewodu zasilającego	3,67	w
4	Zasięg pracy odkurzacza podpiętego do przewodu zasilającego	3,66	w
5	Poziom hałasu podczas pracy odkurzacza	3,30	w
6	System zwijania przewodu zasilającego	3,27	w
7	Pojemność zbiornika odkurzacza	3,21	ś
8	Zabezpieczenie termiczne (przed przegrzaniem)	3,13	ś
9	Rodzaj filtra pyłu odkurzacza	3,03	ś
10	Ochronniki gumowe chroniące meble przed obijaniem	3,02	ś
11	Liczba akcesoriów w zestawie z odkurzaczem (rury ssące i ssawki)	3,00	ś
12	Długość przewodu ssącego (rury ssącej)	2,87	ś
13	Typ worka odkurzacza	2,75	m
14	Waga odkurzacza	2,72	m
15	Możliwość sterowania podciśnieniem w uchwycie roboczym	2,69	m
16	Wymiary odkurzacza	2,68	m
17	Rodzaj tworzywa kół jezdnych odkurzacza	2,57	m
18	Gniazdo na elektroszczotkę	2,48	m
19	Typ włączania/wyłączania odkurzacza	2,38	m
20	Średnica przewodu ssącego (rury ssącej)	2,30	m

Liczność cech odkurzacza w grupach cech ważnych, średnio ważnych i mało ważnych przedstawia tabela 5.6.

Tabela 5.6. Liczność cech produktu w grupach cech produktu.

Oznaczenie cech produktu i wag cech produktu			Liczność cech w grupach
symbol	opis	waga	liczba
n_w	liczba cech produktu w grupie cech ważnych	50	6
n_s	liczba cech produktu w grupie cech średnio ważnych	10	6
n_m	liczba cech produktu w grupie cech mało ważnych	1	8

Oszacowano, że liczba cech produktu w grupie cech ważnych oraz w grupie cech średnio ważnych jest równoważna i wynosi sześć różnych cech. Natomiast, w grupie cech mało ważnych uwzględnionych zostało osiem cech odkurzacza.

Krok 6.4.2. Obliczenie wskaźnika aktualnego poziomu jakości produktu

Obliczając wskaźnik aktualnego poziomu jakości odkurzacza wykorzystano wzór (4.5). Uwzględniono wagi cech odkurzacza i licznosc tych cech w grupach cech ważnych, średnio ważnych i mało ważnych, jak przedstawia wzór (5.8):

$$Q_o = 50 \times 6 + 10 \times 6 + 1 \times 8 = 368 \quad (5.8)$$

Wskaźnik aktualnego poziomu jakości produktu wyniósł $Q_o = 368$.

Krok 6.4.3. Określenie poziomu spełnialności oczekiwań klienta przez cechę produktu

Poziom spełnialności wymagań klienta (q_s) określono na poziomie oceny równiej 3. Wynikało to ze skali Likerta, którą dobrano w ankiecie do pozyskania oczekiwań klienta. Wartość oceny równej 3 oznaczała, że cecha odkurzacza spełnia wymagania klientów.

Krok 6.4.4. Wyznaczenie licznosci cech produktu niespełniających oczekiwań klienta

Liczność cech produktu niespełniających oczekiwań klienta określono dla każdej obserwacji (tj. oddzielnie dla ocen przyznanych przez 234 klientów). Oceny te pozyskano podczas badań ankietowych, w których klienci oceniali stopień spełnienia aktualnych cech odkurzacza PROFi 1.2. Na ich podstawie zweryfikowano licznosc cech odkurzacza, które nie spełniały oczekiwań klienta według podziału tych cech na grupy ważne, średnio ważne i mało ważne. Zastosowano do tego wzór (4.6). Fragment przeprowadzonych obliczeń przedstawia tabela 5.7.

Krok 6.4.5. Obliczenie wskaźnika rzeczywistego poziomu jakości produktu

Wykorzystując wzór (4.7) obliczono wskaźnik rzeczywistego poziomu jakości (Q_i) odkurzacza PROFi 1.2. Wskaźnik ten obliczono dla każdej obserwacji, tj. z uwzględnieniem licznosci aktualnych cech odkurzacza niespełniających wymagań poszczególnych klientów

biorących udział w badaniu ankietowym. Z tego względu, obliczono 234 wskaźniki rzeczywistego poziomu jakości odkurzacza. Fragment obliczeń przedstawia tabela 5.7.

Krok 6.4.6. Obliczenie wskaźnika porównywalnego poziomu jakości

Według wzoru (4.8) obliczono wskaźnik poziomu jakości (q_i) odkurzacza PROFi 1.2. Fragment uzyskanych wyników obliczeń przedstawia tabela 5.7.

Tabela 5.7. Fragment obliczeń wskaźnika rzeczywistego i porównywalnego poziomu jakości produktu.

Numer obserwacji	Liczność cech ważnych niespełniających wymagań klienta	Liczność cech średnio ważnych niespełniających wymagań klienta	Liczność cech mało ważnych niespełniających wymagań klienta	Wskaźnik rzeczywisty	Wskaźnik porównywalny
	m_w	m_s	m_m	Q_i	q_i
1	1	0	2	316	0,86
2	2	0	0	268	0,73
3	1	0	0	318	0,86
4	1	1	1	307	0,83
5	1	3	3	285	0,77
6	0	0	0	368	1,00
7	0	1	1	357	0,97
8	0	0	0	368	1,00
9	1	0	1	317	0,86
10	1	2	4	294	0,80
11	1	0	0	318	0,86
12	3	4	7	171	0,46
13	6	5	8	10	0,03
14	5	6	8	50	0,14
15	6	6	8	0	0,00
16	4	3	5	133	0,36
...					
234	1	0	1	317	0,86

Wskaźnik porównywalnego poziomu jakości produktu (q_i) dla każdej obserwacji zawierał się w przedziale $<0; 1>$ [92, 178]. Dlatego uznano poprawność wyników. W proponowanym podejściu wartości wskaźnika q_i określają aktualny poziom jakości odkurzacza PROFi 1.2. Z tego względu, na podstawie wskaźnika q_i określono wymaganą licznosc próby badawczej.

Etap 6.5. Oszacowanie licznosci próby badawczej

Oszacowano wymaganą licznosc próby badawczej do przewidywania poziomu jakości odkurzacza PROFi 1.2. z uwzględnieniem wymagań klientów. W tym celu uwzględniony został oszacowany poziom jakości odkurzacza (tj. wskaźnik q_i) oraz oceny stopnia spełnienia

modyfikacji cech odkurzacza pozyskane od 234 klientów podczas badań ankietowych. Etap ten zrealizowano w trzech krokach.

Krok 6.5.1. Określenie wielkości miar tendencji centralnej i rozrzutu

Wybrane wielkości miar tendencji centralnej i rozrzutu określono dla każdej przyjętej zmiennej. Jak uznano na etapie trzecim procedury zmiennymi tymi były: poziom jakości odkurzacza (zmienna zależna) oraz dwie modyfikacje cech odkurzacza – moc silnika odkurzacza poniżej 900W i moc silnika odkurzacza powyżej 900 W (zmiennie niezależne). Według wzorów (4.9-4.11) określono wielkości tj.: średnia próby (\bar{x}), wariancja próby (s^2) oraz odchylenie standardowe (s). Rezultat przedstawia tabela 5.8.

Tabela 5.8. Wartości miar tendencji centralnej i rozrzutu dla analizowanych zmiennych.

Zmienna/miara	liczność próby (n)	średnia próby (\bar{x})	wariancja próby (s^2)	odchylenie standardowe (s)
poziom jakości odkurzacza	234	0,81	0,05	0,21
moc silnika odkurzacza poniżej 900W	234	2,32	0,74	0,86
moc silnika odkurzacza powyżej 900W	234	4,13	0,91	0,95

Według wielkości miar statystycznych określono rozpiętość przedziału ufności dla każdej z trzech analizowanych zmiennych. Zrealizowano to w kolejnym kroku procedury.

Krok 6.5.2. Określenie przedziału ufności dla średniej i wnioskowanie o licznosci próby

Przedział ufności określono dla każdej analizowanej zmiennej. Zgodnie z przyjętymi założeniami, określono przedziały ufności z uwzględnieniem średniej z próby i odchylenia standardowego. Wykorzystano do tego wzór (4.12). Wyniki obliczeń przedstawiają równania (5.9-5.11):

poziom jakości odkurzacza:

$$\left. \begin{aligned} 0,81 - \frac{1,960 \times 0,21}{\sqrt{234}} < \mu < 0,81 + \frac{1,960 \times 0,21}{\sqrt{234}} \\ 0,81 - 0,03 < \mu < 0,81 + 0,03 \\ 0,78 < \mu < 0,84 \end{aligned} \right\} \quad (5.9)$$

moc silnika odkurzacza poniżej 900 W:

$$\left. \begin{aligned} 2,32 - \frac{1,960 \times 0,86}{\sqrt{234}} < \mu < 2,32 + \frac{1,960 \times 0,86}{\sqrt{234}} \\ 2,32 - 0,11 < \mu < 2,32 + 0,11 \\ 2,21 < \mu < 2,42 \end{aligned} \right\} \quad (5.10)$$

moc silnika odkurzacza powyżej 900 W:

$$\left. \begin{aligned} 4,13 - \frac{1,960 \times 0,95}{\sqrt{234}} < \mu < 4,13 + \frac{1,960 \times 0,95}{\sqrt{234}} \\ 4,13 - 0,12 < \mu < 4,13 + 0,12 \\ 4,01 < \mu < 4,25 \end{aligned} \right\} \quad (5.11)$$

Następnie, przeanalizowano czy aktualna liczność próby badawczej zapewnia osiągnięcie wymaganej dokładności wyników dla przyjętego poziomu ufności. W tym celu stosując wzory (4.13) oraz (4.14) obliczono dla każdej zmiennej wymaganą rozpiętość przedziału ufności (5.12-5.14):

poziom jakości produktu:

$$d_{pj} = 0,05 > 0,03 \quad (5.12)$$

moc silnika odkurzacza poniżej 900 W:

$$d_{oc} = 0,5 > 0,11 \quad (5.13)$$

moc silnika odkurzacza powyżej 900 W:

$$d_{oc} = 0,5 > 0,12 \quad (5.14)$$

Wynioskowano, że aktualna liczność próby (n=234 klientów) zapewnia osiągnięcie wymaganej dokładności wyników dla przyjętego poziomu ufności. Z tego względu, kolejno przeanalizowano czy aktualna liczność próby pozwoli osiągnąć założoną moc testu statystycznego. Zrealizowano to w następnym kroku procedury.

Krok 6.5.3. Zweryfikowanie liczności próby względem mocy testu

W ramach zweryfikowania liczności próby względem mocy testu zastosowano narzędzia programu STATISTICA 13.3. oraz test t-Studenta (dla jednej średniej oraz dla dwóch średnich). Wyniki przedstawia tabela 5.9 oraz tabela 5.10.

Tabela 5.9. Test t-Studenta dla jednej średniej do określenia liczności próby.

Parametr	Poziom jakości odkurzacza
Średnia hipotezy zerowej (δ_0)	0,00
Średnia w populacji (δ)	0,04
Odchylenie standardowe w populacji (σ)	0,21
Efekt standaryzowany (E_s)	0,19
Prawdopodobieństwo błędu I rodzaju (α)	0,05
Moc docelowa	0,80
Moc dla wymaganej liczności próby	0,80
Wymagana liczność próby (n_0)	219,00

Tabela 5.10. Test t-Studenta dla dwóch średnich do określenia liczności próby.

Parametr	poziom jakości odkurzacza oraz moc silnika odkurzacza poniżej 900W	moc silnika odkurzacza poniżej 900W oraz moc silnika odkurzacza powyżej 900W
Średnia w populacji (δ_1)	0,04	2,07
Średnia w populacji (δ_2)	1,16	1,16
Odchylenie standardowe w populacji (σ_1)	0,21	0,95
Odchylenie standardowe w populacji (σ_2)	0,86	0,86
Korelacja między grupami	0,30	-0,08
Błąd standardowy dla różnicy średnich	0,82	1,33
Efekt standaryzowany (Es)	-1,36	0,68
Prawdopodobieństwo błędu I rodzaju (α)	0,05	0,05
Wartość krytyczna t	2,45	2,10
Moc docelowa	0,80	0,80
Moc dla wymaganej liczności próby (n)	0,85	0,80
Wymagana liczność próby (n)	7,00	19,00

W rezultacie uzyskano trzy różne wartości wymaganej liczności próby (tj. $n_1=219$, $n_2=7$, $n_3=19$). Stosując wzory (4.20) oraz (4.21) wykazano, że aktualna liczność próby ($n=234$) jest większa od wszystkich oszacowanych wielkości liczności próby (5.15):

$$n = 234 > \{219, 7, 19\}, \text{ dlatego } n_0 = n = 234 \quad (5.15)$$

gdzie: n – aktualna liczność próby, n_0 – wymagana liczność próby.

Minimalna liczność próby powinna być równa 219 klientów. Dlatego wywnioskowano, że aktualna liczność próby równa 234 klientów pozwala osiągnąć założoną mocy testu w przypadku weryfikowanych hipotez statystycznych. Jednocześnie uznano, że próbka badawcza równa 234 klientów jest wystarczającą do przewidywania poziomu jakości odkurzacza PROFİ 1.2.

Etap 7. Przygotowanie danych do weryfikacji

Zgodnie ze wzorem (4.22) do wszystkich 20 cech odkurzacza PROFİ 1.2. przyporządkowano oceny klientów pozyskane za pośrednictwem badań ankietowych. Były to oceny dotyczące stopnia spełnienia aktualnych stanów tych cech. Z kolei do cech ważnych przyporządkowano dodatkowo oceny stopnia spełnienia zmodyfikowanych stanów cech odkurzacza. W celu określenia kombinacji stanów cech oznaczono przez liczbę porządkową uwzględniane stany aktualne i zmodyfikowane cech.

Opracowane zestawienie danych do wyznaczania możliwych kombinacji stanów cech odkurzacza PROFI 1.2. przedstawia tabela 5.11.

Tabela 5.11. Zestawienie danych do wyznaczenia możliwych kombinacji stanów cech odkurzacza PROFI 1.2.

Cecha produktu		Liczba porządkowa stanu cechy produktu [u]		
		Stan modyfikowany 1	Stan aktualny	Stan modyfikowany 2
Cechy ważne (w)	Podciśnienie w rurze ssącej	1	2	3
	Moc silnika odkurzacza	4	5	6
	Długość przewodu zasilającego	7	8	9
	Zasięg pracy odkurzacza podpiętego do przewodu zasilającego	10	11	12
	Poziom hałas podczas pracy odkurzacza	13	14	15
	System zwijania przewodu zasilającego	16	17	-
Cechy średnio ważne (ś)	Pojemność zbiornika odkurzacza	-	18	-
	Zabezpieczenie termiczne (przed przegrzaniem)	-	19	-
	Rodzaj filtra pyłu odkurzacza	-	20	-
	Ochronniki gumowe chroniące meble przed obijaniem	-	21	-
	Liczba akcesoriów w zestawie z odkurzaczem (rury ssące i ssawki)	-	22	-
	Długość przewodu ssącego (rury ssącej)	-	23	-
Cechy mało ważne (m)	Typ worka odkurzacza	-	24	-
	Waga odkurzacza	-	25	-
	Możliwość sterowania podciśnieniem w uchwycie roboczym	-	26	-
	Wymiary odkurzacza	-	27	-
	Rodzaj tworzywa kół jezdnych odkurzacza	-	28	-
	Gniazdo na elektroszczotkę	-	29	-
	Typ włączania/wyłączania odkurzacza	-	30	-
	Średnica przewodu ssącego (rury ssącej)	-	31	-

W rezultacie przyporządkowano 31 liczb porządkowych dla cech ważnych, średnio i mało ważnych odkurzacza. Przepisane liczby wykorzystano do określenia kombinacji stanów cech.

Etap 8. Określenie kombinacji stanów cech produktu

Określono kombinacje stanów cech odkurzacza PROFİ 1.2. na podstawie których obliczona zostanie jego jakość. W tym celu zastosowano opracowany algorytm w programie MATLAB 2022a (Załącznik 1 oraz Załącznik 2). Po zastosowaniu algorytmu określono 468 kombinacji stanów cech odkurzacza, których fragment przedstawia rysunek 5.3.

kolejne pozycje dla kombinacji modyfikowanych cech wyrobu

<i>wiersze (kombinacje) modyfikowanych cech wyrobu</i>	1	4	7	10	13	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	10	13	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	10	14	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	10	14	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	10	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	10	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	11	13	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	11	13	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	11	14	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	11	14	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	11	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	11	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	12	13	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	12	13	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	12	14	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	12	14	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	12	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	7	12	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	4	8	10	13	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

Rysunek 5.3. Fragment kombinacji stanów cech odkurzacza PROFİ 1.2.

Wszystkie utworzone kombinacje stanów ważnych cech odkurzacza PROFİ 1.2. przedstawiono w załączniku 3.

5.4. Przewidywanie

Czwarta faza modelu do przewidywanie. W tej fazie modelu weryfikacji poddano etap dziewiąty modelu, tj.: (9) przewidywanie poziomu jakości produktu.

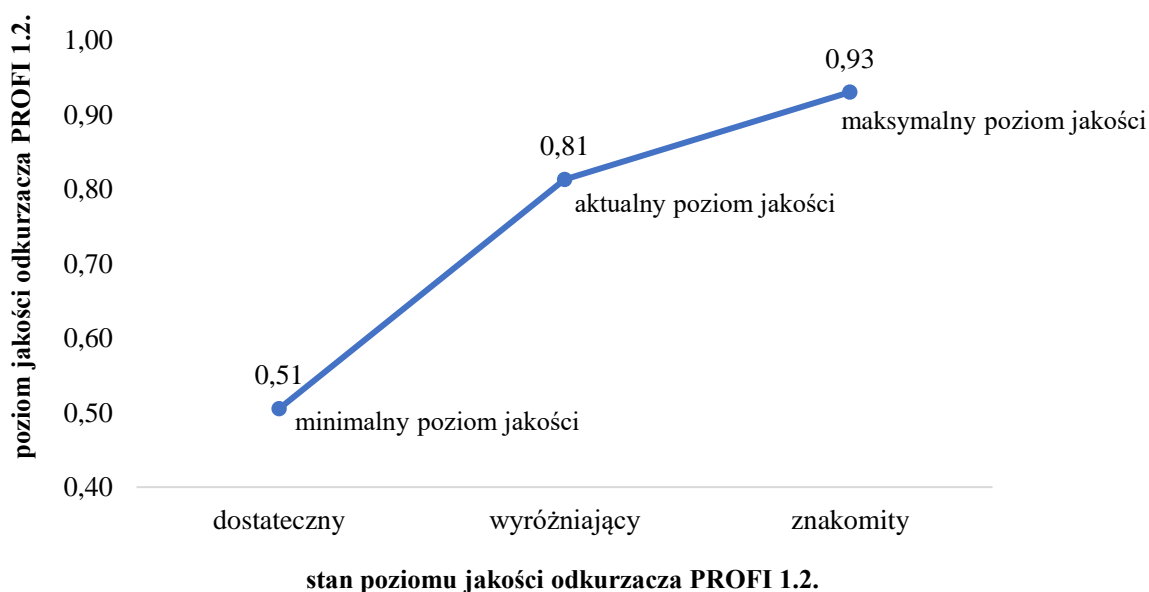
Etap 9. Przewidzenie poziomu jakości produktu

Do obliczenia poziomów jakości odkurzacza PROFİ 1.2. zastosowano zmodyfikowaną metodę MAP. Obliczono 468 poziomów jakości odkurzacza, które wynikały z kombinacji stanów jego cech. Powstały one z kombinacji 6 cech ważnych, gdzie 5 z nich było opisanych przez stan aktualny i dwa stany zmodyfikowane, z kolei jedna cecha opisana była przez stan

aktualny i jeden stan zmodyfikowany. Natomiast pozostałe cechy mniej ważne dla klienta (tj. 14 cech odkurzacza) opisanych zostało w kombinacjach uwzględniających jedynie stan aktualny. Początkowo, przyjęto wyniki uzyskane na etapie określania wymaganej liczności klientów, tj.:

- grupy cech odkurzacza były tożsame jak na wcześniejszych etapach modelu, tj. ważne (w), średnio ważne (ś) i mało ważne (m),
- wskaźnik aktualny poziomu jakości odkurzacza przyjęto $Q_o = 368$ (wzór 5.8),
- poziom spełnialności oczekiwań klienta przez cechę odkurzacza określony został przez wartość oceny równej 3 (oznaczającej, że cecha odkurzacza spełnia wymagania klienta według procedury pozyskiwania oczekiwań klientów).

Kolejno, według wzorów (4.23) oraz (4.24) wyznaczono licznosc cech produktu niespełniających oczekiwań klienta. Licznosc określono zgodnie z kombinacjami stanów cech w grupach cech ważnych, średnio ważnych i mało ważnych. Następnie, według wzorów (4.25) oraz (4.26) dla każdej kombinacji stanów cech obliczono wskaźnik rzeczywistego poziomu jakości odkurzacza (Q_i^j) i wskaźnik porównywalnego poziomu jakości odkurzacza (q_i^j). Uznano poprawność przeprowadzonych obliczeń, ponieważ wartości obliczonych wskaźników q_i^j znajdowały się w przedziale $0 \leq q_i^j \leq 1$. Stosując wzór (4.27) obliczono 486 uśrednionych wskaźników porównywalnych poziomów jakości odkurzacza (\bar{q}_i^j). (tj. równoznacznie do liczby kombinacji stanów cech). Ich wartości były w zakresie od 0,51 do 0,93 (rysunek 5.4).



Rysunek 5.4. Przewidywane stany poziomu jakości odkurzacza PROFi 1.2.

Zgodnie z proponowaną koncepcją modelu, wskaźniki \bar{q}_i^j określają przewidywane poziomy jakości odkurzacza PROFI 1.2. Na ich podstawie określono spełnialność satysfakcji klientów. W tym celu do każdego poziomu jakości odkurzacza przypisano odpowiadający im poziom spełnialności według skali stanów względnych. Zgodnie z nimi sklasyfikowano poziomy jakości odkurzacza w zależności od odpowiadających im poziomom spełnialności. Wykorzystano do tego Naiwny Klasyfikator Bayesa w oprogramowaniu STATISTICA 13.3. Przyjęto, że wartości poziomów jakości odkurzacza to predyktor ilościowy. Z kolei poziom spełnialności satysfakcji klienta to zmienna zależna. Klasyfikację przeprowadzono przy podziale danych na próbę uczącą i testową w sposób losowy, gdzie liczebność próby uczącej wynosi 75%, natomiast jądro jest równe 1000. Wyniki przedstawia tabela 5.12.

Tabela 5.12. Wynik klasyfikacji przewidywanych poziomów jakości odkurzacza PROFI 1.2. według NKB.

Spełnialność według skali stanów względnych	Wartość a priori	Średnia uśrednionego poziomu jakości	Odchylenie standardowe uśrednionego poziomu jakości
Korzystny	0,439	0,761	0,001
Umiarkowany	0,019	0,574	0,000
Wyróżniający	0,247	0,847	0,000
Zadowolający	0,266	0,675	0,001
Znakomity	0,027	0,917	0,000

Po sklasyfikowaniu poziomów jakości produktu według satysfakcji klientów dokonano weryfikacji pomiędzy spełnialnością oczekiwań klientów na poziomie wyróżniającym i znakomitym. Wynikało to z aktualnego poziomu jakości odkurzacza, który wyniósł 0,81 i jednocześnie był on na granicy poziomów korzystnego, tj. $(0,71; 0,80>$ i wyróżniającego $(0,81; 0,90>$. Dodatkowo, poziom wyróżniający i znakomity według skali stanów względnych są pierwszymi dwoma poziomami najbardziej preferowanymi spośród pozostałych. Z tego względu, niezbędnym było porównanie wartości *a priori* dla tych poziomów spełnialności oczekiwań klienta. Wywnioskowano, że przeważająca większość klientów oszacowała wybrane kombinacje stanów cech odkurzacza na poziomie wyróżniającym (wartość *a priori* równa 0,247). W przypadku kombinacji stanów cech odkurzacza na poziomie znakomitym wartość *a priori* wyniosła jedynie 0,027. Z tego względu, przewiduje się, że kierunek doskonalenia odkurzacza PROFI 1.2. określają kombinacje stanów cech będące na poziomie wyróżniającym. Spośród tej grupy poziomów jakości odkurzacza przyjęto dokonać wyboru

jednej kombinacji stanów cech odkurzacza, gdzie wybór ten należy do przedsiębiorstwa produkcyjnego.

5.5. Doskonalenie

Faza piąta modelu do doskonalenie. W tej fazie weryfikacji poddano ostatni etap modelu będący etapem dziesiątym, tj.: (10) doskonalenie produktu.

Etap 10. Doskonalenie produktu

Doskonalenie odkurzacza PROFİ 1.2. powinno być zrealizowane według kombinacji stanów jego cech będących na poziomie wyróżniającym. Na ich podstawie producent powinien podjąć działania przygotowawcze i kolejno modyfikować stany cech odkurzacza. W ten sposób możliwe będzie wyprodukowanie odkurzacza PROFİ 1.2. tak aby był on jednocześnie satysfakcjonujący dla klientów i konkurencyjny na rynku.

6. Podsumowanie, wnioski i propozycje rozwoju problematyki badawczej

Podsumowanie i wnioski końcowe

Model predykcji jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów opracowano i zweryfikowano w dziewięciu głównych etapach.

Na etapie pierwszym wybrano produkt do badań, był to odkurzacz PROFİ 1.2. przedsiębiorstwa MasterProfi Sp. z o. o.

Na etapie drugim określono cel badań, którym było przewidzenie jakości odkurzacza PROFİ 1.2. z uwzględnieniem oczekiwań klientów, gdzie przewidywanie zrealizowano na podstawie kombinacji jego cech w stanie aktualnym i zmodyfikowanym.

Etap trzeci i czwarty modelu polegał na wyborze cech odkurzacza i stanów go charakteryzujących. Analizie poddano 20 cech odkurzacza. Wszystkie cechy opisano przez stan aktualny (istniejący obecnie) i przez maksymalnie dwa stany zmodyfikowane (hipotetyczne).

Etap piąty modelu obejmował pozyskanie oczekiwań od klientów. W tym celu opracowano ankietę badawczą ze skalą Likerta. W ankiecie uwzględniono etap oceny ważności cech odkurzacza i etap oceny satysfakcji klientów ze stanów cech odkurzacza. Ankietę przeprowadzano w okresie od kwietnia 2020 roku do kwietnia 2022 roku. W rezultacie pozyskano oczekiwania od 234 klientów.

Na etapie szóstym modelu określono wymaganą licznosc próby badawczej. W tym celu opracowano i kolejno zastosowano procedurę określania wymaganej licznosci klientów do przewidywania jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów. Wykazano, że aktualna licznosc klientów jest wystarczająca do przewidzenia jakości odkurzacza. Dodatkowo, opracowana procedura umożliwiła oszacowanie aktualnej jakości odkurzacza oraz określenie ważności jego cech w grupie cech ważnych, średnio ważnych i mało ważnych.

Na etapie siódmym modelu możliwe było przygotowanie danych do weryfikacji zgodnie z określoną ważnością cech odkurzacza. Polegało to na opisanu cech ważnych odkurzacza przez stan aktualny i jednocześnie przez stany zmodyfikowane. Natomiast cechy mniej ważne dla klientów opisano jedynie przez stan aktualny.

Na podstawie przygotowanych danych do weryfikacji zrealizowano etap ósmy modelu, w którym określono kombinacje stanów cech odkurzacza. W tym celu opracowany został algorytm wyznaczania wszystkich możliwych kombinacji stanów cech produktu, który miał zastosowanie w programie MATLAB 2022a. Za jego pomocą określono 468 kombinacji

stanów cech odkurzacza wynikających z 6 cech ważnych opisanych przez maksymalnie 3 stany tych cech.

Na etapie dziewiątym modelu przewidywano jakość odkurzacza. Przewidywanie to polegało na obliczeniu metodą MAP (Czechowskiego) wszystkich 468 możliwych poziomów jakości wynikających z uprzednio określonych kombinacji stanów jego cech, czyli z kombinacji stanów aktualnych i zmodyfikowanych. Następnie, określono satysfakcję klientów z przewidywanych poziomów jakości. Wykorzystano do tego skalę stanów względnych. Ostatecznie sklasyfikowano wszystkie możliwe poziomy jakości w celu wybrania grupy kombinacji stanów cech odkurzacza będącej możliwie najbardziej preferowaną. Zastosowano do tego Naiwny Klasyfikator Bayesa.

Etap dziesiąty modelu obejmował podjęcie działań doskonalących. Wywnioskowano, że doskonalenie odkurzacza PROFI 1.2. powinno zostać zrealizowane według kombinacji stanów jego cech będących na poziomie wyróżniającym. Na ich podstawie producent powinien podjąć działania przygotowawcze i kolejno modyfikować stany cech odkurzacza.

Wnioski poznawcze

1. Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz wykazano, że opracowanie procedury prognozowania jakości produktów, w której uwzględnia się cechy jakościowe.
2. i kwantytatywne produktu oraz możliwości produkcyjne przedsiębiorstwa jest efektywnym narzędziem do racjonalnego określenia warunków produkcyjnych w przedsiębiorstwie, a także oczekiwań potencjalnych klientów.
3. Realizacja zaproponowanej procedury wymaga opracowania:
 - kompleksowej ankiety ze skalą Likerta, której zastosowanie powinno uwzględniać specyfikę analizowanego problemu badawczego;
 - algorytmu wyznaczania możliwych kombinacji stanów cech produktu na bazie programu MATLAB, w którym wprowadza się skalę stanów względnych i Naiwny Klasyfikator Bayesa do wyboru kombinacji preferowanej kombinacji cech produktu.
4. Opracowana procedura wraz z algorytmem (metoda MAP) jest efektywną metodą do przewidywania jakości dowolnych produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów.

Wnioski użyteczne

1. Oszacowanie jakości produktu metodą MAP umożliwiło obliczenie aktualnego poziomu jakości odkurzacza i jego zmodyfikowanych poziomów jakości z określeniem ich ważności w grupie cech ważnych, średnio ważnych i mało ważnych.

2. Za pomocą opracowanego algorytmu określono 468 kombinacji stanów cech odkurzacza wynikających z 6 cech ważnych, opisanych przez maksymalnie 3 stany tych cech.
3. Opracowany algorytm w programie MATLAB zapewnił zintegrowanie wag cech odkurzacza z ocenami stopnia spełnienia jego cech w ramach utworzenia kombinacji stanów cech aktualnych i zmodyfikowanych. Wykazano, że kierunek doskonalenia analizowanego odkurzacza PROFI 1.2. określają kombinacje stanów cech będące na poziomie wyróżniającym
4. Opracowany model może być zastosowany do wspomagania działalności biznesowej przedsiębiorstwa w zakresie:
 - projakościowego projektowania konkurencyjnego rynkowo produktu z uwzględnieniem wymagań satysfakcjonujących klienta;
 - redukcji marnotrawstwa, np. poprzez wprowadzanie wymuszanych przez klientów zmian w produkcie w trakcie jego produkcji;
 - trafnego określania oczekiwań klientów.

Propozycje rozwoju problematyki badawczej

Dotychczas przeprowadzone badania oraz uzyskane wyniki wskazują, że uzasadniona będzie ich kontynuacja w dwóch głównych obszarach, tj.:

- zastosowania metody Analitycznego Procesu Hierarchicznego (AHP - *Analytical Hierachy Process*) do wyboru jakościowych cech produktu z uwzględnieniem ilościowych i jakościowych oczekiwań klientów;
- rozbudowy opracowanej procedury z wykorzystaniem modelowania z zastosowaniem teorii zbiorów rozmytych i sztucznych sieci neuronowych.

W dobie zmian klimatycznych i potrzeby zwrócenia szczególnej uwagi na oddziaływanie produktów na środowisko naturalne, zasadnym jest także rozbudowanie modelu w ramach zrównoważonego rozwoju produktów. Oznacza to opracowanie modelu w taki sposób, aby zapewniał predykcję jakości produktów z jednoczesnym uwzględnieniem oczekiwań klientów i wpływu produktów na środowisko naturalne.

Literatura

1. Abraham Moody K., Lal R.R., Pandey V., Analysis of customer focused steel product development by using quality function deployment. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, **2017**, 7(4), 1-10. doi: 10.24247/ijmperdaug20171
2. Albers A., Weissenberger-Eibl M.A., Duehr K., Zech K., Seus F., Literature-based identification of success-relevant influencing factors of distributed product development. *Procedia CIRP*, **2020**, 91, 415-520. doi: 10.1016/j.procir.2019.11.007
3. Ali A., Hafeez Y., Hussain S., Yang S., Role of Requirement Prioritization Technique to Improve the Quality of Highly-Configurable Systems. *IEEE Access*, **2020**, 8, 27549-27573. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2971382
4. Aliyu R., Arifin A.M.T., Haq R.H.A., Hassan M.F., Rahman M.N.A., Ismail A.E., Rahim M.Z., Ibrahim M.R., Azlan M.A., Ahmad M.S., Taib I., Ismail R., An integration of kano model and quality function deployment technique - A case study using sport earphone. *Journal of Physics: Conference Series*, **2019**, 1150(1). doi: 10.1088/1742-6596/1150/1/012025
5. Alt R., Ehmke J. F., Haux R. et al. Towards customer-induced service orchestration - requirements for the next step of customer orientation. *Electronic Markets*, **2019**, 29(1), 79-91. doi: 10.1007/s12525-019-00340-3
6. Altuntas S., Özsoy E.B., Mor Ş., Innovative new product development: A case study. *Procedia Computer Science*, **2019**, 158, 214-221. doi: 10.1016/j.procs.2019.09.044
7. Amineha H., Kosach N., Assessment of Consumers' Satisfaction with the Automotive Product Quality. *International Journal Of Environmental & Science Education*, **2016**, 11(16), 8726-8739.
8. Anizar I., Yahya I., Yesika N., Application of Quality Function Deployment (QFD) method and kano model to redesign fresh fruit bunches sorting tool. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **2018**, 309(1). doi: 10.1088/1757-899X/309/1/012048.
9. Aoyama K., Matshuda N., Koga T., A Design Method of Product Family for Unpredictable Customer Requirements Using Fuzzy Sets. *NEW World Situation: New Directions In Concurrent Engineering*, **2010**. doi: 10.1007/978-0-85729-024-3_19
10. Ardi R., Zulkarnain., Wicaksana RI., Shabrina G., Integration Model of Green Quality Function Deployment (G-QFD), Kano, with Multiple Objective Fuzzy Goal Programming on Green Product. *Recent Progress On: Mechanical, Infrastructure And Industrial Engineering, AIP Conference Proceedings*, **2020**, 2227, 40008. doi: 10.1063/5.0000903
11. Berx K., Friedl M., Witters M., Hehenberger P., A customer requirement driven framework for design synthesis - applied to a washing machine. *IFAC Papersonline*, **2016**, 49(21), 431-438. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.10.642
12. Bielawa A., Postrzeganie i rozumienie jakości – przegląd definicji jakości. *Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania. Wiedza o metodach i technikach oceny działalności*, **2011**, 11, 143-152.
13. Bigolin M., Danilevicz ADF., Weiss MA., Silva LCP., Sustainable New Product Development: a decision-making tool for the construction industry. *International Journal Of Sustainable Engineering*, **2021**, 14(4), 618-629. doi: 10.1080/19397038.2021.1920642
14. Borgianni Y., Verifying dynamic kano's model to support new product/service development. *Journal of Industrial Engineering and Management*, **2018**, 11(3), 569-587. doi: 10.3926/jiem.2591
15. Borowiecki R., Olesinski Z., Rzepka A., Hys K. Development of Teal Organisations in Economy 4.0: An Empirical Research. *European Research Studies Journal*, **2021**, XXIV (1), 117-129. doi: 10.35808/ersj/1953

16. Budzicz Ł. Interpretacja statystyk w artykułach naukowych – wskazówki dla praktyków. *Psychologiczne Zeszyty Naukowe, Półrocznik Instytutu Psychologii Uniwersytetu Zielonogórskiego*, **2017**, *1*, 143-157.
17. Chahadi Y., Rollmann T., Wu Z., Birkoger H., Anderl R., A Concept For Interfaces To Generate 3d Cad-Model From Customer Requirements. *10th International Design Conference – Design*, **2008**, *47(1-2)*, 593.
18. Chen C., Wang L., Integrating rough set clustering and grey model to analyse dynamic customer requirements. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, **2008**, *222(2)*, 319-332. doi: 10.1243/09544054JEM826
19. Chen CH., Khoo LP., Yan W., A strategy for acquiring customer requirement patterns using laddering technique and ART2 neural network. *Advanced Engineering Informatics*, **2002**, *16(3)*, 229-240. doi: 10.1016/S1474-0346(03)00003-X
20. Chen CH., Khoo LP., Yan W., Evaluation of multicultural factors from elicited customer requirements for new product development. *Research In Engineering Design-Theory Applications And Concurrent Engineering*, **2003**, *14(30)*, 119-130. doi: 10.1007/s00163-003-0032-6
21. Chen L.-H., Ko W.-C., A fuzzy nonlinear model for quality function deployment considering Kano's concept. *Mathematical and Computer Modelling*, **2008**, *48(3-4)*, 581-593. doi: 10.1016/j.mcm.2007.06.029
22. Chen L.-H., Ko W.-C., Fuzzy linear programming models for new product design using QFD with FMEA. *Applied Mathematical Modelling*, **2009**, *33(2)*, 633-647. doi: 10.1016/j.apm.2007.11.029
23. Chen H., Hu S., Hua R. et al., Improved naive Bayes classification algorithm for traffic risk management. *EURASIP J. Adv. Signal Process.* **2021**, *30*. doi: <https://doi.org/10.1186/s13634-021-00742-6>
24. Chena C.-H., Yan W., An in-process customer utility prediction system for product conceptualisation. *Expert Systems with Applications*, **2008**, *34(4)*, 2555-2567. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.04.019>
25. Cherd T.V., Hamzah N.H., Poh W.K., Rapi M.H.M., Aziri M.S., Shahrom M.F., Kasheh A.M.A., Sheng H.C., Conceptual design of a bike towing trailer with smart towing trailer. *Journal of Physics: Conference Series*, **2021**, *2051(1)*, 12017. doi: 10.1088/1742-6596/2051/1/012017
26. Chittaranjan, A., The P Value and Statistical Significance: Misunderstandings, Explanations, Challenges, and Alternatives. *Indian J Psychol Med.*, **2019**, *41(3)*, 210–215. doi: 10.4103/IJPSYM.IJPSYM_193_19
27. Chong Y.T., Chen C.-H., An investigation into dynamic customer requirement using computational intelligence. *ICEIS 2009 - 11th International Conference on Enterprise Information Systems, Proceedings*, **2009**, 113-117.
28. Cockalo D., Vorkapic M., Kreculj D., Dordevic D., Frantlovic M., Using QFD and AHP Tools in the Case of Industrial Transmitters Manufacturing. *FME TRANSACTIONS*, **2020**, *48(1)*, 164-172. doi: 10.5937/fmet2001164C
29. Confidence intervals for the mean and variance. Dostęp online: http://zsi.ii.us.edu.pl/~nowak/bios/owd/17042011_b.pdf (09.12.2020)
30. Ćwiklicki M., Metody rejestrowania głosu klienta we współczesnej wersji metody QFD. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i zarządzanie* **2017**, *102*, 43-52.
31. Ding JW., Yang DT., Bao ZQ., Research on Capturing of Customer Requirements Based on Innovation Theory. *International Conference On Applied Physics And Industrial Engineering*, **2012**, *24*, 1868-1880. doi: 10.1016/j.phpro.2012.02.275

32. Dostatni E., Rojek I., Szczap P., Tomczuk M. Inventive Methods in Designing an Environmentally Friendly Household Appliance. In: Machado, J., Soares, F., Veiga, G. (eds) Innovation, Engineering and Entrepreneurship. *HELIX 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering (Springer)*, **2019**, 505. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91334-6_47
33. Dou RL., Zong C., Application of Interactive Genetic Algorithm based on hesitancy degree in product configuration for customer requirement. *International Journal Of Computational Intelligence Systems*, **2014**, 7, 74-84, doi: 10.1080/18756891.2014.947118
34. Dragomir M., Banyai D., Dragomir D., Popescu F., Criste A., Efficiency and Resilience in Product Design by Using Morphological Charts. *Energy Procedia*, **2016**, 85, 206-210. doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.218
35. Duhivnik J., Kusar J., Tomazevic R. et al., Development process with regard to customer requirements. *Concurrent Engineering-Research and Applications*, **2006**, 14(1), 67-82.
36. El Badaoui M., Touzani A., AHP QFD methodology for a recycled solar collector. *Production Engineering Archives*, **2022**, 28(1), 30-39. doi: 10.30657/pea.2022.28.04
37. Eldin S.S., Mohammed A., Hefny H., Ahmed A.S.E., An Enhanced Opinion Retrieval Approach on Arabic Text for Customer Requirements Expansion. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, **2021**, 33(3), 351-363. doi: 10.1016/j.jksuci.2019.01.010
38. Ellman A., Wendrich R., Tiainen T., Innovative Tool For Specifying Customer Requirements. *Proceedings Of The ASME International Design Engineering Technical Conferences And Computers And Information In Engineering Conference*, **2014**, 1B.
39. Erdil A., An Evaluation on Lifecycle of Products in Textile Industry of Turkey through Quality Function Deployment and Pareto Analysis. *Procedia Computer Science*, **2019**, 158, 735-744. doi: 10.1016/j.procs.2019.09.109
40. Esser C., Refflinghaus R., Optimizing The Evaluation Of Eye Tracking Data To Validate Requirements In Virtual Space To Improve Customer Satisfaction. *Acta Technica Napocensis Series-Applied Mathematics Mechanics And Engineering*, **2018**, 61(3), 459-468.
41. Falk B., Schmitt R., Sensory QFD: Matching sensation with measurement. *Procedia CIRP*, **2014**, 17, 248-253. doi: 10.1016/j.procir.2014.01.136
42. Fazlollahtabar H., Sustainable Reverse Supply Chain: Customer Requirement Fulfillment Model. *Supply Chain Management Models: Forward, Reverse, Uncertain, And Intelligent: Foundations With Case Studies*, **2018**, 189-202.
43. Feng YX., Zhao YL., Zheng H., Li ZW., Tan JR., Data-driven product design toward intelligent manufacturing: A review. *International Journal Of Advanced Robotic Systems*, **2020**, 17(2), 1729881420911260. doi: 10.1177/1729881420911257
44. Feofanov A., Kim N., Frolov E., Grishina T., Identification of the technical product characteristics of process scoping studies. *MATEC Web of Conferences*, **2017**, 129. doi: 10.1051/mateconf/201712904008
45. Franceschini F., Galetto M., Maisano D., Mastrogiacomo L., Prioritisation of engineering characteristics in QFD in the case of customer requirements orderings. *International Journal Of Production Research*, **2015**, 53(13), 3975-3988. doi: 10.1080/00207543.2014.980457
46. Franceschini F., Maisano D., Mastrogiacomo L., Customer requirement prioritization on QFD: a new proposal based on the generalized Yager's algorithm. *Research In Engineering Design*, **2015**, 26(2), 171-197. doi: 10.1007/s00163-015-0191-2
47. Franceschini F., Maisano D., Prioritization of QFD Customer Requirements Based on the Law of Comparative Judgments. *Quality Engineering*, **2015**, 27(4), 437-449. doi: 10.1080/08982112.2015.1036292

48. Frizziero L., Liverani A., Donnici G., Papaleo P., Leon-Cardenas C., Smart Cane Developed with DFSS, QFD, and SDE for the Visually Impaired. *INVENTIONS*, **2021**, 6(3), 58. doi: 10.3390/inventions6030058
49. Fung R., Popplewell K., Xie J., An intelligent hybrid system for customer requirements analysis and product attribute targets determination. *International Journal of Production Research*, **1999**, 36(1), 13-34.
50. Gajewska T., Wybrane metody i wskaźniki pomiaru jakości usług logistycznych. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, **2016**, 17(6), 1320-1326.
51. Gawlik J., Kielbus A., Karpisz D., New approach to integrated data management in special materials processing. *Advances in Manufacturing Science and Technology*, **2014**, 38(1), 23 – 35. doi: <https://doi.org/10.2478/amst-2014-0002>
52. Geng LS., Geng LX., Analyzing and Dealing with the Distortions in Customer Requirements Transmission Process of QFD. *Mathematical Problems In Engineering*, **2018**. doi: 10.1155/2018/4615320
53. Ginting R., Ali A.Y., Improved Kansei Engineering with Quality Function Deployment Integration: A Comparative Case Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **2019**, 505(1). doi: 10.1088/1757-899X/505/1/012092
54. Ginting R., Ishak A., Malik AF., Satrio MR., Integration of Kansei Engineering and Quality Function Deployment (QFD) for Product Development: A Literature Review. *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering*, **2020**, 1003, 12020. doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012020
55. Ginting R., Ishak A., Pratiwi W., Tambunan RH., Designing File Organizer Product Design Using the Quality Function Deployment Method (QFD). *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering*, **2020**, 1003, 12024. doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012024
56. Ginting R., Satrio MR., Integration Of Quality Function Deployment (QFD) And Value Engineering In Improving The Quality Of Product: A Literature Review. *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering*, **2020**, 1003, 12002. doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012002
57. Ginting R., Suwandira B., Malik AF., Determination of Technical Requirements and Priority of The Critical Part In The Quality Function Deployment Phase I and Quality Function Deployment Phase II Methods In Product Development: A Literature Review. *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering*, **2020**, 1003, 12026. doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012026
58. Guo C., Liu Y., Tian P., Hou S., Fuzzy comprehensive evaluation method of the importance ratings of customers' requirements. *Advances in Intelligent and Soft Computing*, **2010**, 66, 361-373
59. Guo Q., Sheng K., Wang Z., Zhang X., Yang H., Miao R., Research on Element Importance of Shafting Installation Based on QFD and FMEA. *Procedia Engineering*, **2017**, 174, 677-685. doi: 10.1016/j.proeng.2017.01.205
60. Gupta M., Shri C.. Understanding customer requirements of corrugated industry using Kano model. *International Journal Of Quality & Reliability Management*, **2018**, 35(8), 1653-1670. doi: 10.1108/IJQRM-04-2017-0074
61. Haber N., Fargnoli M., Sustainable Product-Service Systems Customization: A Case Study Research in the Medical Equipment Sector. *Sustainability*, **2021**, 13(12), 6624. doi: 10.3390/su13126624
62. Hallack E., Peris N.M., Lindahl M., Sundin E., Systematic Design for Recycling Approach - Automotive Exterior Plastics. *Procedia CIRP*, **2022**, 105, 204-209. doi: 10.1016/j.procir.2022.02.034

63. Hansen E., Bush R.J., Understanding customer quality requirements - Model and application. *Industrial Marketing Management*, **1999**, 28(2), 119-130. doi: 10.1016/S0019-8501(98)00007-8
64. Harańczyk G., Gurycz J., Analiza mocy testu i jej znaczenie w badaniach empirycznych. *StatSoft Polska*, **2006**, 59-70.
65. Harangozo M., Blebea I., Socaciu L., Ranking Customer Requirements In Toy Design Using Conjoint Analysis. *Quality And Innovation In Engineering And Management*, **2011**, 437-442.
66. Hariri A., Azreen N.P., Abdull N., Leman A.M., Yusof M.Z.M., Determination of customer requirement for welding fumes index development in automotive industries by using quality function deployment approach. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, **2014**, 9(1), 1609-1619. doi: 10.15282/ijame.9.2013.11.0133
67. He LN., Ming XG., Li M., Zheng MK., Xu ZT., Understanding customer requirements through quantitative analysis of an improved fuzzy Kano's model. *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers Part B-Journal Of Engineering Manufacture*, **2017**, 231(4), 699-712. doi: 10.1177/0954405415598894
68. Hentschke CD., Formoso CT., Echeveste ME., A Customer Integration Framework for the Development of Mass Customised Housing Projects. *Sustainability*, **2020**, 12(21), 8901. doi: 10.3390/su12218901
69. Hofmann E., Knébel S., Alignment of manufacturing strategies to customer requirements using analytical hierarchy process. *Production and Manufacturing Research*, **2013**, 1(1), 19-43. doi: 10.1080/21693277.2013.846835
70. Hoła A., Sawicki M., Szóstak M., Methodology of Classifying the Causes of Occupational Accidents Involving Construction Scaffolding Using Pareto-Lorenz Analysis. *Appl. Sci.*, **2018**, 8(1), 48. doi: <https://doi.org/10.3390/app8010048>
71. Hong G., Dean P., Yang W., Tu YL., Xue D., Optimal concurrent product design and process planning based on the requirements of individual customers in one-of-a-kind production. *International Journal Of Production Research*, **2010**, 48(21), 6341-6366. doi: 10.1080/00207540903252282
72. Horan LF., The dynamic changes of customer requirements for sustainable design over time in quality function deployment. *Production And Manufacturing Research-An Open Access Journal*, **2022**, 10(1), 2039316, 42-61. doi: 10.1080/21693277.2022.2039316
73. Huang C.-L., Chen Y.-H., Tseng C.-H., Wan T.-L., Shen M., The hybrid algorithm for product design in multimedia. *International Journal of Applied Systemic Studies*, **2017**, 7(1-3), 78-91. doi: 10.1504/IJASS.2017.088902
74. Huang H. Z., Li Y., Liu W. et al., Evaluation and decision of products conceptual design schemes based on customer requirements. *Journal Of Mechanical Science And Technology*, **2011**, 25(9), 2413-2425. doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-011-0525-6>
75. Huang YM., On the general evaluation of customer requirements during conceptual design. *Journal Of Mechanical Design*, **1999**, 121(1), 92-97. doi: 10.1115/1.2829435
76. Ingaldi M., Ulewicz R., How to Make E-Commerce More Successful by Use of Kano's Model to Assess Customer Satisfaction in Terms of Sustainable Development. *Sustainability*, **2019**, 11, 4830. doi: <https://doi.org/10.3390/su11184830>
77. Ishak A., Ginting R., Suwandira B., Malik AF., Integration of Kano Model and Quality Function Deployment (QFD) to Improve Product Quality: A Literature Review. *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering*, **2020**, 1003, 12025. doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012025
78. Islam M. N., A methodology for extracting dimensional requirements for a product from customer needs. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **2004**, 23(7-8), 489-494.

79. Ismail I.N., Halim K.A., Sahari K.S.M., Anuar A., Jalal M.F.A., Syaifoelida F., Eqwan M.R., Design and Development of Platform Deployment Arm (PDA) for Boiler Header Inspection at Thermal Power Plant by Using the House of Quality (HOQ) Approach. *Procedia Computer Science*, **2017**, *105*, 296-303. doi: 10.1016/j.procs.2017.01.225
80. ISO 16355-1:2015. Application of statistical and related methods to new technology and product development process. Part 1: General principles and perspectives of Quality Function Deployment (QFD), **2015** - International Standard Organization.
81. Jiao JX., Chen CH., Customer requirement management in product development: A review of research issues. *Concurrent Engineering-Research And Applications*, **2006**, *14(3)*, 173-185. doi: 10.1177/1063293X06068357
82. Jiao Y., Yang Y., Zhang HS., Mapping High Dimensional Sparse Customer Requirements into Product Configurations. *International Conference On Artificial Intelligence Applications And Technologies (AIAAT)*, **2017**, *261*. doi: 10.1088/1757-899X/261/1/012022
83. Jiao Y., Yang Y., Zhong J., Zhang HS., A Comparative Analysis of Intelligent Classifiers for Mapping Customer Requirements to Product Configurations. *ICBDR 2017: Proceedings Of 2017 International Conference On Big Data Research*, **2015**, 72-77. doi: 10.1145/3152723.3152726
84. Joshi A., Kale S., Chandel S., Pal D. K., Likert Scale: Explored and Explained. *Current Journal of Applied Science and Technology*, **2015**, *7(4)*, 396-403. doi: <https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/14975>
85. Juang YS., Lin SS., Kao HP., Design and implementation of a fuzzy inference system for supporting customer requirements. *Expert Systems With Applications*, **2007**, *32(3)*, 868-878. doi: 10.1016/j.eswa.2006.01.052
86. Kang X., Yang M., Wu Y., Ni B., Integrating Evaluation Grid Method and Fuzzy Quality Function Deployment to New Product Development. *Mathematical Problems in Engineering*, **2018**. doi: 10.1155/2018/2451470
87. Kauf S., Tłuczak A., Metody i techniki badań ankietowych na przykładzie zachowań komunikacyjnych opolan. *Uniwersytet Opolski, Opole* **2013**.
88. Kijewska J., Mierzwiak R., The Empirical Verification of the Kolman's Universal Interpretative Scale. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, **2014**, *15(10)*, 335-350.
89. Kindlarski E., Kontrola i sterowanie jakością. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa **1993**.
90. Klochkov Y., Gazizulina A., Ostapenko M., Development of QFD methodology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **2019**, *618(1)*. doi: 10.1088/1757-899X/618/1/012083
91. Kohn N., Smith S., Collaborative Fixation: Effects of Others' Ideas on Brainstorming. *Applied Cognitive Psychology, Appl. Cognit. Psychol.* **2011**, *25*, 359-371. doi: 10.1002/acp.1699
92. Kolman R.R. Inżynieria Jakości. *PWE*, **1992**, 1-292.
93. Koomsap P., Design by customer: Concept and applications. *Journal of Intelligent Manufacturing*, **2013**, *24(2)*, 295-311. doi: <https://doi.org/10.1007/s10845-011-0587-4>
94. Kpiebaareh MY., Wu WP., Agyemang B., Haruna CR., Lawrence T., A Generic Graph-Based Method for Flexible Aspect-Opinion Analysis of Complex Product Customer Feedback. *Information*, **2022**, *13(3)*, 118. doi: 10.3390/info13030118
95. Kutlu F., Kahraman C., A novel spherical fuzzy QFD method and its application to the linear delta robot technology development. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **2020**, *87*. doi: 10.1016/j.engappai.2019.103348

96. Kwong CK., Bai H., A fuzzy AHP approach to the determination of importance weights of customer requirements in quality function deployment. *Journal Of Intelligent Manufacturing*, **2002**, 13(5), 367-377. doi: 10.1023/A:1019984626631
97. Lai X., Xie M., Tan K.C. et al., Ranking of customer requirements in a competitive environment. *Computers & Industrial Engineering*, **2008**, 54(2), 202-214. doi: 10.1016/j.cie.2007.06.042
98. Lawlor K. B., Hornyak M. J., Smart Goals: How The Application Of Smart Goals Can Contribute To Achievement Of Student Learning Outcomes. *Developments in Business Simulation and Experiential Learning*, **2012**, 39, 259-267.
99. Lee CH., Chen CH., Lin CY., Li F., Zhao XJ., Developing a Quick Response Product Configuration System under Industry 4.0 Based on Customer Requirement Modelling and Optimization Method. *Applied Sciences-Basel*, **2019**, 9(23). doi: 10.3390/app9235004
100. Li M., The extension of quality function deployment based on 2-tuple linguistic representation model for product design under multigranularity linguistic environment. *Mathematical Problems in Engineering*, **2012**. doi: 10.1155/2012/989284
101. Li M., The method for product design selection with incomplete linguistic weight information based on quality function deployment in a fuzzy environment. *Mathematical Problems in Engineering*, **2013**. doi: 10.1155/2013/943218
102. Li M., Zhang J., Integrating Kano Model, AHP, and QFD Methods for New Product Development Based on Text Mining, Intuitionistic Fuzzy Sets, and Customers Satisfaction. *Mathematical Problems In Engineering*, **2021**, 2349716. doi: 10.1155/2021/2349716
103. Li XL., Zhao W., Zheng YK., Wang R., Wang C., Innovative Product Design Based on Comprehensive Customer Requirements of Different Cognitive Levels. *Scientific World Journal*, **2014**. doi: 10.1155/2014/627093
104. Li Y., Luo X., Han Y., Yao J., Determination of integrated priority ratings of customer requirements in product planning based on balanced scorecard. *China Mechanical Engineering*, **2010**, 21(12), 1430-1434.
105. Li Y.-L., Tang J.-F., Luo X.-G., An ECI-based methodology for determining the final importance ratings of customer requirements in MP product improvement. *Expert Systems with Applications*, **2010**, 37(9), 6240-6250. doi: 10.1016/j.eswa.2010.02.100
106. Li YL., Chin KS., Luo XG., Determining the final priority ratings of customer requirements in product planning by MDBM and BSC. *Expert Systems With Applications*, **2012**, 39(1), 1243-1255. doi: 10.1016/j.eswa.2011.07.133
107. Li YL., Tang JF., Luo XG., Xu J., An integrated method of rough set, Kano's model and AHP for rating customer requirements' final importance. *Expert Systems With Applications*, **2009**, 36(3), 7045-7053. doi: 10.1016/j.eswa.2008.08.036
108. Li Z., Tian H., Research on Fuzzy Hierarchy Optimization Model of Product Family Parameters Based on Flexible Design of Clothing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **2019**, 573(1). doi: 10.1088/1757-899X/573/1/012002
109. Ligarski M., Methodology of Problem Analysis in the Quality Management System with the Use of Systems Approach. *Management Systems in Production Engineering*, **2018**, 26(3), 157 – 161. doi: <https://doi.org/10.1515/mspe-2018-0025>
110. Lilien G. L., Kotler P., Moorthy K. S., Marketing Model. Prentice-Hall Inc., *New Jersey*, **1992**.
111. Lindemann M., Nuy L., Briele K., Schmitt R., Methodical data-driven integration of perceived quality into the product development process. *Procedia CIRP*, **2019**, 84, 406-411. doi: 10.1016/j.procir.2019.04.205
112. Liu AJ., Zhu QY., Ji XH., Lu H., Tsai SB., Novel Method for Perceiving Key Requirements of Customer Collaboration Low-Carbon Product Design. *International*

- Journal Of Environmental Research And Public Health*, **2018**, 15(7). doi: 10.3390/ijerph15071446
113. Liu AJ., Zhu QY., Liu HY., Lu H., Tsai SB., A Novel Approach Based on Kano Model, Interval 2-Tuple Linguistic Representation Model, and Prospect Theory for Apperceiving Key Customer Requirements. *Mathematical Problems In Engineering*, **2018**. doi: 10.1155/2018/8192819
 114. Liu C., Ramirez-Serrano A., Yin G., An optimum design selection approach for product customization development. *Journal of Intelligent Manufacturing*, **2012**, 23(4), 1433–1443. doi: <https://doi.org/10.1007/s10845-010-0473-5>
 115. Liu CT., Jia GZ., Kong JL., Requirement-Oriented Engineering Characteristic Identification for a Sustainable Product-Service System: A Multi-Method Approach. *Sustainability*, **2020**, 12(21), 8880. doi: 10.3390/su12218880
 116. Liu H.-T., Wang C.-H., An advanced quality function deployment model using fuzzy analytic network process. *Applied Mathematical Modelling*, **2010**, 34(11), 3333-3351. doi: 10.1016/j.apm.2010.02.024
 117. Liu QH., Chen JD., Wang WX., Qin Q., Conceptual Design Evaluation Considering Confidence Based on Z-AHP-TOPSIS Method. *Applied Sciences-Basel*, **2021**, 11(16), 7400. doi: 10.3390/app11167400
 118. Liu YY., Zhou J., Chen YZ., Using fuzzy non-linear regression to identify the degree of compensation among customer requirements in QFD. *Neurocomputing*, **2014**, 142, 115-124. doi: 10.1016/j.neucom.2014.01.053
 119. Liu S., Zhu M., Yang Y., A Bayesian Classifier Learning Algorithm Based on Optimization Model. *Mathematical Problems in Engineering*, **2013**. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/975953>
 120. Ma XJ., Ding GF., Qin SF., LI R., Yan KY., Xiao SN., Yang GW., Transforming Multidisciplinary Customer Requirements to Product Design Specifications. *Chinese Journal Of Mechanical Engineering*, **2017**, 30(5), 1069-1080. doi: 10.1007/s10033-017-0181-6
 121. Madzik P., Budaj P., Mikulas D. et al., Application of the Kano Model for a Better Understanding of Customer Requirements in Higher Education-A Pilot Study. *Administrative Sciences*, **2019**, 9(1), 1-18.
 122. Madzik P., Chocholakova A., Structured Transfer of Customer's Requirements into Product Quality Attributes - A University Case Study. *Quality-Access To Success*, **2016**, 17(154), 38-45.
 123. Madzik P., Sirotiakova M., Comparison of Techniques for Identification of Customer Requirements. *Proceedings Of The 13th International Conference: Liberec Economic Forum*, **2017**, 362-371.
 124. Marthaler F., Stahl S., Siebe A., Bursac N., Spadinger M., Albers A., Future-oriented PGE-product generation engineering: An attempt to increase the future user acceptance through foresight in product engineering using the example of the iPhone user interface. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, **2019**, 3641-3650. doi: 10.1017/dsi.2019.371
 125. MasterProfi 1.2.: <https://masterprofi.eu/odkurzacze/na-sucho/odkurzacz-profi-1-2.html> (dostęp: 04.05.2021)
 126. Melemez K., Di Gironimo G., Esposito G., Lanzotti A., Concept design in virtual reality of a forestry trailer using a QFD-TRIZ based approach. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, **2014**, 37(6), 789-801. doi: 10.3906/tar-1302-29
 127. Min H., Yun J., Geum Y., Analyzing dynamic change in customer requirements: An approach using review-based Kano analysis. *Sustainability*, **2018**, 10(3). doi: 10.3390/su10030746

128. Mingshun Y., Ting Y., Yanjie L., Yubo Z., Rating the customer requirements based on DEMATEL and entropy. *International Journal of Online Engineering*, **2013**, 9, 15-19. doi: 10.3991/ijoe.v9iS4.2590
129. Mishra P., Pandey C., Keshri A., Sabaretnam M., Selection of Appropriate Statistical Methods for Data Analysis. *Ann Card Anaesth*, **2019**, 22(3), 297-301. doi: 10.4103/aca.ACA_248_18
130. Mkpojiogu EC., Hashim NL., Understanding the relationship between Kano model's customer satisfaction scores and self-stated requirements importance. *Springerplus*, **2016**, 5. doi: 10.1186/s40064-016-1860-y
131. Montelisciani G., Gabelloni D., Fantoni G., Calgaro E.G., Taviani C., Ordering the chaos: A guided translation of needs into product requirements. *Procedia CIRP*, **2014**, 21, 403-408, DOI: 10.1016/j.procir.2014.03.143.
132. Mu R., Zheng YJ., Zhang KR., Zhang YF., Research on Customer Satisfaction Based on Multidimensional Analysis. *International Journal Of Computational Intelligence Systems*, **2021**, 14(1), 605-616. doi: 10.2991/ijcis.d.210114.001
133. Mu E., Pereyra-Rojas M., Practical Decision Making. In *Springer Briefs in Operations Research. Appendix A: Practical Questions Related to AHP Modeling*, Springer Nature: Basel, Switzerland, **2017**, 105–106.
134. Mustasfa B. A., Classifying Software Requirements Using Kano's Model to Optimize Customer Satisfaction. *New Trends in Software Methodologies, Tools And Techniques*, **2014**, 265, 271-279.
135. Nando FT., Amrina E., Alfadhilani., Prioritizing Design Requirements on Traditional Arrow using Quality Function Deployment. *Recent Progress On: Mechanical, Infrastructure And Industrial Engineering, AIP Conference Proceedings*, **2020**, 2227, 40020. doi: 10.1063/5.0000983
136. Naveiro R.M., Oliveira V.M., QFD and TRIZ integration in product development: A Model for Systematic Optimization of Engineering Requirements. *Producao*, **2018**, 28. doi: 10.1590/0103-6513.20170093
137. Neira-Rodado D., Ortiz-Barrios M., De la Hoz-Escorcía S., Paggetti C., Noffrini L., Fratea N., Smart Product Design Process through the Implementation of a Fuzzy Kano-AHP-DEMATEL-QFD Approach. *Applied Sciences-Basel*, **2020**, 10(5), 1792. doi: 10.3390/app10051792
138. Ostasz G., Siwiec D., Pacana A., Universal Model to Predict Expected Direction of Products Quality Improvement. *Energies*, **2022**, 15, 1751. doi: <https://doi.org/10.3390/en15051751>
139. Ozgen O., Artek B., Kurt SD., Communicating customer requirements to customer relationship management: An application of modern quality function deployment. *Iktisat Isletme Ve Finans*, **2009**, 24(283), 89-117. doi: 10.3848/iif.2009.283.7719
140. Ozturk M., Paksoy T., A combined DEMATEL-QFD-AT2 BAHF approach for green supplier selection. *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, **2020**, 35(4), 2023-2043. doi: 10.17341/gazimmfd.525762
141. Pacana A., Sęp J., Zielecki W., Ocena Jakości Usług Dydaktycznych na przykładzie studiów podyplomowych. *PTZP* **2011**.
142. Pacana A., Siwiec D., Model to Predict Quality of Photovoltaic Panels Considering Customers' Expectations. *Energies*, **2022**, 15(3), 1101. doi: 10.3390/en15031101
143. Pacana A., Siwiec D., Analysis of the Possibility of Used of the Quality Management Techniques with Non- Destructive Testing. *Tehnički vjesnik*, **2021**, 28(1), 45-51. doi: <https://doi.org/10.17559/TV-20190714075651>
144. Pacana A., Siwiec D., Improving the process of analysis the causes of problem by integrating the Ishikawa diagram and FAHP method. *Scientific Papers of Silesian*

- University of Technology – Organization and Management Series*, **2020**, *143*, 247-257. doi: 10.29119/1641-3466.2020.143.20
145. Pacana A., Siwiec D., The Technique to Precisely Design the Product in a House of Quality Considering Current Customers' Requirements. *Quality Production Improvement-QPI*, **2021**, 9-16. doi: <https://doi.org/10.2478/cqpi-2021-0002>
 146. Pacana A., Siwiec D., Universal Model to Support the Quality Improvement of Industrial Products. *Materials*, **2021**, *14*, 7872. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14247872>
 147. Pacana A., Siwiec D., Bednarova L., Analysis Of The Incompatibility Of The Product With Fluorescent Method. *METALURGIJA*, **2019**, *58(3-4)*, 337-340.
 148. Pacana A., Siwiec D., Bednárová L., Method of Choice: A Fluorescent Penetrant Taking into Account Sustainability Criteria. *Sustainability*, **2020**, *12*, 5854. doi: <https://doi.org/10.3390/su12145854>
 149. Pacana A., Siwiec D., Bednarova L., Sofranko M., Vegsoova O., Cvoliga M., Influence of Natural Aggregate Crushing Process on Crushing Strength Index. *Sustainability*, **2021**, *13*, 8353. doi: <https://doi.org/10.3390/su13158353>
 150. Produkcja wyrobów przemysłowych w 2020 roku. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/przemysl-budownictwo-srodki-trwale/przemysl/produkcja-wyrobow-przemyslowych-w-2020-roku,3,18.html> (dostęp: 09.10.2021)
 151. Produkcja wyrobów przemysłowych w latach 2015–2019. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/przemysl-budownictwo-srodki-trwale/przemysl/produkcja-wyrobow-przemyslowych-w-latach-20152019,14,2.html> (dostęp: 09.10.2021)
 152. Projekt ankiety badawczej: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdL5-ZILt_7nST2n4rpwPh1BO424KEwjJGJGliSze2os9bA/viewform (dostęp: 02.10.2021)
 153. Prokopek A., Wybrane statystyczne metody radzenia sobie z brakami danych. *Polskie Forum Psychologiczne*, **2018**, *23(2)*, 291-310. doi: 10.14656/PFP20180205
 154. Pugna A., Potra S., Negrea R., Miclea Ș., Mocan M., A Refined Quality Attribute Classification Model for New Product and Service Strategic Design. *Procedia Computer Science*, **2016**, *91*, 296-305. doi: 10.1016/j.procs.2016.07.080
 155. Putman V., Paulus P. Brainstorming, Brainstorming. Rules and Decision Making. *Journal of Creative Behavior*, **2008**, 1-17.
 156. Qin Y., Jiao H., Song F. et al., Customer requirement acquisition system and requirement expression guidance based on ant colony optimization. *Advances in mechanical engineering*, **2017**, *9(6)*, 1-9.
 157. Radetzky M., Bracke S., Manufacturing process parameter adaptation for high precision fine grinded surface topographies: Customised approach within cutlery case study. *Procedia CIRP*, **2020**, *96*, 319-323. doi: 10.1016/j.procir.2021.01.094
 158. Rianmora S., Werawatganon S., Applying quality function deployment in open innovation engineering. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, **2021**, *7(1)*, 26, 1-20. doi: 10.3390/joitmc7010026
 159. Rocznik Statystyczny Przemysłu 2017. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-przemyslu-2017,5,11.html> (dostęp: 09.10.2021)
 160. Rocznik Statystyczny Przemysłu 2018. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-przemyslu-2018,5,12.html> (dostęp: 09.10.2021)
 161. Roder B., Birkhofer H., Bohn A., Clustering Customer Dreams - An Approach For A More Efficient Requirement Acquisition. *Proceedings Of The 18th International Conference On Engineering Design (Iced 11): Impacting Society Through Engineering Design, Design Methods And Tools*, **2011**, *9 (1)*.

162. Roder B., Heidl MJ., Birkhofer H., Pre-Acquisition Clustering Of Requirements - Helping Customers To Realize What They Want. *Design For Harmonies, Human Behaviour In Design*, **2013**, 17.
163. Ruta, R. Wykorzystanie analizy mocy testów do wyznaczenia liczebności próby w badaniach tribologicznych. *Tribologia*, **2012**, 6, 147-159.
164. Sawai K., Nomaguchi Y., Fujita K., Case study of extended product architecture design for modularization reflecting customer needs of industrial robots. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing*, **2017**, 11(4). doi: 10.1299/jamdsm.2017jamdsm0050
165. Schmidt S., Lo S., Hollestein L., Research Techniques Made Simple: Sample Size Estimation and Power Calculation. *Journal of Investigative Dermatology*, **2018**, 138(8), 1678-1682. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jid.2018.06.165>
166. Schneberger J.-H., Kaspar J., Vielhaber M., Integrated and customer-oriented material and process selection by sensory multi-criteria decision-making. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, **2019**, 1175-1184. doi: 10.1017/dsi.2019.123
167. Shan Q., Chen Y., Product Module Identification Based on Assured Customer Requirements. *CEIS*, **2011**, 15. doi: 10.1016/j.proeng.2011.08.985
168. Shankar S., Singh R., Demystifying statistics: How to choose a statistical test? *Indian Journal of Rheumatology*, **2014**, 1-5. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.injr.2014.04.002>
169. Sheng ZQ., Wang YZ., Song JY., Xie HL., Customer requirement modeling and mapping of numerical control machine. *Advances In Mechanical Engineering*, **2015**, 7(10). doi: 10.1177/1687814015610492
170. Shi YL., Peng QJ., A spectral clustering method to improve importance rating accuracy of customer requirements in QFD. *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, **2020**, 107(5-6), 2579-2596. doi: 10.1007/s00170-020-05204-1
171. Shi YL., Peng QJ., Definition of customer requirements in big data using word vectors and affinity propagation clustering. *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers Part E-Journal Of Process Mechanical Engineering*, **2021**, 235(5), 9544089211001780, 1279-1291. doi: 10.1177/09544089211001776
172. Shieh JI., Wu HH., Applying a hidden Markov chain model in quality function deployment to analyze dynamic customer requirements. *Quality & Quantity*, **2009**, 43(4), 635-644. doi: 10.1007/s11135-007-9153-8
173. Shieh MD., Yan W., Chen CH., Soliciting customer requirements for product redesign based on picture sorts and ART2 neural network. *Expert Systems With Applications*, **2008**, 34(1), 194-204. doi: 10.1016/j.eswa.2006.08.036
174. Siwiec D., Bednarova L., Pacana A., Zawada M., Rusko M., Wspomaganie decyzji w procesie doboru penetrantów fluorescencyjnych do przemysłowych badań nieniszczących. *Przemysł Chemiczny*, **2019**, 98(10), 1594-1596. doi: 10.15199/62.2019.10.12
175. Siwiec D., Pacana A., Method of improve the level of product quality. *Production Engineering Archives*, **2021**, 27(1), 1-7. doi: 10.30657/pea.2021.27.1
176. Siwiec D., Pacana A., Model of Choice Photovoltaic Panels Considering Customers' Expectations. *Energies*, **2021**, 14(18), 5977. doi: 10.3390/en14185977
177. Siwiec D., Pacana A., Model Supporting Development Decisions by Considering Qualitative-Environmental Aspects. *Sustainability*, **2021**, 13(16), 9067. doi: 10.3390/su13169067
178. Siwiec D., Pacana A., A Pro-Environmental Method of Sample Size Determination to Predict the Quality Level of Products Considering Current Customers' Expectations. *Sustainability*, **2021**, 13, 5542. doi: <https://doi.org/10.3390/su13105542>

179. Siwiec D., Bednarova L., Pacana A., Metoda doboru penetrantów dla przemysłowych badań nieniszczących. *Przemysł Chemiczny*, **2020**, 99(5), 771-773. doi: 10.15199/62.2020.5.18
180. Siwiec D., Bednarova L., Pacana A., Projakościowa metoda doboru produktów chemicznych. *Przemysł Chemiczny*, **2021**, 100(4), 378-381. doi: 10.15199/62.2021.4.12
181. Siwiec D., Pacana A., Identifying the source of the problem by using implemented the FAHP method in the selected quality management techniques. *Production Engineering Archives*, **2020**, 26(1), 5-10. doi: <https://doi.org/10.30657/pea.2020.26.02>
182. Siwiec D., Pacana A., Połączona metoda doskonalenia jakości produktów [w:] Motivation-Education-Trust-Environment-Safety 2020 "METES": *Recenzowany zborník referátov z V. medzinárodnej vedeckej konferencie*, 21. II. 2020, Ružomberok, **2020** Žilina, STRIX n. f. Žilina, ISBN: 978-80-973460-7-2
183. Siwiec D., Pacana A., Bednarova L., Approach To Predict Product Quality Considering Current Customers' Expectations. *Scientific Papers of Silesian University of Technology – Organization and Management Series*, **2022**, 155, 461-472. doi: <http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2022.155.29>
184. Siwiec D., Vandžura S., Method of predicting favourable industrial products. *Modern Management Review*, **2021**, 26(3), 87-96. doi: <https://doi.org/10.7862/rz.2021.mmr.20>
185. Smukavec, A. Precision of Statistical Estimates. *General methodological explanation 2020*. Dostęp online: <https://www.stat.si/dokument/8885/PrecisionOfStatisticalEstimatesMEgeneral.pdf> (19.12.2020)
186. Socaciu LG., Blebea I., Harangozo MM., A Neural Fuzzy Network For Customer Requirements. *Quality And Innovation In Engineering And Management*, **2011**, 499-502.
187. Song WY., Ming XG., Xu ZT., Integrating Kano model and grey-Markov chain to predict customer requirement states. *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers Part B-Journal Of Engineering Manufacture*, **2013**, 227(8), 1232-1244. doi: 10.1177/0954405413485365.
188. Song X., Guo W., Liu J.-Q., Method for mapping from customer requirements to technical characteristics in QFD. *Journal of Tianjin University Science and Technology*, **2010**, 43(2), 174-180.
189. Song YM., Li GX., Ergu D., Recommending Products by Fusing Online Product Scores and Objective Information Based on Prospect Theory. *IEEE ACCESS*, **2020**, 8, 58995-59006. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2982933
190. Statistical Tables 1. Available online: <https://home.ubalt.edu/ntsbarsh/business-stat/StatisticalTables.pdf> (19.12.2020)
191. Statistical Tables 2. Available online: https://www.alacero.org/sites/default/files/u16/ci_23_-_41_cumulative_distribution_table.pdf (19.12.2020)
192. Stupnicki R., Analiza i prezentacja danych ankietowych. *Akademia Wychowania Fizycznego*, **2003**.
193. Styliadis K., Rossi M., Wickman C., Söderberg R., The Communication Strategies and Customer's Requirements Definition at the Early Design Stages: An Empirical Study on Italian Luxury Automotive Brands. *Procedia CIRP*, **2016**, 50, 553-558. doi: 10.1016/j.procir.2016.04.062
194. Sugahara S., Ueno M., Exact Learning Augmented Naive Bayes Classifier. *Entropy* **2021**, 23, 1703. <https://doi.org/10.3390/e23121703>
195. Sun N., Mei X., Zhang Y., A simplified systematic method of acquiring design specifications from customer requirements. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, **2009**, 9(3), 44105. doi: 10.1115/1.3184600

196. Syaifoelida F., Megat Hamdan M., Murrad M., Aminuddin H., The Qualitative Measurement towards Emotional Feeling of Design for Product Development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **2018**, 344. doi: 10.1088/1757-899X/344/1/012024
197. Szymczak W. Pojęcie wielkości efektu na tle teorii Neymana-Pearsona testowania hipotez statystycznych. *Acta Universitatis Lodzianae, Folia Psychologica*, **2015**, 19, 5-41. doi: 10.18778/1427-969X.19.01
198. Tadeusiewicz R., Izvorski A., Majewski J., Biometria. *AGH, Kraków*, **1993**, 1-379. Dostęp online: <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/skrypty2/0086/main.html> (09.12.2020)
199. Tan YJ., Wang YR., Lu X., Cai MS., Ge BF., High-end equipment customer requirement analysis based on opinion extraction. *Frontiers Of Engineering Management*, **2018**, 5(4), 479-486. doi: 10.15302/J-FEM-2018035
200. Tavor T., Gonen LD., Spiegel U., The Sorting Process as a Tool for Promoting the Demand of Heterogeneous Customers. *Mathematics*, **2021**, 9(2), 152. doi: 10.3390/math9020152
201. Tontini G., Identification of customer attractive and must-be requirements using a modified Kano's method: Guidelines and case study. *ASQ'S 54th Annual Quality Congress Proceedings*, **2000**, 728-734.
202. Tudor P., Mihai P., Improving product quality by using a management method (QFD). *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, **2017**, 17, 505-512. doi: 10.5593/sgem2017/53/S21.061
203. Turisova R., A Generalization Of Traditional Kano Model For Customer Requirements Analysis. *Quality Innovation Prosperity-Kvalita Inovacia Prosperita*, **2015**, 19(1), 59-73. doi: 10.12776/QIP.V19I1.407
204. ul Amin T., Shahzad B., Fazal-e-Amin., Shoaib M., Economical Requirements Elicitation Techniques During COVID-19: A Systematic Literature Review. *CMC-Computers Materials & Continua*, **2021**, 67(2), 2665-2680, doi: 10.32604/cmc.2021.013263
205. Ulewicz R., Nový F., Quality management systems in special processes. *Transportation Research Procedia*, **2019**, 40, 113-118. doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.019
206. Ulewicz R., Siwiec D., Pacana A., Tutak M., Brodny J., Multi-Criteria Method for the Selection of Renewable Energy Sources in the Polish Industrial Sector. *Energies*, **2021**, 14, 2386. doi: <https://doi.org/10.3390/en14092386>
207. Vossebeld D.M., Foley J.T., Puik E., The Complexity of Mapping Customer Needs... (and the Myth of a Unanimous Customer). *MATEC Web of Conferences*, **2018**, 223. doi: 10.1051/mateconf/201822301024
208. Wang C., Zhao W., Wang Z., Zhang K., Li X., Guo X., Innovative design strategy based on customer requirements. *Open Mechanical Engineering Journal*, **2014**, 8, 930-935. doi: 10.2174/1874155X01408010930
209. Wang F., Li H., Dong M., Capturing the key Customer Requirements for Complex Equipment Design Using Grey Relational Analysis. *Journal Of Grey System*, **2015**, 27(3), 51-70.
210. Wang F., Li H., Liu AJ., Zhang X., Hybrid customer requirements rating method for customer-oriented product design using QFD. *Journal Of Systems Engineering And Electronics*, **2015**, 26(3), 533-543. doi: 10.1109/JSEE.2015.00061
211. Wang H., Adam A., Han F., Improving efficiency of customer requirements classification on autonomous vehicle by natural language processing. *International Journal of Computing and Digital Systems*, **2020**, 9(6), 1213-1219. doi: 10.12785/ijcds/0906018

212. Wang P., Gong Y., Xie H. et al., Applying CBR to machine tool product configuration design oriented to customer requirements. *Chinese Journal Of Mechanical Engineering*, **2017**, *30(1)*, 60-76. doi: 10.3901/CJME.2016.0113.007
213. Wang X., Wang Y., Liu A., Determining Customer-Focused Product Features through Social Network Analysis. *Procedia CIRP*, **2020**, *91*, 704-709. doi: 10.1016/j.procir.2020.02.227
214. Wang Y., Mo D.Y., Tseng M.M., Relative preference-based product configurator design. *Procedia CIRP*, **2019**, *83*, 575-578. doi: 10.1016/j.procir.2019.04.124
215. Wang Y., Tseng MM., Identifying Emerging Customer Requirements in an Early Design Stage by Applying Bayes Factor-Based Sequential Analysis. *Ieee Transactions On Engineering Management*, **2014**, *61(1)*, 129-137. doi: 10.1109/TEM.2013.2248729
216. Wang Y., Yseng MM., Integrating comprehensive customer requirements into product design. *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, **2011**, *60(1)*, 175-178. doi: 10.1016/j.cirp.2011.03.091
217. Wang YM., Chin KS., A linear goal programming approach to determining the relative importance weights of customer requirements in quality function deployment. *Information Sciences*, **2011**, *181(24)*, 5523-5533. doi: 10.1016/j.ins.2011.08.016
218. Wang ZQ., Chen ZS., Garg H., Pu Y., Chin KS., An integrated quality-function-deployment and stochastic-dominance-based decision-making approach for prioritizing product concept alternatives. *Complex & Intelligent Systems*, **2022**. doi: 10.1007/s40747-022-00681-1
219. Wei W., Ji J., Wuest T., Tao F., Product Family Flexible Design Method Based on Dynamic Requirements Uncertainty Analysis. *Procedia CIRP*, **2017**, *60*, 332-337. doi: 10.1016/j.procir.2017.01.037
220. West R., Al Jadda K., Ahsan U., Qu HM., Cui XQ., Interpretable Methods for Identifying Product Variants. *WWW'20: Companion Proceedings Of The Web Conference*, **2020**, 448-453. doi: 10.1145/3366424.3386196
221. Winiarski J., Rzyko w projektach informatycznych – statystyczne narzędzia oceny. *Contemporart Economy, Electronic Scientific Journal*, **2012**, *3(4)*, 35-42.
222. Wu C.-T., Pan T.-S., Shao M.-H., Wu C.-S., An extensive QFD and evaluation procedure for innovative design. *Mathematical Problems in Engineering*, **2013**. doi: 10.1155/2013/935984
223. Wu HH., Shieh JI., Using a Markov chain model in quality function deployment to analyse customer requirements. *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology V*, **2006**, *30(1-2)*, 141-146. doi: 10.1007/s00170-005-0023-z
224. Xia S.-S., Wang L.-Y., Customer requirements mapping method based on association rules mining for mass customisation. *International Journal of Computer Applications in Technology*, **2010**, *37(3-4)*, 198-203. doi: 10.1504/IJCAT.2010.031935
225. Xiangdong L., Youlong H., Peng Q., Wei L., A computer-aided approach for acquisition and importance ranking of customer requirements from the online comment mining. *Computer-Aided Design and Applications*, **2022**, *19(1)*, 132-151. doi: 10.14733/CADAPS.2022.132-151
226. Xiao Z., Zhou ZD., Sheng BY., A New Classification Analysis of Customer Requirement Information Based on Quantitative Standardization for Product Configuration. *Mathematical Problems In Engineering*, **2016**. doi: 10.1155/2016/7274538
227. Xie MQ., Jiang QQ., Cheng WP., Ma XX., Determining the Importance Ratings of Customer Requirements of Automotive Clutch Based on Quality Function Deployment. *International Conference On Mechanics Design, Manufacturing And Automation (MDM 2016)*, **2016**, 379-386.

228. Yamagishi K., Seki K., Nishimura H., Requirement analysis considering uncertain customer preference for Kansei quality of product. *Journal Of Advanced Mechanical Design Systems And Manufacturing*, **2018**, *12(1)*. doi: 10.1299/jamdsm.2018jamdsm0034
229. Yan W., Chen CH., Khoo LP., An integrated approach to the elicitation of customer requirements for engineering design using picture sorts and fuzzy evaluation. *Ai Edam-Artificial Intelligence For Engineering Design Analysis And Manufacturing*, **2002**, *16(2)*, 59-71. doi: 10.1017/S0890060402020061
230. Yan Z., Tu G., He J., Integrated product and process development of clutch friction material using quality function deployment processes. *MATEC Web of Conferences*, **2018**, *207*. doi: 10.1051/mateconf/201820703025
231. Yang Q., Bian XJ., Stark R., Fresemann C., Song F., Configuration Equilibrium Model of Product Variant Design Driven by Customer Requirements. *Symmetry-Basel*, **2019**, *11(4)*. doi: 10.3390/sym11040508
232. Yang Q., Jiao HS., Song F., Pan GF., Wei DZ., Customer requirement acquisition system and requirement expression guidance based on ant colony optimization. *Advances In Mechanical Engineering*, **2017**, *9(6)*, 1-9. doi: 10.1177/1687814017704412
233. Yang Q., Li Z. Jiao H. et al., Bayesian Network Approach to Customer Requirements to Customized Product Model. *Discrete Dynamics In Nature And Society*, **2019**. doi: 10.1155/2019/9687236
234. Yang Q., Roller D., Han J., Zhu J., Li L., Individualized product requirement information modelling and analysis based on customer driven. *Proceeding 2009 IEEE 10th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design: E-Business, Creative Design, Manufacturing - CAID and CD'2009*, **2009**, 1138-1144. doi: 10.1109/CAIDCD.2009.5375153
235. Yang Q., Ye ZF., Li XZ., Zhang ZF., Chang WJ., Ruan S., Product Module Attribute Parameter Configuration Model considering Customer Requirements Preferences. *Mathematical Problems In Engineering*, **2021**, 6632057. doi: 10.1155/2021/6632057
236. Yan-Lai L., Yin-Feng D., Kwai-Sang C., Determining the importance ratings of customer requirements in quality function deployment based on interval linguistic information. *International Journal of Production Research*, **2018**, *56(14)*, 4692-4708. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1417650>
237. Yiangkamolsing C., Bohez ELJ., Bueren I., Universal Design (UD) Principles for Flexible Packaging and Corresponding Minimal Customer Requirement Set. *Packaging Technology And Science*, **2010**, *23(5)*, 283-300. doi: 10.1002/pts.900
238. Zhang C., Liu F., Research on method of expression and analysis for customer's requirements. *SKG 2009 - 5th International Conference on Semantics, Knowledge, and Grid*, **2009**, 454-455. doi: 10.1109/SKG.2009.16
239. Zhang JY., Yin AG., Chen GJ., Li YN., Lu ZP., Wang B., Research on the Intelligent Design of Office Chair Patterns. *Applied Sciences-Basel*, **2022**, *12(4)*, 2124. doi: 10.3390/app12042124
240. Zhang W., Gao F., An improvement to Naïve Bayes for Text Classification. *Procedia Engineering*, **2011**, *15*, 2160-2164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.08.404>
241. Zhao Sy., Zhang Q., Peng ZL., Fan Y., Integrating customer requirements into customized product configuration design based on Kano's model. *Journal Of Intelligent Manufacturing*, **2020**, *31(3)*, 597-613. doi: 10.1007/s10845-019-01467-y
242. Zhao Y., Zhao J., Jiang LS., Tan R., Niyato D., Li ZX., Lyu LJ., Liu YB., Privacy-Preserving Blockchain-Based Federated Learning for IoT Devices. *IEEE Internet Of Things Journal*, **2021**, *8(3)*, 1817-1829. doi: 10.1109/JIOT.2020.3017377

243. Zheng P., Xu X., Xie SQ., A weighted interval rough number based method to determine relative importance ratings of customer requirements in QFD product planning. *Journal Of Intelligent Manufacturing*, **2019**, *30(1)*, 1-16. doi: 10.1007/s10845-016-1224-z
244. Zhu XJ., Li XF., Chen YF., Liu JW., Zhao XQ., Wu XJ., Interactive genetic algorithm based on typical style for clothing customization. *Journal Of Engineered Fibers And Fabrics*, **2020**, *15*. doi: 10.1177/1558925020920035
245. Zhuang ZL., Liu Y., Ding FL., Wang ZG., Online Color Classification System of Solid Wood Flooring Based on Characteristic Features. *SENSORS*, **2021**, *21(2)*, 336. doi: 10.3390/s21020336

Spis rysunków i tabel

Rysunek 1.1. Liczba i trend publikacji analizowanych prac.	11
Rysunek 1.2. Analiza rodzaju opublikowanych prac.	11
Rysunek 1.3. Chmura słów kluczowych.	12
Rysunek 1.4. Sieć najczęściej powtarzających się wzajemnych cytowań autorów prac.	14
Rysunek 1.5. Sieć powiązań pozycji bibliograficznych wszystkich analizowanych prac.	14
Rysunek 1.6. Główne obszary tematyczne analizowanych prac.	16
Rysunek 2.1. Ogólna koncepcja badań.	40
Rysunek 3.1. Uproszczony schemat koncepcji i zadań w celu opracowania modelu.	45
Rysunek 4.1. Model predykcji jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów.	50
Rysunek 4.2. Algorytm określania licznosci próby do przewidywania poziomu jakości produktów z uwzględnieniem oczekiwań klientów.	56
Rysunek 4.3. Parametry niezbędne do zastosowania testów t-Studenta.	68
Rysunek 4.4. Zestaw komend do określenia kombinacji stanów ważnych cech produktu mający zastosowanie w programie MATLAB 2022a.	70
Rysunek 4.5. Interpretacja poziomu spełnialności jakości produktu.	73
Rysunek 5.1. Liczba wyprodukowanych wybranych produktów w roku.	80
Rysunek 5.2. Wizualizacja odkurzacza PROFi 1.2. i jego akcesoriów.	80
Rysunek 5.3. Fragment kombinacji stanów cech odkurzacza PROFi 1.2.	95
Rysunek 5.4. Przewidywane stany poziomu jakości odkurzacza PROFi 1.2.	96
Tabela 1.1. Zestawienie kryteriów i licznosci prac w ramach wstępnej analizy treści.	9
Tabela 1.2. Zestawienie rodzaju i liczebności najczęściej występujących słów kluczowych.	13
Tabela 1.3. Zestawienie wybranych, najczęściej cytowanych pozycji bibliograficznych.	15
Tabela 4.1. Podejmowanie decyzji podczas weryfikowania hipotez.	57
Tabela 4.2. Dobór zmiennych do weryfikacji proponowanych hipotez statystycznych.	60
Tabela 4.3. Licznosc cech produktu w grupach z uwzględnieniem wag cech.	62
Tabela 5.1. Rodzaj i liczebność produktu według analizy danych z GUS.	79
Tabela 5.2. Stany cech odkurzacza PROFi 1.2.	83
Tabela 5.3. Ustalone wartości miar statystycznych.	86
Tabela 5.4. Przyjęte hipotezy statystyczne i relacje dobranych zmiennych.	87
Tabela 5.5. Cechy odkurzacza pogrupowane według ważności.	88
Tabela 5.6. Licznosc cech produktu w grupach cech produktu.	89

Tabela 5.7. Fragment obliczeń wskaźnika rzeczywistego i porównywalnego poziomu jakości produktu.....	90
Tabela 5.8. Wartości miar tendencji centralnej i rozrzutu dla analizowanych zmiennych.	91
Tabela 5.9. Test t-Studenta dla jednej średniej do określenia licznosci próby.....	92
Tabela 5.10. Test t-Studenta dla dwóch średnich do określenia licznosci próby.....	93
Tabela 5.11. Zestawienie danych do wyznaczenia możliwych kombinacji stanów cech odkurzacza PROFI 1.2.....	94
Tabela 5.12. Wynik klasyfikacji przewidywanych poziomów jakości odkurzacza PROFI 1.2. według NKB.....	97

Załączniki

Załącznik 1.

Algorytm zainicjowany w programie MATLAB do określenia wszystkich możliwych kombinacji stanów dla cech ważnych produktu.

```
N=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17]
M=nchoosek(1:17,6)
I1=[1:3]
I2=[4:6]
I3=[7:9]
I4=[10:12]
I5=[13:15]
I6=[16:17]
II1=ismember(M,I1)
S1=sum(II1,2)
F1=find(any(S1>1,2))
M(F1, :)=[]
II2=ismember(M,I2)
S2=sum(II2,2)
F2=find(any(S2>1,2))
M(F2, :)=[]
II3=ismember(M, I3)
S3=sum(II3,2)
F3=find(any(S3>1,2))
M(F3, :)=[]
II4=ismember(M,I4)
S4=sum(II4,2)
F4=find(any(S4>1,2))
M(F4, :)=[]
II5=ismember(M,I5)
S5=sum(II5,2)
F5=find(any(S5>1,2))
M(F5, :)=[]
II6=ismember(M,I6)
S6=sum(II6,2)
F6=find(any(S6>1,2))
M(F6, :)=[]
L=length(M)
```


Załącznik 2.

Rezultat po inicjacji zestawu komend opracowanego algorytmu w programie MATLAB do określenia wszystkich możliwych kombinacji stanów cech ważnych produktu.

```
N=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17]
```

```
 N = 1×17
    1     2     3     4     5     6     7     8     9    10    11    12
13 ...
```

```
M=nchoosek(1:17,6)
```

```
 M = 12376×6
    1     2     3     4     5     6
    1     2     3     4     5     7
    1     2     3     4     5     8
    1     2     3     4     5     9
    1     2     3     4     5    10
    1     2     3     4     5    11
    1     2     3     4     5    12
    1     2     3     4     5    13
    1     2     3     4     5    14
    1     2     3     4     5    15
    ⋮
```

```
I1=[1:3]
```

```
 I1 = 1×3
    1     2     3
```

```
I2=[4:6]
```

```
 I2 = 1×3
    4     5     6
```

```
I3=[7:9]
```

```
 I3 = 1×3
    7     8     9
```

```
I4=[10:12]
```

```
 I4 = 1×3
   10    11    12
```

```
I5=[13:15]
```

```
 I5 = 1×3
   13    14    15
```

```
I6=[16:17]
```

```
 I6 = 1×2
   16    17
```


:

```
II2=ismember(M,I2)
```

```
II2 = 9009x6 logical array
0  1  1  1  0  0
0  1  1  1  0  0
0  1  1  1  0  0
0  1  1  1  0  0
0  1  1  1  0  0
0  1  1  1  0  0
0  1  1  1  0  0
0  1  1  1  0  0
0  1  1  1  0  0
0  1  1  1  0  0
:
```

```
S2=sum(II2,2)
```

```
S2 = 9009x1
3
3
3
3
3
3
3
3
3
3
3
3
:
```

```
F2=find(any(S2>1,2))
```

```
F2 = 2805x1
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
:
```

```
M(F2, :)=[]
```

```
M = 6204x6
1  4  7  8  9  10
1  4  7  8  9  11
1  4  7  8  9  12
1  4  7  8  9  13
1  4  7  8  9  14
1  4  7  8  9  15
1  4  7  8  9  16
1  4  7  8  9  17
1  4  7  8  10 11
```

```
1     4     7     8    10    12
:
```

```
II3=ismember(M, I3)
```

```
II3 = 6204x6 logical array
0  0  1  1  1  0
0  0  1  1  1  0
0  0  1  1  1  0
0  0  1  1  1  0
0  0  1  1  1  0
0  0  1  1  1  0
0  0  1  1  1  0
0  0  1  1  1  0
0  0  1  1  0  0
0  0  1  1  0  0
:
```

```
S3=sum(II3,2)
```

```
S3 = 6204x1
3
3
3
3
3
3
3
3
3
3
2
2
:
```

```
F3=find(any(S3>1,2))
```

```
F3 = 2270x1
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
:
```

```
M(F3, :)=[]
```

```
M = 3934x6
1     4     7    10    11    12
1     4     7    10    11    13
1     4     7    10    11    14
1     4     7    10    11    15
1     4     7    10    11    16
1     4     7    10    11    17
1     4     7    10    12    13
1     4     7    10    12    14
```

```
1     4     7     10    12    15
1     4     7     10    12    16
:
```

```
II4=ismember(M,I4)
```

```
II4 = 3934x6 logical array
0  0  0  1  1  1
0  0  0  1  1  0
0  0  0  1  1  0
0  0  0  1  1  0
0  0  0  1  1  0
0  0  0  1  1  0
0  0  0  1  1  0
0  0  0  1  1  0
0  0  0  1  1  0
0  0  0  1  1  0
:
```

```
S4=sum(II4,2)
```

```
S4 = 3934x1
3
2
2
2
2
2
2
2
2
2
2
:
```

```
F4=find(any(S4>1,2))
```

```
F4 = 1762x1
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
:
```

```
M(F4, :)=[]
```

```
M = 2172x6
1     4     7     10    13    14
1     4     7     10    13    15
1     4     7     10    13    16
1     4     7     10    13    17
1     4     7     10    14    15
1     4     7     10    14    16
1     4     7     10    14    17
```

```

1     4     7     10    15    16
1     4     7     10    15    17
1     4     7     10    16    17
:

```

```
II5=ismember(M,I5)
```

```

II5 = 2172x6 logical array
0     0     0     0     1     1
0     0     0     0     1     1
0     0     0     0     1     0
0     0     0     0     1     0
0     0     0     0     1     1
0     0     0     0     1     0
0     0     0     0     1     0
0     0     0     0     1     0
0     0     0     0     1     0
0     0     0     0     1     0
0     0     0     0     0     0
:

```

```
S5=sum(II5,2)
```

```

S5 = 2172x1
2
2
1
1
2
1
1
1
1
1
0
:

```

```
F5=find(any(S5>1,2))
```

```

F5 = 1281x1
1
2
5
11
12
15
21
22
25
31
:

```

```
M(F5, :)=[]
```

```

M = 891x6
1     4     7     10    13    16
1     4     7     10    13    17
1     4     7     10    14    16
1     4     7     10    14    17
1     4     7     10    15    16
1     4     7     10    15    17

```

```

1     4     7     10    16    17
1     4     7     11    13    16
1     4     7     11    13    17
1     4     7     11    14    16
:
```

```
II6=ismember(M,I6)
```

```

II6 = 891x6 logical array
0     0     0     0     0     1
0     0     0     0     0     1
0     0     0     0     0     1
0     0     0     0     0     1
0     0     0     0     0     1
0     0     0     0     0     1
0     0     0     0     1     1
0     0     0     0     0     1
0     0     0     0     0     1
0     0     0     0     0     1
:
```

```
S6=sum(II6,2)
```

```

S6 = 891x1
1
1
1
1
1
1
1
2
1
1
1
:
```

```
F6=find(any(S6>1,2))
```

```

F6 = 405x1
7
14
21
22
23
24
31
38
45
46
:
```

```
M(F6, :)=[]
```

```

M = 486x6
1     4     7     10    13    16
1     4     7     10    13    17
1     4     7     10    14    16
1     4     7     10    14    17
1     4     7     10    15    16
```

```
1    4    7    10   15   17
1    4    7    11   13   16
1    4    7    11   13   17
1    4    7    11   14   16
1    4    7    11   14   17
:
```

```
L=length(M)
```

```
L = 486
```


Załącznik 3.

Zestaw kombinacji dla ważnych cech produktu określony algorytmem w programie MATLAB.

1 4 7 10 13 16	1 4 9 11 14 16	1 5 8 12 15 16	1 6 8 11 13 16
1 4 7 10 13 17	1 4 9 11 14 17	1 5 8 12 15 17	1 6 8 11 13 17
1 4 7 10 14 16	1 4 9 11 15 16	1 5 9 10 13 16	1 6 8 11 14 16
1 4 7 10 14 17	1 4 9 11 15 17	1 5 9 10 13 17	1 6 8 11 14 17
1 4 7 10 15 16	1 4 9 12 13 16	1 5 9 10 14 16	1 6 8 11 15 16
1 4 7 10 15 17	1 4 9 12 13 17	1 5 9 10 14 17	1 6 8 11 15 17
1 4 7 11 13 16	1 4 9 12 14 16	1 5 9 10 15 16	1 6 8 12 13 16
1 4 7 11 13 17	1 4 9 12 14 17	1 5 9 10 15 17	1 6 8 12 13 17
1 4 7 11 14 16	1 4 9 12 15 16	1 5 9 11 13 16	1 6 8 12 14 16
1 4 7 11 14 17	1 4 9 12 15 17	1 5 9 11 13 17	1 6 8 12 14 17
1 4 7 11 15 16	1 5 7 10 13 16	1 5 9 11 14 16	1 6 8 12 15 16
1 4 7 11 15 17	1 5 7 10 13 17	1 5 9 11 14 17	1 6 8 12 15 17
1 4 7 12 13 16	1 5 7 10 14 16	1 5 9 11 15 16	1 6 9 10 13 16
1 4 7 12 13 17	1 5 7 10 14 17	1 5 9 11 15 17	1 6 9 10 13 17
1 4 7 12 14 16	1 5 7 10 15 16	1 5 9 12 13 16	1 6 9 10 14 16
1 4 7 12 14 17	1 5 7 10 15 17	1 5 9 12 13 17	1 6 9 10 14 17
1 4 7 12 15 16	1 5 7 11 13 16	1 5 9 12 14 16	1 6 9 10 15 16
1 4 7 12 15 17	1 5 7 11 13 17	1 5 9 12 14 17	1 6 9 10 15 17
1 4 8 10 13 16	1 5 7 11 14 16	1 5 9 12 15 16	1 6 9 11 13 16
1 4 8 10 13 17	1 5 7 11 14 17	1 5 9 12 15 17	1 6 9 11 13 17
1 4 8 10 14 16	1 5 7 11 15 16	1 6 7 10 13 16	1 6 9 11 14 16
1 4 8 10 14 17	1 5 7 11 15 17	1 6 7 10 13 17	1 6 9 11 14 17
1 4 8 10 15 16	1 5 7 12 13 16	1 6 7 10 14 16	1 6 9 11 15 16
1 4 8 10 15 17	1 5 7 12 13 17	1 6 7 10 14 17	1 6 9 11 15 17
1 4 8 11 13 16	1 5 7 12 14 16	1 6 7 10 15 16	1 6 9 12 13 16
1 4 8 11 13 17	1 5 7 12 14 17	1 6 7 10 15 17	1 6 9 12 13 17
1 4 8 11 14 16	1 5 7 12 15 16	1 6 7 11 13 16	1 6 9 12 14 16
1 4 8 11 14 17	1 5 7 12 15 17	1 6 7 11 13 17	1 6 9 12 14 17
1 4 8 11 15 16	1 5 8 10 13 16	1 6 7 11 14 16	1 6 9 12 15 16
1 4 8 11 15 17	1 5 8 10 13 17	1 6 7 11 14 17	1 6 9 12 15 17
1 4 8 12 13 16	1 5 8 10 14 16	1 6 7 11 15 16	2 4 7 10 13 16
1 4 8 12 13 17	1 5 8 10 14 17	1 6 7 11 15 17	2 4 7 10 13 17
1 4 8 12 14 16	1 5 8 10 15 16	1 6 7 12 13 16	2 4 7 10 14 16
1 4 8 12 14 17	1 5 8 10 15 17	1 6 7 12 13 17	2 4 7 10 14 17
1 4 8 12 15 16	1 5 8 11 13 16	1 6 7 12 14 16	2 4 7 10 15 16
1 4 8 12 15 17	1 5 8 11 13 17	1 6 7 12 14 17	2 4 7 10 15 17
1 4 9 10 13 16	1 5 8 11 14 16	1 6 7 12 15 16	2 4 7 11 13 16
1 4 9 10 13 17	1 5 8 11 14 17	1 6 7 12 15 17	2 4 7 11 13 17
1 4 9 10 14 16	1 5 8 11 15 16	1 6 8 10 13 16	2 4 7 11 14 16
1 4 9 10 14 17	1 5 8 11 15 17	1 6 8 10 13 17	2 4 7 11 14 17
1 4 9 10 15 16	1 5 8 12 13 16	1 6 8 10 14 16	2 4 7 11 15 16
1 4 9 10 15 17	1 5 8 12 13 17	1 6 8 10 14 17	2 4 7 11 15 17
1 4 9 11 13 16	1 5 8 12 14 16	1 6 8 10 15 16	2 4 7 12 13 16
1 4 9 11 13 17	1 5 8 12 14 17	1 6 8 10 15 17	2 4 7 12 13 17

Załącznik 3. c.d.

2 4 7 12 14 16	2 5 7 10 15 16	2 5 9 12 13 16	2 6 9 10 14 16
2 4 7 12 14 17	2 5 7 10 15 17	2 5 9 12 13 17	2 6 9 10 14 17
2 4 7 12 15 16	2 5 7 11 13 16	2 5 9 12 14 16	2 6 9 10 15 16
2 4 7 12 15 17	2 5 7 11 13 17	2 5 9 12 14 17	2 6 9 10 15 17
2 4 8 10 13 16	2 5 7 11 14 16	2 5 9 12 15 16	2 6 9 11 13 16
2 4 8 10 13 17	2 5 7 11 14 17	2 5 9 12 15 17	2 6 9 11 13 17
2 4 8 10 14 16	2 5 7 11 15 16	2 6 7 10 13 16	2 6 9 11 14 16
2 4 8 10 14 17	2 5 7 11 15 17	2 6 7 10 13 17	2 6 9 11 14 17
2 4 8 10 15 16	2 5 7 12 13 16	2 6 7 10 14 16	2 6 9 11 15 16
2 4 8 10 15 17	2 5 7 12 13 17	2 6 7 10 14 17	2 6 9 11 15 17
2 4 8 11 13 16	2 5 7 12 14 16	2 6 7 10 15 16	2 6 9 12 13 16
2 4 8 11 13 17	2 5 7 12 14 17	2 6 7 10 15 17	2 6 9 12 13 17
2 4 8 11 14 16	2 5 7 12 15 16	2 6 7 11 13 16	2 6 9 12 14 16
2 4 8 11 14 17	2 5 7 12 15 17	2 6 7 11 13 17	2 6 9 12 14 17
2 4 8 11 15 16	2 5 8 10 13 16	2 6 7 11 14 16	2 6 9 12 15 16
2 4 8 11 15 17	2 5 8 10 13 17	2 6 7 11 14 17	2 6 9 12 15 17
2 4 8 12 13 16	2 5 8 10 14 16	2 6 7 11 15 16	3 4 7 10 13 16
2 4 8 12 13 17	2 5 8 10 14 17	2 6 7 11 15 17	3 4 7 10 13 17
2 4 8 12 14 16	2 5 8 10 15 16	2 6 7 12 13 16	3 4 7 10 14 16
2 4 8 12 14 17	2 5 8 10 15 17	2 6 7 12 13 17	3 4 7 10 14 17
2 4 8 12 15 16	2 5 8 11 13 16	2 6 7 12 14 16	3 4 7 10 15 16
2 4 8 12 15 17	2 5 8 11 13 17	2 6 7 12 14 17	3 4 7 10 15 17
2 4 9 10 13 16	2 5 8 11 14 16	2 6 7 12 15 16	3 4 7 11 13 16
2 4 9 10 13 17	2 5 8 11 14 17	2 6 7 12 15 17	3 4 7 11 13 17
2 4 9 10 14 16	2 5 8 11 15 16	2 6 8 10 13 16	3 4 7 11 14 16
2 4 9 10 14 17	2 5 8 11 15 17	2 6 8 10 13 17	3 4 7 11 14 17
2 4 9 10 15 16	2 5 8 12 13 16	2 6 8 10 14 16	3 4 7 11 15 16
2 4 9 10 15 17	2 5 8 12 13 17	2 6 8 10 14 17	3 4 7 11 15 17
2 4 9 11 13 16	2 5 8 12 14 16	2 6 8 10 15 16	3 4 7 12 13 16
2 4 9 11 13 17	2 5 8 12 14 17	2 6 8 10 15 17	3 4 7 12 13 17
2 4 9 11 14 16	2 5 8 12 15 16	2 6 8 11 13 16	3 4 7 12 14 16
2 4 9 11 14 17	2 5 8 12 15 17	2 6 8 11 13 17	3 4 7 12 14 17
2 4 9 11 15 16	2 5 9 10 13 16	2 6 8 11 14 16	3 4 7 12 15 16
2 4 9 11 15 17	2 5 9 10 13 17	2 6 8 11 14 17	3 4 7 12 15 17
2 4 9 12 13 16	2 5 9 10 14 16	2 6 8 11 15 16	3 4 8 10 13 16
2 4 9 12 13 17	2 5 9 10 14 17	2 6 8 11 15 17	3 4 8 10 13 17
2 4 9 12 14 16	2 5 9 10 15 16	2 6 8 12 13 16	3 4 8 10 14 16
2 4 9 12 14 17	2 5 9 10 15 17	2 6 8 12 13 17	3 4 8 10 14 17
2 4 9 12 15 16	2 5 9 11 13 16	2 6 8 12 14 16	3 4 8 10 15 16
2 4 9 12 15 17	2 5 9 11 13 17	2 6 8 12 14 17	3 4 8 10 15 17
2 5 7 10 13 16	2 5 9 11 14 16	2 6 8 12 15 16	3 4 8 11 13 16
2 5 7 10 13 17	2 5 9 11 14 17	2 6 8 12 15 17	3 4 8 11 13 17
2 5 7 10 14 16	2 5 9 11 15 16	2 6 9 10 13 16	3 4 8 11 14 16
2 5 7 10 14 17	2 5 9 11 15 17	2 6 9 10 13 17	3 4 8 11 14 17

Załącznik 3. c.d.

3 4 8 11 15 16	3 5 8 10 13 17	3 6 7 11 15 16
3 4 8 11 15 17	3 5 8 10 14 16	3 6 7 11 15 17
3 4 8 12 13 16	3 5 8 10 14 17	3 6 7 12 13 16
3 4 8 12 13 17	3 5 8 10 15 16	3 6 7 12 13 17
3 4 8 12 14 16	3 5 8 10 15 17	3 6 7 12 14 16
3 4 8 12 14 17	3 5 8 11 13 16	3 6 7 12 14 17
3 4 8 12 15 16	3 5 8 11 13 17	3 6 7 12 15 16
3 4 8 12 15 17	3 5 8 11 14 16	3 6 7 12 15 17
3 4 9 10 13 16	3 5 8 11 14 17	3 6 8 10 13 16
3 4 9 10 13 17	3 5 8 11 15 16	3 6 8 10 13 17
3 4 9 10 14 16	3 5 8 11 15 17	3 6 8 10 14 16
3 4 9 10 14 17	3 5 8 12 13 16	3 6 8 10 14 17
3 4 9 10 15 16	3 5 8 12 13 17	3 6 8 10 15 16
3 4 9 10 15 17	3 5 8 12 14 16	3 6 8 10 15 17
3 4 9 11 13 16	3 5 8 12 14 17	3 6 8 11 13 16
3 4 9 11 13 17	3 5 8 12 15 16	3 6 8 11 13 17
3 4 9 11 14 16	3 5 8 12 15 17	3 6 8 11 14 16
3 4 9 11 14 17	3 5 9 10 13 16	3 6 8 11 14 17
3 4 9 11 15 16	3 5 9 10 13 17	3 6 8 11 15 16
3 4 9 11 15 17	3 5 9 10 14 16	3 6 8 11 15 17
3 4 9 12 13 16	3 5 9 10 14 17	3 6 8 12 13 16
3 4 9 12 13 17	3 5 9 10 15 16	3 6 8 12 13 17
3 4 9 12 14 16	3 5 9 10 15 17	3 6 8 12 14 16
3 4 9 12 14 17	3 5 9 11 13 16	3 6 8 12 14 17
3 4 9 12 15 16	3 5 9 11 13 17	3 6 8 12 15 16
3 4 9 12 15 17	3 5 9 11 14 16	3 6 8 12 15 17
3 5 7 10 13 16	3 5 9 11 14 17	3 6 9 10 13 16
3 5 7 10 13 17	3 5 9 11 15 16	3 6 9 10 13 17
3 5 7 10 14 16	3 5 9 11 15 17	3 6 9 10 14 16
3 5 7 10 14 17	3 5 9 12 13 16	3 6 9 10 14 17
3 5 7 10 15 16	3 5 9 12 13 17	3 6 9 10 15 16
3 5 7 10 15 17	3 5 9 12 14 16	3 6 9 10 15 17
3 5 7 11 13 16	3 5 9 12 14 17	3 6 9 11 13 16
3 5 7 11 13 17	3 5 9 12 15 16	3 6 9 11 13 17
3 5 7 11 14 16	3 5 9 12 15 17	3 6 9 11 14 16
3 5 7 11 14 17	3 6 7 10 13 16	3 6 9 11 14 17
3 5 7 11 15 16	3 6 7 10 13 17	3 6 9 11 15 16
3 5 7 11 15 17	3 6 7 10 14 16	3 6 9 11 15 17
3 5 7 12 13 16	3 6 7 10 14 17	3 6 9 12 13 16
3 5 7 12 13 17	3 6 7 10 15 16	3 6 9 12 13 17
3 5 7 12 14 16	3 6 7 10 15 17	3 6 9 12 14 16
3 5 7 12 14 17	3 6 7 11 13 16	3 6 9 12 14 17
3 5 7 12 15 16	3 6 7 11 13 17	3 6 9 12 15 16
3 5 7 12 15 17	3 6 7 11 14 16	3 6 9 12 15 17
3 5 8 10 13 16	3 6 7 11 14 17	

Załącznik 4.

Ankieta badawcza dotycząca preferencji klienta wobec wybranych specyfikacji odkurzacza.

ANKIETA dotycząca preferencji klienta wobec wybranych specyfikacji odkurzacza

Celem ankiety jest dokonanie oceny ważności i stopnia spełnienia wybranych specyfikacji odkurzacza. Ankieta składa się z metryczki i trzech części pytań ankietowych. Ankieta jest anonimowa.

Dziękuję za wypełnienie ankiety.

METRYCZKA

- Płeć:** kobieta mężczyzna
- Wiek:** poniżej 30 lat od 30 do 40 lat od 40 do 50 lat powyżej 50 lat
- Użytkowanie odkurzacza** poniżej 2 razy/miesiąc od 2 do 3 razy/miesiąc od 3 do 4 razy/miesiąc powyżej 4 razy/miesiąc
- Powierzchnia podlegającą odkurzaniu:** poniżej 60 m² od 60 do 120 m² od 120 do 180 m² powyżej 180 m²

Część 1. Proszę ocenić w jakim stopniu specyfikacje odkurzacza (od 1 do 21) są dla Pani/Pana ważne.

Proszę zaznaczyć **X** jedną cyfrę od 1 do 5 przy każdej specyfikacji.

Ocena ważności specyfikacji odkurzacza						
Lp.	Specyfikacja odkurzacza	OCENA				
		1 nieistotna	2 istotna	3 ważna	4 bardzo ważna	5 absolutnie niezbędna
1	Moc silnika odkurzacza	1	2	3	4	5
2	Podciśnienie w rurze	1	2	3	4	5
3	Długość przewodu zasilającego	1	2	3	4	5
4	System zwijania przewodu zasilającego	1	2	3	4	5
5	Zasięg pracy odkurzacza podpiętego do przewodu zasilającego	1	2	3	4	5
6	Wymiary odkurzacza	1	2	3	4	5
7	Waga odkurzacza	1	2	3	4	5
8	Poziom hałasu podczas pracy odkurzacza	1	2	3	4	5
9	Rodzaj filtra pyłu odkurzacza	1	2	3	4	5
10	Typ worka odkurzacza	1	2	3	4	5
11	Średnica przewodu ssącego	1	2	3	4	5
12	Długość przewodu ssącego (rura ssąca)	1	2	3	4	5
13	Możliwość sterowania podciśnieniem odkurzacza w uchwycie roboczym	1	2	3	4	5

14	Ochronniki gumowe chroniąca meble przed obijaniem	1	2	3	4	5
15	Rodzaj tworzywa kół jezdnych odkurzacza	1	2	3	4	5
16	Typ włączania/wyłączenia odkurzacza	1	2	3	4	5
17	Sygnalizacja przegrzania lub awarii odkurzacza	1	2	3	4	5
18	Gniazdo na elektroszczotkę	1	2	3	4	5
19	Liczba akcesoriów w zestawie z odkurzaczem (rury ssące i ssawki)	1	2	3	4	5
20	Cena zakupu odkurzacza	1	2	3	4	5
21	Wygląd/design odkurzacza	1	2	3	4	5

Część 2. Proszę przy każdej specyfikacji dokonać oceny w skali od 1 do 5, zaznaczając **X** odpowiednią cyfrę, oznaczającą w jakim stopniu specyfikacja odkurzacza spełnia Pani/Pana wymagania. **Zaprezentowano wizualizację odkurzacza i jego elementów, które opisano w ankiecie jako „aktualnie”.**



Ocena spełnienia wymagań specyfikacji odkurzacza							
Lp.	SPECYFIKACJE ODKURZACZA		OCENA				
			1 w znikomym stopniu spełnia wymagania	2 słabo spełnia wymagania	3 spełnia wymagania	4 zadowalająco spełnia wymagania	5 absolutnie spełnia wymagania
1	Moc silnika odkurzacza						
		poniżej 900 W	1	2	3	4	5
	aktualnie	900 W	1	2	3	4	5
		powyżej 900 W	1	2	3	4	5
2	Podciśnienie						
		poniżej 27000 Pa	1	2	3	4	5
	aktualnie	27000 Pa	1	2	3	4	5
		powyżej 2700 Pa	1	2	3	4	5
3	Długość przewodu ssącego						
		mniej niż 28m	1	2	3	4	5
	aktualnie	28m	1	2	3	4	5
		więcej niż 28m	1	2	3	4	5
4	Średnica przewodu ssącego						
		mniejsza niż Ø 36	1	2	3	4	5

	aktualnie	Ø 36	1	2	3	4	5
		większa niż Ø 36	1	2	3	4	5
5	Zasięg pracy odkurzacza podpiętego do przewodu zasilającego						
		poniżej 19m	1	2	3	4	5
	aktualnie	19m	1	2	3	4	5
		powyżej 19m	1	2	3	4	5
6	Długość przewodu zasilającego						
		poniżej 15 m	1	2	3	4	5
	aktualnie	15 m	1	2	3	4	5
		powyżej 15 m	1	2	3	4	5
7	System zwijania przewodu zasilającego						
	aktualnie	ręczny	1	2	3	4	5
		automatyczny	1	2	3	4	5
8	Wymiary odkurzacza						
		mniejszy niż 35x42x32 cm	1	2	3	4	5
	aktualnie	35x42x32 cm	1	2	3	4	5
		większy niż 35x42x32 cm	1	2	3	4	5
9	Waga odkurzacza						
		mniejsza niż 7,7 kg	1	2	3	4	5
	aktualnie	7,7 kg	1	2	3	4	5
		większa niż 7,7 kg	1	2	3	4	5
10	Poziom hałasu podczas pracy odkurzacza						
		poniżej 67 dB	1	2	3	4	5
	aktualnie	67 dB	1	2	3	4	5
		powyżej 67 dB	1	2	3	4	5
11	Rodzaj filtry pyłu odkurzacza						
		podstawowy (worek)	1	2	3	4	5
	aktualnie	Hepa	1	2	3	4	5
		anty alergiczny	1	2	3	4	5
12	Typ worka odkurzacza						
		wielorazowy	1	2	3	4	5
	aktualnie	papierowy lub polipropylenowy	1	2	3	4	5
		odkurzacz bezworkowy	1	2	3	4	5
13	Możliwość sterowania podciśnieniem odkurzacza w uchwycie roboczym						
	aktualnie	tak	1	2	3	4	5
		nie	1	2	3	4	5
14	Ochronniki gumowe chroniące meble przed obijaniem						
	aktualnie	tak	1	2	3	4	5
		nie	1	2	3	4	5
15	Rodzaj tworzywa kół jezdnych odkurzacza						

	aktualnie	gumowe, nierysujące podłoża	1	2	3	4	5
		zwykle, rysujące podłoże	1	2	3	4	5
Typ włączania/wyłączania odkurzacza							
16	aktualnie	przycisk na wcisk	1	2	3	4	5
		przycisk przesuwny	1	2	3	4	5
		przycisk-pokrętło	1	2	3	4	5
Zabezpieczenie termiczne (przegrzanie)							
17	aktualnie	tak, automatyczne wyłączenie	1	2	3	4	5
		brak zabezpieczenia	1	2	3	4	5
Gniazdo na elektroszczotkę							
18		tak, jest gniazdo	1	2	3	4	5
	aktualnie	opcja zamontowania	1	2	3	4	5
		brak gniazda	1	2	3	4	5
Liczba akcesoriów w zestawie z odkurzaczem (rury ssące i ssawki)							
19		mniej niż 6 szt.	1	2	3	4	5
	aktualnie	6 szt.	1	2	3	4	5
		więcej niż 6 szt.	1	2	3	4	5
Cena zakupu odkurzacza							
20		poniżej 581 zł	1	2	3	4	5
	aktualnie	≈ 581 zł	1	2	3	4	5
		powyżej 581zł	1	2	3	4	5

Część 3. Proszę zaznaczyć **X** jedną odpowiedź na każde pytanie od 1 do 4.

Lp.	Pytanie i odpowiedź		
1	Czy wygląd/desing przedstawionego na rysunkach odkurzacza jest nowoczesny? <input type="checkbox"/> tak <input type="checkbox"/> nie <input type="checkbox"/> nie mam zdania		
			
2	Czy według Pani/Pana producenci dostosowują odkurzacze do wymagań klientów? <input type="checkbox"/> tak <input type="checkbox"/> nie <input type="checkbox"/> nie mam zdania		
3	Jak ocenia Pani/Pan poziom innowacyjności odkurzaczy aktualnie dostępnych na rynku? <input type="checkbox"/> znikomy (1) <input type="checkbox"/> niski (2) <input type="checkbox"/> średni (3) <input type="checkbox"/> wysoki (4) <input type="checkbox"/> bardzo wysoki (5)		
4	Jak ocenia Pani/Pan żywotność (czas eksploatacji) odkurzaczy aktualnie dostępnych na rynku? <input type="checkbox"/> krótko żywotne (poniżej 2 lat) <input type="checkbox"/> średnio żywotne (od 2 do 5 lat) <input type="checkbox"/> długo żywotne (powyżej 5 lat)		

Dziękuję za wypełnienie ankiety.

Streszczenie

PREDYKCJA JAKOŚCI PRODUKTÓW Z UWZGLĘDNIENIEM WYMAGAŃ KLIENTÓW

Utrzymywanie wysokiej jakości produktów jest kluczową kwestią przetrwania i rozwoju wszystkich organizacji. Oczekiwaną jakość zapewnić można z wykorzystaniem różnych metod, jednak zawsze podczas doskonalenia produktów niezbędna jest opinia klientów. Dlatego, aby osiągnąć satysfakcję klientów początkowo należy poznać ich oczekiwania, a następnie postarać się umiejętnie zaprojektować lub zmodyfikować produkt. Jednak nadal jest to problematyczne głównie ze względu na powszechną konkurencję, turbulentne otoczenie, zmiany oczekiwań klientów w czasie, ale także różnorodność i mnogość tych oczekiwań. Dlatego też, wciąż poszukuje się możliwych modyfikacji produktów już istniejących, tak aby dostosować ich jakość nie tylko do aktualnych, co do zmieniających się i przyszłych oczekiwań klientów.

Problemem podjętym w dysertacji była nikła możliwość metodycznej predykcji jakości produktów w wyniku hipotetycznych zmian jego cech i ich ważności. Z tego względu, celem badawczym było opracowanie modelu zapewniającego przewidzenie poziomu jakości produktów w wyniku zmian cech proponowanych na podstawie informacji od klientów.

Model opracowano w dziesięciu głównych etapach. W ramach modelu opracowano m. in.: procedurę pozyskiwania oczekiwań klientów, procedurę oszacowania wymaganej liczności klientów do predykcji jakości produktów oraz algorytm określający kombinacje stanów cech produktu (aktualnych i zmodyfikowanych). W modelu wykorzystano m. in.: ankietę ze skalą Likerta, zasadę Pareto-Lorenza (20/80), metodę alternatywno-punktową (MAP) i naiwny klasyfikator Bayes'a. Realizację etapów modelu wsparto poprzez wykorzystanie programu STATISTICA 13.3. oraz programu MATLAB 2022a. Test modelu przeprowadzono na przykładzie odkurzacza do użytku domowego PROFI 1.2.

Wykazano, że opracowany model zapewnia określenie kierunku rozwoju produktu wraz z oczekiwanymi parametrami jego cech. Kierunek ten wyznaczany jest przez predykcję jakości produktu z uwzględnieniem oczekiwań klientów, które pozyskiwane są w postaci ocen dotyczących ważności cech (kryteriów) produktu oraz stanów tych cech (aktualnych i zmodyfikowanych). Jednocześnie potwierdzono, że zaoferowanie produktu o jakości zgodnej z wymaganiami rynku (klientów) wymaga zdefiniowania oraz uwzględnienia ważności cech kwalitatywnych i kwantytatywnych produktu, a także możliwości produkcyjnych przedsiębiorstwa.

Słowa kluczowe: predykcja jakości produktów, wymagania klientów, inżynieria produkcji

Summary

PREDICTION OF PRODUCTS QUALITY CONSIDERING CUSTOMERS' REQUIREMENTS

Maintaining high-quality products is a key issue for the survival and development of all organizations. Expected quality can be achieved by using different methods, but customer opinion is necessary during product improvement. Hence, to achieve customers' satisfaction, one should initially get to know their expectations, and then try to skilfully design or modify product. However, it is still problematic mainly in view of universal competition, turbulent environment, changes in customer expectations over time, but also the diversity and multitude of these expectations. Therefore, it is necessary to still search for possible modifications of existing products, to adjust their quality not only to current but also to changing and future customers' expectations.

The problem discussed in the dissertation was the low possibility of methodical prediction of product quality as a result of hypothetical changes in its features and their importance. Therefore, the research purpose was to develop a model to predict the quality level as a result of changes in attributes proposed on the basis of information from customers.

The model was developed in ten main stages. As part of the model were developed, e.g.: a procedure to obtain customers' expectations, a procedure to estimate the required number of customers to predict products' quality, and an algorithm of determining combinations of product criterion states (current and modified). In the model used e.g.: survey with Likert scale, Pareto-Lorenz (20/80) rule, alternative-point method (MAP), and Naïve Bayes Classifier. The realization of model stages was supported by using STATISTICA 13.3. program and MATLAB 2022a program. A test of the model was carried out based on the example of PROFI 1.2 household vacuum cleaner PROFI 1.2.

It was shown that the developed model allows determining the direction of product development along with the expected parameters of its features. This direction is determined by predicting product quality considering customers' expectations, which are obtained in the form of assessments that refer to the importance of features (attributes) and states of these attributes (current and modified). Simultaneously, it was confirmed that offering the product with respect to quality in line with the requirements of the market (customers) requires defining and including the importance of qualitative and quantitative attributes of the product, and also the company's production capacity.

Keywords: product quality prediction, customers' requirements, production engineering