

POLITECHNIKA KRAKOWSKA  
im. TADEUSZA KOŚCIUSZKI  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ

KATEDRA ZARZĄDZANIA W BUDOWNICTWIE

**mgr inż. Grzegorz Piskorz**

**„Analiza przyczyn i modele predykcji opóźnień  
w realizacjach obiektów mostowych”**

Rozprawa doktorska

**Promotor:**

dr hab. inż. Agnieszka Leśniak, prof. PK

**Promotor pomocniczy:**

dr hab. inż. Michał Juszczyk, prof. PK

Kraków 2023

*Składam serdeczne podziękowania wszystkim, którzy przyczynili się do powstania niniejszej rozprawy:*

***Rodzinie***, za pomoc oraz motywację do działania,

***Pani Profesor Agnieszce Leśniak***, za nieocenione wsparcie, inspirację naukową oraz bycie wyjątkowym mentorem i nauczycielem,

***Panu Profesorowi Michałowi Juszczykowi***, za cenne rady oraz dyscyplinę w działaniu,

***Przyjaciółom oraz Współpracownikom***, za dobre słowa, wsparcie i mobilizację do tworzenia.

*Rozprawę dedykuję najbliższym: żonie **Paulinie**, córkom **Julii i Adriannie** oraz **Rodzicom***

## Spis treści

1. WSTĘP .....	5
1.1 Prezentacja problemu i uzasadnienie podjęcia tematu.....	5
1.2 Cele i teza pracy .....	7
1.3 Przedmiot badań.....	8
1.4 Zakres pracy .....	8
2. ANALIZA STANU WIEDZY W ZAKRESIE TEMATU PRACY.....	10
2.1 Charakterystyka przedsięwzięć budowy obiektów drogowych i kolejowych w Polsce. ....	10
2.2 Opóźnienia w budownictwie – definicja i uwarunkowania prawne .....	14
2.3 Przegląd literatury zagranicznej i krajowej.....	15
2.4 Podsumowanie rozdziału .....	25
3. BADANIA WŁASNE W ZAKRESIE OPÓŹNIEŃ.....	27
3.1 Etapy przeprowadzenia badań własnych .....	27
3.2 Czynniki powodujące opóźnienia przedsięwzięć budowlanych .....	29
3.3 Czynniki powodujące opóźnienia w realizacji obiektów mostowych .....	43
3.4 Podsumowanie rozdziału .....	48
4. ZAŁOŻENIA BUDOWY MODELU I OPRACOWANIE BAZY DANYCH DO MODELOWANIA OPÓŹNIEŃ.....	49
4.1 Koncepcja modelowania .....	49
4.2 Potencjalne zmienne niezależne.....	50
4.3 Zmienna zależna.....	57
4.4 Baza danych .....	58
4.5 Ocena statystyczna zebranego materiału badawczego.....	59
4.6 Wybór zmiennych do modelowania.....	106
4.7 Podsumowanie rozdziału .....	117
5. MODELE PREDYKCJI OPÓŹNIEŃ W REALIZACJI OBIEKTÓW MOSTOWYCH .....	119
5.1 Przygotowanie zmiennych w zbiorze danych .....	119
5.2 Sformułowanie założeń do modelowania .....	121
5.3 Wyniki modelowania i ocena modeli.....	132
5.4 Wybór najlepszego modelu.....	159
5.5 Podsumowanie rozdziału .....	160
6. ANALIZA I WERYFIKACJA MODELU.....	161
6.1 Wyniki uczenia i testowania wybranej sieci .....	161
6.2 Analiza wrażliwości .....	165

6.3	Analiza jakości modelu .....	168
6.4	Weryfikacja hipotez statystycznych dotyczących proponowanego modelu..	171
6.5	Podsumowanie rozdziału .....	176
7.	ZAKOŃCZENIE .....	177
7.1	Podsumowanie .....	177
7.2	Wnioski końcowe.....	178
7.3	Wkład własny oraz oryginalne elementy pracy .....	179
7.4	Proponowane kierunki dalszych badań.....	180
	SPIS LITERATURY .....	181
	STRESZCZENIE.....	202
	ABSTRACT.....	205
	ZAŁĄCZNIKI: .....	208
	Załącznik nr 1 – Średnie oceny ważności czynników opóźnienia w poszczególnych grupach na etapie projektowania przedsięwzięć budowlanych, system realizacji „zaprojektuj i zbuduj” .....	208
	Załącznik nr 2 – Średnie oceny częstości czynników opóźnień w poszczególnych grupach na etapie projektowania przedsięwzięć budowlanych, system realizacji „zaprojektuj i zbuduj” .....	210
	Załącznik nr 3 – Średnie oceny ważności czynników opóźnień w poszczególnych grupach na etapie realizacji przedsięwzięć budowlanych, system realizacji „zbuduj” .....	212
	Załącznik nr 4 – Średnie oceny częstości czynników opóźnień w poszczególnych grupach na etapie realizacji przedsięwzięć budowlanych, system realizacji „zbuduj” .....	214
	Załącznik nr 5 – Ocena wpływu czynników opóźnień na etapie projektowania obiektów mostowych. ....	216
	Załącznik nr 6 – Ocena wpływu czynników opóźnień na etapie realizacji obiektów mostowych. ....	218
	Załącznik nr 7 – Baza danych – część 1 – Informacje ogólne .....	220
	Załącznik nr 8 – Baza danych – część 2 – Charakterystyki obiektów mostowych... ..	242
	Załącznik nr 9 – Baza danych – część 3 – Czynniki powodujące opóźnienia.....	265
	Załącznik nr 10 – Przekodowana baza danych .....	273
	Załącznik nr 11 – Podział danych w bazie danych na zbiór uczący i zbiór testowy.....	279
	Załącznik nr 12 – Wyniki uczenia i testowania wybranej sieci RBF. ....	285

# 1. WSTĘP

## 1.1 Prezentacja problemu i uzasadnienie podjęcia tematu

Proces budowlany i jego przebieg w czasie zależny jest od wielu czynników, których występowanie jest często przewidywalne na etapie planowania prac projektowych i robót budowlanych. Należą do nich np. parametry techniczne inwestycji, zastosowane rozwiązania technologiczne i organizacyjne. Istnieje także grupa czynników trudnych do przewidzenia takich jak np.: zjawiska pogodowe, awarie, niekompetencja wykonawców i dostawców. Niedotrzymanie określonego w umowie terminu zakończenia realizacji przedsięwzięcia budowlanego, to powszechnie występujący problem w budownictwie.

W każdym podejmowanym przedsięwzięciu budowlanym istnieje ryzyko wystąpienia zdarzeń i okoliczności, które mogą stać się czynnikiem powodującym niedotrzymanie terminu ukończenia przedsięwzięcia budowlanego, czyli wystąpienia opóźnień. Nawet wzorowo zaplanowane przedsięwzięcie budowlane i sprawne zarządzanie procesem budowlanym nie stanowią gwarancji ukończenia prac projektowych i robót budowlanych w umownym terminie zakończenia inwestycji.

Inwestycje drogowe i kolejowe, a tym samym rozwój komunikacji lądowej to obszar najbardziej zauważalnych zmian, jakie nastąpiły w Polsce przy wsparciu Funduszy Europejskich.

W Polsce łączna długość dróg publicznych zarządzanych przez Generalną Dyрекcyję Dróg Krajowych i Autostrad wynosi 420 tys. km [234]. W tym część odcinków dróg publicznych szybkiego ruchu, tj. autostrad o łącznej długości 1799,7 km, co stanowi 86% zaawansowania i dróg ekspresowych o łącznej długości 3089,2 km, tj. 51% zaawansowania. Docelowo długość wszystkich odcinków dróg publicznych szybkiego ruchu ma wynosić ok. 8177 km, w tym 2100 km autostrad i 6077 km dróg ekspresowych [236]. W zakresie sieci dróg kolejowych będących w zarządzie wszystkich zarządców infrastruktury kolejowej w Polsce funkcjonuje ponad 19 tys. km linii kolejowych zarówno normalnotorowych jak i szerokotorowych, w tym 12 tys. km zelektryfikowanych co stanowi ok. 63% struktury linii kolejowych eksploatowanych w Polsce [256,257]. Należy zauważyć, że ilość obiektów mostowych w ciągu dróg publicznych to ponad 36 tys. [234], natomiast w ciągu dróg kolejowych, to 24,8 tys. obiektów inżynierskich w tym 6,3 tys. mostów i wiaduktów [257].

Można się spodziewać, że w ciągu najbliższych 10-ciu lat budowa sieci autostradowej będzie ukończona, a budowa dróg ekspresowych będzie kontynuowana, aby osiągnąć docelową sieć dróg publicznych szybkiego ruchu. Krajowy Program Kolejowy z perspektywą do 2030 r. [226] przewiduje modernizację i rozwój infrastruktury oraz sieci komunikacji dróg kolejowych.

W zakresie inwestycji drogowych i kolejowych nieodzownym elementem jest realizacja obiektów mostowych, które są nierozzerwalnie związane z budową i rozbudową sieci transportowej. W świetle Ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane [230] mosty, wiadukty, estakady itp. są budowlami w rozumieniu obiektów budowlanych niebędącymi budynkami lub obiektami małej architektury. Z kolei zgodnie z Ustawą z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych [222] mosty i wiadukty, o których mowa w Prawie budowlanym to obiekty mostowe bądź drogowe obiekty inżynierskie. Obiekty te są budowlami inżynierskimi służącymi do przeprowadzenia ciągu komunikacyjnego (drogowe, kolejowe itp.) nad przeszkodami naturalnymi (rzeki, doliny itp.) lub sztucznymi (np. krzyżujące się ciągi komunikacyjne, budowle itp.) [142].

W zakresie inwestycji drogowych i kolejowych obiekty te stanowią newralgiczne punkty, które niejednokrotnie są kamieniem milowym dla wykonawcy uwarunkowanym zapisami w warunkach kontraktu z zamawiającym. Zapewniają połączenia i pokonanie przez drogę przeszkód w terenie i stanowią ważny aspekt realizacji sieci dróg, gwarantując ciągłość tras komunikacyjnych. Wraz z rozwojem sieci komunikacyjnej kraju i budową nowych dróg pojawiają się nowe obiekty mostowe jak również modernizowane są istniejące. W przeważającej większości przypadków są one realizowane w ramach większego przedsięwzięcia budowlanego wraz z drogą, której drożność mają zapewnić.

Obserwacja realizacji przedsięwzięć inwestycji infrastrukturalnych wskazuje, że problem opóźnień w ich realizacji na poszczególnych etapach jest aktualny i wymaga identyfikacji występowania przyczyn ich powstawania. Zamawiający wskazują, że podczas realizacji inwestycji występowały nie tylko zagrożenia typowe dla branży budowlanej. Skala i skomplikowany charakter przedsięwzięć budowlanych wpływa znacząco na liczbę zagrożeń identyfikowanych w trakcie opracowania dokumentacji projektowej, uzyskiwania decyzji administracyjnych oraz realizacji robót budowlanych [244].

Identyfikacja przyczyn opóźnień na poszczególnych etapach realizacji inwestycji i wczesna reakcja może przyczynić się do sprawnego jej przebiegu ograniczając a nawet zapobiegając opóźnieniom.

W rozprawie podjęta zostanie próba budowy modelu predykcyjnego umożliwiającego prognozowanie opóźnień realizacji obiektów mostowych. Do jego budowy zostanie wykorzystana opracowana baza danych zawierająca zrealizowane obiekty mostowe drogowe i kolejowe na przestrzeni ostatnich 12 lat. Zastosowanie wybranych metod statystycznych i sztucznej inteligencji pozwoli wprowadzić do modelu zidentyfikowane przez autora rozprawy czynniki, które uwzględniają indywidualne warunki realizacji obiektów mostowych i istotnie mogą wpływać na prawdopodobieństwo wystąpienia opóźnień. Takie podejście umożliwi szybkie i dostatecznie wiarygodne wyznaczenie możliwego przekroczenia zaplanowanego terminu ukończenia robót.

## **1.2 Cele i teza pracy**

### **Cel główny:**

Celem głównym rozprawy jest budowa modeli umożliwiających prognozowanie opóźnień w realizacji obiektów mostowych w warunkach znajomości informacji ogólnych o obiekcie, jego parametrów technicznych oraz czynników powodujących opóźnienia.

### **Cele częściowe pracy:**

1. Identyfikacja, analiza i ocena czynników wpływających na występowanie opóźnień w realizacji obiektów mostowych.
2. Wybór zmiennych wejściowych istotnych dla modelowania opóźnień w realizacji obiektów mostowych.
3. Budowa bazy danych obejmującej przypadki zrealizowanych obiektów mostowych.
4. Budowa modeli predykcyjnych z wykorzystaniem metod statystycznych i sztucznej inteligencji.
5. Wybór najlepszego modelu w oparciu o przyjęte kryteria.

### **Teza pracy:**

Zaproponowany model predykcyjny wykorzystujący zidentyfikowane zmienne wejściowe i autorską bazę danych pozwala na oszacowanie możliwego opóźnienia w realizacji obiektu mostowego przed rozpoczęciem robót budowlanych.

### **1.3 Przedmiot badań**

Mając na uwadze zdefiniowane cele i tezę pracy można przyjąć, że przedmiot niniejszej rozprawy będzie oparty na poniższych zagadnieniach:

1. Budowa obiektów mostowych i specyfika prowadzenia tego typu przedsięwzięć.
2. Opóźnienia w robotach budowlanych oraz ich wpływ na realizację budowy obiektów mostowych – zdefiniowanie zjawiska, identyfikacja czynników będących przyczyną powstawania opóźnień w realizacji obiektów mostowych.
3. Prognoza opóźnień w realizacji obiektów mostowych obejmująca identyfikację przyczyn opóźnień oraz wielkość opóźnień.

Przewiduje się badania własne celem uzupełnienia stanu wiedzy w zakresie przywołanych zagadnień a także na pozyskaniu niezbędnych informacji zawierających dane do opracowania modelu predykcyjnego z możliwością wykorzystania go w praktyce inżynierskiej.

### **1.4 Zakres pracy**

Niniejsza praca składa się z siedmiu rozdziałów. We wstępie (rozdział pierwszy) przedstawiono problem badawczy dysertacji wraz z celami oraz tezą pracy. Omówiono przedmiot badań, a także zaprezentowano zakres pracy.

Zawartość rozdziału drugiego stanowi analiza stanu wiedzy w zakresie tematu pracy, przytoczenie definicji i uwarunkowań prawnych problematyki opóźnień oraz omówienie przyczyn powstawania opóźnień w budownictwie. Rozdział ten zawiera przegląd literatury zagranicznej i krajowej oraz wskazanie metod prognozowania opóźnień w budownictwie.

Treść rozdziału trzeciego zawiera opis badań własnych w zakresie powstawania przyczyn opóźnień oraz metodologię ich prowadzenia. Treść rozdziału przedstawia analizę czynników powodujących opóźnienia przedsięwzięć budowlanych realizowanych w poszczególnych systemach ich realizacji. Dodatkowo w rozdziale tym omówiono ocenę wiarygodności przeprowadzonych badań.

Rozdział czwarty prezentuje poszczególne etapy i sposób tworzenia zbioru danych do modelowania opóźnień w oparciu o zakończone realizacje obiektów mostowych ze wskazaniem ich charakterystyk. Zakończeniem tego rozdziału jest zestawienie i ocena zebranego materiału badawczego.



W rozdziale piątym przedstawiono budowę modeli predykcji opóźnień w realizacji obiektów mostowych w oparciu o analizę regresji wielorakiej, drzew regresyjnych, maszynę wektorów nośnych, sztuczną sieć neuronową wielowarstwową MLP oraz radialną sieć neuronową RBF. Na podstawie dokładności prognoz dokonano wyboru najlepszego modelu prognozowania opóźnień.

Rozdział szósty stanowi analizę wybranego modelu predykcji, obejmującą analizę wrażliwości, analizę jakości modelu oraz weryfikację wybranych hipotez statystycznych.

Rozdział siódmy zawiera podsumowanie, wnioski końcowe, wkład własny oraz oryginalne elementy pracy, a także kierunki dalszych badań, które stanowią zakończenie niniejszej pracy.

## **2. ANALIZA STANU WIEDZY W ZAKRESIE TEMATU PRACY**

### **2.1 Charakterystyka przedsięwzięć budowy obiektów drogowych i kolejowych w Polsce**

#### **Charakterystyka przedsięwzięć drogowych w Polsce**

Inwestycje na drogach krajowych realizowane są obecnie (w chwili powstawania pracy) zgodnie z Programem Budowy Dróg Krajowych na lata 2014-2023 (z perspektywą do 2025 r.), który określa kierunki działań oraz priorytety inwestycyjne w zakresie rozwoju sieci dróg krajowych w Polsce [236]. Program ten zakłada dokończenie budowy sieci dróg szybkiego ruchu, tj. dróg ekspresowych i autostrad oraz budowę obwodnic w ciągach dróg krajowych.

Kolejnym dokumentem mającym na celu rozwój sieci dróg w Polsce jest wydany przez Ministra Infrastruktury Program budowy 100 obwodnic na lata 2020-2030 [235]. Program ten zakłada budowę obwodnic miejscowości zapewniających przepustowość transportu osobowego i towarowego, a także bezpieczeństwo w ruchu drogowym [235]. W ostatniej dekadzie Polska poczyniła istotne postępy w zakresie realizacji sieci dróg ekspresowych i autostrad. W okresie od 2014 roku (początek perspektywy UE 2014–2020), sieć dróg szybkiego ruchu wzrosła do ponad 4000 km [227].

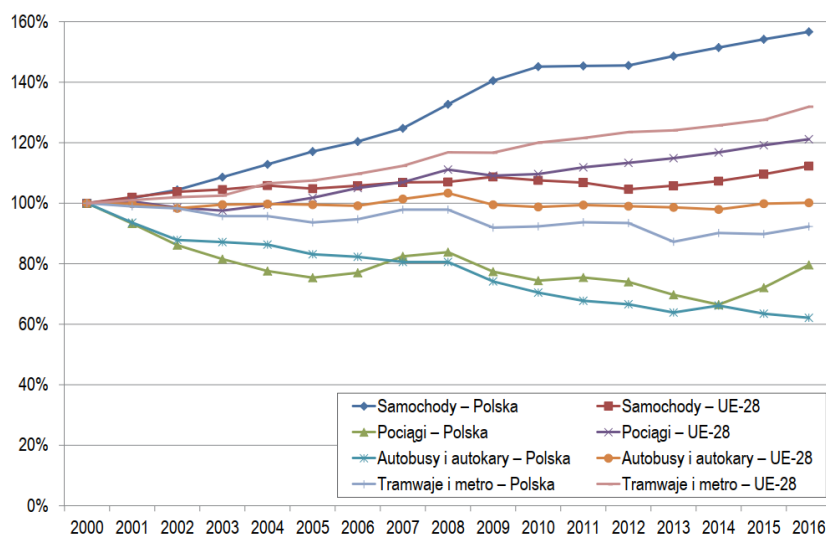
Niemniej krajowa infrastruktura drogowa wymaga w dalszym ciągu dużych nakładów na rozwój i zapewnienie odpowiednich standardów, aby możliwe było sprostanie potrzebom rynku, wynikającym ze wzrostu wymiany towarowej oraz stale rosnącego ruchu pasażerskiego.

Docelowy kształt sieci dróg krajowych określony został w rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 15 maja 2004 r. w sprawie sieci autostrad i dróg ekspresowych [224]. Wyznacza ono przebieg oraz numerację najważniejszych arterii drogowych na obszarze Polski.

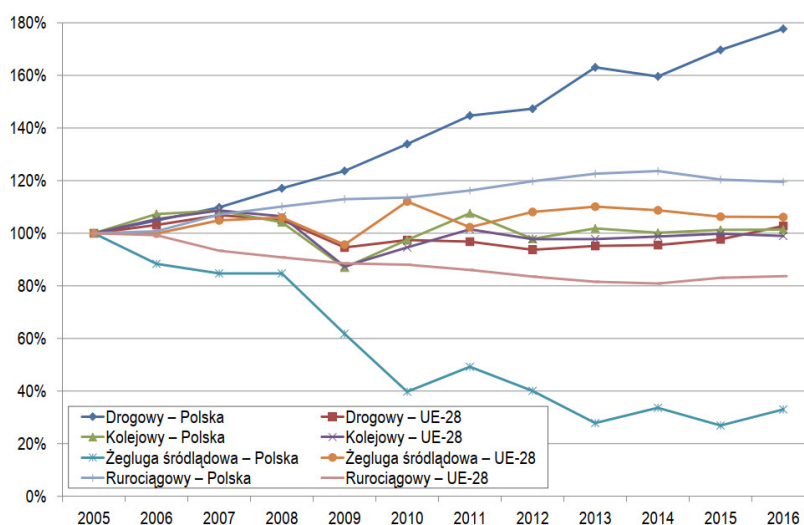
Konieczna jest systematyczna poprawa stanu technicznego polskiej sieci dróg krajowych w celu wyeliminowania jej podstawowych ograniczeń oraz jej rozbudowa. Do najpoważniejszych wad polskiej sieci drogowej bowiem, w szczególności:

- brak spójnej sieci autostrad i dróg ekspresowych;
- brak dostosowania do przenoszenia nacisku 115 kN/oś, zgodnie ze zobowiązaniami wynikającymi z Traktatu Akcesyjnego;
- ruch o dużym natężeniu, w tym samochodów ciężarowych, przebiegający przez rozwijające się wzdłuż osi drogowych tereny zabudowane [204].

Konieczność dynamicznego rozwoju krajowej infrastruktury drogowej potwierdzają także statystyki europejskie, oddające dynamikę wzrostu udziału transportu drogowego w przewozach pasażerskich oraz towarowych na tle UE.



Rys. 2.1 Dynamika zmian na rynku przewozów pasażerskich w Polsce i w Unii Europejskiej. Źródło: [63]



Rys. 2.2 Dynamika zmian na rynku przewozów towarowych w Polsce i w Unii Europejskiej. Źródło: [63]

Pomimo dużej skali podjętych inwestycji, polska sieć dróg krajowych, w tym autostrad oraz dróg ekspresowych, pozostaje niespójna i niewystarczająco drożna. Kontynuowanie działań inwestycyjnych na głównych ciągach dróg krajowych, w szczególności zapewnienie połączeń pomiędzy dużymi ośrodkami aglomeracyjnymi,

jak również punktami styku z innymi formami transportu, w tym portami, lotniskami, terminalami intermodalnymi, jest wyzwaniem na najbliższe lata [63].

Polska zobowiązała się do realizacji sieci bazowej TEN-T do 2030 r., natomiast sieci kompleksowej do roku 2050. W obliczu dynamicznego wzrostu transportu drogowego, zarówno w kontekście przewozów towarowych jak i pasażerskich, oraz mając na uwadze wciąż niedostatecznie rozwiniętą sieć drogową, Polska nadal stoi przed wyzwaniem dokończenia budowy spójnej sieci autostrad i dróg ekspresowych, która umożliwi wzrost spójności międzyregionalnej, przyczyniając się do pełnego wykorzystania potencjału gospodarczego kraju [63].

### **Charakterystyka przedsięwzięć kolejowych w Polsce**

Inwestycje na drogach kolejowych realizowane są obecnie (w chwili powstawania pracy) zgodnie z Krajowym Programem Kolejowym do roku 2023 [228]. Program ten obejmuje inwestycje na liniach kolejowych, które dofinansowane są przez ministra właściwego do spraw transportu.

Program zakłada wykonanie około 300 zadań inwestycyjnych. Planowane przedsięwzięcia obejmują prace przygotowawcze oraz przedprojektowe (studia wykonalności, pozyskanie decyzji administracyjnych, etc.), prace projektowe bądź zamówienia na roboty budowlane rozumiane jako wykonanie lub zaprojektowanie i wykonanie robót budowlanych (modernizacje, rewitalizacje, odbudowy, budowy, remonty lub elektryfikacje). Większość zadań jest zlecana w systemie „zaprojektuj i zbuduj”.

Według danych Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego długość eksploatowanych linii kolejowych przez wszystkich zarządców infrastruktury, włączając koleje normalno- i szerokotorowe w Polsce, w 2014 roku wyniosła 19239,9 km [256,257].

Stan infrastruktury będącej w zarządzie PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. ulega poprawie lecz wciąż wymaga działań inwestycyjnych. Niewiele ponad połowa linii kolejowych nie budzi zastrzeżeń co do parametrów, natomiast pozostała część linii wymaga przeprowadzenia napraw lub kompleksowej modernizacji.

W ramach prowadzonych prac na liniach kolejowych przejazdy i przejścia w poziomie szyn, na których występuje największe natężenie ruchu kolejowego i drogowego są likwidowane i zastępowane wiaduktami lub przejściami podziemnymi. Na pozostałych przejazdach przebudowywana jest nawierzchnia oraz modernizowane urządzenia zabezpieczenia i ostrzegania [229].

Głównym celem Krajowego Programu Kolejowego jest wzmocnienie roli transportu kolejowego w zintegrowanym systemie transportowym kraju poprzez budowę sieci linii kolejowych w tym, zwiększenie bezpieczeństwa transportu kolejowego czy poprawę jakości przewozów pasażerskich i towarowych [229].

W celu poprawy bezpieczeństwa modernizacja infrastruktury kolejowej obejmie skrzyżowania linii kolejowych i dróg (przejazdy kolejowe), które stanowią miejsce drugiej najliczniejszej grupy wypadków kolejowych. Najskuteczniejszym sposobem na eliminację zagrożenia zderzenia pojazdu drogowego z pociągiem jest budowa skrzyżowania dwupoziomowego poprzez wybudowanie obiektu inżynierskiego (wiadukt kolejowy lub wiadukt drogowy).

W ramach inwestycji planowanych do roku 2023 skrzyżowania dwupoziomowe będą budowane m.in. w celu likwidacji przejazdów o największych iloczynach ruchu w ramach przedsięwzięć liniowych [229].

Na podstawie informacji pozyskanych w 2022 roku od GDDKiA, w ramach Programu Budowy Dróg Krajowych na lata 2014-2023 i poza PBDK w realizacji jest 91 zadań o łącznej długości dróg kołowych 1226,1 km, w przetargu jest 20 zadań o łącznej długości dróg kołowych 295,9 km, w przygotowaniu jest 95 zadania o łącznej długości 2784,9 km dróg kołowych [237]. Natomiast w ramach Programu budowy 100 obwodnic na lata 2020-2030 w realizacji jest 16 zadań o długości 127,2 km oraz w przygotowaniu 82 zadania o długości ok. 740,3 km [237].

Z informacji pozyskanych od PKP PLK S.A. w ramach dokumentu zamierzenia inwestycyjne na lata 2021-2030 z perspektywą do 2040 roku, że w ramach projektów inwestycyjnych w perspektywie 2021-2027 planowanych jest do realizacji 120 projektów ponadregionalnych, 18 projektów związanych inwestycjami Centralnego Portu Komunikacyjnego, 19 projektów multilokalizacyjnych i 187 projektów regionalnych polegających na przebudowie, rozbudowie i budowie linii kolejowych (dróg kolejowych) [244].

Powyższe, świadczy o tym, że skala planowanych inwestycji drogowych i kolejowych jest ogromna, a rozwój budowa i rozbudowa sieci komunikacyjnej wiąże się z procesem budowlanym obciążonym ryzykami w tym opóźnieniami. Jak wskazano w rozdziale pierwszym realizacja inwestycji mostowych jest nierozzerwalnie związana z budową i rozbudową sieci transportowej. Są one niezbędne dla zapewnienia połączeń i pokonania przez drogę przeszkód w terenie. Obowiązujące przepisy przewidują różne tryby przeprowadzenia procesu budowy. Wraz z rozwojem sieci komunikacyjnej kraju

i budową dziesiątek kilometrów nowych dróg kołowych i kolejowych pojawiają się nowe obiekty mostowe. W wielu przypadkach przebudowywane lub wznoszone są jako odrębne inwestycje. W przeważającej większości przypadków są one jednak realizowane w ramach większego zamierzenia inwestycyjnego wraz z drogą, której drożność mają zapewnić.

## **2.2 Opóźnienia w budownictwie – definicja i uwarunkowania prawne**

Opóźnienie w robotach budowlanych można rozumieć jako przekroczenie ustalonych terminów ich wykonania. W odniesieniu do obowiązujących przepisów prawa w Polsce, postanowienia Kodeksu cywilnego rozróżniają dwa rodzaje opóźnień, tj. opóźnienia kwalifikowane oraz opóźnienia zwykłe [232].

Opóźnienie kwalifikowane to innymi słowy zwłoka, która jest opóźnieniem w wykonaniu zobowiązania, występującym najczęściej po stronie dłużnika i spowodowana okolicznościami, które tego dłużnika obciążają [232].

Opóźnienie zwykłe jest wynikiem niedopełnienia świadczenia przez dłużnika w określonym terminie, które zgodnie z art. 476 kodeksu cywilnego jest następstwem okoliczności, za które dłużnik odpowiedzialności nie ponosi [232].

Ze względu na przyczynę powstania opóźnień można rozróżnić opóźnienia uzasadnione bądź nieuzasadnione.

Opóźnienia uzasadnione najczęściej występują z winy zamawiającego i podlegają rekompensacie. Odpowiedzialność za ich wystąpienie ponosi zamawiający, a czynniki jakie mogą je powodować to m. in. rozbieżność projektu ze stanem faktycznym i zmiany projektu wynikające w trakcie realizacji, wydłużony czasookres zatwierdzania dokumentów w tym materiałów niezbędnych do realizacji, opóźnienia w płatnościach przez zamawiającego oraz opóźnianie odbiorów częściowych przez zamawiającego/ inżyniera kontraktu/ inspektora nadzoru [130].

W przypadku opóźnień uzasadnionych nie podlegających rekompensacie, za których powstanie nie jest odpowiedzialna żadna ze stron procesu budowlanego, wykonawca jest upoważniony do przedłużenia terminu realizacji przedsięwzięcia budowlanego, ale nie jest uprawniony do otrzymania wynagrodzenia w czasie przedłużenia terminu. W tym przypadku czynników powodujących takie opóźnienia można wymienić niekorzystne warunki atmosferyczne, zmiany w regulacjach prawnych i inne losowe zdarzenia.

Odmienną grupę stanowią opóźnienia nieuzasadnione za które pełną odpowiedzialność ponosi wykonawca. W tym wypadku wykonawca nie jest uprawniony

do przedłużenia terminu zakończenia przedsięwzięcia budowlanego, ani również do zwrotu ponoszonych kosztów w związku z opóźnieniem. Czynniki zależne od wykonawcy związane są przede wszystkim z dostępnością zasobów, właściwą organizacją, nadzorem i doświadczeniem [132].

Podsumowując, opóźnienie dla zamawiającego oznacza brak realizacji przedsięwzięcia budowlanego w terminie, który oraz brak potencjalnej korzyści z inwestycji, co może stać się nieopłacalne dla zamawiającego. Opóźnienie dla wykonawcy oznacza problemy organizacyjne a przede wszystkim wyższe koszty nie ujęte w ofercie, a tym samym straty. Przedłużająca się budowa może także uniemożliwić wykonawcy przystąpienie do kolejnego przetargu, a ponadto negatywnie wpłynąć na jego wizerunek na rynku budowlanym [132].

### **2.3 Przegląd literatury zagranicznej i krajowej**

#### **Przegląd literatury zagranicznej**

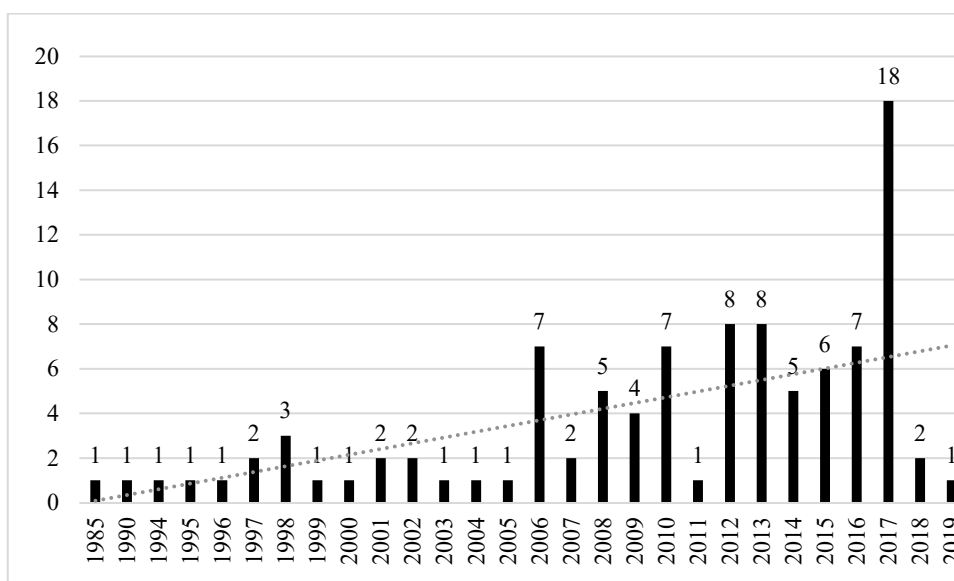
Powodzenie zakończenia przedsięwzięcia budowlanego w zaplanowanym czasie jest niezwykle ważnym elementem procesu zarządzania inwestycją [112]. Problem opóźnień realizacji przedsięwzięć budowlanych jest powszechny i spotykany na całym świecie [56,57,60,79].

Można zauważyć, że dotychczasowe badania problemu opóźnień w realizacji przedsięwzięć budowlanych prezentowane w literaturze zagranicznej dotyczyły głównie identyfikacji przyczyn ich powstawania w zależności od kraju, regionu, rodzaju przedsięwzięcia budowlanego, systemu realizacji oraz stron biorących udział w procesie przedsięwzięcia budowlanego [31,87,126,165,214]. W niektórych pozycjach naukowych autorzy stosowali analizy czynnikowe w celu zbadania przyczyn opóźnień [56,57,60,104,185]. Podejmowano także próby grupowania przyczyn opóźnień przedsięwzięć budowlanych oraz tworzono rankingi czynników [23]. W pracy [66] autorzy skupili uwagę na intencjonalności, która może odgrywać kluczową rolę w kształtowaniu harmonogramów, co z kolei może prowadzić do powstawania opóźnień przedsięwzięć budowlanych. Autorzy badań prezentowanych w [69] wskazali pięć najczęstszych typów opóźnień przedsięwzięć budowlanych do których należą opóźnienia krytyczne i niekrytyczne, równoczesne, kompensowane i usprawiedliwione opóźnienia. Opóźnienia krytyczne i niekrytyczne dotyczą postępu robót budowlanych na ścieżce krytycznej i wpływają lub też nie na planowaną datę zakończenia przedsięwzięcia budowlanego. Opóźnienia równoczesne polegają na wystąpieniu w tym samym czasie co najmniej dwóch niezależnych opóźnień. Opóźnienia kompensowane to takie, na które

wykonawca nie ma wpływu i które można sklasyfikować jako podlegające rekompensacie i/lub usprawiedliwione, podczas gdy opóźnienia nieusprawiedliwione pozostają pod kontrolą wykonawcy [125].

Analiza dotychczasowych prac ujawnia różne podejścia badawcze: ocenę czynników powodujących opóźnienia [48] oraz studia przypadków analizujące opóźnienia oraz badania porównawcze dotyczące opóźnień między różnymi krajami [187]. Według [183] najpoważniejsze przyczyny opóźnień przedsięwzięć budowlanych wynikają z nieodpowiedniego planowania, złego zarządzania przedsięwzięciem budowlanym, braku odpowiedniego doświadczenia wykonawców, podwykonawców i możliwości finansowych zamawiających. Z kolei inne badania wskazują, że najbardziej krytyczne przyczyny leżą po stronie zamawiającego, możliwości finansowe i opóźnienia w płatnościach ze strony zamawiających [16]. Prace [56,57] identyfikują również takie czynniki powodujące opóźnienia jak: problemy z zarządzaniem i koordynacją przedsięwzięcia budowlanego, brak zaangażowania i komunikacji, brak odpowiedniego planowania, niejasny opis zamówienia i kontrakty niespełniające norm, brak zasobów ludzkich i materiałowych, częste zmiany harmonogramów oraz duży wpływ warunków zewnętrznych.

Warto w tym miejscu zaprezentować (rys. 2.3) zidentyfikowaną przez autorów pracy [58] liczbę publikacji w których podejmowano problem opóźnień w przedsięwzięciach budowlanych na całym świecie, od momentu pojawienia się pierwszej w tym temacie publikacji [136] w 1985 roku do roku 2019.



Rys. 2.3 Trend publikacji artykułów dotyczących opóźnień w budownictwie od 1985 r.

Źródło: [58]



Na podstawie rysunku 2.3 można stwierdzić, że w ostatniej dekadzie liczba publikacji naukowych w zakresie opóźnień w przedsięwzięciach budowlanych wykazała znaczny wzrost. Powyższe jest dowodem na to, że opóźnienia w przedsięwzięciach budowlanych są problemem powszechnym na całym świecie.

Analizując przegląd literatury w zakresie opóźnień można stwierdzić, że istnieją przyczyny opóźnień, na które wskazywała większość badaczy. Poniżej zaprezentowano dziesięć najczęściej cytowanych przyczyn, zidentyfikowanych w przez autorów badań przeglądowej prezentowanych w pracy [58]:

- **Nieprzewidywalne i niekorzystne warunki atmosferyczne**

Warunki pogodowe i klimatyczne zostały zidentyfikowane jako jedna z istotnych przyczyn opóźnień w 74 publikacjach. W zależności od rodzaju przedsięwzięcia budowlanego, warunki pogodowe i klimatyczne, szczególnie te nieprzewidywalne, mogą spowodować znaczne opóźnienia w realizacji przedsięwzięcia budowlanego, które są poza kontrolą wykonawcy [158]. Zdecydowana większość wzmianek o warunkach pogodowych pochodzi z krajów lub regionów (tj. Afryki, Bliskiego Wschodu, Azji Południowej i Wschodniej), które doświadczają najbardziej niesprzyjających warunków pogodowych lub klimatycznych. Niemniej większość badań wskazuje pogodę lub klimat jako istotną przyczynę opóźnień przedsięwzięć budowlanych [94]. Oprócz bezpośredniego wpływu, nieprzewidywalne warunki pogodowe i klimatyczne mają również wpływ na realizację harmonogramu przedsięwzięcia budowlanego. Jednym z takich znaczących skutków jest utrata wydajności robót budowlanych z powodu ich przerwania [185].

- **Komunikacja i koordynacja**

Istotnym elementem zarządzania przedsięwzięciem budowlanym jest komunikacja uczestników procesu budowlanego od momentu jego powstania do odbioru inwestycji. Skuteczna komunikacja między stronami przedsięwzięcia budowlanego z jasnym przekazem szczegółów technicznych i instrukcji dla kierownictwa budowy to klucz do powodzenia przedsięwzięcia budowlanego, a także mniej sporów i konfliktów między uczestnikami procesu budowlanego [74]. Konflikty między uczestnikami procesu budowlanego związane są przede wszystkim z przepływem informacji w całym cyklu życia projektu i właściwą koordynacją. Poruszane kwestie, są źródłem przyczyn opóźnień, które zostały uznane za mające dodatkowy wpływ na realizację harmonogramu przedsięwzięcia budowlanego [210]. Słaba komunikacja, koordynacja i konflikty

pomiędzy uczestnikami procesu inwestycyjnego to druga najczęściej wymieniana przyczyna opóźnień, którą zidentyfikowano w 63 publikacjach [58].

- **Nieskuteczne i niewłaściwe planowanie**

Nieskuteczne/niewłaściwe planowanie, to trzecia najczęstsza przyczyna opóźnień, na którą powoływano się w 59 publikacjach. Planowanie to sformułowanie kierunku czynności, które mają doprowadzić przedsięwzięcie do jego zakończenia, w którym należy ustalić wyraźny plan wraz z kamieniami milowymi i rozważyć możliwe przeszkody [172]. Opóźnienia kamieni milowych przedsięwzięcia budowlanego utrudnią realizację harmonogramu. Udowodniono, że uwzględnienie najlepszych praktyk planowania przedsięwzięć w oparciu o zarządzanie projektami w łańcuchu krytycznym jest środkiem do poprawy jakości planowania i radzenia sobie z opóźnieniami związanymi z nieefektywnym planowaniem [124,84].

- **Niedobór lub braki materiały budowlanych**

Niedobór lub brak materiałów budowlanych, to czynnik który był cytowany wskazywany w 58 recenzowanych artykułach jako kolejna przyczyna opóźnień przedsięwzięć budowlanych. Dla powodzenia przedsięwzięcia budowlanego bardzo ważna jest dostępność niezbędnych materiałów, ponieważ może to spowodować znaczne opóźnienia w przedsięwzięciach budowlanych [83]. Literatura wskazuje, że przedsięwzięcia w Arabii Saudyjskiej, Katarze i Zjednoczonych Emiratach Arabskich doświadczyły opóźnień z powodu braku materiałów budowlanych wywołanego gwałtownym wzrostem popytu [85]. Niektóre badania z krajów rozwijających się (np. Afganistanu i Palestyny) jako przyczynę niedoboru materiałów wskazywały kwestie polityczne [69,70].

- **Problemy finansowe i opóźnienia w płatnościach**

Problemy finansowe i opóźnienia w płatnościach zostały zidentyfikowane jako piąte i szóste najczęstsze przyczyny opóźnień przedsięwzięć budowlanych, z 56 i 58 cytowaniami w analizowanych artykułach. Problemy finansowe mogą wynikać ze złego zarządzania przepływami pieniężnymi, niewystarczających zasobów finansowych i niestabilności rynków finansowych, podczas gdy opóźnienia w płatnościach mogą wynikać z braku zapłaty w obiecany terminie przez którąkolwiek z interesariuszy zaangażowanych w przedsięwzięcie [3]. W pracy [106] wskazano, że braki finansowe są najistotniejszym czynnikiem powodującym opóźnienia, a w [3] zwrócono uwagę na niewystarczające zasoby wykonawców jako główny czynnik powodujący opóźnienia w projektach autostradowych. Problemy te są wspólne dla projektów infrastrukturalnych,

o których mówi się, że są nieodpowiednio finansowane, oraz projektów realizowanych w krajach rozwijających się, zwłaszcza dużych [165]. Problemy finansowe, a co za tym idzie opóźnienia w płatnościach, to najczęstsza przyczyna opóźnień inwestycji budowlanych w Palestynie [69].

- **Niedobór lub brak sprzętu budowlanego**

Niedobór lub brak sprzętu budowlanego cytowano w 54, analizowanych pracach, przy czym większość z nich pochodziła z krajów o biednych i/lub opartych na imporcie gospodarkach lub z krajów doświadczających konfliktów politycznych [70,104]. Niedobór podstawowego sprzętu budowlanego niezbędnego do realizacji przedsięwzięcia może skutkować opóźnieniem [216]. Niedobory te wynikają nie tylko z niedostępności wymaganego sprzętu ale także z brakiem wykwalifikowanych operatorów [56,57,107].

- **Brak doświadczenia i kwalifikacji**

Brak doświadczenia i kwalifikacji, który został zidentyfikowany w 48 przeanalizowanych badaniach, poważnie wpływa na realizację harmonogramu przedsięwzięcia budowlanego [59]. Jest to problem szczególnie istotny w krajach rozwijających się, ze względu na ograniczoną liczbę instytucji oferujących odpowiednie wykształcenie budowlane [59]; Dodatkowo, istotną przyczyną niedostępności wymaganych kompetencji wykonawców są problemy polityczne i wojny domowe [70,104].

- **Siła robocza**

Braki siły roboczej w budownictwie była wskazywana w 47 publikacjach i wymieniana jako jedna z najczęstszych przyczyn opóźnień przedsięwzięć budowlanych. Przegląd literatury, w których zidentyfikowano tę przyczynę, pokazuje, że kraje takie jak Katar, Zjednoczone Emiraty Arabskie czy Kuwejt borykają się z niedoborem siły roboczej w związku z dużą liczbą przedsięwzięć budowlanych realizowanych w tym samym czasie [84,156]. Toczące się wojny domowe w Palestynie i Afganistanie są również powodem braku siły roboczej w tych krajach [70,104]. Dodatkowo siła robocza w krajach rozwijających się pochodzi zwykle z osób mieszkających na obszarach wiejskich, zajmujących się rolnictwem co oznacza, że firmy budowlane w miastach mogą mieć trudności z rekrutacją pracowników [60]. Brak wykwalifikowanej siły roboczej został wskazany jako przyczyna opóźnień przedsięwzięć, w przypadku których zdecydowana większość siły roboczej składa się z niewykwalifikowanej siły roboczej z zagranicy [143, 84].

- **Zarządzanie przedsięwzięciem budowlanym**

Zarządzanie działaniami w miejscu realizacji przedsięwzięcia budowlanego ma znaczenie strategiczne [61]. Nieodpowiednie zarządzanie wskazano w 47 artykułach [58]. Skuteczne zarządzanie budową jest warunkiem koniecznym do zakończenia przedsięwzięcia budowlanego w przewidzianym terminie. Głównym powodem złego zarządzania jest brak wykwalifikowanej i kompetentnej kadry zarządzającej [122].

W tabeli 2.1 dokonano podsumowania i zaprezentowano wykaz literatury zagranicznej w której zostały najczęściej wymieniane poszczególne przyczyny opóźnień przedsięwzięć budowlanych.

Tabela 2.1 Wykaz literatury zagranicznej w której wzmiankowano najczęściej występujące przyczyny opóźnień przedsięwzięć budowlanych na świecie.

Lp.	Przyczyny opóźnień	Wykaz literatura zagranicznej
1	Warunki pogodowe i klimatyczne	[1], [8], [10], [12], [13], [14], [15], [17], [18], [21], [22], [27], [28], [31], [33], [34], [35], [36], [46], [56], [57], [60], [67], [68], [69], [70], [72], [73], [74], [79], [84], [85], [86], [87], [94], [95], [98], [100], [104], [107], [108], [110], [118], [119], [122], [123], [136], [137], [143], [144], [145], [146], [147], [149], [150], [156], [157], [158], [165], [180], [181], [182], [183], [184], [185], [187], [195], [202], [207], [209], [210], [213], [214]
2	Komunikacja i koordynacja	[1], [2], [4], [10], [13], [14], [15], [16], [18], [21], [30], [31], [33], [34], [35], [46], [48], [56], [57], [60], [67], [68], [69], [70], [72], [73], [84], [85], [86], [87], [94], [95], [98], [100], [104], [108], [110], [122], [123], [137], [143], [144], [145], [146], [147], [150], [156], [165], [180], [181], [183], [184], [185], [187], [188], [195], [202], [207], [208], [210], [211], [213], [220]
3	Organizacja i planowanie	[2], [4], [8], [10], [12], [14], [15], [16], [18], [20], [28], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [46], [56], [57], [60], [67], [68], [69], [70], [72], [73], [75], [84], [85], [86], [94], [95], [100], [104], [106], [108], [118], [122], [123], [136], [143], [146], [147], [150], [156], [157], [161], [180], [181], [182], [183], [185], [187], [188], [195], [202], [207], [209], [210], [214], [220]

<b>Lp.</b>	<b>Przyczyny opóźnień</b>	<b>Wykaz literatura zagranicznej</b>
4	Niedobór lub braki materiały budowlanych	[1], [2], [4], [8], [10], [13], [15], [16], [21], [28], [30], [31], [32], [33], [35], [60], [67], [68], [69], [70], [72], [73], [74], [79], [84], [85], [86], [94], [95], [100], [104], [106], [108], [118], [119], [123], [136], [143], [144], [145], [146], [149], [150], [156], [161], [183], [184], [185], [187], [188], [195], [202], [207], [208], [210], [213], [214]
5	Problemy finansowe	[1], [4], [8], [10], [12], [13], [15], [16], [18], [20], [21], [28], [30], [31], [32], [33], [46], [56], [57], [67], [68], [72], [73], [74], [84], [87], [94], [95], [100], [105], [107], [110], [118], [119], [123], [137], [143], [144], [145], [146], [147], [150], [156], [157], [161], [165], [180], [182], [185], [187], [188], [195], [202], [209], [210], [211], [213], [214]
6	Opóźnienia w płatnościach	[1], [2], [4], [8], [12], [13], [14], [15], [16], [20], [21], [28], [30], [31], [32], [33], [35], [46], [56], [57], [60], [68], [69], [70], [72], [73], [74], [84], [85], [86], [87], [94], [95], [100], [105], [107], [108], [110], [122], [144], [145], [146], [147], [149], [150], [156], [157], [165], [180], [183], [185], [188], [195], [202], [209], [210]
7	Niedobór i braki sprzętu budowlanego	[1], [2], [4], [8], [10], [12], [13], [14], [15], [16], [31], [32], [33], [35], [46], [68], [69], [70], [73], [84], [85], [86], [87], [94], [95], [100], [104], [105], [106], [108], [110], [122], [136], [143], [146], [147], [149], [150], [156], [157], [161], [165], [180], [181], [183], [184], [185], [187], [188], [195], [202], [207], [213], [220]
8	Brak doświadczenia i kwalifikacji	[1], [13], [16], [20], [21], [31], [33], [35], [45], [46], [48], [56], [57], [69], [70], [73], [84], [85], [86], [87], [94], [95], [98], [100], [107], [108], [110], [118], [119], [122], [123], [137], [143], [147], [164], [165], [180], [181], [182], [183], [184], [185], [202], [211], [213], [214], [220]
9	Siła własne	[1], [2], [4], [10], [13], [14], [15], [31], [48], [32], [33], [68], [69], [70], [73], [74], [79], [84], [85], [86], [87], [94], [95], [100], [105],

Lp.	Przyczyny opóźnień	Wykaz literatura zagranicznej
		[108], [118], [119], [136], [143], [144], [145], [146], [147], [148], [157], [161], [165], [180], [183], [185], [187], [188], [195], [202], [214], [220]
10	Zarządzanie przedsięwzięciem budowlanym	[4], [12], [13], [18], [20], [30], [31], [33], [35], [46], [48], [56], [57], [60], [67], [69], [70], [73], [84], [85], [86], [87], [95], [104], [105], [107], [108], [122], [137], [143], [147], [150], [156], [157], [161], [165], [180], [181], [182], [183], [184], [185], [187], [202], [209]

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [58]

Ponadto, warto podkreślić, że w zakresie obejmującym problematykę pokrewną do analizy opóźnień w realizacji przedsięwzięć budowlanych można wymienić następujące problemy, w których podjęto próby wykorzystania modeli opartych o sztuczne sieci neuronowe:

- analiza czasu realizacji procesów budowlanych [37,43,201],
- analiza efektywności wykorzystania czasu i wydajności pracy w procesach budowlanych [5,155,162,176,200,217,218],
- zarządzanie ryzykiem w przedsięwzięciach budowlanych [19,203],
- planowanie i zarządzanie procesami budowlanymi [47,81,113,138].

#### **Przegląd literatury krajowej**

Występowanie opóźnień w realizacji przedsięwzięć budowlanych jest tematem wielu prac krajowych [24,65,128,129,135]. Problem opóźnień w realizacji inwestycji drogowych poruszono w pracach [50,51]. Natomiast problematyka opóźnień związanych z uwarunkowaniami formalno-prawnymi na przebieg przedsięwzięcia budowlanego stanowiła rozważania w pracach [82,175]. W opracowaniach tych autorzy prezentowali wyniki badań dotyczących przyczyn opóźnień w realizacji przedsięwzięć budowlanych w oparciu o opinie zarówno zamawiających jak i wykonawców. Powyżej wymienione próby identyfikacji przyczyn występowania opóźnień nasuwają stwierdzenie, że identyfikacja na wczesnym etapie i późniejsze ograniczenie lub eliminacja potencjalnych przyczyn opóźnień mogą przyczynić się do ukończenia przedsięwzięć budowlanych w umownym terminie [130].

W pracy [131] opisano grupy czynników i przedstawiono wyniki wstępnych badań ankietowych, dotyczących opóźnień w robotach budowlanych w opiniach różnych

uczestników procesu inwestycyjnego w Polsce. W [78] autorzy publikacji skupili uwagę wyłącznie na opinii zamawiających. Według tej grupy badanych do najważniejszych przyczyn opóźnień robót budowlanych zaliczają się: błędy w dokumentacji projektowej, niska jakość siły roboczej oraz niekorzystne warunki pogodowe. Próby identyfikacji czynników wpływających na opóźnienia robót w opiniach wykonawców podjęto w [64,101,132]. Autorzy [24,132] wskazali, że według wykonawców najistotniejszymi czynnikami generującymi opóźnienia są błędy w dokumentacji projektowej, powolny proces podejmowania decyzji przez zamawiającego oraz niskiej jakości zarządzania i nadzoru na budowie. Podczas gdy, według badań opublikowanych w pracy [24] najważniejszymi czynnikami są: duża liczba błędów w dokumentacji projektowej, zła współpraca pomiędzy zamawiającym a wykonawcą i niesprzyjające warunki atmosferyczne. W artykule [101] analizowano wyniki badań dotyczących czynników ryzyka czasu prezentowanych w literaturze zagranicznej i porównano je z wynikami badań ankietowych przeprowadzonych wśród wykonawców w Polsce. Podejmowano również próby grupowania czynników opóźnienia realizacji przedsięwzięć budowlanych z wykorzystaniem analizy skupień [127].

W tym miejscu warto przytoczyć, że w ostatnim czasie w Polsce przeprowadzono badania ankietowe w celu próby identyfikacji przyczyn opóźnień realizacji przedsięwzięć budowlanych zarówno w systemie tradycyjnym „zbuduj” (ang. Design Bid Build, DBB), jak i w systemie „zaprojektuj i zbuduj” (ang. Design & Build, D&B). System DBB to tradycyjny system realizacji przedsięwzięcia budowlanego, gdzie zamawiający jest odpowiedzialny za przygotowanie projektu oraz wybory wykonawcy w celu realizacji robót budowlanych w ramach przedsięwzięcia budowlanego, natomiast system D&B to system realizacji przedsięwzięć budowlanych, w którym w przeciwieństwie do systemu tradycyjnego DBB mamy do czynienia z jednym wykonawcą, który odpowiada za zaprojektowanie oraz wykonanie przedmiotu przedsięwzięcia budowlanego [40].

Respondentami badań ankietowych byli uczestnicy procesu budowlanego, m. in. zamawiający, inżynierowie kontraktu, inspektorzy nadzoru, projektanci, wykonawcy i inne podmioty biorące udział w procesie budowlanym.

W wyniku powyżej wymienionych badań opóźnień przedsięwzięć budowlanych realizowanych w oparciu o system DBB oraz system D&B, uzyskano hierarchię czynników mogących powodować opóźnienia na etapie realizacji i projektowania przedsięwzięć budowlanych [130].

Najistotniejszymi czynnikami powodującymi opóźnienia w realizacji przedsięwzięć budowlanych w oparciu o system DBB okazały się być: zła kalkulacja oferty, brak wystarczającej i kompetentnej kadry wykonawcy, brak doświadczenia wykonawcy. Czynniki te związane są z działaniami wykonawcy robót. Czynniki takie jak protesty i roszczenia mieszkańców zamieszkujących obszar w bliskim otoczeniu budowy, problemy z dostawą materiałów, brak optymalizacji sprzętu i dostępności sprzętu specjalistycznego, problemy logistyczne to czynniki najmniej ważne. Z kolei najistotniejszymi czynnikami powodującymi opóźnienia w realizacji przedsięwzięć budowlanych w oparciu o system D&B okazały się być: niedotrzymanie umownych terminów przygotowania dokumentacji projektowej, brak rzetelnej koordynacji międzybranżowej, brak zdecydowania/ opieszałość w podejmowaniu decyzji przez zamawiającego dot. akceptacji koncepcji projektowej, krótki "wymagany" czas przez zamawiającego na opracowanie dokumentacji projektowej. Czynniki takie jak niezgodności projektu budowlanego mające wpływ na wydanie decyzji, niekompletne wnioski o wydanie uzgodnień złożone przez wykonawcę, brak optymalnego wykorzystania zasobów koniecznych do opracowania dokumentacji projektowej, błędne opracowanie koncepcji projektowej przez wykonawcę niezgodnie z wymaganiami zamawiającego, nieprzewidziane zwiększenie kosztów związane z przygotowaniem dokumentacji projektowej [130].

Wymienione czynniki powodujące przyczyny powstawania opóźnień nie są katalogiem zamkniętym, a na proces realizacji przedsięwzięć niezależnie od przyjętego systemu realizacji DBB czy D&B ma wpływ wiele nieprzewidywalnych czynników mogących powodować opóźnienia.

Część powstałych prac prezentuje także możliwości wykorzystania różnych metod do analizy czynników powodujących opóźnienia: zastosowanie metody Dematel [64], analizy czynnikowej [78], czy wprowadzenie elastycznych strategii działania [171] lub zaproponowania modeli i metod, które można zastosować wykorzystane do efektywnego i rzetelnego oszacowania czasu realizacji projektów budowlanych [91,92,96,121,173,192,212].

W pracy [191,192] autor podjął próbę stworzenia metody umożliwiającej predykcję niekorzystnych zdarzeń, które mogą wystąpić w trakcie realizowanych przedsięwzięć pośrednio (poprzez opóźnienia czasowe wykonywanych operacji) lub bezpośrednio na koszt inwestycji i termin jej wykonania. W publikacji [174] wskazano, że wydłużenie czasu realizacji całych inwestycji w Polsce jest zazwyczaj wynikiem



wydłużających się procedur przygotowania inwestycji do realizacji. Autorzy publikacji [51] opisują dodatkowe prace i zmiany w projekcie dotyczącym inwestycji drogowych jako faktyczną przyczynę opóźnienia w analizowanych inwestycjach. W artykule [128] zaprezentowano wyniki badań podjętych wśród wykonawców budowlanych w celu identyfikacji i oceny ważności czynników mogących generować opóźnienia w robotach budowlanych. Autorzy zaproponowali grupy czynników, które mogą być ich zdaniem zdiagnozowane już na etapie postępowania przed umownego i wynikają z zapisów umowy.

Wartą przytoczenia, w kontekście przeglądu literatury, jest praca [25] stanowiąca propozycję modelu służącego do prognozowania wielkości opóźnień realizacji kontraktów i do oceny możliwości ich wystąpienia. Autor [25] zaproponował wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych typu MLP (sieci jednokierunkowe wielowarstwowe) jako narzędzia do prognozowania opóźnienia w terminie zakończenia budowy odcinka drogi ekspresowej lub autostrady w Polsce. Analizując osiągnięte wyniki, zauważono, że wśród zmiennych wejściowych proponowanego modelu brak jest czynników o charakterze losowym, a z zaproponowanych 12 możliwych zmiennych jako zmienne wejściowe pozostawiono ostatecznie tylko 6: długość odcinka, wartość kontraktu, zakres kontraktu („zaprojektuj i zbuduj” vs „zbuduj”), typ kontraktu (budowa vs przebudowa, remont), wielkość zatrudnienia w firmach tworzących konsorcjum wykonawcy, planowany czas realizacji inwestycji.

Powyższe prace świadczą o wzroście zainteresowania w Polsce problemem pojawiających się opóźnień prac projektowych i robót budowlanych i przyczynami ich powstawania.

Zdecydowana większość dotyczy jednak identyfikacji i klasyfikacji czynników, które mogą je powodować. Tymczasem to możliwość prognozowania opóźnień jest istotnym zagadnieniem interesującym zarówno zamawiających jak i wykonawców.

#### **2.4 Podsumowanie rozdziału**

Zarówno krajowe jak i zagraniczne prace dotyczące opóźnień w budownictwie świadczą o tym, że problem ten jest zjawiskiem powszechnie występującym, a przyczyny, które go powodują, są podobne.

Najczęstsza opinia głosi, że realizacja obiektów często powierzana jest firmom, które nie mają niezbędnego doświadczenia, personelu ani nie stosują właściwych metod zarządzania. Inną ważną grupą czynników są te związane z dokumentacją projektową obiektu. Należą do nich błędy w dokumentacji i modyfikacje rozwiązań projektowych

wdrożone na prośbę zamawiającego. Kolejna grupa obejmuje problemy z pozyskaniem środków na dalszą realizację inwestycji i dotyczy zarówno wykonawcy, jak i zamawiającego. Pozostałe najczęściej wymieniane czynniki to: powolne podejmowanie decyzji przez zamawiającego, nierealistyczne harmonogramy przedsięwzięć.

Przegląd literatury krajowej i zagranicznej wskazuje na zainteresowanie problemem opóźnień w pracach budowlanych i przyczynami ich wystąpienia. Dowodzi, że problem występowania opóźnień jest powszechny na całym świecie. Warto podkreślić dotychczasowe prace skupiają się na identyfikacji i analizie czynników powodujących opóźnienia. Z wyjątkiem pracy [25], badacze nie podejmują prób modelowania opóźnień i poszukiwania metod ich prognozowania.

### 3. BADANIA WŁASNE W ZAKRESIE OPÓŹNIENÍ

#### 3.1 Etapy przeprowadzenia badań własnych

W nawiązaniu do podjętego w pracy problemu badawczego przedmiotem badań własnych są przyczyny opóźnień robót budowlanych na etapie projektowania w systemie „zaprojektuj i zbuduj” oraz na etapie realizacji przedsięwzięcia budowlanego w systemie „zbuduj”. Zasadniczym celem badań własnych było wytypowanie zbioru zmiennych powodujących opóźnienia w projektowaniu i realizacji obiektów mostowych, które w dalszym etapie posłużą do budowy modelu predykcji opóźnień. Badania własne przeprowadzono w trzech etapach:

- **Etap pierwszy** badań własnych w zakresie czynników powodujących opóźnienia przedsięwzięć budowlanych dotyczył pozyskania wiedzy, zgromadzenia danych, a przede wszystkim identyfikacji przyczyn opóźnień na etapie projektowania w systemie „zaprojektuj i zbuduj” i realizacji przedsięwzięcia budowlanego „zbuduj”.
- **Etap drugi**, którego podstawą był etap pierwszy badań i polegał na wytypowaniu i analizie przyczyn opóźnień w projektowaniu i realizacji obiektów mostowych. Wynik tego etapu posłużył do budowy bazy danych.
- **Etap trzeci** to budowa bazy danych, który zostanie opisany w Rozdziale czwartym niniejszej pracy.

W literaturze wyróżnia się kilkanaście metod badawczych, których klasyfikacja przedstawiona m.in. w pracy [26] obejmuje:

- metodę obserwacyjną,
- metodę eksperymentalną,
- metodą monograficzną,
- metodę badania dokumentów,
- metodę indywidualnych przypadków,
- metodę sondażu diagnostycznego,
- metodę analizy i krytyki piśmiennictwa (źródłowej),
- metodę analizy i konstrukcji logicznej,
- metodę statystyczną,
- metodę symulacji komputerowej,
- metodę heurystyczną.

Z uwagi na charakter problemu, w tym miejscu należy wskazać, że w niniejszej pracy zastosowano:

- **metodę analizy piśmiennictwa** (analiza stanu wiedzy w zakresie tematu pracy), która jest podstawową metodą badawczą, a jej istota polega na wyłonieniu i przystosowaniu nowego problemu do wiedzy już istniejącej (dotychczasowej). Metoda ta obejmuje analizę i krytykę literatury, które prowadzić mogą często do nowatorskich podejść, trafnych hipotez.
- **metodę sondażu diagnostycznego** (badanie czynników powodujących opóźnienia), która polega na gromadzeniu faktów i danych o zjawiskach strukturalnych i funkcjonalnych. Zasadniczym źródłem wiedzy w tej metodzie jest próba reprezentatywna charakteryzująca ogólną zbiorowość statystyczną.
- **metodę badania dokumentów** (analiza dokumentacji projektowej), która polega na gromadzeniu informacji i faktów, selekcji, opisie i naukowej interpretacji zjawisk na podstawie dostępnych dokumentów wytworzonych przez ludzi w trakcie realizacji pewnych działalności.
- **metodę statystyczną** (analiza wyników badań), która jest stosowana przy gromadzeniu i porządkowaniu faktów, informacji i danych na podstawie dostępnych cech zbiorów elementów statystycznych. Metoda ta może być stosowana w ujęciu jakościowym i ilościowym.

W badaniach własnych zastosowano:

- **badania ankietowe** (metoda sondażu diagnostycznego) – które to przeprowadzono w przedsiębiorstwach budowlanych z terenu całej Polski oraz wśród zamawiających, projektantów, wykonawców i innych podmiotów biorących udział w procesie budowlanym. Stanowią one badania własne i kluczowy wkład identyfikacji opóźnień w procesie budowlanym.
- **analizę dokumentacji projektowej** (metoda badania dokumentów) – na podstawie udostępnionych-przez zamawiających dokumentacji projektowej obiektów zrealizowanych dokonano przeglądu, zbioru i analizy materiału badawczego. Metoda ta pozwoliła na pozyskanie parametrów obiektów i dokładną analizę udzielonych opinii przez ekspertów z faktami oraz rzeczywistymi przypadkami opóźnień w inwestycjach budowy obiektów mostowych.

- **analizę statystyczną** (metoda statystyczna) innymi słowy analiza danych, której zostały poddane wszystkie zebrane i opracowane dane statystyczne.

### **3.2 Czynniki powodujące opóźnienia przedsięwzięć budowlanych**

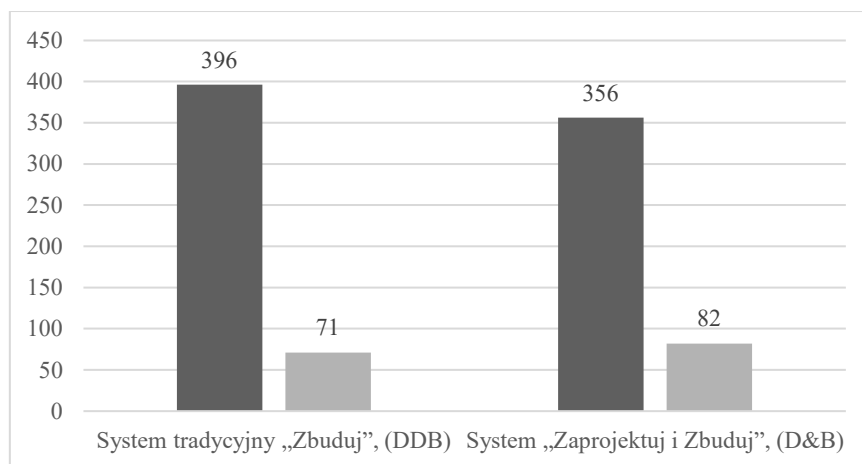
W celu identyfikacji przyczyn opóźnień realizacji przedsięwzięć budowlanych przeprowadzono badania ankietowe zarówno w systemie tradycyjnym „zbuduj”, (DBB), jak i w systemie „zaprojektuj i zbuduj”, (D&B). Badania w formie kwestionariusza ankiety, zostały przeprowadzone i skierowane do wybranych respondentów w Polsce w zależności od charakteru ankiety. Potencjalnymi respondentami byli zamawiający, wykonawcy, projektanci, inżynierowie kontraktu, inspektorowie nadzoru i inne podmioty uczestniczące w procesie budowlanym.

W celu przeprowadzenia badań wykorzystano technikę Computer-Assisted Web/Internet Interview (CAWI/CAII). Jest to technika badawcza, w której ankieta internetowa nadzorowana jest przez system komputerowy. Pytania kwestionariuszowe pobierane są ze strony internetowej organizatora badania i przekazywane za pośrednictwem sieci do dowolnego punktu, w którym znajduje się respondent wraz z komputerem podłączonym do Internetu. Osoba uczestnicząca w badaniach w systemie CAWI/CAII, samodzielnie lub w asyście ankietera, odczytuje z ekranu treść pytań i udziela odpowiedzi, które rejestrowane są na docelowym serwerze. Badania ankietowe zostały przeprowadzone za pomocą platformy internetowej Profitest.pl do realizacji badań online.

Formularz ankietowy składał się z dwóch części. Pierwsza z nich dotyczyła respondentów, co umożliwiło krótką charakterystykę uczestniczących w badaniach, a druga badanego problemu badawczego - czynników przyczyn powodujących opóźnienia. Pierwsza część zawierała trzy pytania dotyczące roli jaką respondent pełnił w procesie budowlanym. Druga część formularza zawierała proponowane czynniki które mogą powodować opóźnienia w pracach budowlanych przedsięwzięć budowlanych w zależności od systemu realizacji przedsięwzięcia. Obie części zawierały pytania zamknięte zawierające określone wcześniej odpowiedzi, nie mniej do każdego pytania można było udzielić komentarza, co pozwalało na uzyskanie dodatkowych informacji, które mogły się wnieść dodatkową wartość do uzyskiwanych danych.

Ankiety otrzymało w sumie 752 respondentów z terenu całej Polski, w tym 396 respondentów biorących udział w badaniu dotyczącym realizacji przedsięwzięć w systemie „zbuduj” i 356 respondentów w systemie „zaprojektuj i zbuduj”. Uzyskano łącznie 153 poprawnie wypełnione ankiety, co stanowi 20 % zwrotu, w tym 71 (18%)

ankiet dla badań w systemie „zbuduj”, natomiast 82 (23%) w systemie „zaprojektuj i zbuduj”. Wyniki tych badań były prezentowane we wcześniejszych pracach autora rozprawy [128,129]. Ilościowy udział respondentów w badaniach oraz liczba zwróconych poprawnie wypełnionych kwestionariuszy przedstawiono na Rysunku 3.1.



Rys. 3.1 Ilościowy udział respondentów w badaniach oraz liczba zwrotu poprawnie wypełnionych kwestionariuszy. Źródło: Opracowanie własne.

Analizę uzyskanych wyników badań zaprezentowano w poniższych punktach niniejszego rozdziału.

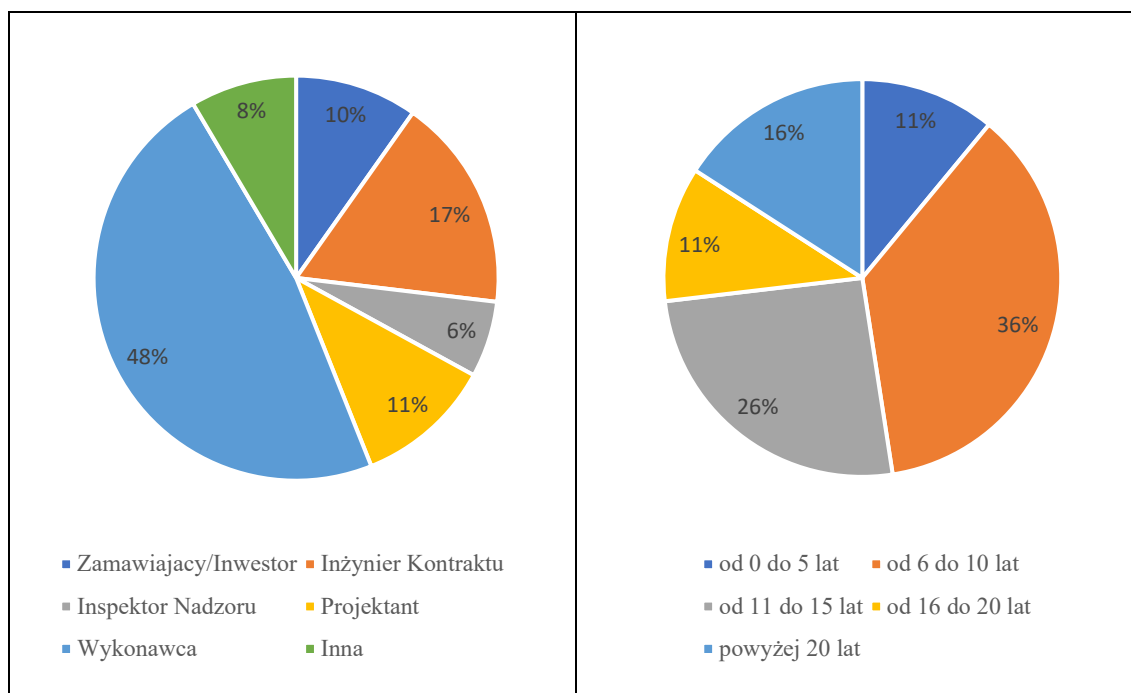
### **Analiza czynników powodujących opóźnienia dla przedsięwzięć realizowanych w systemie „zaprojektuj i zbuduj” – (D&B)**

System „zaprojektuj i zbuduj” jest stosowany w wielu krajach i uważany jest za bardzo korzystny i wydajny [133]. System ten został wprowadzony w Polsce w 2004 r. w obszarze zamówień publicznych [134]. Obecnie obserwowany jest wzrost zainteresowania i coraz częściej spotykamy realizację przedsięwzięć budowlanych w oparciu o ten system, w szczególności system ten stosowany jest u największych zamawiających publicznych w Polsce, takich jak Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad i PKP Polskie Linie Kolejowe.

Etap projektowania w systemie „zaprojektuj i zbuduj”, to etap, w którym wykonawca podejmuje się spełnienia wymagań Zamawiającego określonych w Programie Funkcjonalno–Użytkowym (tzw. PFU) [25].

Celem przeprowadzonych badań była próba wskazania przyczyn opóźnień przedsięwzięć budowlanych, powstających na etapie projektowania. Przy wykorzystaniu ww. platformy internetowej Profitest.pl, ankietę otrzymało 356 respondentów z terenu całej Polski. Uzyskano 82 poprawnie wypełnione ankiety, co stanowi 23% zwrotu. Kwestionariusz obejmował dwie części. Pierwsza z nich zawierała dwa pytania dotyczące

roli jaką respondent pełnił w procesie budowlanym oraz doświadczenia w zawodzie. Udział ankietowanych przedstawiono na Rysunku 3.2.



Rys. 3.2 Rola uczestniczącego w badaniach w procesie budowlanym

Rys. 3.3 Doświadczenie uczestniczącego w badaniach w procesie budowlanym

Źródło: Opracowanie własne.

W zakresie charakterystyki respondentów zdecydowaną większość stanowili wykonawcy (48%), w dalszej kolejności pozostali uczestnicy procesu budowlanego jak inżynierzy kontraktu (17%), projektanci (11%), zamawiający (10%), inni uczestnicy procesu budowlanego (8%) oraz inspektorzy nadzoru (6%). Uczestniczący w ankietach respondenci posiadali doświadczenie w następującej kolejności od 6 do 10 lat (36%), od 11 do 15 lat (26%), powyżej 20 lat (16%) i od 0 do 5 lat i od 16 do 20 lat po 11%.

W drugiej części kwestionariusza, na podstawie analiz literatury oraz doświadczenia wyszczególniono 29 czynników dostrzegalnych na etapie projektowania w systemie „zaprojektuj i zbuduj”, mogących powodować opóźnienia w realizacji przedsięwzięcia. Zostały one przyporządkowane do 5 grup takich jak: potencjał wykonawcy, koncepcja projektowa, uzgodnienia projektowe, opracowanie dokumentacji projektowej, decyzje administracyjne. Każdej z tych grup przyporządkowano czynniki mogące generować opóźnienia, które stanowiły kryteria oceny opóźnień co zaprezentowano w Tabeli 3.1:

Tabela 3.1 Czynniki dostrzegalne na etapie projektowania przedsięwzięć budowlanych w systemie „zaprojektuj i zbuduj” z podziałem na grupy.

<b>Lp.</b>	<b>Opis czynnika</b>
<b>Grupa 1</b>	<b>Potencjał wykonawcy</b>
1	brak odpowiedniego zaplecze kadrowego wykonawcy
2	brak wystarczających zasobów koniecznych do przygotowania projektu
3	brak doświadczenia wykonawcy w systemie "zaprojektuj i zbuduj"
4	błędy w kalkulacji oferty wykonawcy
5	problemy finansowe wykonawcy
6	brak odpowiedniego planowania na etapie projektowania
<b>Grupa 2</b>	<b>Koncepcja projektowa</b>
1	brak pełnego opracowania Programu Funkcjonalno-Użytkowego (PFU)
2	błędy lub niezgodności w Programie Funkcjonalno-Użytkowym (PFU)
3	brak zdecydowania/ opieszałość w podejmowaniu decyzji przez zamawiającego dot. akceptacji koncepcji projektowej
4	częste zmiany dokonywane przez zamawiającego dotyczące koncepcji projektowej
5	błędne opracowanie koncepcji projektowej przez wykonawcę niezgodnie z wymaganiami zamawiającego
6	brak komunikacji pomiędzy zamawiający a wykonawcą
<b>Grupa 3</b>	<b>Uzgodnienia projektowe</b>
1	niekompletne wnioski o wydanie uzgodnień złożone przez wykonawcę
2	nie wydanie uzgodnień w ustalonym terminie
3	ryzyko opóźnień związane z ograniczeniami wynikającymi z uzgodnień
4	wydłużające się procedury i czasookres wydania uzgodnień
<b>Grupa 4</b>	<b>Opracowanie dokumentacji projektowej</b>
1	nie dotrzymanie umownych terminów przygotowania dokumentacji projektowej
2	brak optymalnego wykorzystania zasobów koniecznych do opracowania dokumentacji projektowej
3	brak dobrej jakości opracowania dokumentacji projektowej (odstępstwa norm, zdefiniowanych parametrów)
4	nieprzewidziane zwiększenie kosztów związane z przygotowanie dokumentacji projektowej
5	brak rzetelnej koordynacji międzybranżowej
6	błędne zdefiniowanie ryzyk mogących wystąpić na projekcie
7	krótki "wymagalny" czas przez zamawiającego na opracowanie dokumentacji projektowej
<b>Grupa 5</b>	<b>Decyzje administracyjne</b>
1	błędy lub braki we wnioskach o pozwolenie na budowę/ ZRID złożonych przez wykonawcę



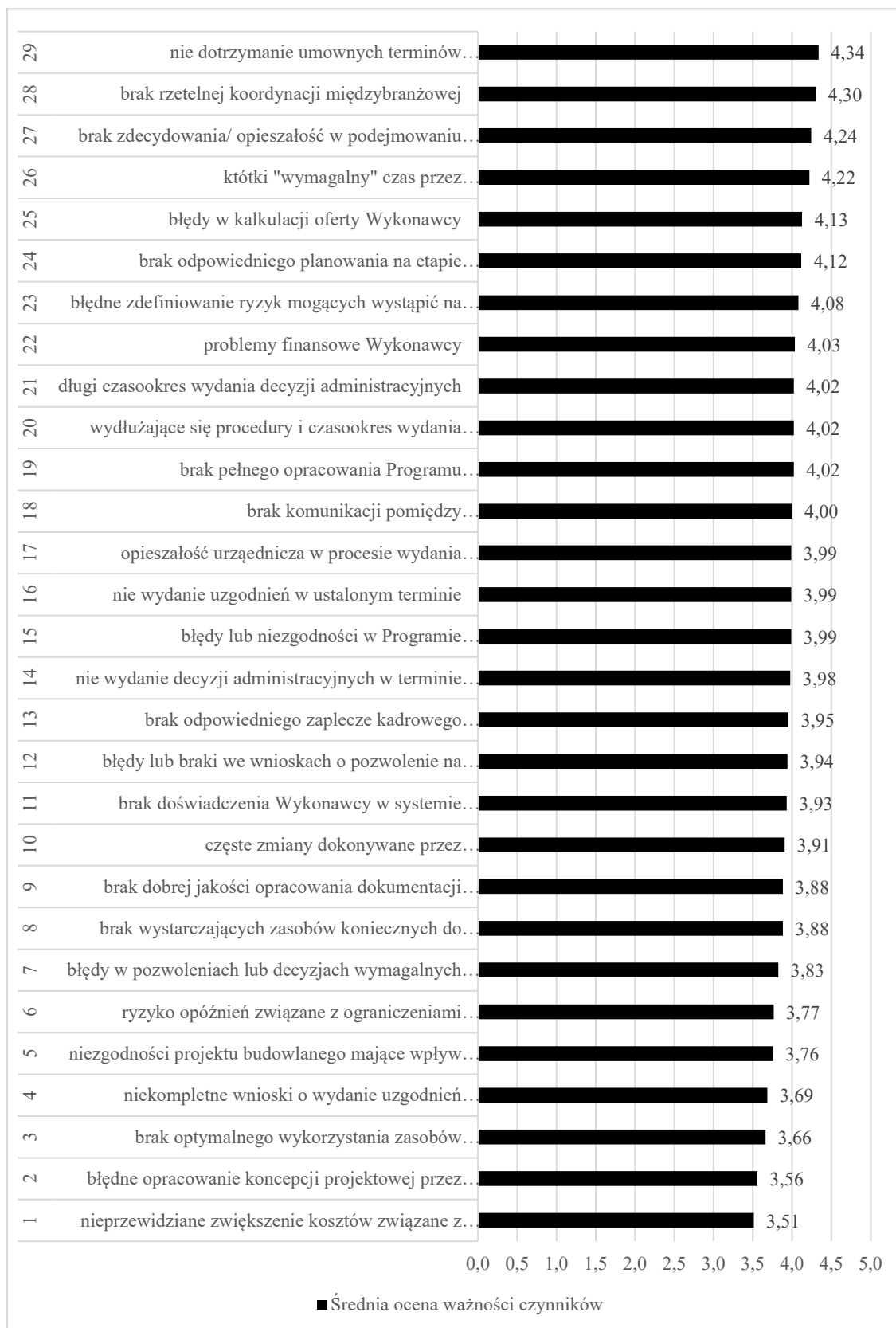
<b>Lp.</b>	<b>Opis czynnika</b>
2	błędy w pozwoleniach lub decyzjach wymagalnych do rozpoczęcia realizacji
3	niezgodności projektu budowlanego mające wpływ na wydanie decyzji
4	nie wydanie decyzji administracyjnych w terminie ustawowym
5	opieszalność urzędnicza w procesie wydania decyzji administracyjnych
6	długi czasookres wydania decyzji administracyjnych

Źródło: Opracowanie własne.

Respondenci oceniali:

- ważność każdego czynnika wyrażając opinię liczbowo w pięciostopniowej w skali: 1 – nieważny; 2 – małoważny; 3 – średnio ważny; 4 – ważny; 5 – bardzo ważny.
- Częstość każdego czynnika wyrażając opinię liczbowo w pięciostopniowej skali: 1 – nigdy, 2 – sporadycznie, 3 – czasami, 4 – często, 5 – bardzo często.

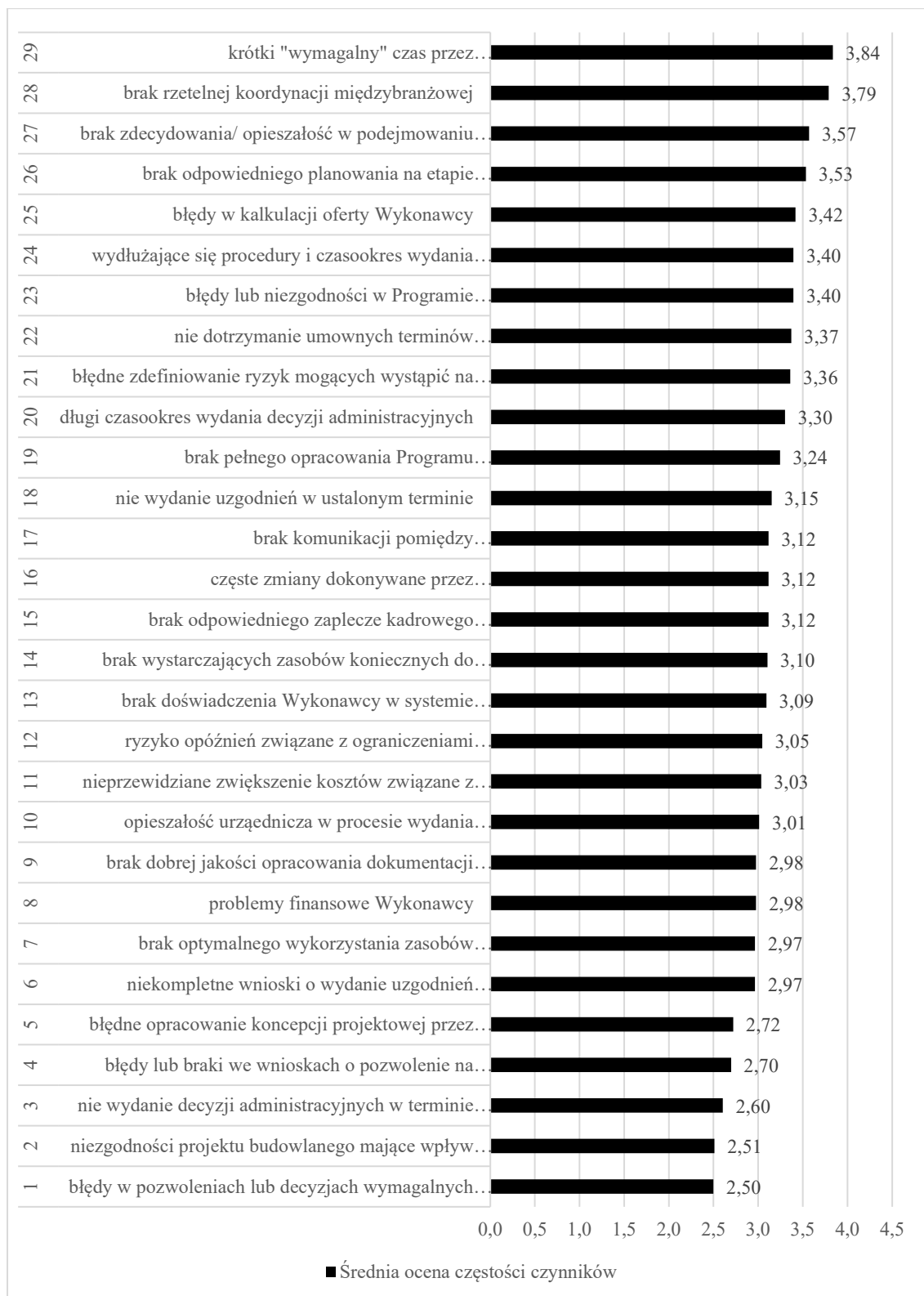
Powyżej wymienione czynniki mogące być przyczyną opóźnień w realizacji przedsięwzięcia budowlanego w systemie „zaprojektuj i zbuduj” na etapie projektowania zostały przeanalizowane w każdej z zaproponowanych grup. Uzyskane średnie wyniki ocen według ważności i częstości zostały umieszczone w załączniku 1 i 2. Zestawienie wszystkich czynników względem ich średnich ważności i częstości przedstawiono na Rysunku 3.4 i Rysunku 3.5 poniżej:



Rys. 3.4 Etap projektowania przedsięwzięć budowlanych, system „zaprojektuj i zbuduj” – zestawienie wszystkich czynników względem ich średnich ważności.

Źródło: Opracowanie własne.

W prezentowanych badaniach wyszczególniono czynniki dostrzegalne na etapie projektowania i mogące być przyczyną opóźnień w przedsięwzięciach budowlanych realizowanych w systemie „zaprojektuj i zbuduj”. W świetle ocen kryteriów respondentów (rys. 3.4) najważniejszymi czynnikami występującymi podczas etapu projektowania powodującymi opóźnienia są m. in. nie dotrzymanie umownych terminów przygotowania dokumentacji projektowej (4,34), brak rzetelnej koordynacji międzybranżowej (4,30), brak zdecydowania/ opieszałość w podejmowaniu decyzji przez zamawiającego dot. akceptacji koncepcji projektowej (4,24). Za czynniki mające najmniejszy wpływ uznano: brak optymalnego wykorzystania zasobów koniecznych do opracowania dokumentacji projektowej (3,66), błędne opracowanie koncepcji projektowej przez wykonawcę niezgodnie z wymaganiami zamawiającego (3,56) oraz nieprzewidziane zwiększenie kosztów związane z przygotowaniem dokumentacji projektowej (3,51).



Rys. 3.5 Etap projektowania przedsięwzięć budowlanych, system „zaprojektuj i zbuduj” – zestawienie wszystkich czynników względem ich średnich częstotliwości.

Źródło: Opracowanie własne.

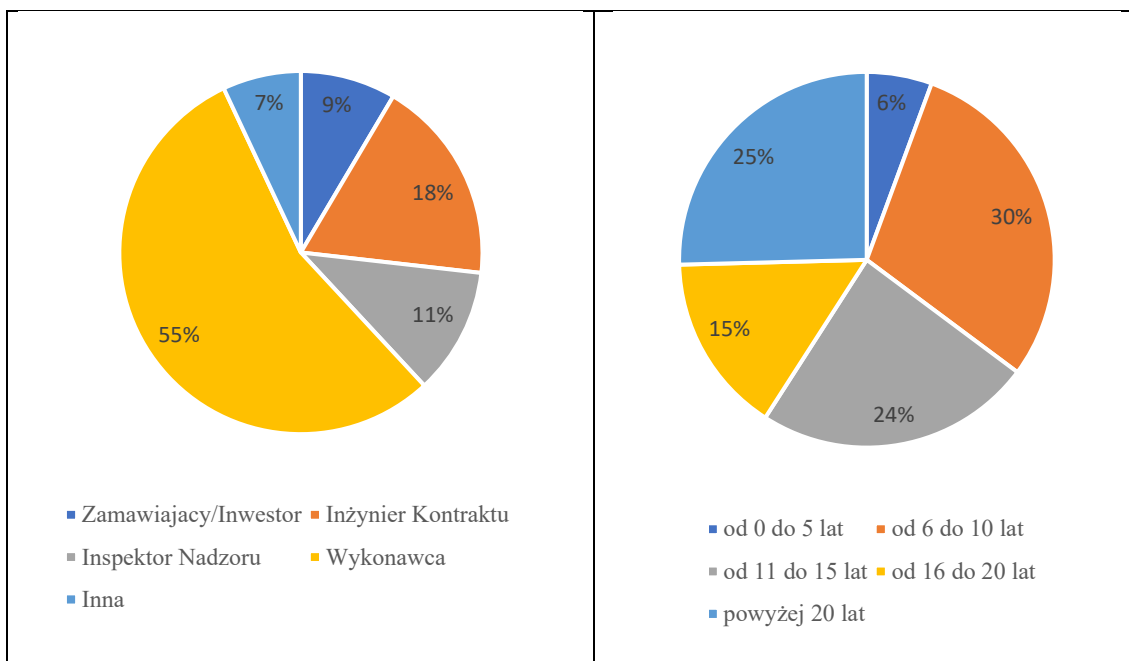
Wyznaczenie ocen średnich według respondentów (rys. 3.5) pozwoliło na wskazanie najczęściej i rzadko występujących czynników wpływających na opóźnienia na etapie projektowania. Najczęstszymi okazały się być, m. in.: krótki "wymagalny" czas przez zamawiającego na opracowanie dokumentacji projektowej (3,84), brak rzetelnej koordynacji międzybranżowej (3,79), brak zdecydowania/ opieszałość w podejmowaniu decyzji przez zamawiającego dot. akceptacji koncepcji projektowej (3,57). Do rzadko występujących czynników wpływających na opóźnienia podczas realizacji wskazano m. in.: nie wydanie decyzji administracyjnych w terminie ustawowym (2,60), niezgodności projektu budowlanego mające wpływ na wydanie decyzji (2,51), błędy w pozwoleniach lub decyzjach wymagalnych do rozpoczęcia realizacji (2,50).

#### **Analiza czynników powodujących opóźnienia dla przedsięwzięć realizowanych w systemie „zbuduj” (DBB)**

W tradycyjnej formie realizacji przedsięwzięcia budowlanego w systemie „zbuduj”, zamawiający w pierwszej kolejności zleca opracowanie dokumentacji projektowej, a następnie zleca wykonanie robót budowlanych wykonawcy [120].

Celem była próba wskazania przyczyn opóźnień realizacji przedsięwzięć budowlanych, powstających na etapie realizacji. W tym przypadku również wykorzystano platformę internetową Profitest.pl. Otrzymano 71 poprawnie wypełnionych kwestionariuszy co stanowi 18% zwrotu.

Kwestionariusz obejmował dwie części. Pierwsza z nich zawierała dwa pytania dotyczące roli jaką respondent pełnił w procesie budowlanym oraz doświadczenia w zawodzie osoby wypełniającej ankietę.



Rys. 3.6 Charakterystyka w zawodzie uczestniczących w badaniach

Rys. 3.7 doświadczenie w zawodzie uczestniczących w badaniach

Źródło: Opracowanie własne.

W zakresie charakterystyki respondentów zdecydowaną większością byli wykonawcy (55%), w dalszej kolejności uczestnicy w procesie budowlanym jak inżynierzy kontraktu (18%), inspektorzy nadzoru (11%), zamawiający (9%) i inni (7%).

Uczestniczący w ankietach respondenci posiadali doświadczenie w następującej kolejności od 6 do 10 lat (30%), powyżej 20 lat (25%), od 11 do 15 lat (24%), od 16 do 20 lat (15%) i od 0 do 5 lat (6%).

W drugiej części kwestionariusza zaproponowano 25 czynników dostrzegalnych na etapie realizacji przedsięwzięcia w systemie „zbuduj”, mogących powodować opóźnienia. Zostały one przyporządkowane do 5 grup takich jak: potencjał wykonawcy, administracja i finanse budowy, organizacja i technologia budowy, zasoby sprzętowe i materiałowe, warunki atmosferyczne i społeczne. Każdej z tych grup przyporządkowano czynniki mogące generować opóźnienia, co zaprezentowano w Tabeli 3.6:

Tabela 3.2 Czynniki dostrzegalne na etapie realizacji przedsięwzięć budowlanych w systemie „zbuduj” z podziałem na grupy.

Lp.	Opis czynnika
<b>Grupa 1</b>	<b>Potencjał wykonawcy</b>
1	brak doświadczenia wykonawcy
2	brak wystarczającej i kompetentnej kadry wykonawcy
3	brak lub problemy z dostępnością podwykonawców
4	problemy finansowe wykonawcy
5	brak właściwej współpracy z zamawiającym/ inżynierem kontraktu
<b>Grupa 2</b>	<b>Administracja i finanse budowy</b>
1	zła kalkulacja oferty wykonawcy
2	przyjęcie rozwiązań zamiennych na etapie oferowania i brak zgody zamawiającego/ inżyniera Kontraktu
3	wydłużony czasookres zatwierdzania dokumentów w tym materiałów niezbędnych do realizacji
4	opóźnianie odbiorów częściowych przez zamawiającego/ inżyniera kontraktu/ inspektora nadzoru
5	opóźnienia w płatnościach przez zamawiającego
<b>Grupa 3</b>	<b>Organizacja i technologia budowy</b>
1	rozbieżność projektu ze stanem faktycznym i zmiany projektu wynikające w trakcie realizacji
2	konieczność zmiany technologii wykonania robót budowlanych
3	brak lub nieodpowiednia organizacja robót budowlanych
4	nieodpowiednie lub brak planowania i monitoringu robót budowlanych
5	odmienne warunki fizyczne na placu budowy (np. warunki geologiczne itp.)
<b>Grupa 4</b>	<b>Zasoby sprzętowe i materiałowe</b>
1	zamiany materiałów
2	problemy z dostawą materiałów
3	problemy logistyczne
4	brak optymalizacji sprzętu pod względem ilości, parametrów i wydajności
5	brak dostępności sprzętu specjalistycznego
<b>Grupa 5</b>	<b>Warunki atmosferyczne i społeczne</b>
1	konieczność realizacji robót budowlanych w okresie zimowym
2	wystąpienie w trakcie realizacji niekorzystnych warunków atmosferycznych (np. deszcz, śnieg, wiatr)
3	wystąpienie klęsk żywiołowych (np. powódź)
4	protesty i roszczenia mieszkańców zamieszkujących obszar w bliskim otoczeniu budowy
5	protesty w związku z ochroną środowiska

Źródło: Opracowanie własne.

Respondenci oceniali:

- ważność każdego czynnika wyrażając opinię liczbowo w pięciostopniowej w skali: 1 – nieważny; 2 – małoważny; 3 – średnio ważny; 4 – ważny; 5 – bardzo ważny.
- Częstość każdego czynnika wyrażając opinię liczbowo w pięciostopniowej skali: 1 – nigdy, 2 – sporadycznie, 3 – czasami, 4 – często, 5 – bardzo często.

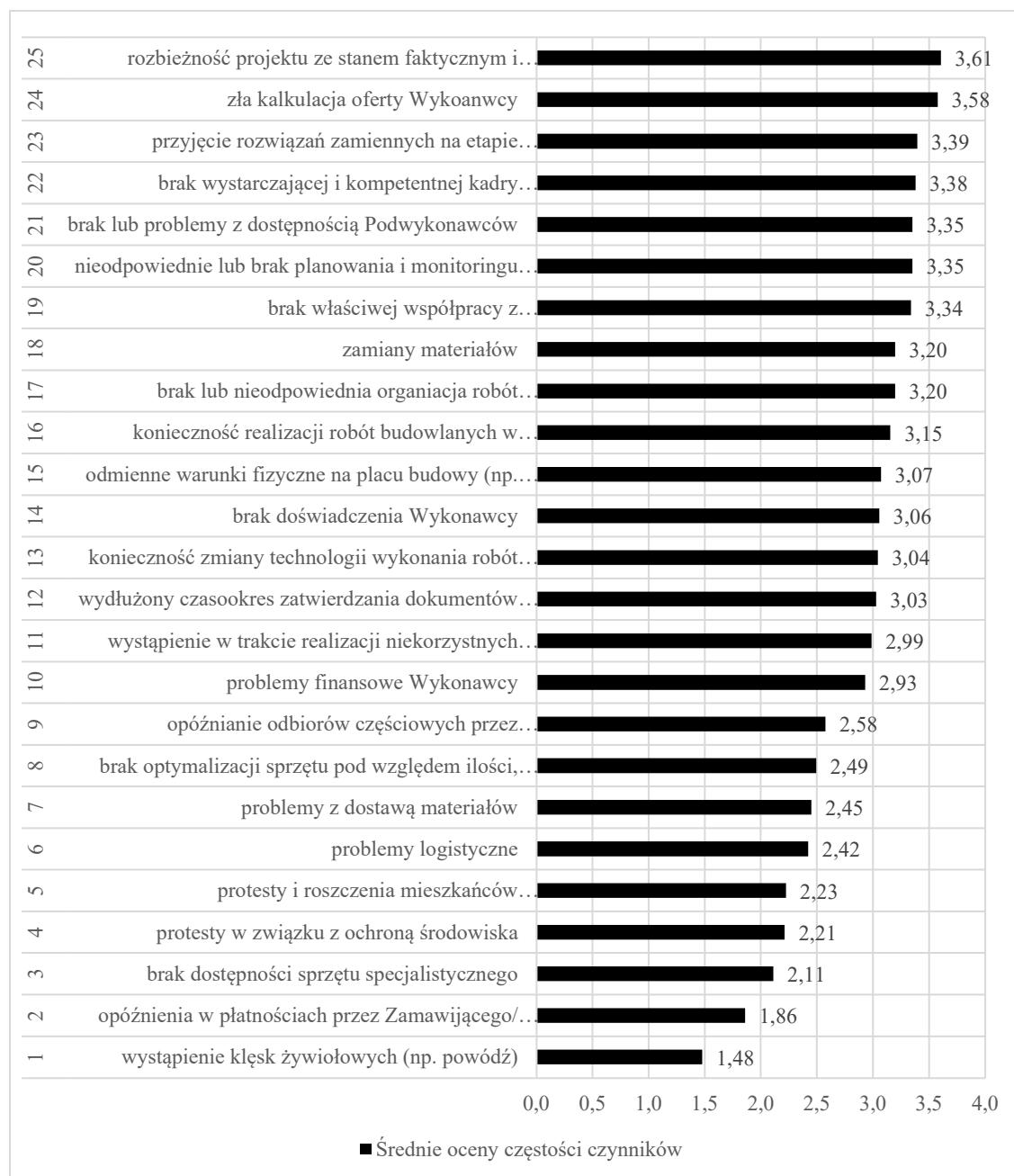
Zaproponowane czynniki mogące być przyczyną opóźnień w realizacji przedsięwzięcia budowlanego w systemie „zbuduj” w trakcie realizacji przedsięwzięcia budowlanego zostały przeanalizowane w każdej z zaproponowanych grup. Uzyskane średnie wyniki ocen według ważności i częstości zostały umieszczone w załączniku nr 3 i 4. Rysunki 3.8 i 3.9 stanowią zestawienie wszystkich czynników opóźnień odpowiednio względem ich średnich ważności i częstości dla etapu realizacji w systemie „zbuduj”.





Rys. 3.8 Etap realizacji przedsięwzięć budowlanych, system „zbuduj” – zestawienie wszystkich czynników względem ich średnich ważności. Źródło: Opracowanie własne.

Wyznaczenie ocen średnich według respondentów (rys. 3.8) pozwoliło na wskazanie najbardziej i najmniej istotnych czynników wpływających na opóźnienia podczas realizacji. Najistotniejszymi okazały się być: zła kalkulacja oferty (4,35), brak wystarczającej i kompetentnej kadry wykonawcy (4,31), brak doświadczenia wykonawcy (4,28). Za czynniki mające najmniejszy wpływ uznano: brak optymalizacji sprzętu pod względem ilości, parametrów i wydajności (3,28), brak dostępności sprzętu specjalistycznego (3,24) oraz problemy logistyczne (3,23).



Rys. 3.9 Etap realizacji przedsięwzięć budowlanych, system „zbuduj” – zestawienie wszystkich czynników względem ich średnich częstości. Źródło: Opracowanie własne.

Wyznaczenie ocen średnich według respondentów (rys. 3.9) pozwoliło na wskazanie najczęściej i rzadko występujących czynników wpływających na opóźnienia podczas realizacji. Najczęstszymi okazały się być: rozbieżność projektu ze stanem faktycznym i zmiany projektu wynikające w trakcie realizacji (3,61), zła kalkulacja oferty wykonawcy (3,58), przyjęcie rozwiązań zamiennych na etapie oferowania i brak zgody zamawiającego (3,39). Do rzadko występujących czynników wpływających na opóźnienia podczas realizacji wskazano: brak dostępności sprzętu specjalistycznego (2,11), opóźnienia w płatnościach przez zamawiającego (1,86), wystąpienie klęsk żywiołowych (np. powódź) (1,48).

### **3.3 Czynniki powodujące opóźnienia w realizacji obiektów mostowych**

Na podstawie części pierwszej przeprowadzonych badań własnych oraz wskazaniu najbardziej i najmniej istotnych czynników wpływających na opóźnienia podczas realizacji przedsięwzięć budowlanych na etapie projektowania oraz na etapie realizacji dokonano wyboru czynników mogących powodować opóźnienia stanowiące kryteria ocen respondentów w projektowaniu i realizacji obiektów mostowych z podziałem na grupy analogicznie jak w pierwszej części badań.

W wyniku powyższego, opracowano kwestionariusz oceny za pomocą formularza opracowanego w programie Microsoft Excel, który to został rozesłany za pomocą poczty elektronicznej do uczestników procesu budowlanego w tym do wykonawców i zamawiających w Polsce realizujących obiekty mostowe branży drogowej (87%) i kolejowej (13%).

Kwestionariusz oceny składał się z dwóch części, z których jedna z nich zawierała dane w zakresie zrealizowanych obiektów mostowych, a druga część zawierała dane dotyczące wybranych czynników mogących powodować opóźnienia w projektowaniu i realizacji obiektów mostowych stanowiące kryteria oceny na podstawie dotychczas wykonanych badań własnych w podziale na grupy.

Otrzymano łącznie 120 (71%) poprawnie wypełnionych kwestionariuszy obejmujących próbę badawczą obiektów mostowych w których zidentyfikowano opóźnienia w etapie projektowania (6%) i realizacji (94%).

#### **Czynniki opóźnień na etapie projektowania obiektów mostowych**

W kwestionariuszu dla etapu projektowania obiektów mostowych zaproponowano pięć grup, które zawierały w sumie 19 czynników mogących powodować opóźnienia wybranych na podstawie przeprowadzonych dotychczasowych badań, przedstawiono to w tabeli 3.3.

Tabela 3.3 Czynniki mogące powodować opóźnienia na etapie projektowania obiektów mostowych z podziałem na grupy.

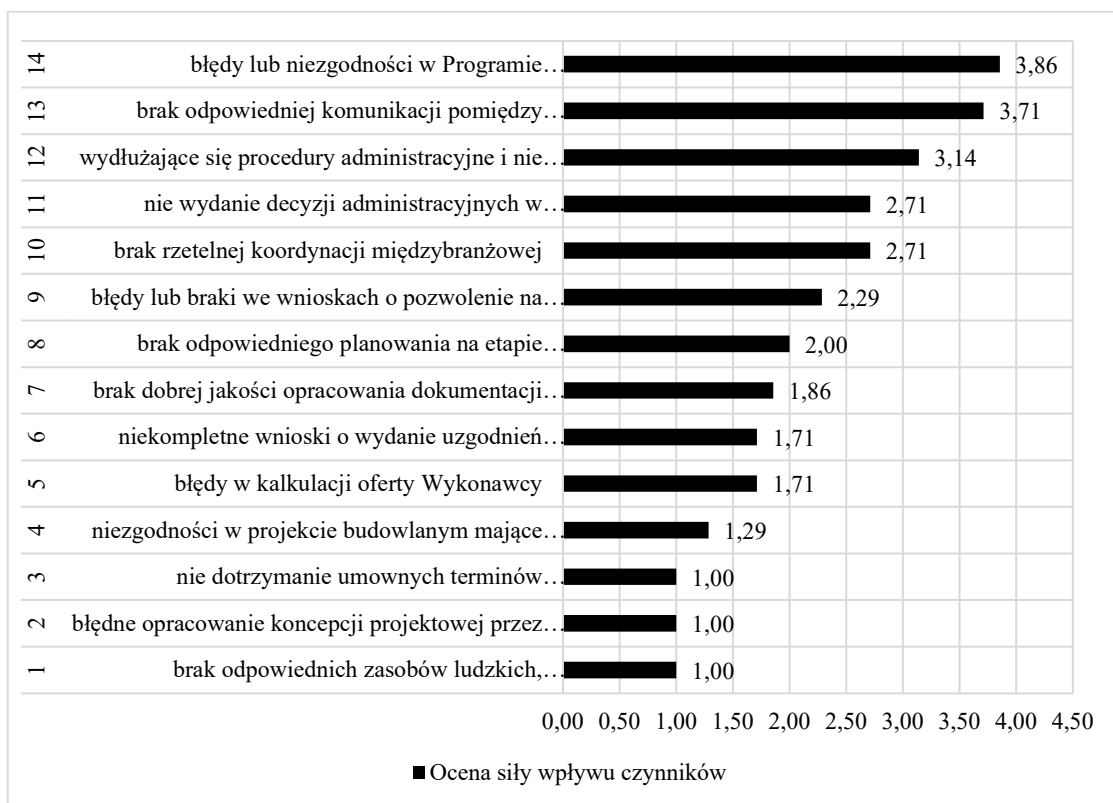
<b>Lp.</b>	<b>Opis czynnika</b>
<b>Grupa 1 Potencjał projektanta</b>	
1	brak odpowiednich zasobów ludzkich, sprzętowych oraz doświadczenia wykonawcy
2	błędy w kalkulacji oferty Wykonawcy
3	brak odpowiedniego planowania na etapie projektowania
4	inne
<b>Grupa 2 Koncepcja projektowa</b>	
1	błędy lub niezgodności w Programie Funkcjonalno-Użytkowym (PFU)
2	błędne opracowanie koncepcji projektowej przez Wykonawcę niezgodnie z wymaganiami zamawiającego
3	brak odpowiedniej komunikacji pomiędzy zamawiającym a wykonawcą dotyczącej opracowania koncepcji
4	inne
<b>Grupa 3 Uzgodnienia projektowe</b>	
1	niekompletne wnioski o wydanie uzgodnień złożone przez wykonawcę
2	wydłużające się procedury administracyjne i nie wydanie uzgodnień w ustalonym terminie
3	inne
<b>Grupa 4 Opracowanie dokumentacji projektowej</b>	
1	nie dotrzymanie umownych terminów przygotowania dokumentacji projektowej przez Wykonawcę
2	brak dobrej jakości opracowania dokumentacji projektowej
3	brak rzetelnej koordynacji międzybranżowej
4	inne
<b>Grupa 5 Decyzje administracyjne</b>	
1	błędy lub braki we wnioskach o pozwolenie na budowę/ ZRID złożonych przez wykonawcę
2	niezgodności w projekcie budowlanym mające wpływ na wydanie decyzji
3	nie wydanie decyzji administracyjnych w terminie ustawowym
4	inne

Źródło: Opracowanie własne.

Respondenci oceniali wpływ każdego czynnika wyrażając opinię liczbowo w pięciostopniowej w skali: 1 – brak; 2 – mały; 3 – średni; 4 – duży; 5 – bardzo duży.

Zaproponowane czynniki mogące być przyczyną opóźnień w projektowaniu obiektów mostowych zostały przeanalizowane w każdej z zaproponowanych grup, takich jak potencjał wykonawcy, koncepcja projektowa, uzgodnienia projektowe, opracowanie dokumentacji projektowej, decyzje administracyjne. Uzyskane średnie wyniki ocen wpływu na etap projektowania obiektów mostowych zostały umieszczone w załączniku

nr 5. Zestawienie wszystkich czynników względem ich wpływu na etap projektowania obiektów mostowych przedstawiono na rys. 3.10.



Rys. 3.10 Zestawienie wszystkich czynników względem ich wpływu na etap projektowania obiektów mostowych. Źródło: Opracowanie własne.

Wyznaczenie ocen średnich (rys. 3.10) pozwoliło na wskazanie najbardziej i najmniej istotnych czynników mających wpływ na opóźnienia w trakcie projektowania obiektów mostowych. Najistotniejszymi okazały się być: błędy lub niezgodności w Programie Funkcjonalno-Użytkowym (PFU) (3,86), brak odpowiedniej komunikacji pomiędzy zamawiającym a wykonawcą (3,71), wydłużające się procedury administracyjne i nie wydanie uzgodnień w ustalonym terminie (3,14). Za czynniki mające najmniejszy wpływ uznano: nie dotrzymanie umownych terminów przygotowania dokumentacji projektowej przez wykonawcę (1,00), błędne opracowanie koncepcji projektowej przez wykonawcę niezgodnie z wymaganiami zamawiającego (1,00), brak odpowiednich zasobów ludzkich, sprzętowych oraz doświadczenia wykonawcy (1,00).

#### **Czynniki opóźnień na etapie realizacji obiektów mostowych**

Dla etapu realizacji w kwestionariuszu zaproponowano również pięć grup takich jak potencjał wykonawcy, administracja i finanse budowy, organizacja i technologia

budowy, zasoby sprzętowe i materiałów, warunki atmosferyczne i społeczne. Powyżej wymienione grupy zawierały w sumie 21 czynników wybranych na podstawie przeprowadzonych dotychczasowych badań dla etapu realizacji przedsięwzięć budowlanych i mogących powodować opóźnienia, przedstawiono to w tabeli 3.4.

Tabela 3.4 Czynniki mogące powodować opóźnienia na etapie realizacji obiektów mostowych z podziałem na grupy.

Lp.	Opis czynnika
<b>Grupa 1</b>	<b>Potencjał wykonawcy</b>
1	brak wystarczającej i kompetentnej kadry oraz doświadczenia wykonawcy
2	brak lub problemy z dostępnością podwykonawców
3	brak właściwej współpracy z zamawiającym/ inżynierem kontraktu
4	inne
<b>Grupa 2</b>	<b>Administracja i finanse budowy</b>
1	wydłużony czasookres zatwierdzania dokumentów w tym materiałów niezbędnych do realizacji
2	opóźnianie odbiorów częściowych przez zamawiającego/ inżyniera kontraktu/ inspektora nadzoru
3	opóźnienia w płatnościach przez zamawiającego
4	problemy finansowe wykonawcy
5	inne
<b>Grupa 3</b>	<b>Organizacja i technologia budowy</b>
1	rozbieżność projektu ze stanem faktycznym i zmiany projektu wynikające w trakcie realizacji
2	brak lub nieodpowiednia organizacja robót budowlanych
3	nieodpowiednie lub brak planowania i monitoringu robót budowlanych
4	inne
<b>Grupa 4</b>	<b>Zasoby sprzętowe i materiałowe</b>
1	zamiany materiałów
2	problemy z dostawą materiałów
3	problemy logistyczne i brak optymalizacji sprzętu pod względem ilości, parametrów i wydajności
4	inne
<b>Grupa 5</b>	<b>Warunki atmosferyczne i społeczne</b>
1	konieczność realizacji robót budowlanych w okresie zimowym
2	wystąpienie w trakcie realizacji niekorzystnych warunków atmosferycznych
3	protesty związane z ochroną środowiska i roszczenia mieszkańców zamieszkujących obszar w bliskim otoczeniu budowy
4	inne

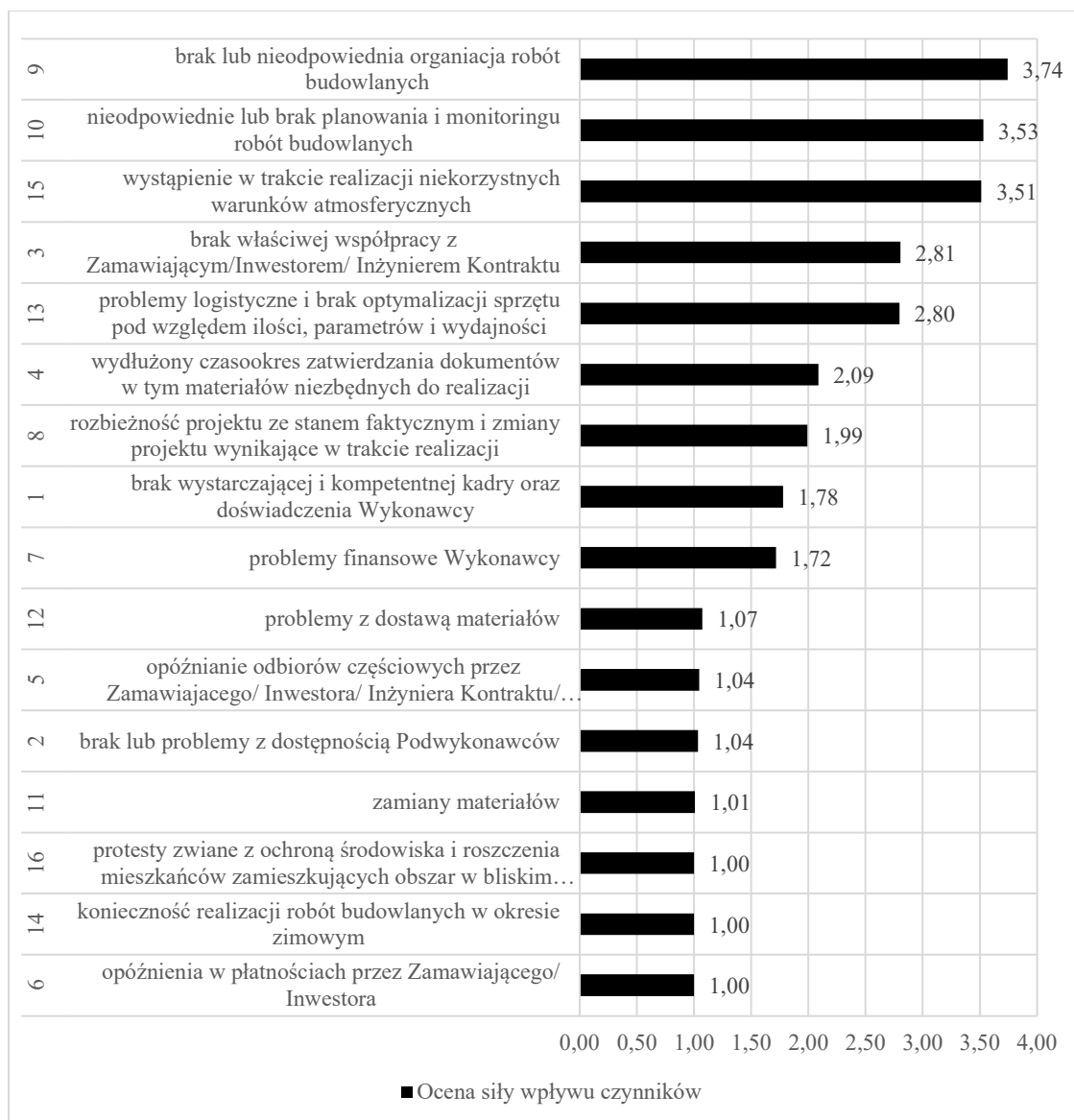
Źródło: Opracowanie własne.

Respondenci oceniali wpływ każdego czynnika wyrażając opinię liczbowo w pięciostopniowej w skali: 1 – brak; 2 – mały; 3 – średni; 4 – duży; 5 – bardzo duży.

Zaproponowane czynniki mogące być przyczyną opóźnień w projektowaniu obiektów mostowych zostały przeanalizowane w każdej z zaproponowanych grup.

Uzyskane średnie wyniki ocen wpływu na etap realizacji obiektów mostowych zostały umieszczone w załączniku nr 6.

Zestawienie wszystkich czynników względem ich wpływu na etap realizacji obiektów mostowych przedstawiono w rys. 3.11.



Rys. 3.11 Zestawienie wszystkich czynników względem ich wpływu na etap realizacji obiektów mostowych. Źródło: Opracowanie własne.

Wyznaczenie ocen średnich (rys. 3.11) pozwoliło na wskazanie najczęściej i rzadko występujących czynników mających wpływ na opóźnienia w trakcie realizacji obiektów mostowych. Najczęściej występującymi okazały się być, m. in.: brak lub nieodpowiednia organizacja robót budowlanych (3,74), nieodpowiednie lub brak planowania i monitoringu robót budowlanych (3,53), wystąpienie w trakcie realizacji niekorzystnych warunków atmosferycznych (3,51). Średnia ocena tych czynników

wynosiła ponad 3,5 co oznacza, że w badanej próbie to mają duży wpływ na opóźnienia w realizacji obiektów mostowych. Do rzadko występujących czynników według respondentów uznano: protesty związane z ochroną środowiska i roszczenia mieszkańców zamieszkujących obszar w bliskim otoczeniu budowy (1,00), konieczność realizacji robót budowlanych w okresie zimowym (1,00), opóźnienia w płatnościach przez zamawiającego (1,00).

### 3.4 Podsumowanie rozdziału

W niniejszym rozdziale pracy przedstawiono etapy i opisano metody badawcze, które zastosowano w badaniach własnych. Zasadniczym ich celem było wytypowanie zbioru potencjalnych czynników powodujących opóźnienia w projektowaniu i realizacji obiektów mostowych. Do ich identyfikacji zastosowano badania ankietowe. W pierwszym etapie dokonano identyfikacji przyczyn opóźnień realizacji przedsięwzięć budowlanych, przeprowadzając badania ankietowe dla przedsięwzięć realizowanych o w systemie „zaprojektuj i zbuduj” i tradycyjnym „zbuduj”, z podziałem na etap projektowania i realizacji robót. Przeprowadzono ocenę zaproponowanych czynników z uwagi na ich ważność i częstość występowania na podstawie opinii respondentów.

W oparciu o wyniki pierwszego etapu badań własnych, dokonano następnie propozycji wskazania i pogrupowania czynników powodujących opóźnienia w realizacji obiektów mostowych w poszczególnych etapach: projektowania i realizacji robót (tabela 3.5).

Tabela 3.5 Wytypowane potencjalne grupy czynników opóźnień w podziale na etapy projektowania i realizacji obiektów mostowych

<b>Etap projektowania</b>	<b>Etap realizacji</b>
Potencjał projektanta	Potencjał wykonawcy
Koncepcja projektowa	Administracja i finanse budowy
Uzgodnienia projektowe	Organizacja i technologia budowy
Opracowanie dokumentacji projektowej	Zasoby sprzętowe i materiałowe
Decyzje administracyjne	Warunki atmosferyczne i społeczne

Źródło: Opracowanie własne.

Czynniki powodujące opóźnienia zostały ocenione przez respondentów z uwagi na ich ważność i częstość występowania. Uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań ankietowych posłużą, w dalszej części prac badawczych, do stworzenia bazy danych koniecznej do budowy modelu predykcji opóźnień realizacji robót mostowych.



## 4. ZAŁOŻENIA BUDOWY MODELU I OPRACOWANIE BAZY DANYCH DO MODELOWANIA OPÓŹNIEŃ

### 4.1 Koncepcja modelowania

Prognozowanie, czyli predykcja to racjonalna i naukowa metoda przewidywania w jaki sposób będą kształtowały się w przyszłości procesy lub zdarzenia [49,52,54,75,83,159,170,219]. Predykcja, to „praktyczna działalność zmierzająca do sformułowania naukowo uzasadnionej oceny, tj. szacunku prawdopodobnego stanu w przyszłości na podstawie posiadanych informacji z przeszłości oraz merytorycznej wiedzy o danym wycinku z przeszłości będącym przedmiotem prognozowania” [83]. W trakcie procesu prognozowania formułuje się prognozę na temat przyszłych stanów zjawisk i zdarzeń [178]. Uzyskane prognozy, w wyniku przeprowadzonych obliczeń, mogą posłużyć jako wytyczne do planowania czasu procesów budowlanych oraz rezerw czasu zapewniających terminową realizację.

Dla umożliwienia prognozy opóźnień w realizacji obiektów mostowych podjęto próbę budowy modelu predykcyjnego. Ogólną postać poszukiwanego modelu przedstawia wzór (4.1):

$$Y = F(X_j, \varepsilon), \quad (4.1)$$

gdzie:

$Y$  – zmienna zależna (wartość wyjściowa modelu) – opóźnienie względne dla przedsięwzięć opóźnionych,

$X_j$  – zmienne niezależne (dane wejściowe modelu) – charakterystyki obiektów mostowych, czynniki powodujące opóźnienia w realizacji obiektów mostowych,

$F$  – zależność funkcyjna wiążąca zmienne niezależne (dane wejściowe) oraz zmienną zależną (wyjściową) modelu.

Powyższe zostanie uszczegółowione w dalszej części pracy w pkt. 4.3.

Do budowy modelu niezbędne jest opracowanie zbioru danych w oparciu o zakończone realizacje obiektów mostowych z uwzględnieniem zidentyfikowanych w rozdziale drugim czynników mogących powodować opóźnienia. Opracowanie zbioru danych, obejmowało gromadzenie danych i informacji w trzech grupach. Pierwsza uwzględnia charakterystyki obiektów mostowych tzw. informacje ogólne, druga część obejmuje parametry techniczne obiektów mostowych, a trzecia zawiera informacje związane z czynnikami powodującymi opóźnienia w realizacji obiektów mostowych.

## 4.2 Potencjalne zmienne niezależne

### Informacje ogólne obiektów mostowych

W wyniku studiów literatury, badań własnych oraz analizy dokumentacji kontraktowej, dokumentacji projektowej i dokumentacji odbiorowej zakończonych realizacji obiektów mostowych opracowano część pierwszą zbioru danych dotyczącą informacji ogólnych, w której zebrano informacje ogólne o zrealizowanych obiektach mostowych:

- Charakterystyka zawierająca informacje dotyczące **rodzaju obiektu ze względu na przeszkodę**. Obiekty mostowe to budowle inżynierskie, które dzielą się na 5 rodzajów w zależności od pokonywanej przeszkody, nad którą występują [53]:
  - mosty – są obiektami budowlanymi służącymi do przeprowadzenia drogi nad m. in. np. rzekami, strumieniami, kanałami;
  - wiadukty – są obiektami budowlanymi zaliczanymi do obiektów mostowych, które służą do przeprowadzenia drogi nad przeszkodami m. in. typu: dolina, wąwóz, inna droga kołowa, tory kolejowe, z wyłączeniem przeszkód wodnych;
  - estakady – są obiektami budowlanymi zaliczanymi do obiektów mostowych, które służą do przeprowadzenia drogi ponad terenem na dłuższym odcinku. Stosuje się je m. in. dla potrzeb bezkolizyjnego przeprowadzenia ruchu ponad obszarem zabudowanym czy też zalewowym;
  - kładka dla pieszych – są obiektami budowlanymi zaliczanymi do obiektów mostowych z przeznaczeniem do ruchu pieszego, rowerowego i pieszo-rowerowego. Stosuje się je jako przejścia dla pieszych nad przeszkodą różnego typu;
  - przepusty – są obiektami inżynierskimi służącymi do przeprowadzenia cieków lub linii komunikacyjnej pod trasą komunikacyjną.

Charakterystyka ta przyjmowała wartości niemierzalne (opisowe) o etykietach m. in. most, wiadukt, estakada, przepust.

- Charakterystyka zawierająca informacje o **typie obiektu mostowego ze względu na przeznaczenie użytkowe**.

Ze względu na przeznaczenie użytkowe, obiekty mostowe klasyfikujemy na [53,189]:

- drogowe – obiekt służący do zapewnienia komunikacji drogowej,
- kolejowe – obiekt służący do zapewnienia komunikacji kolejowej,
- tramwajowe – obiekt służący do zapewnienia komunikacji tramwajowej,
- kładki dla pieszych – są budowane dla przeprowadzenia ruchu pieszego lub pieszo-rowerowego nad przeszkodami terenowymi,
- kanałowe – obiekt o kształcie koryta i z przeznaczeniem do przeprowadzania kanału nad np. drogą, rzeką,
- o ruchu mieszanym – obiekty służące do zapewnienia jednocześnie komunikacji drogowej i kolejowej itp.,
- akwedukty – obiekt o konstrukcji doprowadzającej wodę kanałem lub rurociągiem ze źródła na znaczne odległości, ponad przeszkodami takimi jak m. in. rzeki i drogi.

Charakterystyka obiektu mostowego ze względu na przeznaczenie użytkowe przyjmowała wartości opisowe o etykietach, m. in. drogowy, kolejowy, drogowy, pieszy i rowerowy.

- Charakterystyka zawierająca informacje dotyczące **systemu realizacji przedsięwzięcia**. Realizacja przedsięwzięcia budowlanego może odbywać się m.in. tzw. systemem tradycyjnym „zbuduj” lub systemem „zaprojektuj i zbuduj”. Charakterystyka ta przyjmowała wartości opisowe o etykietach „zbuduj” i „zaprojektuj i zbuduj”.
- Charakterystyka zawierająca informacje o **wartości obiektu** mostowego. Charakterystyka ta przyjmowała wartości mierzalne w jednostce miary [zł].

### **Parametry techniczne obiektów mostowych**

Na podstawie literatury oraz weryfikacji dokumentacji kontraktowej, dokumentacji projektowej zakończonych realizacji obiektów mostowych opracowano część drugą zbioru danych, w której to wskazano charakterystyczne parametry techniczne obiektów mostowych. Poniżej przedstawiono opis przyjętych parametrów technicznych.

- Charakterystyka zawierająca informacje o **dlugości całkowitej obiektu**, która to stanowi odległość w rzucie poziomym mierzona po osi jezdni lub ciągu komunikacyjnego między zewnętrznymi krawędziami obiektu. Charakterystyka przyjmowała wartości mierzalne w jednostce miary [m].
- Charakterystyka zawierająca informacje o **szerokości obiektu** inżynierskiego, która zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 24 czerwca 2022

r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (Dz. U. 2022, poz. 1518) [223] jest to odległość między zewnętrznymi krawędziami przęseł mierzona prostopadle do osi podłużnej obiektu. Charakterystyka przyjmowała wartości mierzalne w jednostce miary [m].

- Charakterystyka zawierająca informacje o **liczbie przęseł obiektów** mostowych. Każdy obiekt mostowy posiada przęsła, które stanowią część zwartą między sąsiednimi podporami. Składa się z zasadniczych elementów konstrukcyjnych: pomostu, dźwigarów i elementów stężających. Charakterystyka przyjmowała wartości mierzalne w jednostce miary [szt.].
- Charakterystyka zawierająca informacje o **typie konstrukcji obiektu mostowego ze względu na jego schemat statyczny**. Schematy statyczne ustrojów nośnych pozwalają na rozróżnienie następujących obiektów mostowych ze względu na schemat statyczny [38,53,189]:
  - belkowe – schemat ten jest najczęstszym rozwiązaniem przęseł podpartych swobodnie. Elementem nośnym są równoległe do osi podłużnej obiektu dźwigary, W kierunku poprzecznym belki te są połączone między sobą poprzecznicami. Taki układ dźwigarów i poprzecznic tworzy ruszt, na którym ułożona jest zespolona z nim płyta pomostu z żelbetu;
  - łukowe – aby móc zwiększyć rozpiętość przęsła stosuje się konstrukcje o schematach łukowych. Konstrukcja łukowa oparta na podporach skrajnych (przyczółkach), które utrzymują most na miejscu. Pomost, wraz ze znajdującą się na nim jezdnią lub torowiskiem, może zostać podwieszony pod konstrukcją lub być położony na niej,
  - ramowe – w takim układzie przęsła połączone są sztywno z podporą (podporami). Obiekty o takim schemacie statycznym mogą być wykonywane jako jedno- i wieloprzęsłowe, monolityczne lub z wykorzystaniem do budowy przęseł prefabrykatów,
  - płytowe – są wykonywane jako monolityczne lub prefabrykowane z żelbetu sprężonego. Elementem nośnym jest płyta w schemacie statycznym jako jednoprzęsłowa lub wieloprzęsłowa, która pełni funkcję podłoża pod nawierzchnię,

- wiszące – cięgnami nośnymi obiektów wiszących są m. in. stalowe liny na których za pośrednictwem wieszaków jest podwieszony pomost. Cięgna nośne (stalowe liny) są przerzucone przez konstrukcję stalową na szczytach podpór stalowych lub żelbetowych i zamocowane w betonowych przyczółkach,
- podwieszane – ustrojem nośnym obiektów podwieszonych są odciągi, będące odcinkami lin, które podtrzymują belki główne przęsła, łącząc je z głowicą pylonu.

Charakterystyka ta przyjmowała wartości niemierzalne (opisowe) o etykietach, m. in. belkowy, skrzynkowy, ramowy, kratowy i łukowy.

- Charakterystyka zawierająca informacje o **rodzajach obiektów mostowych ze względu na zastosowane rozwiązania materiałowe**. W związku z tym najczęściej obiekty mostowe wykonuje z materiałów takich jak [152]:
  - betonowe – obiekty betonowe mostowe obiekty o dźwigarach głównych wykonanych z betonu mostowego charakteryzującego się wysoką wytrzymałością lub niezbrojonego lub słabo zbrojonego,
  - żelbetowe – obiekty żelbetowe mostowe to obiekty z betonu wzmocnione stalowymi prętami,
  - stalowe – obiekty mostowe do wybudowania których wykorzystano stal;
  - zespolone – obiekty mostowe wybudowane z materiałów zespolonych najczęściej z materiałów żelbetowych i stalowych.

Badania własne ograniczono do powyżej opisanych materiałów. Charakterystyka ta przyjmowała wartości niemierzalne (opisowe) o etykietach, m. in. beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, zespolony.

- Charakterystyki dotyczące informacji o **rodzaju podpór skrajnych obiektu (przyczółki)** i **rodzaju podpór pośrednich obiektu**. Głównym zadaniem podpór jest przeniesienie ciężaru całego obiektu oraz wszystkich obciążeń na niego oddziałujących. Podpory skrajne są nazywane przyczółkami, natomiast podpory pośrednie – filarami. Powyższe charakterystyki przyjmowały wartości niemierzalne (opisowe) o etykietach, m. in. słupowe, pełnościennie oraz ściany oporowe [53].
- Charakterystyka w zakresie **sposobu posadowienia podpór obiektu** opisuje sposób posadowienia fundamentów obiektów mostowych, które mogą być

projektowane jako bezpośrednie tzn. płyty i ławy lub pośrednie w postaci pali i ścian szczelinowych itp. Charakterystyka ta przyjmowała wartości niemierzalne (opisowe) o etykietach, m. in. pośrednie i bezpośrednie [53].

- Charakterystyka zawierająca informacje dotyczące rodzaju *zastosowanej nawierzchni na obiektach mostowych*, która to stanowi jego element wyposażenia. Ze względu na przeznaczenie użytkowania obiektu mostowego wyróżniamy nawierzchnie takie jak nawierzchnię jezdni drogowych obiektów mostowych – jest wykonana zazwyczaj z mieszanek mineralno-bitumicznych oraz nawierzchnię kolejową w przypadku kolejowych obiektów mostowych. Klasyczna nawierzchnia kolejowa jest zbudowana z szyn, złączek, podkładów oraz podsypki. Charakterystyka ta przyjmowała wartości niemierzalne (opisowe) o etykietach, m. in. beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa [152];
- Charakterystyka informująca o *klasach obciążenia normatywnego obiektów mostowych drogowych i kolejowych*. Obiekty mostowe drogowe projektuje się na jedną z klas obciążeń taborem samochodowym A, B, C, D i E według Polskiej Normy PN-S-10030:1985 Obiekty mostowe - Obciążenia [222]. Wskazana norma przewiduje 5 klas obciążenia mostów, oznaczonych od A do E zaprezentowane jak poniżej.

Klasy i odpowiadające wartości obciążenia wg PN-S-10030:1985 przedstawia tabela 4.1.

Tabela 4.1 Klasy obciążeń wg Polskie Normy PN-S-10030:1985 Obiekty mostowe - Obciążenia [222]

<b>Klasa obciążenia</b>	<b>Obciążenie [kN]</b>
A	800
B	600
C	400
D	320
E	240

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Polskiej Normy PN-S-10030:1985 Obiekty mostowe obciążenia [222]

Obiekty mostowe kolejowe obciążone taborem kolejowym projektuje się na jedną z klas obciążeń taborem kolejowym zgodnie z wg PN-S-10030:1985. Obiekty mostowe w ciągu linii kolejowych projektuje się na jedną z klas obciążeń. Wszystkim klasom

odpowiada ten sam schemat obciążeń taborem kolejowym. O klasie obciążeń obiektów mostowych leżących w ciągu określonych linii decyduje administracja kolejowa. Miarą klasy dla obiektów jest współczynnik  $\alpha_k$  i odpowiadająca jej wartość  $k$ . Z uwagi na to, że wszystkie obiekty mostowe kolejowe występujące w próbie badawczej mają klasę obciążeń  $k=+2$ , przyjęto, iż dla tych obiektów charakterystyka ta będzie przyjmować wartość niemierzalna (opisową) o etykiecie kolejowa, natomiast dla pozostałych obiektów będzie przyjmować wartości niemierzalne (opisowe) o etykietach A, B, C, D, E.

### **Czynniki powodujące opóźnienia**

W trzeciej części zbioru danych wyodrębniono 10 czynników zidentyfikowanych w badanych własnych (rozdział 2) jako przyczyny opóźnień realizacji obiektów mostowych:

- **Potencjał projektanta** jest niezwykle ważny w celu wypracowania i zastosowania efektywnych rozwiązań projektowych na etapie projektowania. Projektant powinien dysponować potencjałem, który pozwoli na prawidłowe zaprojektowanie przedsięwzięcia, a także na późniejsze ewentualne modyfikacje pierwotnych założeń projektowych [102,109].
- Kolejny czynnik to **Koncepcja projektowa**. Projektant na zasadach współpracy z zamawiającym podejmuje decyzje dotyczące tego opracowania. Taka współpraca zapewnia zaplanowanie bardziej przewidywalnego dla obu stron procesu inwestycyjnego [151].
- Następnymi czynnikami to **Uzgodnienia projektowe**, których wymaga należyte opracowanie dokumentacji projektowej. Dla wielu inwestycji, w tym szczególnie liniowych (np. budowa dróg, czy linii kolejowych), uzgodnienia stanowią bardzo poważny problem, zwłaszcza w zakresie terminów ich uzyskania oraz złożoności procedur. Uzyskanie wymaganych opinii i niezbędnych uzgodnień na etapie projektowania należy do obowiązków projektanta [193].
- **Opracowanie dokumentacji projektowej**, a w szczególności pojęcie dokumentacja projektowa w obszarze zamówień publicznych jest zdefiniowane w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 2 września 2004 r w sprawie szczegółowego zakresu i formy dokumentacji projektowej, specyfikacji technicznych wykonania i odbioru robót oraz programu funkcjonalno-użytkowego.

- Kolejny czynniki to **decyzje administracyjne**, które zdobycie jest niezbędne zanim przedsięwzięcie budowlane uzyska ostatecznie pozwolenie na budowę bądź zezwolenie na realizację inwestycji drogowej (ZRID).
- **Potencjał wykonawcy** jest również niezwykle ważny jak w systemie „zaprojektuj i zbuduj”. Wykonawca powinien dysponować potencjałem, który pozwoli na prawidłowe zrealizowanie przedsięwzięcia [109].
- **Administracja i finanse budowy** są niezwykle ważne aspektem dla powodzenia przedsięwzięcia budowlanego. Czynniki te ma miejsce na etapie przygotowania oferty przez wykonawcę. Natomiast w trakcie realizacji projektu koniecznym i niezbędnym jest prowadzenie dokumentacji materiałowej, odbiorowej i rozliczeniowej [103].
- Podstawą powodzenia realizacji projektu jest odpowiednia **organizacja i technologia budowy**. Dlatego też ważnym jest opracowanie organizacji wykonania całego przedsięwzięcia budowlanego i kierowanie jego realizacją [102]. Organizowanie to proces tworzenia i zmieniania, koordynowania działań i zasobów. To w pewnym sensie przygotowanie realizacji planu budowy.
- Zapewnienie i dostęp do **zasobów sprzętowych i materiałowych** jest aspektem koniecznym aby móc zrealizować dane przedsięwzięcie. Każdy proces budowlany wymaga określonego zużycia zasobów sprzętowych oraz zużycia materiałów i wyrobów budowlanych [102]. Wykorzystanie danego zasobu zależy od przyjętej technologii wykonywania robót.
- **Warunki atmosferyczne i społeczne** niekiedy stanowią przeszkodę w prowadzeniu robót budowlanych. Ich wystąpienie może powodować opóźnienia i może stanowić zagrożenie w dotrzymaniu przyjętego terminu zakończenia projektu. Prawdopodobieństwo wystąpienia niekorzystnych warunków pogodowych w trakcie robót budowlanych jest wysokie.

Wymienione wyżej czynniki stanowiące przyczyny opóźnień realizacji obiektów mostowych są analizowane z uwagi na wystąpienie problemów i zakłóceń w obszarze danego czynnika, które miały wpływ na opóźnienie w realizacji obiektu. Nadano im charakter zmiennych dwustanowych. Wartość „1” oznacza, że w ramach danego czynnika odnotowano problemy i zakłócenia, które przyczyniły się do wystąpienia opóźnienia, a wartość „0”, że problemów nie odnotowano.



### 4.3 Zmienna zależna

Do wyznaczenia wielkości opóźnienia w realizacji obiektu mostowego zaproponowano parametr  $\Delta T$ , opisany wzorem (4.2) stanowiący różnicę pomiędzy planowanym a rzeczywistym czasem jego realizacji:

$$\Delta T = T_p - T_r \quad (4.2)$$

gdzie:

$\Delta T$  – różnica pomiędzy planowanym a rzeczywistym czasem realizacji przedsięwzięcia budowlanego

$T_p$  – planowany czas realizacji przedsięwzięcia budowlanego

$T_r$  – rzeczywisty czas realizacji przedsięwzięcia budowlanego

W przypadku gdy:

$\Delta T \geq 0$  – opóźnienie w realizacji obiektu nie wystąpiło,

$\Delta T < 0$  – opóźnienie w realizacji obiektu wystąpiło.

Jako zmienną zależną  $Y$  zaproponowano opóźnienie względne dla przedsięwzięć opóźnionych obliczone zgodnie z zaproponowanym wzorem (3.3):

$$Y = \frac{|T_p - T_r|}{T_p} \quad (4.3)$$

gdzie:

$Y$  – opóźnienie względne, zmienna zależna

$T_p$  – planowany czas realizacji przedsięwzięcia budowlanego

$T_r$  – rzeczywisty czas realizacji przedsięwzięcia budowlanego

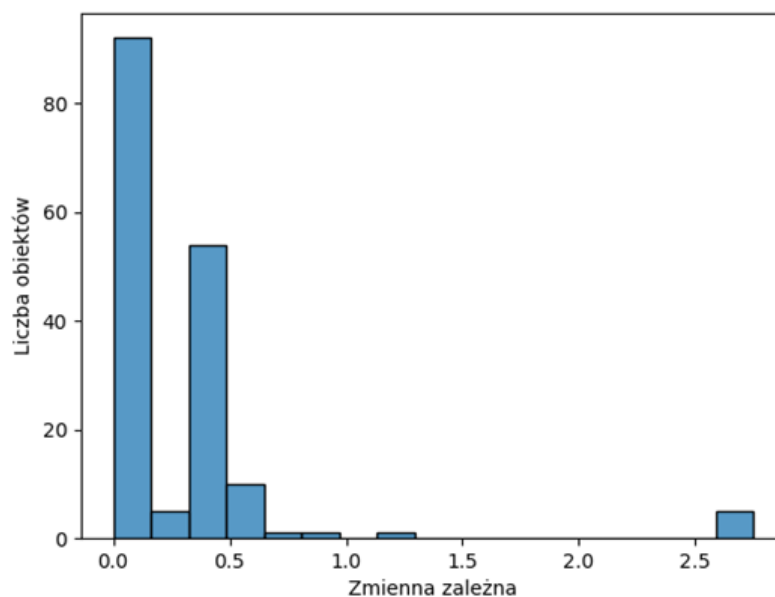
Znajomość prognozowanego opóźnienia względnego i planowanego czasu realizacji przedsięwzięcia daje możliwość wyznaczenia prognozowanego czasu opóźnienia jako różnicy  $T_p$  i  $T_r$ .

Miary statystyczne zmiennej zależnej  $Y$  przedstawia tabela 4.2.

Tabela 4.2 Miary statystyczne zmiennej zależnej  $Y$  bez podziału na grupy

Miary statystyczne	Wartość
<b>Średnia</b>	0,303
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,484
<b>Wartość minimalna</b>	0,000
<b>I kwartył</b>	0,000
<b>Mediana</b>	0,125
<b>III kwartył</b>	0,458
<b>Wartość maksymalna</b>	2,750

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 4.1 Histogram – rozkład zmiennej zależnej. Źródło: Opracowanie własne.

Granice przedziałów na histogramie (rys. 4.1) (wyznaczone zostały automatycznie na podstawie rozkładu zmiennej zależnej). Jak można zauważyć na powyższym histogramie, w przypadku większości obiektów opóźnienie wyniosło nie więcej niż 0,16 – do tego przedziału należy ponad połowa analizowanych obiektów (92 obiekty). Drugą najliczniejszą grupę stanowią obiekty, dla których opóźnienie wyniosło od 0,32 do 0,49 (54 obiekty). Pozostałe przedziały są dużo mniej liczne – w przypadku opóźnień większych niż 1 można zauważyć tylko dwa przedziały, w których występują jakiegokolwiek obiekty: [1,13 - 1,29] (1 obiekt) oraz [2,59 - 2,75] (5 obiektów).

#### 4.4 Baza danych

Opracowany formularz bazy danych, został rozesłany do zamawiających sektora publicznego w Polsce. Uczestniczący w badaniach oceniali wskazane charakterystyki obiektów mostowych i czynników z uwzględnieniem sposobu ich oceny opisanym w rozdziale 4 punkt 4.2.

W efekcie pozyskano dane dotyczące 169, zakończonych w latach od 2005 do 2017, inwestycji obejmujących realizację obiektów mostowych. W pozyskanym zbiorze danych wystąpiło 120 obiektów, w których wykazano opóźnienia i zidentyfikowano ich przyczyny i 49 obiektów, w których nie wykazano opóźnień w realizacji. W 155 przypadkach obiekty mostowe były zrealizowane w oparciu o system tradycyjny tzw. „zbuduj”, a 14 obiektów w systemie „zaprojektuj i zbuduj”, co przedstawiono na rysunku 4.2.

<b>ZBIÓR DANYCH</b>		
<b>169</b> <b>zrealizowanych obiektów mostowych</b>		
Informacje ogólne o obiekcie	<b>120</b> obiektów mostowych w których wykazano opóźnienia i zidentyfikowano przyczyny opóźnień	<b>155</b> obiektów mostowych realizowanych w oparciu o system „zbuduj”
Parametry techniczne objektu		
Czynniki powodujące opóźnienia	<b>49</b> obiektów mostowych w których nie wykazano opóźnień	<b>14</b> obiektów mostowych zrealizowanych w oparciu o system „zaprojektuj i zbuduj”

Rys. 4.2 Dane liczbowe zgromadzone w bazie danych. Źródło: Opracowanie własne.

Ostatecznie opracowano zbiór danych, który stanowi załączniki nr 7, 8 i 9 do niniejszej pracy.

#### 4.5 Ocena statystyczna zebranego materiału badawczego

W kolejnym kroku przeprowadzono ocenę statystyczną zebranego materiału badawczego, co w konsekwencji, pozwoliło na wybór ostatecznego zbioru zmiennych do modelowania. Do oceny statystycznej zebranego materiału badawczego posłużono się statystyką opisową przy wykorzystaniu dostępnych narzędzi statystycznych. Obliczone zostały wybrane parametry statystyczne dla badanych zmiennych. Cechy badanych zmiennych można podzielić m. in. na cechy ilościowe (mieralne) w których można wyróżnić dyskretne i ciągłe oraz cechy jakościowe (niemierzalne). Cechy jakościowe to takie, których nie można zmierzyć (liczbowo określić właściwość), a jedynie można stwierdzić liczebność określonego wariantu, do którego przyporządkowane są jednostki zbiorowości. Cechy ilościowe są to właściwości, które można zmierzyć wyrażając je w ściśle określonych jednostkach. W przypadku przedmiotowej próby badawczej będą to zmienne takie jak np. wartość obiektu, długość całkowita obiektu, szerokość obiektu. Cechy dyskretne przyjmują wartości liczbowe ze skończonych i przeliczalnych zbiorów wartości całkowitych. Cecha zmienia się skokowo bez wartości pośrednich. W przypadku przedmiotowej próby badawczej będzie to np. liczba przęseł obiektu.

Do graficznej prezentacji rozkładu wartości zmiennych posłużono się wykresami kołowymi oraz wykresami ramka-wąsy.

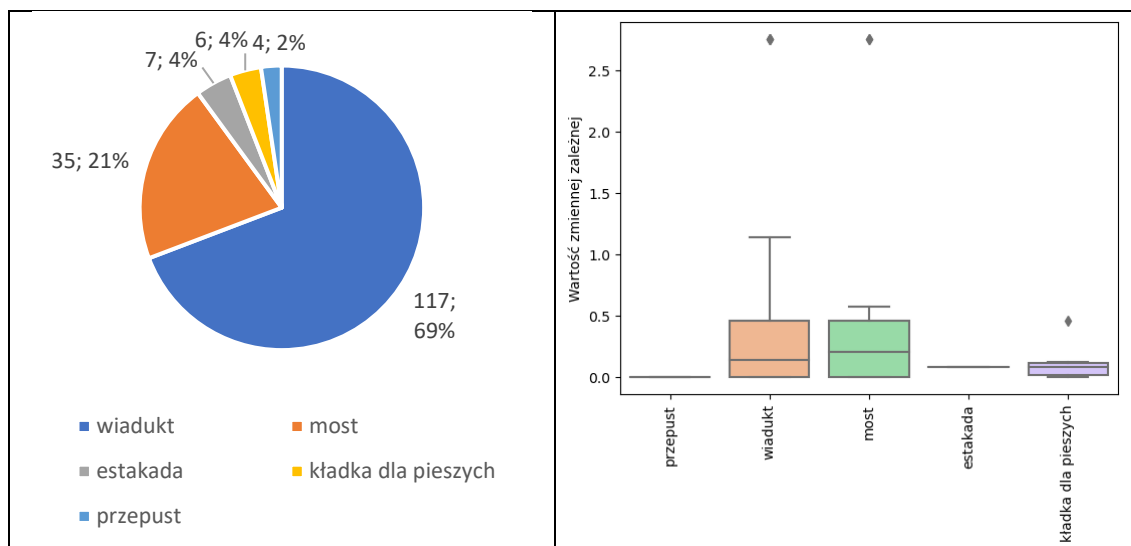
Wykresy kołowe przedstawiają udział przypadków (obiektów mostowych) w zbiorze danych badawczych ze względu na poszczególne charakterystyki. Wykresy ramka wąsy (tzw. wykresy pudełkowe), posłużą do graficznej prezentacji rozkładu wartości zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej niezależnej. Dolna granica pudełka oznacza kwartył I, a górna granica oznacza kwartył III. Wysokość pudełka pozwala ocenić, jak duży jest rozrzut wartości zmiennej zależnej dla danej zmiennej niezależnej. Linia pozioma widoczna wewnątrz pudełka oznacza medianę – 50% przypadków przyjmuje wartość zmiennej zależnej mniejszą od mediany tej zmiennej, a 50% przypadków wartość większą. Wąsy na wykresie oznaczają zakres obserwacji typowych, który wyznaczany jest jako 1.5 IQR (ang. interquartile range) - rozstęp międzykwartyłowy, czyli różnica między kwartyłem I i III.

### **Zmienne jakościowe**

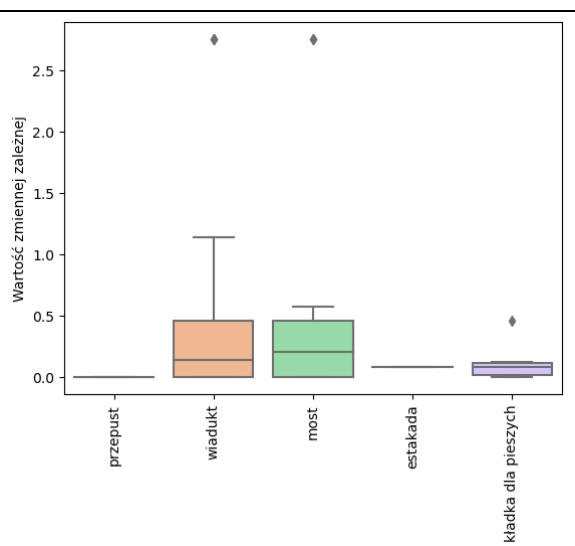
Cechy jakościowe to takie, których nie można zmierzyć (liczbowo określić właściwość) ale można stwierdzić liczebność określonego wariantu, do którego przyporządkowane są jednostki zbiorowości. W przypadku przedmiotowej próby badawczej będą to takie zmienne jak: rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę, typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe, system realizacji przedsięwzięcia, typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny, rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe, rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki), rodzaj podpór pośrednich obiektu, sposób posadowienia podpór obiektu, rodzaj nawierzchni na obiekcie i klasa obciążenia obiektu.

- **Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.3) zaprezentowano charakterystyki dla zmiennej jakościowej *Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę*, natomiast na wykresie ramka wąsy (rys. 4.4) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej (opóźnienia względnego) względem analizowanej zmiennej jakościowej.



Rys. 4.3 Wykres kołowy – ilościowy i procentowy udział obiektów mostowych w próbie badawczej z uwagi na Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę



Rys. 4.4 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.3) wynika, iż wiadukty stanowiły zadołowaną większość, bo 69% (117) przypadków w zbiorze danych. Udział mostów wynosił 21% (35), innych obiektów, w tym kładek dla pieszych i przepustów 6% (10), natomiast najmniejszy udział stanowił estakady - 4% (7).

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.4) można odczytać, iż w grupach wiadukt i most wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5. Linia mediany w grupie wiadukt jest zbliżona, ku dolnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny. Linia mediany w grupie most jest położona centralnie, co sugeruje symetryczny rozkład wartości zmiennej zależnej. W przypadku grup przepust i estakada zamiast pudełka widoczna jest pojedyncza linia – oznacza to, że wszystkie obiekty należące do tych grup mają takie same wartości zmiennej zależnej na poziomie 0,1. W przypadku grupy kładka dla pieszych wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,1, a linia mediany znajduje się bliżej górnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład lewostronnie skośny. W grupach wiadukt, most i kładka dla pieszych można wyróżnić obserwacje odstające oznaczone „rombami” na wykresie, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonych przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę przedstawia tabela 4.3.

Tabela 4.3 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej *Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę*.

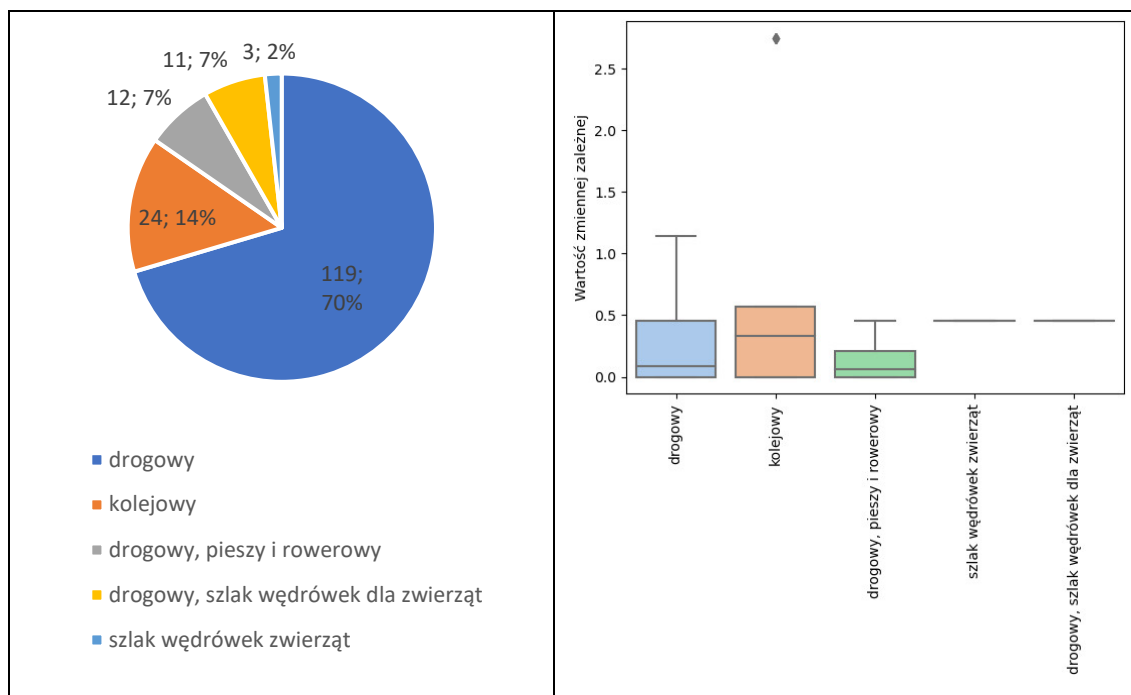
<b>Zmienna: Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę</b>					
<b>Miara statystyczna</b>	<b>estakada</b>	<b>kładka dla pieszych</b>	<b>most</b>	<b>przepust</b>	<b>wiadukt</b>
<b>Średnia</b>	0,083	0,125	0,372	0,000	0,315
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,000	0,170	0,632	0,000	0,460
<b>Wartość minimalna</b>	0,083	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>I kwartył</b>	0,083	0,020	0,000	0,000	0,000
<b>Mediana</b>	0,083	0,083	0,208	0,000	0,143
<b>III kwartył</b>	0,083	0,114	0,458	0,000	0,458
<b>Wartość maksymalna</b>	0,083	0,458	2,750	0,000	2,750

Źródło: Opracowanie własne.

W grupach *most* i *wiadukt* występuje największa wartość opóźnienia względnego na poziomie 2,750. W obu tych przypadkach rozstęp międzykwartyłowy wynosi 0,458. Rozkład danych w obu tych grupach jest rozkładem symetrycznym – szerokość przedziału wyznaczanego przez I kwartył i medianę jest zbliżona do przedziału wyznaczanego przez III kwartył i medianę. Warto podkreślić, że grupie *przepusty* obiekty zostały oddane w terminie, o czym świadczy wartość 0 we wszystkich miarach statystycznych.

- **Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.5) zaprezentowano charakterystyki dla zmiennej jakościowej *Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe*, natomiast na wykresie ramka wąsy (rys. 4.6) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej (opóźnienia względnego) względem analizowanej zmiennej jakościowej.



Rys. 4.5 Wykres kołowy – ilościowy i procentowy udział obiektów mostowych w próbie badawczej z uwagi na Typ obiektu ze względu na przeznaczenie

Rys. 4.6 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: Typ obiektu ze względu na przeznaczenie

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.5) wynika, iż największy udział procentowy w próbie badawczej to obiekty typu drogowego 70% (119), w dalszej kolejności to obiekty typu kolejowego 14% (24). Obiekty typu drogowego, pieszego i rowerowego 7% (12), drogowego wraz ze szlakiem wędrówek dla zwierząt 7% (11) oraz szlaki wędrówek dla zwierząt 2% (3).

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.6) można odczytać, iż w grupie *drogowy* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5, w grupie *kolejowy* ok. 0,6, natomiast w grupie *drogowy, pieszy i rowerowy* 0,25. Linia mediany w grupie *drogowy* oraz *drogowy, pieszy i rowerowy* jest zbliżona, ku dolnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny. Linia mediany w grupie *kolejowy* jest zbliżona, ku górnej krawędzi, co sugeruje rozkład lewostronnie skośny. W przypadku grup *drogowy* oraz *szlak wędrówek zwierząt*, a następnie *szlak wędrówek dla zwierząt* zamiast pudełka widoczna jest pojedyncza linia – oznacza to, że wszystkie obiekty należące do tych grup mają takie same wartości zmiennej zależnej na poziomie 0,5. W grupie *kolejowy* można wyróżnić obserwacje odstające, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonym przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej *Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe* przedstawia tabela 4.4.

Tabela 4.4 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej *Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe*.

<b>Zmienna: Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe</b>					
<b>Miara statystyczna</b>	<b>drogowy</b>	<b>drogowy, pieszy i rowerowy</b>	<b>drogowy, szlak wędrówek dla zwierząt</b>	<b>kolejowy</b>	<b>szlak wędrówek zwierząt</b>
<b>Średnia</b>	0,204	0,146	0,458	0,785	0,458
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,227	0,196	5,822	1,053	0,000
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,000	0,458	0,000	0,458
<b>I kwartył</b>	0,000	0,000	0,458	0,000	0,458
<b>Mediana</b>	0,083	0,062	0,458	0,333	0,458
<b>III kwartył</b>	0,458	0,208	0,458	0,571	0,458
<b>Wartość maksymalna</b>	1,142	0,458	0,458	2,750	0,458

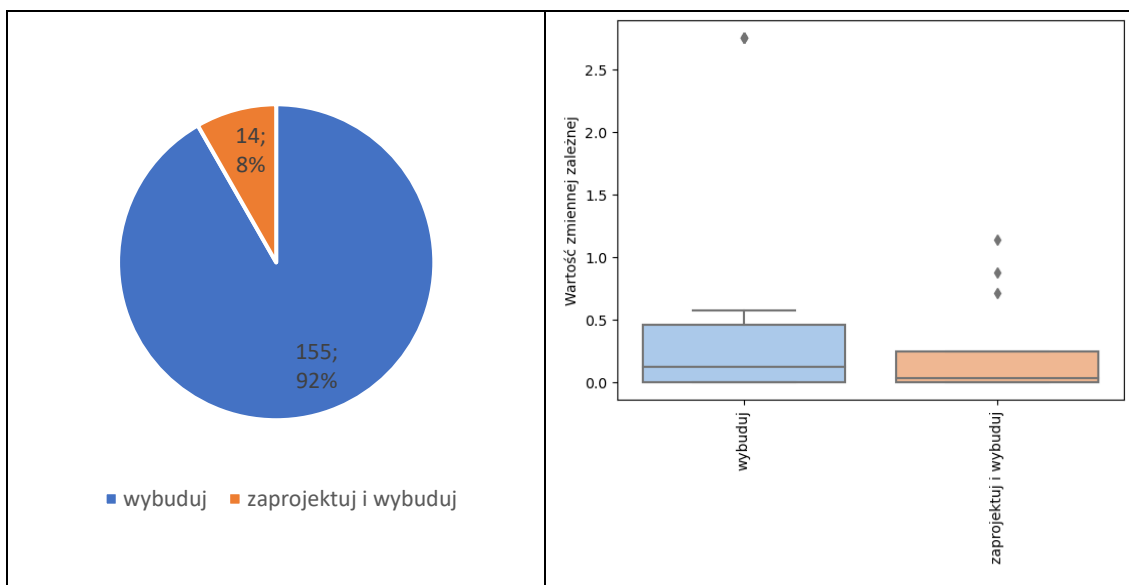
Źródło: Opracowanie własne.

W przypadku dwóch grup obiektów: szlak wędrówek zwierząt oraz drogowy, szlak wędrówek zwierząt występuje tylko jedna wartość opóźnienia, co przejawia się w wystąpieniu na wykresie ramka-wąsy (rys. 4.6) pojedynczej linii poziomej na poziomie 0,5. Z tabeli 3.4 wynika, że wartość ta wynosi 0,458. W przypadku obiektów kolejowych obserwuje się występowanie obserwacji odstających, dla których opóźnienie wynosi 0,27. Pozostałe obiekty kolejowe mieszczą się w przedziale wyznaczonym przez I i III kwartył. W przypadku obiektów należących do grup drogowy oraz drogowy, pieszy i rowerowy możemy zaobserwować asymetrię rozkładu.

- **System realizacji przedsięwzięcia**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.7) zaprezentowano charakterystyki dla zmiennej jakościowej *System realizacji przedsięwzięcia*, natomiast na wykresie ramka wąsy (rys. 4.8) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej (opóźnienia względnego) względem analizowanej zmiennej jakościowej.





Rys. 4.7 Wykres kołowy – ilościowy i procentowy udział obiektów mostowych w próbie badawczej ze względu na *System realizacji przedsięwzięcia*

Rys. 4.8 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *System realizacji przedsięwzięcia*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys 4.7) wynika, iż obiekty mostowe realizowane w systemie „zbuduj” to 92% próby badawczej, natomiast udział obiektów mostowych realizowanych w systemie „zaprojektuj i zbuduj” wyniósł 8%.

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.8) można odczytać, iż w grupie *zbuduj* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5, natomiast w grupie *zaprojektuj i zbuduj* wartość ta jest na poziomie 0,25. W obu przypadkach linie median są zbliżone, ku dolnej krawędzi pudełek, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny. Również w obu przypadkach można wyróżnić obserwacje odstające, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonym przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej *System realizacji przedsięwzięcia* przedstawia tabela 4.5.

Tabela 4.5 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej *System realizacji przedsięwzięcia*.

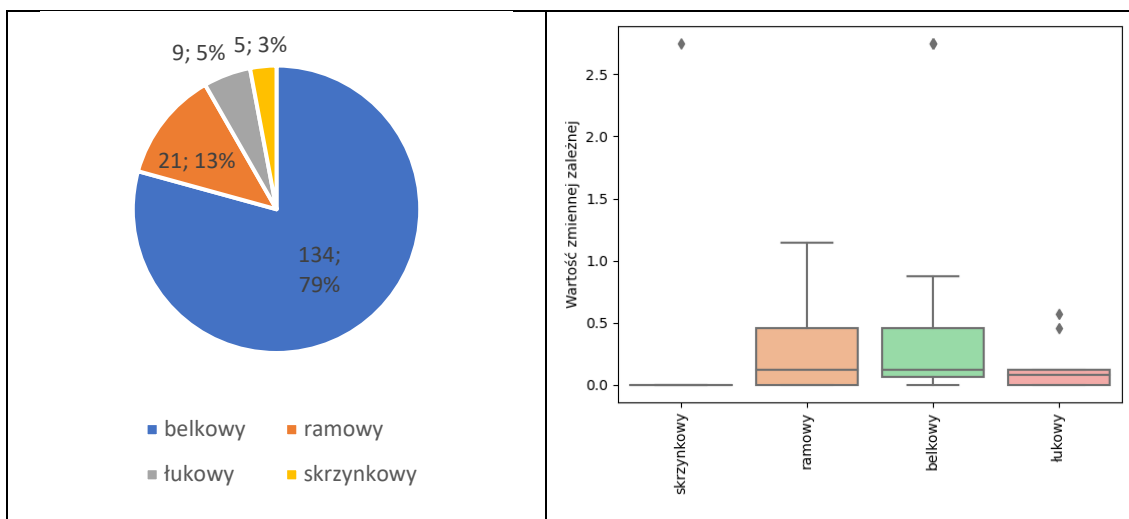
<b>Zmienna: System realizacji przedsięwzięcia</b>		
<b>Miary statystyczne</b>	<b>zbuduj</b>	<b>zaprojektuj i zbuduj</b>
<b>Średnia</b>	0,309	0,240
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,493	0,383
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,000
<b>I kwartyl</b>	0,000	0,000
<b>Mediana</b>	0,125	0,033
<b>III kwartyl</b>	0,458	0,250
<b>Wartość maksymalna</b>	2,750	1,142

Źródło: Opracowanie własne.

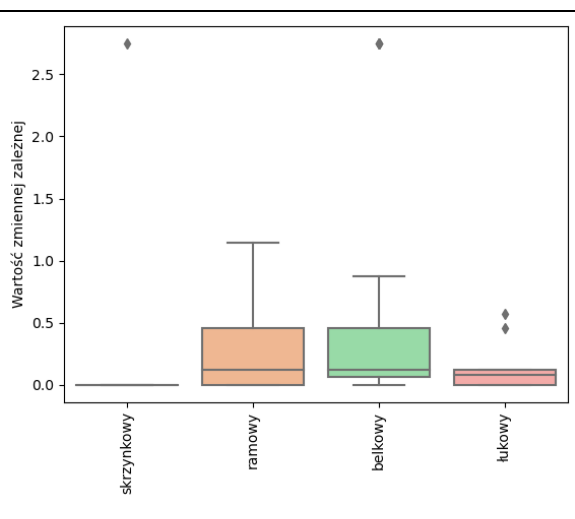
Pomiędzy tymi dwiema grupami można zaobserwować pewne różnice w wartości zmiennej zależnej. W przypadku grupy *zbuduj* występują obserwacje typowe o wartościach opóźnienia większych niż III kwartyl (0,458), a największa występująca wartość opóźnienia to 2,750. Rozkład danych jest rozkładem asymetrycznym. W przypadku grupy *zaprojektuj i zbuduj* obserwacje odstające przyjmują wartości zmiennej zależnej nie większe niż 1,142, co można stwierdzić na podstawie tabeli zawierającej statystyki opisowe.

- **Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.9) zaprezentowano charakterystyki dla zmiennej jakościowej *Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny*, natomiast na wykresie ramka wąsy (rys. 4.10) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej (opóźnienia względnego) względem analizowanej zmiennej jakościowej.



Rys. 4.9 Wykres kołowy – ilościowy i procentowy udział obiektów mostowych w próbie badawczej z uwagi na *Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny*



Rys. 4.10 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.9) wynika, iż największy udział procentowy w próbie badawczej to obiekty typu belkowego 79% (134), natomiast najmniejszy udział procentowy to obiekty typu skrzynkowego 3% (5). Obiekty typu ramowego stanowiły 13% (21), a typu łukowego 5% (9).

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.10) można odczytać, iż w grupie *ramowy* i *belkowy* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5, natomiast w grupie *łukowy* wartość ta jest na poziomie 0,1. W przypadku grup *ramowy* i *belkowy* linie median są zbliżone, ku dolnej krawędzi pudełek, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny. W grupie *łukowy* linia mediany zbliżona jest ku górnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład lewostronnie skośny.

W przypadku grupy *skrzynkowy* zamiast pudełka widoczna jest pojedyncza linia – oznacza to, że wszystkie obiekty należące do tych grup mają takie same wartości zmiennej zależnej na poziomie 0,0. W przypadku grup *skrzynkowy*, *belkowy* i *łukowy* można wyróżnić obserwacje odstające, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonym przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej *Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny* przedstawia tabela 4.6.

Tabela 4.6 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej *Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny*.

<b>Zmienna: Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny</b>				
<b>Miary statystyczne</b>	<b>belkowy</b>	<b>ramowy</b>	<b>skrzynkowy</b>	<b>lukowy</b>
<b>Średnia</b>	0,316	0,230	0,550	0,146
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,478	0,303	1,229	0,215
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>I kwartył</b>	0,066	0,000	0,000	0,000
<b>Mediana</b>	0,125	0,125	0,000	0,083
<b>III kwartył</b>	0,458	0,458	0,000	0,125
<b>Wartość maksymalna</b>	2,750	1,142	2,750	0,571

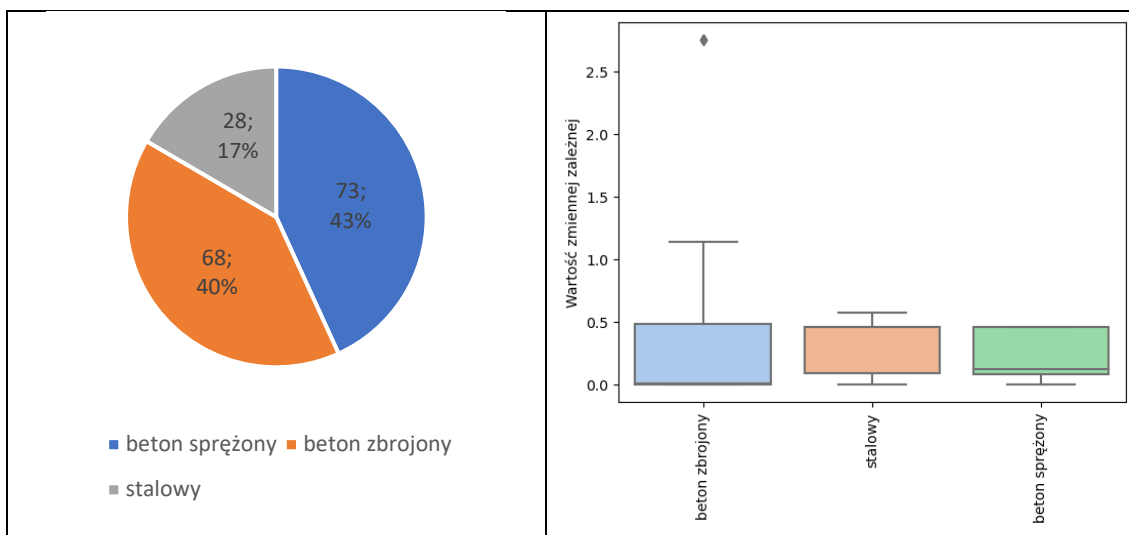
Źródło: Opracowanie własne.

Analizując powyższą tabelę można zauważyć, że we wszystkich grupach z wyjątkiem grupy *ramowy* występują wartości odstające – w przypadku grup *skrzynkowy* i *belkowy* część obiektów przyjmuje wartość zmiennej zależnej wynoszącą 2,750. W przypadku grupy *lukowy* również występują obserwacje odstające, jednak odpowiadają mniejszym wartościom zmiennej zależnej – największa z nich wynosi 0,571.

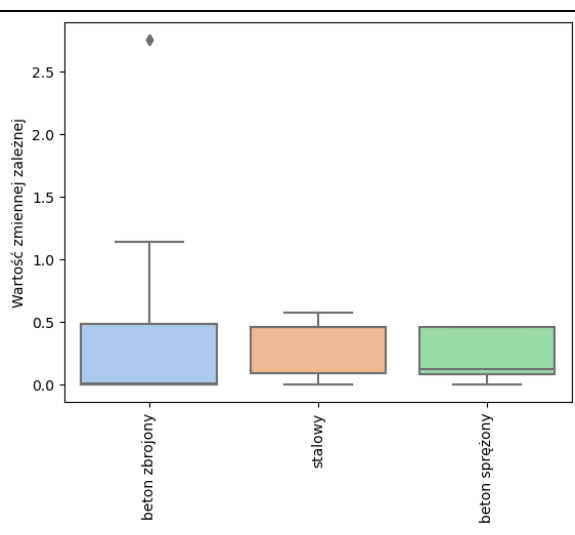
W grupie obiektów *ramowy* oraz *belkowy* mediany mają tę samą wartość 0,125 i są przesunięte w stronę I kwartyła, co oznacza, że większość obiektów przyjmuje stosunkowo niewielkie wartości zmiennej zależnej. Obserwuje się dość duży rozstęp kwartyłowy oraz zakres wartości typowych w obu tych grupach.

- **Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.11) zaprezentowano charakterystyki dla zmiennej jakościowej *Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe*, natomiast na wykresie ramka wąsy (rys. 4.12) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej (opóźnienia względnego) względem analizowanej zmiennej jakościowej.



Rys. 4.11 Wykres kołowy – ilościowy i procentowy udział obiektów mostowych w próbie badawczej ze względu na rodzaj obiektu z uwagi na Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe



Rys. 4.12 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.11) wynika, że obiekty mostowe z betonu sprężonego stanowiły największy udział w próbie badawczej 44% (73), w dalszej kolejności obiekty wykonane z żelbetu (betonu zbrojony) 40% (68). Najmniejszy udział procentowy stanowiły obiekty mostowe stalowe 17% (28).

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.12) można odczytać, iż w przypadku wszystkich grup *beton zbrojony*, *stalowy* i *beton sprężony* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5. W grupie *beton zbrojony* i *stalowy* linia mediany zbliżona jest ku dolnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny. W grupie *beton sprężony* linia mediany zbliżona jest ku górnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład lewostronnie skośny. W przypadku grupy *beton zbrojony* można wyróżnić obserwacje odstające, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonym przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej *Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe* przedstawia tabela 4.7.

Tabela 4.7 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej *Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe*.

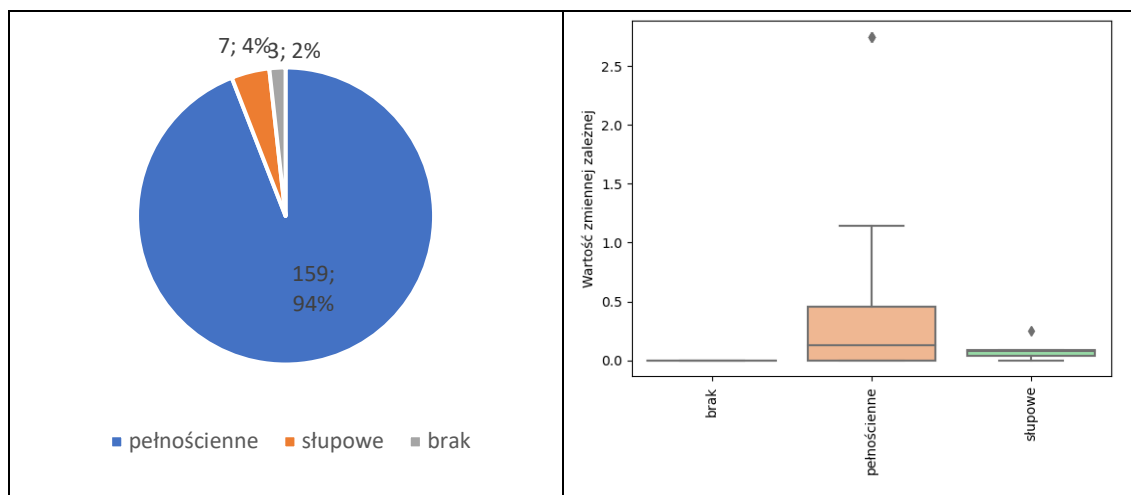
<b>Zmienna: <i>Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe</i></b>			
<b>Miary statystyczne</b>	<b>beton sprężony</b>	<b>beton zbrojony</b>	<b>stalowy</b>
<b>Średnia</b>	0,236	0,372	0,312
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,191	0,722	0,212
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,000	0,000
<b>I kwartył</b>	0,083	0,000	0,094
<b>Mediana</b>	0,125	0,014	0,458
<b>III kwartył</b>	0,458	0,485	0,458
<b>Wartość maksymalna</b>	0,458	2,750	0,571

Źródło: Opracowanie własne.

W przypadku wszystkich trzech grup obserwuje się dużą asymetrię położenia mediany – w przypadku grup *beton zbrojony* oraz *beton sprężony* linia mediany niemal pokrywa się z linią oznaczającą I kwartył. Wartości rozstępów kwartyłowych we wszystkich porównywanych grupach jest zbliżona. W przypadku grup *stalowy* i *beton sprężony* rozstęp kwartyłowy jest niemal identyczny – na podstawie tabeli 3.7 rozstęp różni się o jedynie ok. 0,01. Rozrzut wartości zmiennej zależnej we wszystkich grupach jest zbliżony. Grupa *beton zbrojony* jest jedyną grupą, w której występują obserwacje odstające – dla części obiektów czas opóźnienia wyniósł 2,750.

- **Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.13) zaprezentowano charakterystyki dla zmiennej jakościowej *Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)*, natomiast na wykresie ramka wąsy (rys. 4.14) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej (opóźnienia względnego) względem analizowanej zmiennej jakościowej.



Rys. 4.13 Wykres kołowy – ilościowy i procentowy udział obiektów mostowych w próbie badawczej ze uwagi na Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)

Rys. 4.14 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.13) wynika, że największy udział procentowy to obiekty mostowe, których podpory skrajne są pełnościenne 94% (159), w dalszej kolejności to obiekty mostowe z podporami skrajnymi słupowymi 4% (7). Najmniejszy udział to obiekty mostowe nie mające podpór skrajnych 2% (3).

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.14) można odczytać, iż w grupie *pełnościenne* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5, natomiast w grupie *słupowe* wartość ta wynosi ok. 0,1. W przypadku grupy *brak* zamiast pudełka widoczna jest pojedyncza linia – oznacza to, że wszystkie obiekty należące do tych grup mają takie same wartości zmiennej zależnej na poziomie 0,0. Linia mediany w grupie *pełnościenne* jest zbliżona, ku dolnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny. Linia mediany w grupie *słupowe* zbliżona jest ku górnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład lewostronnie skośny.

W przypadku grup *pełnościenne* i *słupowe* można wyróżnić obserwacje odstające, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonym przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki) przedstawia tabela 4.8.

Tabela 4.8 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej *Rodzaj podpór skrajnych obiektu*.

<b>Zmienna: Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)</b>			
<b>Miary statystyczne</b>	<b>brak</b>	<b>pełnościennie</b>	<b>ślupowe</b>
<b>Średnia</b>	0,000	0,319	0,082
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,000	0,495	0,080
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,000	0,000
<b>I kwartył</b>	0,000	0,000	0,042
<b>Mediana</b>	0,000	0,125	0,076
<b>III kwartył</b>	0,000	0,458	0,083
<b>Wartość maksymalna</b>	0,000	2,750	0,250

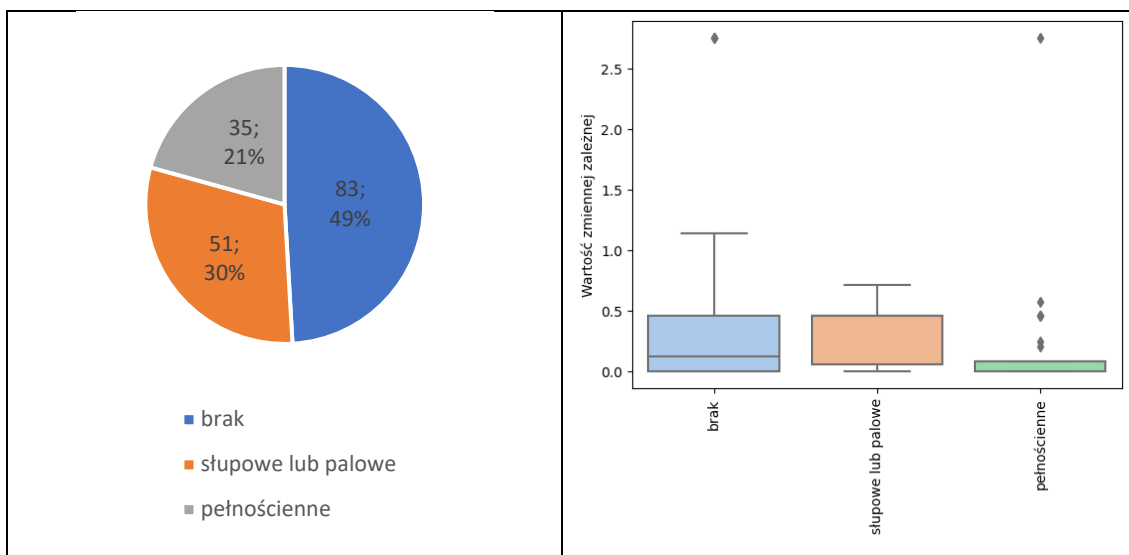
Źródło: Opracowanie własne.

Na wykresie przedstawiającym rozkład zmiennej zależnej w zależności od *Rodzaju podpór skrajnych obiektu* (rys. 4.14) obserwuje się duże różnice w grupach. W przypadku *braku* podpór wszystkie obiekty zostały oddane w terminie. Największym rozstępem (różnicą między wartością minimalną i maksymalną) oraz rozstępem kwartylowym (różnicą między III i I kwartyłem) cechuje się grupa *pełnościennie* – rozstęp wynosi aż 2,75, rozstęp kwartylowy 0,458. W przypadku grupy *ślupowe* rozstęp kwartylowy jest niemal 5-krotnie mniejszy i wynosi 0,083. Zakres wartości typowych jest znacząco większy w grupie obiektów o podporach skrajnych *pełnościennych* – oznaczona na wykresie wartość graniczna zakresu obserwacji typowych znajduje się na poziomie ok. 1,15, podczas gdy w przypadku obiektów o podporach skrajnych *ślupowych* obserwacje typowe mieszczą się w przedziale [0 - 0,083].

- **Rodzaje podpór pośrednich obiektu**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.15) zaprezentowano charakterystyki dla zmiennej jakościowej *Rodzaje podpór pośrednich obiektu*, natomiast na wykresie ramka wąsy (rys. 4.16) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej (opóźnienia względnego) względem analizowanej zmiennej jakościowej.





Rys. 4.15 Wykres kołowy – ilościowy i procentowy udział obiektów mostowych w próbie badawczej z uwagi na *Rodzaj podpór pośrednich obiektu*

Rys. 4.16 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Rodzaj podpór pośrednich obiektu*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.15) wynika, że największy udział procentowy w próbie badawczej to obiekty mostowe bez podpór pośrednich 50% (83), w dalszej kolejności obiekty z podporami słupowymi – 30% (51), pełnościennymi - 21% (35).

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.16) można odczytać, iż w grupach *brak* i *słupowe lub palowe* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5, natomiast w grupie *pełnościennie* wartość ta wynosi 0,1. Linia mediany w grupie *brak* jest zbliżona, ku dolnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny. W przypadku grup *brak* i *pełnościennie* można wyróżnić obserwacje odstające, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonym przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej *Rodzaje podpór pośrednich obiektu* przedstawia tabela 4.9.

Tabela 4.9 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej *Rodzaje podpór pośrednich obiektu*.

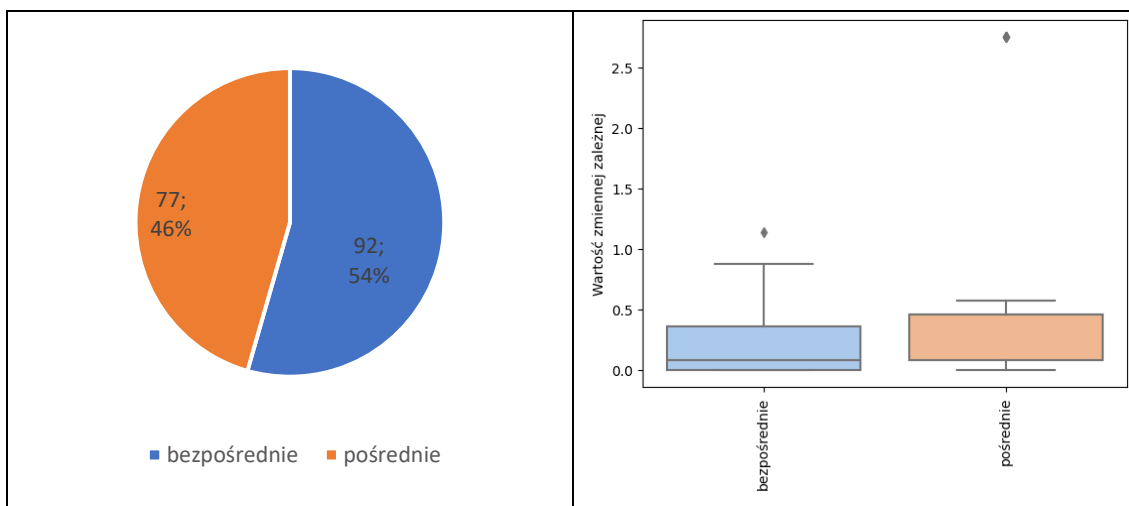
<b>Zmienna: Rodzaje podpór pośrednich obiektu</b>			
<b>Miary statystyczne</b>	<b>brak</b>	<b>pełnościennie</b>	<b>slupowe lub palowe</b>
<b>Średnia</b>	0,345	0,182	0,318
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,592	0,471	0,217
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,000	0,000
<b>I kwartył</b>	0,000	0,000	0,062
<b>Mediana</b>	0,125	0,083	0,458
<b>III kwartył</b>	0,458	0,083	0,458
<b>Wartość maksymalna</b>	2,750	2,750	0,714

Źródło: Opracowanie własne.

W przypadku grupy *slupowe lub palowe* oraz grupy *pełnościennie* wartość mediany pokrywa się z wartością III kwartyła odpowiednio 0,083 i 0,458. W grupie *pełnościennie* obserwuje się liczne wartości odstające, wynoszące od ok. 0,2 do 2,75. Wartości typowe w tej grupie zawierają się w przedziale wyznaczonym przez I i III kwartył [0, 0,083]. Rozstęp kwartyłowy oraz zakres wartości typowych jest dużo większy w przypadku pozostałych dwóch grup: wartości te wynoszą odpowiednio 0,458 i [0 - 1,143] w przypadku grupy *brak* oraz 0,395 i [0 - 0,714] w przypadku grupy *slupowe lub palowe*. W przypadku grupy *slupowe lub palowe* obserwuje się, że 25% obiektów przyjmuje wartości mniejsze niż 0,062, o czym świadczy wartość pierwszego kwartyła w odniesieniu do wartości minimalnej.

- **Sposób posadowienia podpór obiektu**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.17) zaprezentowano charakterystyki dla zmiennej jakościowej *Sposób posadowienia podpór obiektu*, natomiast na wykresie ramka wąsy (rys. 4.18) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej (opóźnienia względnego) względem analizowanej zmiennej jakościowej.



Rys. 4.17 Wykres kołowy – ilościowy i procentowy udział obiektów mostowych w próbie badawczej z uwagi na *Sposób posadowienia obiektu*

Rys. 4.18 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Sposób posadowienia obiektu*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.17) wynika, że obiekty mostowe posadowione bezpośrednio stanowią 54% (92) próby badawczej, natomiast obiekty z posadowieniem pośrednim 46% (77).

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.18) można odczytać, iż w grupie *bezpośrednie* wartości zmiennej zależnej wynosi ok. 0.4, natomiast w grupie *pośrednie* wartość ta wynosi ok. 0.5. W grupie *bezpośrednie* linia mediany zbliżona jest ku dolnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny. W obu przypadkach można wyróżnić obserwacje odstające, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonym przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej *Sposób posadowienia podpór obiektu* przedstawia tabela 4.10.

Tabela 4.10 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej *Sposób posadowienia podpór obiektu*.

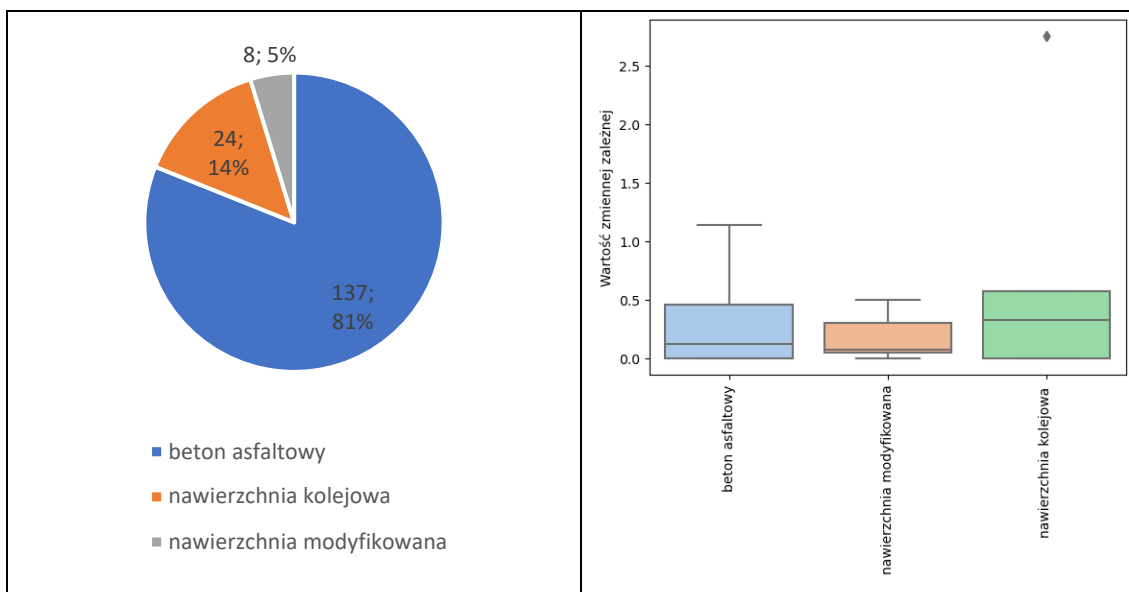
<b>Zmienna: <i>Sposób posadowienia podpór obiektu</i></b>		
<b>Miary statystyczne</b>	<b>bezpośrednie</b>	<b>pośrednie</b>
<b>Średnia</b>	0,184	0,445
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,236	0,643
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,000
<b>I kwartył</b>	0,000	0,083
<b>Mediana</b>	0,083	0,458
<b>III kwartył</b>	0,364	0,458
<b>Wartość maksymalna</b>	1,142	2,750

Źródło: Opracowanie własne.

*Sposób posadowienia podpór obiektu* przyjmuje podobne wartości w obu grupach – pudełka znajdują się na zbliżonym poziomie, a ich rozmiar (wysokość oznaczająca rozstęp kwartyłowy) również jest podobna. Widoczne różnice występują jedna w odniesieniu do obserwacji typowych niezawartych w przedziale [I kwartył, III kwartył] – w grupie *bezpośrednie* I kwartył pokrywa się z wartością minimalną i wynosi 0, podczas gdy w grupie *pośrednie* występują obiekty o wartości opóźnienia mniejszej niż wartość I kwartyła. W przypadku grupy *pośrednie* na podstawie statystyk opisowych mediana jest równa III kwartyłowi i wynosi 0,458. W przypadku grupy *bezpośrednie* obserwuje się przesunięcie mediany w kierunku I kwartyła. Oznacza to, że w obu grupach mamy do czynienia z rozkładem asymetrycznym, jednak w grupie *bezpośrednie* jest to rozkład prawostronnie skośny, podczas gdy w grupie *pośrednie* rozkład jest lewostronnie skośny.

- **Rodzaj nawierzchni na obiekcie**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.19) zaprezentowano charakterystyki dla zmiennej jakościowej *Rodzaj nawierzchni na obiekcie*, natomiast na wykresie ramka wąsy (rys. 4.20) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej (opóźnienia względnego) względem analizowanej zmiennej jakościowej.



Rys. 4.19 Wykres kołowy – ilościowy i procentowy udział obiektów mostowych w próbie badawczej z uwagi na *Rodzaj nawierzchni na obiekcie*

Rys. 4.20 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Rodzaj nawierzchni na obiekcie*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.19) wynika, że udział w próbie badawczej w wysokości 81% (137) stanowią obiekty mostowe o nawierzchni asfaltowej, 14 % (24) to obiekty o nawierzchni kolejowej, natomiast pozostała część to obiekty mostowe o nawierzchni modyfikowanej 5% (8).

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.20) można odczytać, iż w grupie *beton asfaltowy* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0.5, w grupie *nawierzchnia modyfikowana* wartość ta wynosi ok. 0.3, natomiast dla grupy *nawierzchnia kolejowa* wartość zmiennej zależnej wynosi 0,7. W grupach *beton asfaltowy* i *nawierzchnia modyfikowana* linia mediany zbliżona jest ku dolnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny, natomiast dla grupy *nawierzchnia kolejowa*, położenie linii mediany sugeruje symetryczny rozkład wartości zmiennej zależnej. W grupie *nawierzchnia kolejowa* wyróżnić obserwacje odstające, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonym przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej *Rodzaj nawierzchni na obiekcie* przedstawia tabela 4.11.

Tabela 4.11 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej *Rodzaj nawierzchni na obiekcie*.

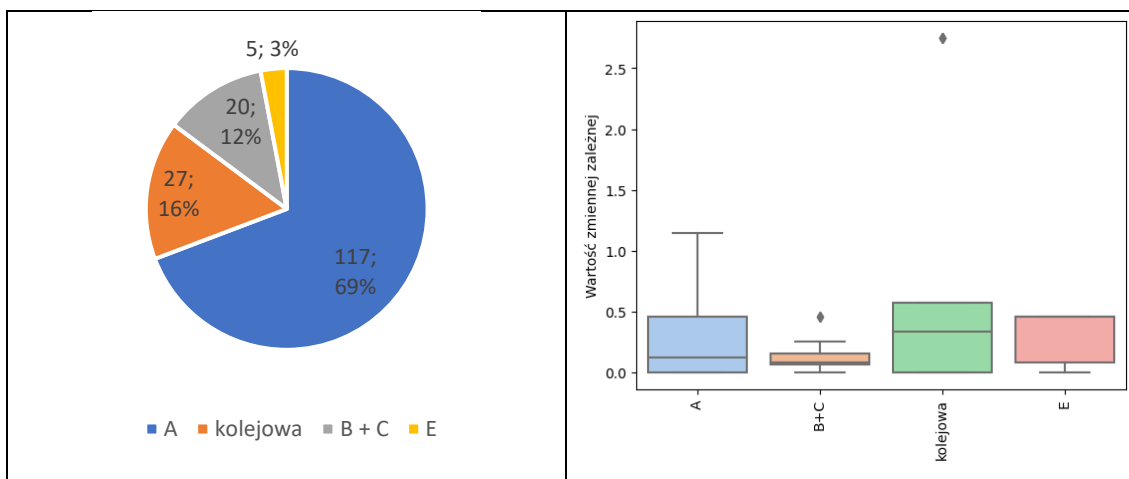
<b>Zmienna: Rodzaj nawierzchni na obiekcie</b>			
<b>Miary statystyczne</b>	<b>beton asfaltowy</b>	<b>nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej</b>	<b>nawierzchnia modyfikowana</b>
<b>Średnia</b>	0,225	0,785	0,184
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,228	1,053	0,202
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,000	0,000
<b>I kwartył</b>	0,000	0,000	0,048
<b>Mediana</b>	0,125	0,333	0,080
<b>III kwartył</b>	0,458	0,571	0,307
<b>Wartość maksymalna</b>	1,142	2,750	0,500

Źródło: Opracowanie własne.

W grupach *beton asfaltowy* oraz *nawierzchni modyfikowanej* obserwuje się przesunięcie mediany w kierunku I kwartyła, co oznacza, że połowa obiektów przyjmuje zbliżone, stosunkowo niewielkie wartości zmiennej zależnej. W obu tych grupach nie występują wartości odstające – wszystkie obiekty dostępne w analizowanym zbiorze danych należące do tych grup mają opóźnienie należące do zakresu wartości typowych wyznaczonego na podstawie rozstępu kwartyłowego. W przypadku grupy obiektów o *nawierzchni kolejowej na podsypce tłuczniowej* występują wartości odstające (część obiektów ma opóźnienie wynoszące 2,75). Wszystkie obiekty, które nie zostały uznane za obserwacje odstające przyjmują wartości opóźnienia należące do przedziału wyznaczonego przez I i III kwartył. Biorąc pod uwagę tylko obiekty o typowych wartościach zmiennej zależnej (usuwając z analizy obserwacje odstające) można stwierdzić, że rozkład opóźnienia jest w tej grupie w przybliżeniu symetryczny – różnice pomiędzy medianą i I kwartyłem oraz medianą i III kwartyłem są zbliżone. Średnia arytmetyczna obliczona dla obserwacji typowych wynosi 0,268, co jest wartością bliską medianie (która wynosi 0,333).

- **Klasa obciążenia obiektu**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.21) zaprezentowano charakterystyki dla zmiennej jakościowej *Klasa obciążenia obiektu*, natomiast na wykresie ramka wąsy (rys. 4.22) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej (opóźnienia względnego) względem analizowanej zmiennej jakościowej.



Rys. 4.21 Wykres kołowy – ilościowy i procentowy udział obiektów mostowych w próbie badawczej z uwagi na *Klasa obciążenia obiektu*

Rys. 4.22 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Klasa obciążenia obiektu*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.21) wynika, że największy udział procentowy to obiekty mostowe o klasie obciążenia A i wynosi 69% (117), w dalszej kolejności to obiekty mostowe o klasie obciążenia B+C – 12% (20), i E – 3% (5). Obiekty o nawierzchni kolejowej stanowiły 16% (27) próby badawczej.

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.22) można odczytać, iż dla grupy o klasie obciążenia A i E wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5, dla grupy o kolejowej klasie obciążenia 0,6, natomiast dla grupy o klasie obciążenia B+C wynosi 0,2. Linia mediany dla grupy o klasie obciążenia A oraz B+C skierowana ku dolnej krawędzi pudełka, sugeruje rozkład prawostronnie skośny. Linia mediany dla grupy o *kolejowej* klasie obciążenia położona centralnie sugeruje symetryczny rozkład wartości zmiennej zależnej. W grupie o klasie obciążenia B+C oraz *kolejowa* wyróżnić można obserwacje odstające, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonym przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej *Klasa obciążenia obiektu* tabela 4.12.

Tabela 4.12 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej *Klasa obciążenia obiektu*.

<b>Zmienna: Klasa obciążenia obiektu</b>				
<b>Miary statystyczne</b>	<b>A</b>	<b>B+C</b>	<b>E</b>	<b>kolejowa</b>
<b>Średnia</b>	0,235	0,141	0,291	0,721
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,236	0,152	0,230	1,009
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>I kwartył</b>	0,000	0,063	0,083	0,000
<b>Mediana</b>	0,125	0,083	0,458	0,333
<b>III kwartył</b>	0,458	0,156	0,458	0,571
<b>Wartość maksymalna</b>	1,142	0,458	0,458	2,750

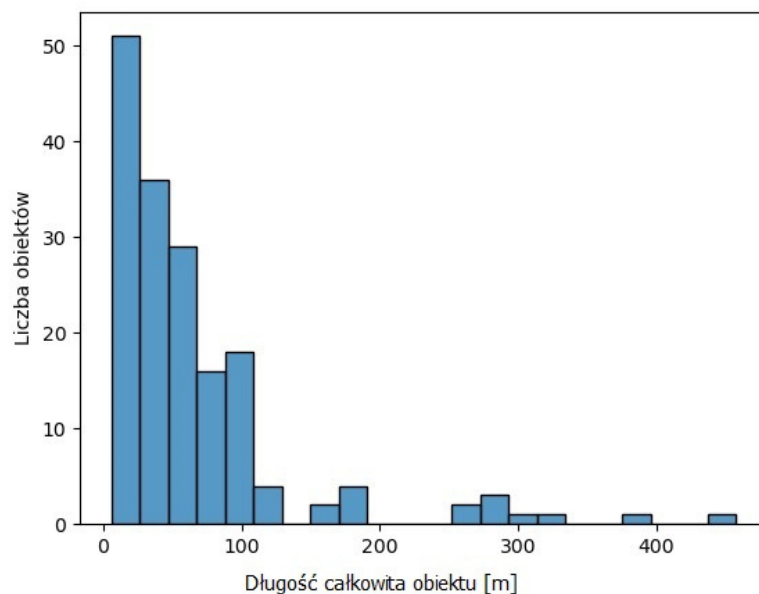
Źródło: Opracowanie własne.

W przypadku obiektów należących do grupy *A* obserwuje się dość szeroki przedział wartości typowych – obserwacje typowe należą do przedziału  $[0 - 1,142]$ , co stanowi przedział ponad dwukrotnie szerszy od przedziału wyznaczonego przez I i III kwartył (oznaczającego 50% wszystkich obserwacji), którego szerokość wynosi 0,458. Największe opóźnienie występuje w przypadku obiektów należących do grupy *kolejowa* – na wykresie obserwacje odstające o wartości zmiennej zależnej wynoszącej 2,75. W przypadku obiektów należących do klasy obciążenia B+C obserwuje się, że mediana ma wartość bardzo zbliżoną do wartości I kwartyła. W zbiorze danych występują obiekty z tej grupy, które mają wartości mniejsze niż I kwartył oraz większe niż III kwartył, jednak nadal ich wartości opóźnienia zaliczają się do wartości typowych. Ponadto występują wartości odstające, dla których czas opóźnienia wynosi 0,458. W przypadku klasy E mediana i III kwartył mają tę samą wartość 0,458. W tym zbiorze danych występują obserwacje uznane za typowe, które przyjmują wartości mniejsze niż I kwartył, czyli 25% obserwacji w tej grupie ma wartość czasu opóźnienia nie większą niż 0,0833.

### **Zmienne ilościowe ciągłe**

Cechy mierzalne ciągłe przyjmują każdą wartość z danego przedziału liczbowego. W przypadku przedmiotowej próby badawczej będą to takie parametry jak: *wartość obiektu*, *długość całkowita obiektu* oraz *szerokość obiektu*. Poniżej na histogramie zaprezentowano liczebności obserwacji obiektów względem poszczególnych zmiennych ilościowych.

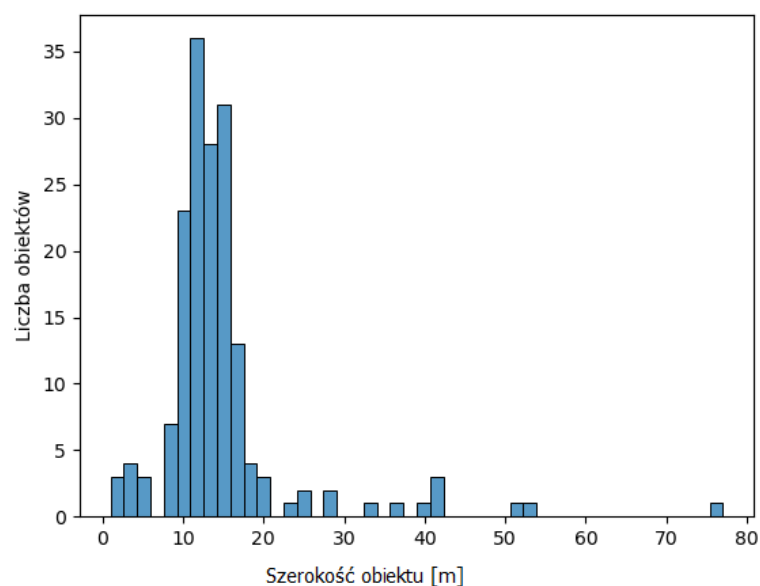




Rys. 4.23 Histogram charakterystyki *długość całkowita obiektu [m]*. Źródło:

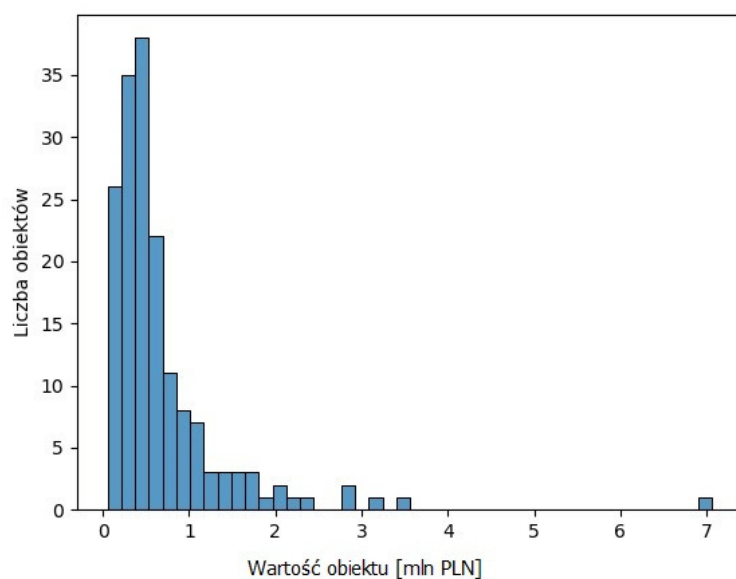
Opracowanie własne.

Granice przedziałów na histogramie (rys. 4.23) (wyznaczone zostały automatycznie na podstawie rozkładu zmiennej zależnej). Rozkład wartości zmiennej *Długość całkowita obiektu* jest rozkładem prawostronnie skośnym, co można zaobserwować na podstawie histogramu – najczęściej obiektów przyjmuje wartości z przedziału [5,70 - 26,26] metra, który jest przedziałem zawierającym najmniejsze występujące w bazie danych wartości. Wraz ze wzrostem długości obiektu liczba obiektów w poszczególnych przedziałach maleje (z wyjątkiem przedziału nr 5, który liczy o 2 obiekty więcej niż przedział nr 4, nie zmienia to jednak widocznej tendencji spadkowej). Najdłuższy obiekt występujący w zbiorze danych ma długość 458 m – jest to wartość o 61,68 m większa od górnej granicy najbliższego przedziału zawierającego obiekt występujący w zbiorze danych.



Rys. 4.24 Histogram charakterystyki szerokość obiektu. Źródło: Opracowanie własne.

Granice przedziałów na histogramie (rys. 4.24) (wyznaczone zostały automatycznie na podstawie rozkładu zmiennej zależnej). Większość obiektów tworzących analizowany zbiór danych ma szerokość od 9,27 m do 7,53 m – do tej grupy zalicza się aż 131 ze 169 obiektów. 17 obiektów ma szerokość mniejszą, zawartą w przedziale [1 - 9,27], natomiast pozostałe 21 obiektów ma szerokość większą. W przypadku najszerszego z nich wynosi ona aż 77,04 m. W przedziale [1 - 25,80) rozkład jest w przybliżeniu symetryczny – liczba obiektów o szerokości mniejszej niż 10,92 m (dolna granica najbardziej licznego przedziału) maleje wraz ze spadkiem szerokości, liczba obiektów o szerokości większej niż 12,57 m (górną granicę najliczniejszego przedziału) maleje wraz ze wzrostem szerokości.



Rys. 4.25 Histogram charakterystyki *wartość obiektu [mln PLN]*. Źródło: Opracowanie własne.

Granice przedziałów na histogramie (rys. 4.25) (wyznaczone zostały automatycznie na podstawie rozkładu zmiennej zależnej). Na podstawie powyższego histogramu stwierdza się, że niemal wszystkie obiekty kosztowały nie więcej niż ok. 35,6 mln zł – tylko w przypadku jednego obiektu koszty były wyższe i wynosiły aż ok 70 mln zł. Najwięcej obiektów – sumarycznie, aż 132 ze 169 – kosztowało nie więcej niż ok. 6,9 mln zł. Na podstawie liczebności poszczególnych przedziałów wyznaczonych na histogramie można stwierdzić, że rozkład zmiennej niezależnej opisujący wartość obiektu jest silnie prawostronnie skośny.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennych ilościowych ciągłych *wartość obiektu, długość całkowita, szerokość obiektu* przedstawia tabela 4.13.

Tabela 4.13 Miary statystyczne zmiennej zależnej dla zmiennych ilościowych ciągłych  
*Wartość obiektu, Długość całkowita, Szerokość obiektu.*

Miary statystyczne	Wartość obiektu [PLN]	Długość całkowita obiektu [m]	Szerokość obiektu [m]
<b>Średnia</b>	6 823 901,00	65,70	14,85
<b>Odchylenie standardowe</b>	7 656 442,00	72,00	8,96
<b>Wartość minimalna</b>	537 256,00	5,70	1,00
<b>I kwartył</b>	2 856 524,00	23,03	11,10
<b>Mediana</b>	4 649 564,00	43,90	13,30
<b>II kwartył</b>	7 302 080,00	82,22	15,70
<b>Wartość maksymalna</b>	70 670 690,00	458,00	77,04

Źródło: Opracowanie własne.

Rozkład zmiennej *Wartość obiektu* jest niesymetryczny – mediana jest mniejsza od wartości średniej, a różnica pomiędzy wartością mediany i I kwartyła jest znacząco mniejsza od różnicy między medianą i III kwartyłem. Obserwuje się, że wartość III kwartyła jest niemal 10-krotnie mniejsza od wartości maksymalnej występującej w analizowanym zbiorze danych.

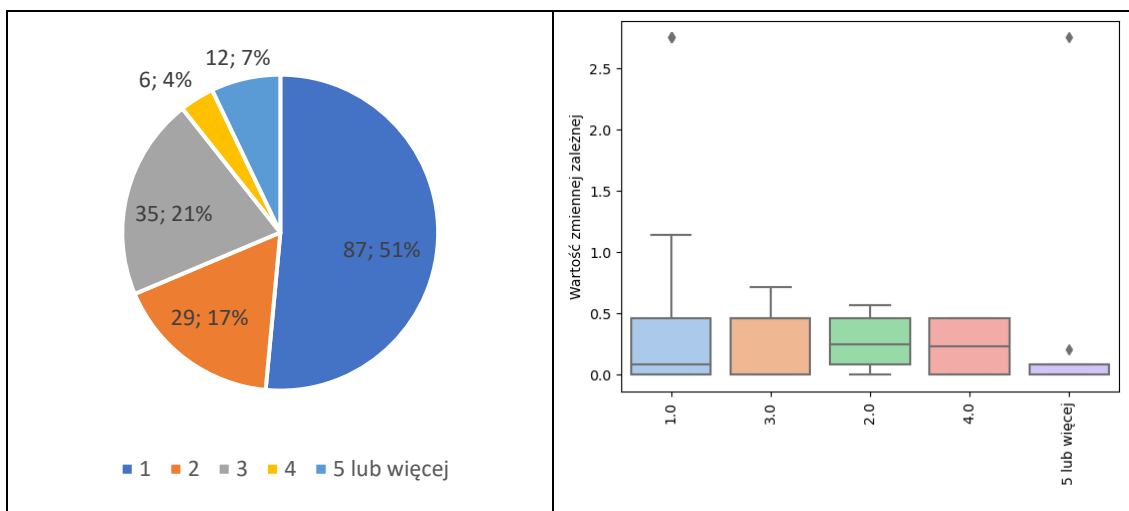
W przypadku zmiennej *Długość całkowita obiektu* rozkład zmiennej jest symetryczny – różnica pomiędzy medianą a III kwartyłem jest niemal 2-krotnie większa niż różnica między medianą a I kwartyłem. Wartość średniej arytmetycznej jest w przybliżeniu równa wartości średniej mediany i III kwartyła, co wskazuje na występowanie obserwacji odstającej o bardzo dużej wartości tej zmiennej (długości całkowitej). Większość obiektów wartość zmiennej *szerokość obiektu* przyjmuje wartości stosunkowo niewielkie – wartość III kwartyła wynosi 15,7 m, co oznacza, że 127 obiektów nie większą niż 15,7 m. Spośród analizowanych trzech zmiennych jest to jedyna zmienna niezależna, dla której rozkład jest w przybliżeniu symetryczny – świadczą o tym zbliżone różnice między medianą i I kwartyłem oraz medianą i III kwartyłem, wynoszące odpowiednio 2,2 m i 2,4 m.

### **Zmienne ilościowe dyskretne**

Cechy dyskretne (mieralne skokowe) przyjmują wartości liczbowe ze skończonych i przeliczalnych zbiorów wartości całkowitych. Cecha zmienia się skokowo bez wartości pośrednich. W przypadku przedmiotowej próby badawczej taką zmienną jest: *liczba przęseł obiektu*.

- **Liczba przęseł obiektu**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.26) zaprezentowano charakterystyki dla zmiennej dyskretnej *Liczba przęseł obiektu*, natomiast na wykresie ramka wąsy (rys. 4.27) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej ilościowej dyskretnej.



Rys. 4.26 Wykres kołowy – ilościowy i procentowy udział obiektów mostowych w próbie badawczej z uwagi na *Liczbę przęseł obiektu*

Rys. 4.27 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Liczba przęseł obiektu*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.26) wynika, iż największy udział w zbiorze to obiekty mające jedno przęsło 51% (87). W dalszej kolejności to obiekty dwuprzęsłowe 17% (29), trzyprzędłowe 21% (35), czteropzędłowe 4% (6) i obiekty mostowe o liczbie przęseł pięć lub więcej 7% (12).

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.27) można odczytać, iż w grupach *1-przędłowych*, *2-przędłowych*, *3-przędłowych* i *4-przędłowych* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5. W grupie obiektów mostowych *5 lub więcej przędłowych* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,1. W grupie obiektów mostowych *2-przędłowych* i *4-przędłowych* linia mediany jest centralnie położona, co sugeruje symetryczny rozkład wartości zmiennej zależnej. W grupie obiektów mostowych *1-przędłowych* linia mediany znajduje się blisko dolnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny. W grupach obiektów mostowych *1-przędłowych* i *5 lub więcej przędłowych* można wyróżnić obserwacje odstające oznaczone „rombami” na wykresie, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonych przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej ilościowej dyskretnej *Liczba przęseł obiektu* przedstawia tabela 4.14.

Tabela 4.14 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej ilościowej dyskretnej *Liczba przęseł obiektu*.

<b>Zmienna: Liczba przęseł obiektu</b>					
<b>Miary statystyczne</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5 lub więcej</b>
<b>Średnia</b>	0,329	0,267	0,288	0,229	0,281
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,583	0,206	0,229	0,251	0,779
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>I kwartył</b>	0,000	0,083	0,000	0,000	0,000
<b>Mediana</b>	0,083	0,250	0,458	0,229	0,083
<b>III kwartył</b>	0,458	0,458	0,458	0,458	0,083
<b>Wartość maksymalna</b>	2,750	0,571	0,714	0,458	2,750

Źródło: Opracowanie własne.

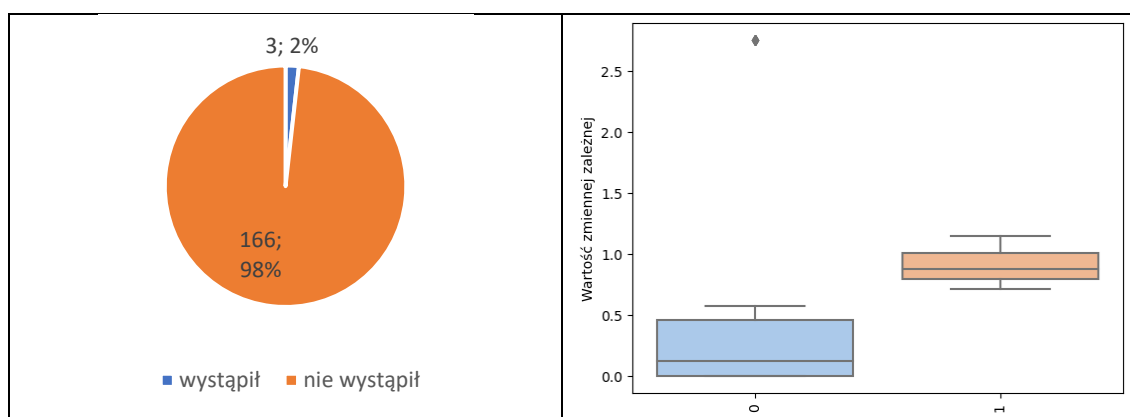
Rozkład wartości zmiennej zależnej w grupie obiektów o 2 przęsełach jest w przybliżeniu symetryczny – nie występują obserwacje odstające, mediana o wartości 0,25, czyli przedział wyznaczony przez I kwartył i medianę ma szerokość zbliżoną do przedziału wyznaczonego przez medianę i III kwartył. Zakres obserwacji typowych o wartościach zmiennej zależnej mniejszych niż wartość I kwartyla oraz większych od III kwartyla (czyli wyznaczające grupy 25% obiektów o najmniejszych wartościach oraz 25% obiektów o największych wartościach zmiennej zależnej) mają podobną długość. Podobnie wygląda sytuacja w przypadku obiektów o 4 przęsełach. Analiza statystyk opisowych w tych dwóch grupach potwierdza symetrię rozkładu – wartości średnie i mediany w grupach mają podobne wartości, a różnice pomiędzy medianami i I oraz III kwartyłem są zbliżone. W przypadku pozostałych 3 grup obiektów mamy do czynienia z rozkładem asymetrycznym – w grupie obiektów o 1 przęśle mediana zbliżona jest do wartości I kwartyla, w pozostałych dwóch (o 3 przęsełach oraz o liczbie przęseł wynoszącej 5 lub więcej) mediana jest równa III kwartyłowi. Oznacza to, że w przypadku grupy obiektów o 1 przęśle mamy do czynienia z rozkładem prawostronnie skośnym, w przypadku pozostałych dwóch grup z rozkładem lewostronnie skośnym. Obserwacje odstające występują w dwóch grupach obiektów – grupie z *1 przęselem* oraz z *5 lub większą liczbą przęseł* (wartość maksymalna odpowiadająca obserwacjom odstającym wynosi 2,75).

## Zmienne jakościowe dwustanowe

Zmienne, które charakteryzują się określoną kinetyką zmian swoich stanów określane są jako imienne wielostanowe, a w szczególności mogą być to zmienne dwustanowe. W przypadku analizowanej próby badawczej do tej grupy należą zidentyfikowane czynniki mogące stanowić przyczyny wystąpienia opóźnień w realizacji obiektów mostowych. Przyjmują one odpowiednio wartość 1 lub 0. Wartość „1” oznacza, że w ramach danego czynnika odnotowano problemy i zakłócenia, które przyczyniły się do wystąpienia opóźnienia, a wartość „0”, że problemów nie odnotowano i czynnik na opóźnienie nie miał wpływu.

- **Potencjał projektanta**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.28) zaprezentowano charakterystykę czynnika *Potencjał projektanta*, natomiast na wykresie ramka-wąsy (rys. 4.29) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej dwustanowej.



Rys. 4.28 Wykres kołowy – udział czynnika *Potencjał projektanta* w wystąpieniu opóźnień dla przypadków w zbiorze danych

Rys. 4.29 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Potencjał projektanta*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.28) wynika, że w 98% (166) przypadkach badanych obiektów mostowych, czynnik *Potencjał projektanta* obejmujący problemy i zakłócenia w tym obszarze nie został wskazany jako przyczyna opóźnienia, natomiast w 2% (3 przypadki) próby badawczej czynnik ten miał wpływ na opóźnienie w realizacji obiektów mostowych.

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.29) można odczytać, iż w grupie 0 - *brak wpływu czynnika na opóźnienie* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5, natomiast

w grupie 1 – wpływ czynnika na opóźnienie wartość ta jest na poziomie ok. 1,0. Linia mediany w grupie 0 jest zbliżona, ku dolnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny. Linia mediany w grupie 1 jest położona centralnie, co sugeruje symetryczny rozkład wartości zmiennej zależnej. W grupie 1 można wyróżnić obserwacje odstające oznaczone „rombami” na wykresie, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonych przez wąsy. Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej dwustanowej *Potencjał projektanta* przedstawia tabela 4.15.

Tabela 4.15 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej *Potencjał projektanta*.

Miary statystyczne	Czynnik: <i>Potencjał projektanta</i> przyjmujący wartość	
	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie	1 – wpływ czynnika na opóźnienie
<b>Średnia</b>	0,292	0,910
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,481	0,216
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,714
<b>I kwartyl</b>	0,000	0,794
<b>Mediana</b>	0,125	0,875
<b>III kwartyl</b>	0,458	1,008
<b>Wartość maksymalna</b>	2,750	1,142

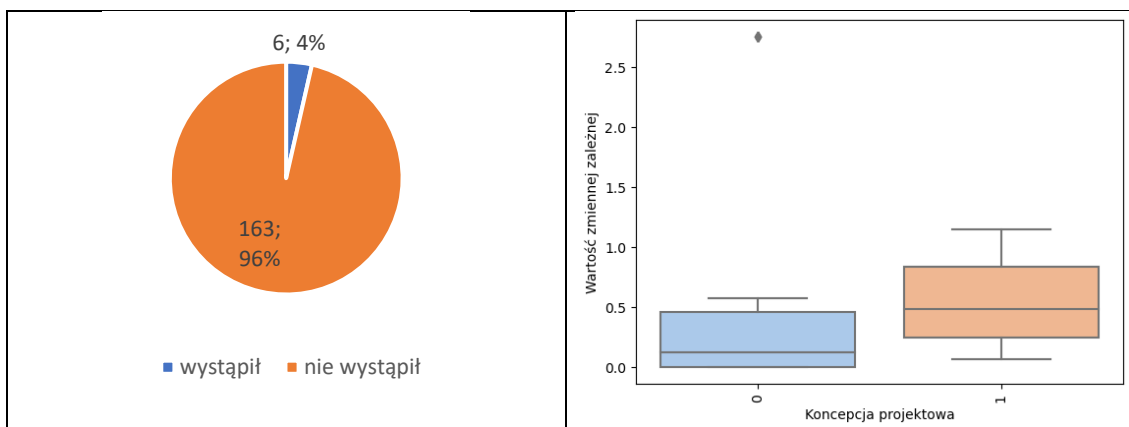
Źródło: Opracowanie własne.

Występowanie czynnika opóźniającego *Potencjał projektanta* znacząco wpływa na wartości przyjmowane przez zmienną zależną. W przypadku braku występowania tego czynnika obserwuje się, że mediana czasu opóźnienia wynosi 0,125, rozstęp kwartyłowy wynosi 0,458. Część obiektów została oznaczona jako obserwacje odstające – opóźnienie wynosi w ich przypadku 2,75. W przypadku wystąpienia tego czynnika opóźniającego wartość mediany jest znacząco większa i wynosi 0,875. Rozstęp kwartyłowy jest ponad dwukrotnie mniejszy, niż w przypadku braku występowania tego czynnika i wynosi ok. 0,214.

- **Koncepcja projektowa**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.30) zaprezentowano charakterystykę czynnika *Koncepcja projektowa*, natomiast na wykresie ramka-wąsy (rys. 4.31) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej.





Rys. 4.30 Wykres kołowy – udział czynnika *Koncepcja projektowa* w wystąpieniu opóźnień dla przypadków w zbiorze danych

Rys. 4.31 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Koncepcja projektowa*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.30) wynika, że w 96% (163) przypadkach badanych obiektów mostowych, czynnik powodujący opóźnienia *Koncepcja projektowa* nie został wskazany jako przyczyna opóźnienia natomiast w 4% (6) próby badawczej czynnik ten miał wpływ na opóźnienia w realizacji obiektów mostowych.

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.31) można odczytać, iż w grupie 0 - *brak wpływu czynnika na opóźnienie* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5, natomiast w grupie 1 – *wpływ czynnika na opóźnienie* wartość ta jest na poziomie ok. 1,0. Linia mediany w grupie 0 jest zbliżona, ku dolnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny. Linia mediany w grupie 1 jest położona centralnie, co sugeruje symetryczny rozkład wartości zmiennej zależnej. W grupie 0 można wyróżnić obserwacje odstające oznaczone „rombami” na wykresie, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonych przez wąsy. Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej dwustanowej *Koncepcja projektowa* przedstawia tabela 4.16.

Tabela 4.16 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej *Koncepcja projektowa*

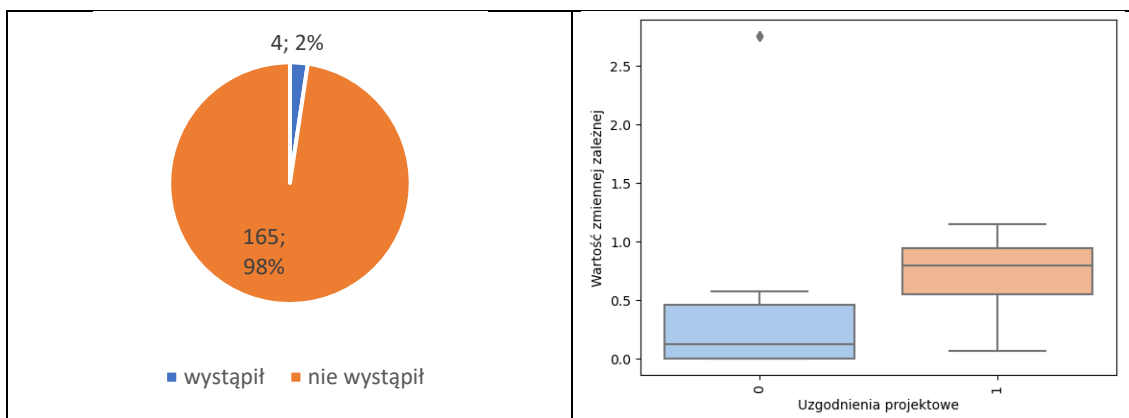
Miary statystyczne	Czynnik: <i>Koncepcja projektowa</i> przyjmujący wartość	
	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie	1 – wpływ czynnika na opóźnienie
<b>Średnia</b>	0,294	0,549
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,485	0,423
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,066
<b>I kwartył</b>	0,000	0,250
<b>Mediana</b>	0,125	0,482
<b>III kwartył</b>	0,458	0,834
<b>Wartość maksymalna</b>	2,750	1,142

Źródło: Opracowanie własne.

Występowanie czynnika opóźniającego *Koncepcja projektowa* powoduje znaczące zwiększenie mediany czasu opóźnienia – w przypadku braku czynnika wynosi ona 0,125, natomiast w przypadku wystąpienia czynnika wzrasta do 0,482, czyli prawie czterokrotnie. Rozkład zmiennej zależnej w grupie, w której czynnik nie występuje jest taki sam, jak w przypadku braku wystąpienia czynnika opóźniającego związanego z czynnikiem *Potencjał projektanta* – niewielkie różnice obserwuje się średniej i odchylenia standardowego. W przypadku wystąpienia czynnika związanego z koncepcją projektową obserwuje się dwukrotnie większe odchylenie standardowe, niż w przypadku czynnika *Potencjał projektanta*. Świadczy to o większym zróżnicowaniu wartości czasu opóźnienia w tej grupie.

- **Uzgodnienia projektowe**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.32) zaprezentowano charakterystykę czynnika *Uzgodnienia projektowe*, natomiast na wykresie ramka-wąsy (rys. 4.33) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej.



Rys. 4.32 Wykres kołowy – udział czynnika *Uzgodnienia projektowe* w wystąpieniu opóźnień dla przypadków w zbiorze danych

Rys. 4.33 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Uzgodnienia projektowe*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego wynika (rys. 4.32), że w 98% (165) badanych przypadkach, czynnik powodujący opóźnienia *Uzgodnienia projektowe* nie został wskazany jako przyczyna opóźnienia natomiast w 2% (4) próby badawczej jego wpływ na opóźnienia w realizacji obiektów mostowych odnotowano.

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.33) można odczytać, iż w grupie 0 - brak wpływu czynnika na *opóźnienie* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5, natomiast w grupie 1 – *wpływ czynnika na opóźnienie* wartość ta jest na poziomie ok. 1,0. Linia mediany w grupie 0 jest zbliżona, ku dolnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny. Linia mediany w grupie 1 jest zbliżona ku górnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład lewostronnie skośny wartości zmiennej zależnej. W grupie 0 można także wyróżnić obserwacje odstające oznaczone „rombami” na wykresie, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonych przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej dwustanowej *Uzgodnienia projektowe* przedstawia tabela 4.17.

Tabela 4.17 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej *Uzgodnienia projektowe*.

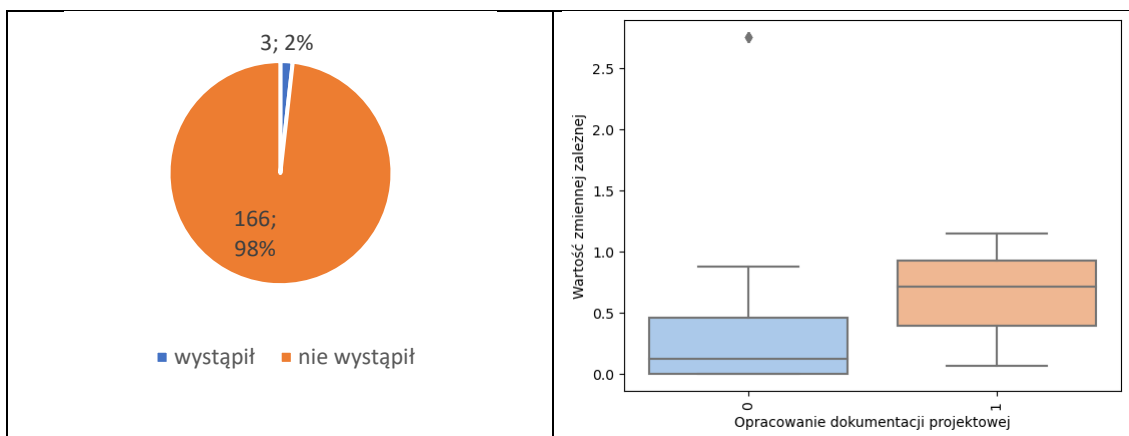
Miary statystyczne	Czynnik: <i>Uzgodnienia projektowe</i> <i>przyjmujący wartość</i>	
	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie
<b>Średnia</b>	0,293	0,699
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,482	0,457
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,066
<b>I kwartył</b>	0,000	0,552
<b>Mediana</b>	0,125	0,794
<b>III kwartył</b>	0,458	0,941
<b>Wartość maksymalna</b>	2,750	1,142

Źródło: Opracowanie własne.

W grupie obiektów, dla których nie wystąpił czynnik *Uzgodnienia projektowe* obserwuje się prawostronnie skośny rozkład zmiennej zależnej, natomiast w grupie obiektów, dla których czynnik wystąpił to rozkład lewostronnie skośny. Należy jednak zauważyć, że skośność rozkładu zmiennej w grupie, w której czynnik wystąpił jest stosunkowo niewielka w porównaniu z grupą, w której czynnik nie wystąpił. Również tym razem w grupie, w której nie wystąpił czynnik opóźniający występują obserwacje odstające, dla których czas opóźnienia wynosi 2,75. W drugiej grupie takie obserwacje nie występują, natomiast zaobserwowano dość spory rozrzut wartości typowych wyznaczanych przez wąsy – czas opóźnienia przyjmuje wartości z przedziału [0,067 - 1,143], a więc rozstęp zmiennej wynosi ok. 1,076.

- **Opracowanie dokumentacji projektowej**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.34) zaprezentowano charakterystykę czynnika *Opracowanie dokumentacji projektowej*, natomiast na wykresie ramka-wąsy (rys. 4.35) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej.



Rys. 4.34 Wykres kołowy – udział czynnika *Opracowanie dokumentacji projektowej* w wystąpieniu opóźnień dla przypadków w zbiorze danych

Rys. 4.35 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Opracowanie dokumentacji projektowej*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.34) wynika, że w 98% (166) przypadkach badanych obiektów mostowych, czynnik powodujący opóźnienia *Opracowanie dokumentacji projektowej* nie został wskazany jako przyczyna opóźnienia, natomiast w 2% (3) próby badawczej czynnik ten miał wpływ na opóźnienia w realizacji obiektów mostowych.

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.35) można odczytać, iż w grupie 0 - *brak wpływu czynnika na opóźnienie* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5, natomiast w grupie 1 – *wpływ czynnika na opóźnienie* wartość ta jest na poziomie ok. 1,0. Linia mediany w grupie 0 jest zbliżona, ku dolnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny. Linia mediany w grupie 1 jest położona centralnie, co sugeruje symetryczny rozkład wartości zmiennej zależnej. W grupie 0 można wyróżnić obserwacje odstające oznaczone „rombami” na wykresie, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonych przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej dwustanowej *Opracowanie dokumentacji projektowej* przedstawia tabela 4.18.

Tabela 4.18 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej *Opracowanie dokumentacji projektowej*.

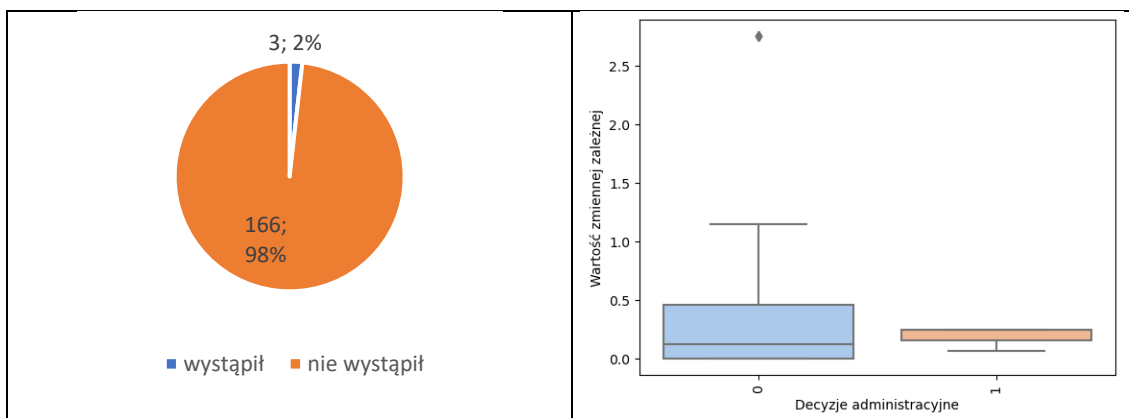
Miary statystyczne	Czynnik: <i>Opracowanie dokumentacji projektowej</i> <i>przyjmujący wartość</i>	
	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie
<b>Średnia</b>	0,297	0,641
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,482	0,541
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,066
<b>I kwartyl</b>	0,000	0,390
<b>Mediana</b>	0,125	0,714
<b>III kwartyl</b>	0,458	0,928
<b>Wartość maksymalna</b>	2,750	1,142

Źródło: Opracowanie własne.

W przypadku obiektów, dla których nie wystąpił czynnik *Opracowanie dokumentacji projektowej* obserwuje się, że wartości mediany i średniej oraz szerokości przedziałów wyznaczonych przez I kwartyl i medianę oraz medianę i III kwartyl wskazują na występowanie lewostronnie skośnego rozkładu wartości zmiennej zależnej. Oznacza to, że połowa obiektów przyjmuje wartości stosunkowo niewielkie – nie przekraczające 0,125. W przypadku grupy obiektów, dla których czynnik wystąpił obserwuje się przeciwną tendencję – wartości statystyk wskazują na występowanie rozkładu prawostronnie skośnego.

- **Decyzje administracyjne**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.36) zaprezentowano charakterystykę czynnika *Decyzje administracyjne*, natomiast na wykresie ramka-wąsy (rys. 4.37) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej.



Rys. 4.36 Wykres kołowy – udział czynnika *Decyzje administracyjne* w wystąpieniu opóźnień dla przypadków w zbiorze danych

Rys. 4.37 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Decyzje administracyjne*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.36) wynika, że w 98% (166) przypadkach badanych obiektów mostowych, czynnik powodujący opóźnienia *Decyzje administracyjne* nie został wskazany jako przyczyna opóźnienia, natomiast w 2% (3) próby badawczej czynnik ten miał wpływ na opóźnienia w realizacji obiektów mostowych.

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.37) można odczytać, iż w grupie 0 - *brak wpływu czynnika na opóźnienie* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5, natomiast w grupie 1 - *wpływ czynnika na opóźnienie* wartość ta jest na poziomie ok. 0,25. Linia mediany w grupie 0 jest zbliżona, ku dolnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład prawostronnie skośny. Linia mediany w grupie 1 nie występuje.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej dwustanowej *Decyzje administracyjne* przedstawia tabela 4.19.

Tabela 4.19 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej *Decyzje administracyjne*

Miary statystyczne	Czynnik: <i>Decyzje administracyjne</i> <i>przyjmujący wartość</i>	
	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie
<b>Średnia</b>	0,305	0,188
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,488	0,105
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,066
<b>I kwartyl</b>	0,000	0,158
<b>Mediana</b>	0,125	0,250
<b>III kwartyl</b>	0,458	0,250
<b>Wartość maksymalna</b>	2,750	0,250

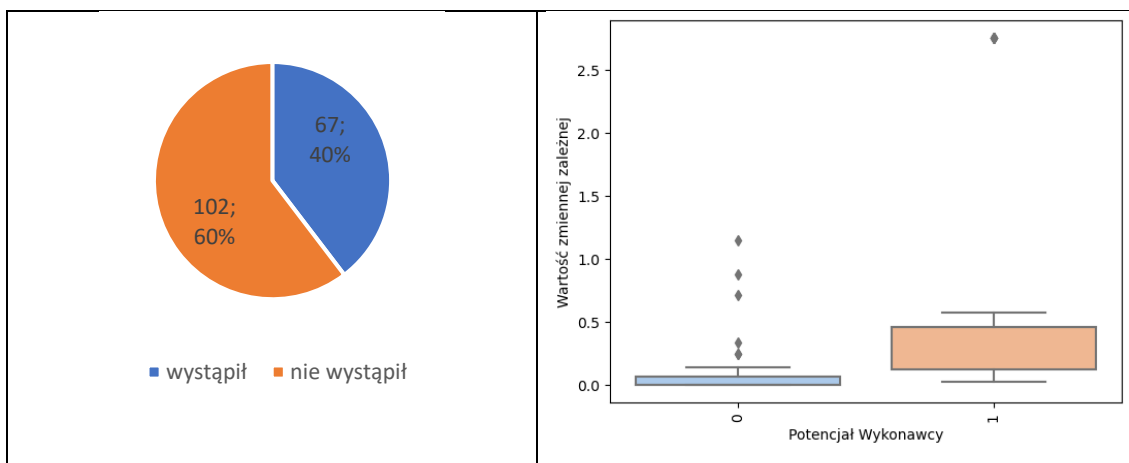
Źródło: Opracowanie własne.

W grupie obiektów, dla których wystąpił czynnik opóźniający *Decyzje administracyjne* obserwuje się niewielki rozstęp kwartyłowy, który wynosi ok. 0,092. Rozstęp (różnica między wartością maksymalną i minimalną) również jest niewielki i wynosi 0,183. Mediana w tej grupie jest równa III kwartyłowi, co świadczy o dużej skośności rozkładu wartości zmiennej zależnej. W przypadku drugiej grupy obiektów – tej, dla której czynnik opóźniający nie wystąpił – rozstęp wynosi 2,75, natomiast rozstęp kwartyłowy 0,458. Takie rezultaty wskazują na dużo większe zróżnicowanie wartości czasu opóźnienia w grupie obiektów, dla których czynnik opóźniający nie wystąpił.

- **Potencjał wykonawcy**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.38) zaprezentowano charakterystykę czynnika *Potencjał wykonawcy*, natomiast na wykresie ramka-wąsy (rys. 4.39) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej.





Rys. 4.38 Wykres kołowy – udział czynnika *Potencjał wykonawcy* w wystąpieniu opóźnień dla przypadków w zbiorze danych

Rys. 4.39 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Potencjał wykonawcy*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.38) wynika, że w 60% (102) przypadkach badanych obiektów mostowych, czynnik powodujący opóźnienia *Potencjał wykonawcy* nie został wskazany jako przyczyna opóźnienia, natomiast w 40% (67) próby badawczej czynnik ten miał wpływ na opóźnienia w realizacji obiektów mostowych.

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.39) można odczytać, iż w grupie 0 - *brak wpływu czynnika na opóźnienie* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,1, natomiast w grupie 1 – *wpływ czynnika na opóźnienie* wartość ta jest na poziomie ok. 0,5. W grupie 0 można wyróżnić obserwacje odstające oznaczone „rombami” na wykresie, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonych przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej dwustanowej *Potencjał wykonawcy* przedstawia tabela 4.20.

Tabela 4.20 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej *Potencjał wykonawcy*

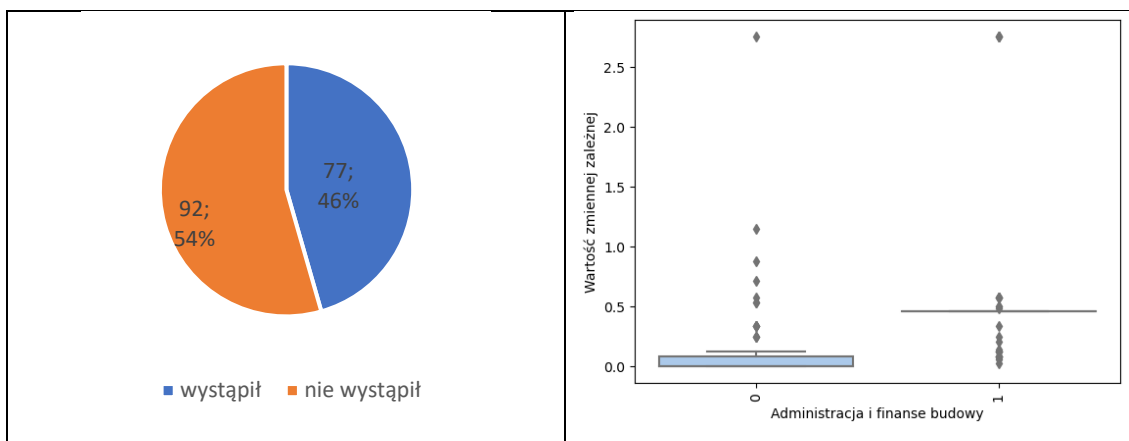
Miary statystyczne	Czynnik: <i>Potencjał wykonawcy</i> <i>przyjmujący wartość</i>	
	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie
<b>Średnia</b>	0,068	0,457
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,198	0,551
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,027
<b>I kwartył</b>	0,000	0,125
<b>Mediana</b>	0,000	0,458
<b>III kwartył</b>	0,066	0,458
<b>Wartość maksymalna</b>	1,142	2,750

Źródło: Opracowanie własne.

*Potencjał wykonawcy* jest czynnikiem bardzo silnie różnicującym wartości zmiennej zależnej w obu grupach. W grupie, w której nie wystąpił obserwuje się liczne obserwacje odstające przyjmujące różne wartości – największa z nich wynosi ok. 1,143. Mediana i I kwartył są sobie równe i wynoszą 0, co oznacza, że w przypadku co najmniej połowy obiektów opóźnienie nie wystąpiło. Wartość III kwartyła również jest niewielka i wynosi 0,067. W przypadku obiektów, dla których ten czynnik wystąpił czasy opóźnienia są znacząco większe – III kwartył wynosi 0,458, co jest wartością niemal 7-krotnie większą, niż wartość zaobserwowana w drugiej grupie. W tym przypadku można zaobserwować, że mediana jest równa III kwartyłowi – oznacza to, że obie grupy cechują się silną skośnością rozkładu zmiennej zależnej, jednak w przypadku braku występowania czynnika opóźniającego jest to rozkład prawostronnie skośny, natomiast w przypadku jego wystąpienia lewostronnie skośny.

- **Administracja i finanse budowy**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.40) zaprezentowano charakterystykę czynnika *Administracja i finanse budowy*, natomiast na wykresie ramka-wąsy (rys. 4.41) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej.



Rys. 4.40 Wykres kołowy – udział czynnika *Administracja i finanse budowy* w wystąpieniu opóźnień dla przypadków w zbiorze danych

Rys. 4.41 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Administracja i finanse budowy*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.40) wynika, że w 54% (92) przypadkach badanych obiektów mostowych, czynnik powodujący opóźnienia *Administracja i finanse budowy* nie został wskazany jako przyczyna opóźnienia, natomiast w 46% (77) próby badawczej czynnik ten miał wpływ na opóźnienia w realizacji obiektów mostowych.

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.41) można odczytać, iż w grupie 0 - *brak wpływu czynnika na opóźnienie* wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,1, natomiast w grupie 1 - *wpływ czynnika na opóźnienie* zamiast pudełka widoczna jest pojedyncza linia – oznacza to, że wszystkie obiekty należące do tej grupy mają takie same wartości zmiennej zależnej na poziomie 0,5. W obu grupach można wyróżnić obserwacje odstające oznaczone „rombami” na wykresie, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonych przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej dwustanowej *Administracja i finanse budowy* przedstawia tabela 4.21.

Tabela 4.21 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej *Administracja i finanse budowy*.

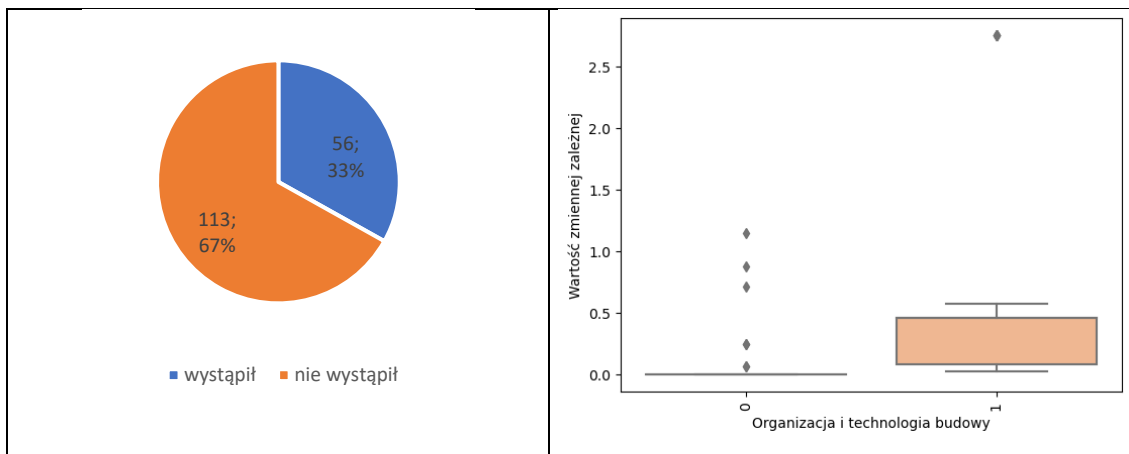
Miary statystyczne	Czynnik: <i>Administracja i finanse budowy</i> przyjmujący wartość	
	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie
<b>Średnia</b>	0,128	0,512
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,338	0,547
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,027
<b>I kwartył</b>	0,000	0,458
<b>Mediana</b>	0,000	0,458
<b>III kwartył</b>	0,083	0,458
<b>Wartość maksymalna</b>	2,750	2,750

Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie takich samych wartości mediany oraz I i III kwartyła obserwuje się, że w grupie obiektów, dla których wystąpił czynnik opóźniający *Administracja i finanse budowy* co najmniej połowa obiektów miała czas opóźnienia wynoszący 0,458. Wartość średnia w tej grupie wskazuje na występowanie rozkładu prawostronnie skośnego, jednak wygląd wykresu ramka-wąsy wskazuje na to, że jest to spowodowane występowaniem licznych obserwacji odstających, w tym takich, dla których czas opóźnienia wyniósł aż 2,75. W drugiej grupie obiektów występują liczne obserwacje odstające, w tym takie, dla których czas opóźnienia wynosi 2,75. Rozstęp kwartyłowy w tej grupie jest niewielki – wynosi 0,083. Równość I kwartyła i mediany oraz wartość średnia większa od mediany wskazują na występowanie prawostronnie skośnego rozkładu zmiennej zależnej w grupie obiektów, dla których czynnik opóźniający nie wystąpił.

- **Organizacja i technologia budowy**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.42) zaprezentowano charakterystykę czynnika *Organizacja i technologia budowy*, natomiast na wykresie ramka-wąsy (rys. 4.43) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej.



Rys. 4.42 Wykres kołowy – udział czynnika *Organizacja i technologia budowy* w wystąpieniu opóźnień dla przypadków w zbiorze danych

Rys. 4.43 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Organizacja i technologia budowy*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.42) wynika, że w 67% (113) przypadkach badanych obiektów mostowych, czynnik powodujący opóźnienia *Organizacja i technologia budowy* nie został wskazany jako przyczyna opóźnienia, natomiast w 33% (56) próby badawczej czynnik ten miał wpływ na opóźnienia w realizacji obiektów mostowych.

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.43) można odczytać, iż w grupie 0 - *brak wpływu czynnika na opóźnienie* zamiast pudełka widoczna jest pojedyncza linia – oznacza to, że wszystkie obiekty należące do tej grupy mają takie same wartości zmiennej zależnej na poziomie 0. Natomiast w grupie 1 – *wpływ czynnika na opóźnienie* wartość zmiennej zależnej jest na poziomie ok. 0,5. W obu grupach można wyróżnić obserwacje odstające oznaczone „rombami” na wykresie, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonych przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej dwustanowej *Organizacja i technologia budowy* przedstawia tabela 4.22.

Tabela 4.22 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej *Organizacja i technologia budowy*

Miary statystyczne	Czynnik: <i>Organizacja i technologia budowy</i> <i>przyjmujący wartość</i>	
	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie
<b>Średnia</b>	0,060	0,423
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,213	0,534
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,027
<b>I kwartył</b>	0,000	0,083
<b>Mediana</b>	0,000	0,458
<b>III kwartył</b>	0,000	0,458
<b>Wartość maksymalna</b>	1,142	2,750

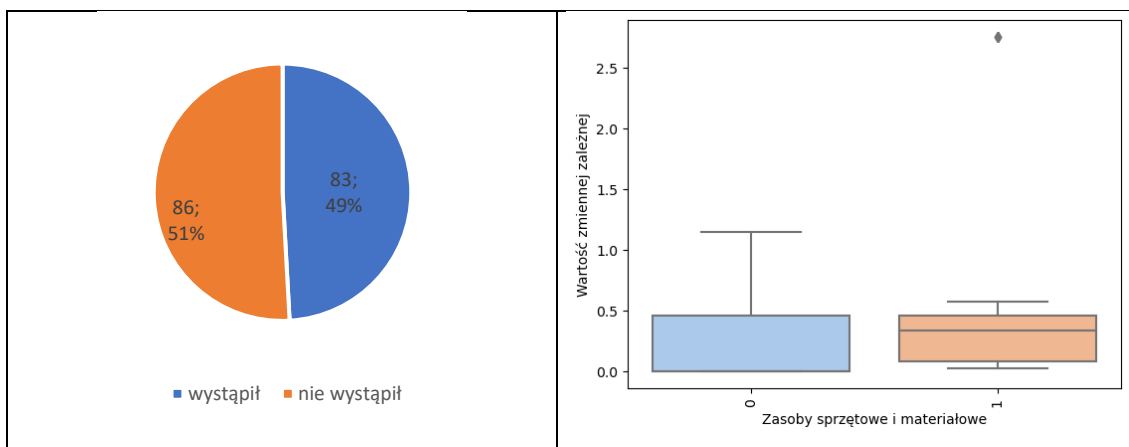
Źródło: Opracowanie własne.

Analiza przedstawionych w powyższej tabeli statystyk opisowych pozwala stwierdzić, że w grupie, w której nie wystąpił czynnik opóźnienia związany z organizacją i technologią budowy większość obiektów nie miała opóźnienia – świadczy o tym wartość III kwartyła wynosząca 0. W grupie tej nie występują też obiekty o bardzo dużym opóźnieniu – największa odnotowana wartość czasu opóźnienia to 1,143.

W drugiej grupie obiektów możemy zaobserwować duży rozrzut wartości opóźnienia, o czym świadczą wartości rozstępu (2,667), rozstępu kwartyłowego (0,375) oraz odchylenia standardowego (0,534). Mediana i III kwartył są sobie równe, co oznacza, że rozkład wartości zmiennej zależnej jest lewostronnie skośny.

- **Zasoby sprzętowe i materiałowe**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.44) zaprezentowano charakterystykę czynnika *Zasoby sprzętowe i materiałowe*, natomiast na wykresie ramka-wąsy (rys. 4.45) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej.



Rys. 4.44 Wykres kołowy – udział czynnika *Zasoby sprzętowe i materiałowe* w wystąpieniu opóźnień dla przypadków w zbiorze danych

Rys. 4.45 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem wartości zmiennej niezależnej: *Zasoby sprzętowe i materiałowe*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.44) wynika, że w 51% (86) przypadkach badanych obiektów mostowych, czynnik powodujący opóźnienia *Zasoby sprzętowe i materiałowe* nie został wskazany jako przyczyna opóźnienia, natomiast w 49% (83) próby badawczej czynnik ten miał wpływ na opóźnienia w realizacji obiektów mostowych.

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.45) można odczytać, iż w obu grupach wartość zmiennej zależnej wynosi ok. 0,5. Linia mediany w grupie 1 – *wpływ czynnika na opóźnienie* jest zbliżona, ku górnej krawędzi pudełka, co sugeruje rozkład lewostronnie skośny. Można tu też wyróżnić obserwacje odstające oznaczone „rombami” na wykresie, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonych przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej dwustanowej *Zasoby sprzętowe i materiałowe* przedstawia tabela 4.23.

Tabela 4.23 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej *Zasoby sprzętowe i materiałowe*.

Miary statystyczne	Czynnik: <i>Zasoby sprzętowe i materiałowe</i> przyjmujący wartość	
	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie
<b>Średnia</b>	0,175	0,426
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,251	0,609
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,027
<b>I kwartył</b>	0,000	0,083
<b>Mediana</b>	0,000	0,333
<b>III kwartył</b>	0,458	0,458
<b>Wartość maksymalna</b>	1,142	2,750

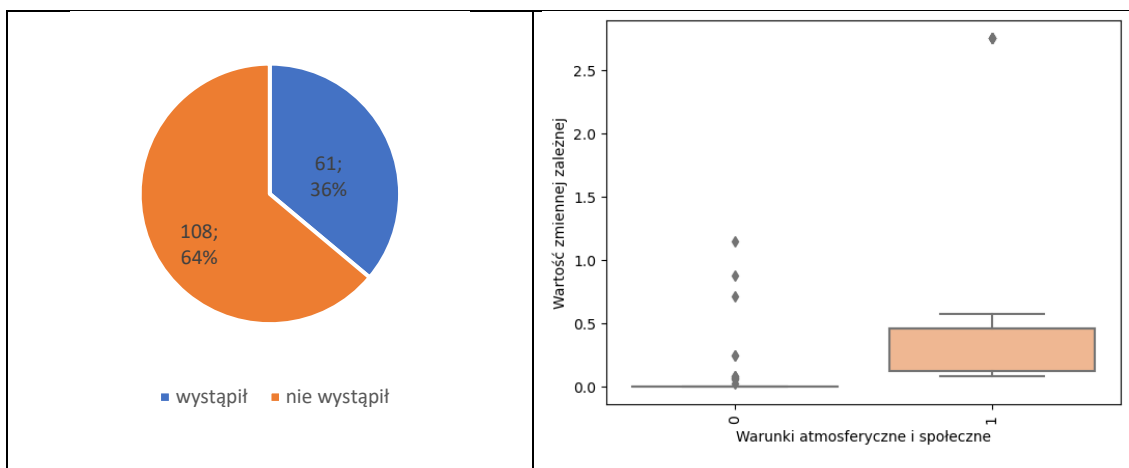
Źródło: Opracowanie własne.

W grupie obiektów, dla których nie wystąpił czynnik opóźniający *Zasoby sprzętowe i materiałowe* obserwuje się silnie prawostronnie skośny rozkład wartości zmiennej zależnej (I kwartył i mediana są sobie równe, a wartość średnia jest większa od mediany). W przypadku połowy obiektów w tej grupie opóźnienie wyniosło 0, o czym świadczy wartość mediany. W drugiej grupie obiektów – tej, dla której czynnik wystąpił obserwuje się znacząco mniejszą skośność rozkładu. Linia mediany jest przesunięta w stronę górnej granicy pudełka oznaczającej III kwartył, jednak wartość mediany jest wyraźnie mniejsza. W tej grupie występują obserwacje odstające – opóźnienie wynosi 2,75. Dla wszystkich obiektów z tej grupy opóźnienie wystąpiło, o czym świadczy wartość minimalna większa od 0.

- **Warunki atmosferyczne i społeczne**

Poniżej na wykresie kołowym (rys. 4.46) zaprezentowano charakterystykę czynnika *Warunki atmosferyczne i społeczne*, natomiast na wykresie ramka-wąsy (rys. 4.47) zaprezentowano rozkład wartości zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej.





Rys. 4.46 Wykres kołowy – udział czynnika *Warunki atmosferyczne i społeczne* w wystąpieniu opóźnień dla przypadków w zbiorze danych

Rys. 4.47 Wykres ramka-wąsy – rozkład wartości zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej: *Warunki atmosferyczne i społeczne*

Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu kołowego (rys. 4.46) wynika, że w 64% (108) przypadkach badanych obiektów mostowych, czynnik powodujący opóźnienia *Warunki atmosferyczne i społeczne* nie został wskazany jako przyczyna opóźnienia, natomiast w 36% (61) próby badawczej czynnik ten miał wpływ na opóźnienia w realizacji obiektów mostowych.

Z wykresu ramka-wąsy (rys. 4.47) można odczytać, iż w grupie 0 - *brak wpływu czynnika na opóźnienie* zamiast pudełka widoczna jest pojedyncza linia – oznacza to, że wszystkie obiekty należące do tej grupy mają takie same wartości zmiennej zależnej na poziomie 0. Natomiast w grupie 1 - *wpływ czynnika na opóźnienie* wartość zmiennej zależnej jest na poziomie ok. 0,5. W obu grupach można wyróżnić obserwacje odstające oznaczone „rombami” na wykresie, które nie mieszczą się w zakresie wartości wyznaczonych przez wąsy.

Miary statystyczne zmiennej zależnej względem zmiennej jakościowej dwustanowej *Warunki atmosferyczne i społeczne* przedstawia tabela 4.24.

Tabela 4.24 Miary statystyczne zmiennej zależnej względem analizowanej zmiennej jakościowej dwustanowej *Warunki atmosferyczne i społeczne*

Miary statystyczne	Czynnik: <i>Warunki atmosferyczne i społeczne</i> <i>przyjmujący wartość</i>	
	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie	0 - brak wpływu czynnika na opóźnienie
<b>Średnia</b>	0,060	0,440
<b>Odchylenie standardowe</b>	0,204	0,540
<b>Wartość minimalna</b>	0,000	0,083
<b>I kwartył</b>	0,000	0,125
<b>Mediana</b>	0,000	0,458
<b>III kwartył</b>	0,000	0,458
<b>Wartość maksymalna</b>	1,142	2,750

Źródło: Opracowanie własne.

W grupie, w której czynnik związany z *Warunkami atmosferycznymi i społecznymi* nie wystąpił, większość obiektów nie została oddana z opóźnieniem – wartość III kwartyła wynosi 0. Największe opóźnienie odnotowane w tej grupie wyniosło 1,143. Obserwuje się stosunkowo dużą wartość odchylenia standardowego, które jest skutkiem występowania licznych obserwacji odstających o wartości przekraczającej wartość średnią zmiennej zależnej w tej grupie.

W drugiej grupie obiektów możemy zaobserwować, że mediana i III kwartył mają taką samą wartość, co świadczy o dużej skośności rozkładu zmiennej zależnej – jest to rozkład lewostronnie skośny. W przypadku tej grupy obiektów zawsze występowało opóźnienie – wartość minimalna jest większa od zera. Rozstęp zmiennej zależnej jest duży i wynosi aż 2,667, a część obiektów przyjmuje wartości mniejsze niż wartość I kwartyła (0,125) oraz większe niż wartość III kwartyła (0,458).

#### 4.6 Wybór zmiennych do modelowania

Wybór zmiennych do modelowania zostanie przeprowadzona w oparciu o badania, testy i analizy umożliwiające zbadanie zależności pomiędzy potencjalnymi zmiennymi niezależnymi a zmienna zależną, zdefiniowaną jako opóźnienie względne. Zależność pomiędzy zmiennymi może być badana na różne sposoby ze względu na charakter poszczególnych zmiennych.

##### Zmienne jakościowe

W przypadku badania zależności pomiędzy zmienną jakościową a zmienną ilościową można przeprowadzić testy sprawdzające, czy wartość zmiennej zależnej

ilościowej w założonych grupach zmiennej niezależnej jakościowej będzie się różnić. Pozwala to na stwierdzenie czy zmienna jakościowa może być uznana za czynnik różnicujący wartość zmiennej ilościowej (zależnej). W praktyce bada się, czy występuje zależność pomiędzy wartością zmiennej jakościowej, a wartością przeciętną zmiennej ilościowej w danej grupie obiektów (wyznaczonej na podstawie zmiennej jakościowej). Jest to tzw. analiza jednoczynnikowa, ponieważ badany jest wpływ jednego, wybranego czynnika (zmiennej niezależnej) na wartości zmiennej zależnej. W literaturze odnaleźć można dwie grupy testów [111,163,194,205]: testy parametryczne (które pozwalają porównać konkretny parametr populacji generalnej, np. wartości średnie w grupach) oraz nieparametryczne (które badają podobieństwo rozkładu wartości analizowanej cechy w grupach). Wykorzystanie testów parametrycznych wymaga spełnienia określonych założeń dotyczących danych. Wśród nich wymienia się m. in. [153] założenie dotyczące występowania rozkład normalny danych we wszystkich grupach oraz równoliczność porównywanych grup. W analizowanych, pozyskanych danych, założenie o równoliczności w grupach poszczególnych zmiennych nie jest spełnione co widać na przedstawionych w rozdziale 4.5 wykresach kołowych przedstawiających licznosci grup dla poszczególnych zmiennych, w niektórych przypadkach są to różnice dość znaczne (np. zmienna *System realizacji przedsięwzięcia* lub zmienna *Rodzaj nawierzchni na obiekcie*). Ponadto założenie o normalności rozkładu zmiennych również nie jest spełnione, co sprawdzono testem Shapiro-Wilka [153] jak poniżej.

W celu sprawdzenia rozkładu normalności zmiennych jakościowych testem Shapiro-Wilka przyjęto:

- hipotezę zerową  $H_0$  gdzie próba pochodzi z populacji o rozkładzie normalnym oraz
- hipotezę alternatywną  $H_1$  gdzie próba nie pochodzi z populacji o rozkładzie normalnym.

Wyniki testu Shapiro-Wilka dotyczących normalności danych przedstawiono w tabeli 4.25.

Tabela 4.25 Sprawdzenie rozkładu normalności testem Shapiro-Wilka.

<b>Zmienna/grupa</b>	<b>Wartość p</b>	<b>Rozkład normalny</b>
<b><i>Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę</i></b>		
estakada	---	---
kładka dla pieszych	0,0180	Nie
most	$8,78 \times 10^{-9}$	Nie
przepust	---	---
wiadukt	$4,45 \times 10^{-17}$	Nie
<b><i>Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe</i></b>		
drogowy	$5,44 \times 10^{-12}$	Nie
drogowy, szlak wędrówek dla zwierząt	0,0009	Nie
kolejowy	---	---
szlak wędrówek zwierząt	$3,99 \times 10^{-6}$	Nie
<b><i>System realizacji przedsięwzięcia</i></b>		
zbuduj	$1,19 \times 10^{-20}$	Nie
zaprojektuj i zbuduj	0,0003	Nie
<b><i>Ilość przęseł obiektu</i></b>		
1	$3,60 \times 10^{-15}$	Nie
2	$5,33 \times 10^{-5}$	Nie
3	$5,96 \times 10^{-6}$	Nie
4	0,004	Nie
5 lub więcej	$3,03 \times 10^{-6}$	Nie
<b><i>Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny</i></b>		
belkowy	$5,71 \times 10^{-19}$	Nie
ramowy	0,0002	Nie
Skrzynkowy	0,0001	Nie
łukowy	0,0024	Nie
<b><i>Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe</i></b>		
beton sprężony	$3,50 \times 10^{-10}$	Nie
beton zbrojony	$3,34 \times 10^{-13}$	Nie
stalowy	$2,20 \times 10^{-6}$	Nie
<b><i>Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)</i></b>		
brak	---	---
pełnościennie	$2,43 \times 10^{-20}$	Nie
słupowe	0,0480	Nie
<b><i>Rodzaje podpór pośrednich obiektu</i></b>		
brak	$1,08 \times 10^{-14}$	Nie
pełnościennie	$4,23 \times 10^{-11}$	Nie
słupowe lub palowe	$2,07 \times 10^{-8}$	Nie
<b><i>Sposób posadowienia podpór obiektu</i></b>		
bezpośrednie	$8,78 \times 10^{-11}$	Nie
pośrednie	$2,22 \times 10^{-14}$	Nie
<b><i>Rodzaj nawierzchni na obiekcie</i></b>		
beton asfaltowy	$9,06 \times 10^{-13}$	Nie

<b>Zmienna/grupa</b>	<b>Wartość <math>p</math></b>	<b>Rozkład normalny</b>
nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$3,99 \times 10^{-6}$	Nie
nawierzchnia modyfikowana	0,02821	Nie
<b><i>Klasa obciążenia obiektu</i></b>		
A	$1,47 \times 10^{-11}$	Nie
B+C	0,0002	Nie
E	0,2253	Nie
kolejowa	$9,16 \times 10^{-7}$	Nie

Źródło: Opracowanie własne.

Wobec powyższego, do badania zależności pomiędzy zmienną jakościową a zmienną ilościową (zależną) wykorzystano nieparametryczny test Kruskala-Wallisa. Istotność różnic pomiędzy przeciętnymi wartościami zmiennej zależnej w grupach zmiennej niezależnej ocenia się na podstawie uzyskanej z testu Kruskala-Wallisa wartości  $p$  [205,163]. Jeżeli:

- wartość  $p$  jest mniejsza od przyjętego poziomu istotności (zazwyczaj przyjmuje się poziom istotności  $\alpha = 0,05$ ), to należy odrzucić hipotezę zerową o równości wartości przeciętnych i przyjąć hipotezę alternatywną mówiącą o tym, że wartości przeciętne w grupach różnią się, co oznacza, że rozważana zmienna jakościowa ma istotny wpływ na wartość zmiennej zależnej;
- wartość  $p$  większa lub równa  $\alpha$  oznacza, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej i nie można stwierdzić istotnych różnic pomiędzy grupami, czyli analizowana zmienna jakościowa nie ma wpływu na zmienną zależną.

Dla analizowanych zmiennych niezależnych jakościowych wyniki testu Kruskala-Wallisa przedstawia tabela 4.26.

Tabela 4.26 Wyniki z testu Kruskala-Wallisa dla zmiennych niezależnych jakościowych

Zmienne	Wartość współczynnika korelacji $p$	Różnice pomiędzy grupami istotne statystycznie
<i>Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę</i>	0,0597	Nie
<i>Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe</i>	0,0009	Tak
<i>System realizacji przedsięwzięcia</i>	0,1779	Nie
<i>Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statystyczny</i>	0,1768	Nie
<i>Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe</i>	0,0463	Tak
<i>Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)</i>	0,0268	Tak
<i>Rodzaje podpór pośrednich obiektu</i>	0,0027	Tak
<i>Sposób posadowienia podpór obiektu</i>	0,0007	Tak
<i>Rodzaj nawierzchni na obiekcie</i>	0,1189	Nie
<i>Klasa obciążenia obiektu</i>	0,1336	Nie

Źródło: Opracowanie własne.

Analizując wyniki przedstawione w tabeli 4.26 można stwierdzić, że istotny wpływ na zmienna zależną jaką jest opóźnienie względne mają zmienne: *Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe*, *Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe*, *Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)*, *Rodzaje podpór pośrednich obiektu*, *Sposób posadowienia podpór obiektu*. Pozostałe zmienne: *Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę*, *System realizacji przedsięwzięcia*, *Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statystyczny*, *Rodzaj nawierzchni na obiekcie*, *Klasa obciążenia obiektu* zgodnie z przeprowadzonym testem nie mają wpływu na zmienną zależną. Interpretując brak wpływu na przykładzie zmiennej: *System realizacji przedsięwzięcia*, wartość  $p = 0,178 > \alpha$  oznacza, że przeciętna wartość opóźnienia względnego jest taka sama w przypadku obu rodzajów systemu realizacji przedsięwzięcia występujących w zbiorze danych na zadanym poziomie istotności (prawdopodobieństwo popełnienia błędu, czyli sytuacji, w której w rzeczywistości różnice występują jest nie większe niż  $\alpha = 0,05$ ).

### Zmienne ilościowe ciągłe

W przypadku zmiennych ilościowych ciągłych dokonano analizy korelacji współczynników Pearsona pomiędzy poszczególnymi zmiennymi a zmienną zależną (opóźnieniem względnym). Im wartość współczynnika korelacji jest bliższa „0” tym związek jest słabszy. Im bliżej „1” (lub „-1”), tym związek jest silniejszy.

Przeprowadzając analizę korelacji przyjęto hipotezę zerową  $H_0$  w postaci:

$$p = 0$$

oraz hipotezę alternatywną  $H_1$  w postaci:

$$p \neq 0$$

Hipotezę zerową  $H_0$  należy odrzucić na rzecz hipotezy alternatywnej  $H_1$  wtedy, gdy uzyskana z testu wartość  $p$  jest mniejsza od przyjętego poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ .

Podobnie jak wyżej, w przypadku zmiennych jakościowych, do oceny istotności korelacji skorzystano z wartości  $p$  uzyskanej na podstawie testu Kruskala-Wallisa, z uwagi na to, że założenie o normalności rozkładu zmiennych również nie jest spełnione, co zostało sprawdzone testem Shapiro-Wilka.

Wyniki rozkładu normalności testu Shapiro-Wilka przedstawiono w tabeli 4.27.

Tabela 4.27 Wyniki rozkładu normalności testu Shapiro-Wilka.

Zmienna	Wartość $p$	Rozkład normalny
<i>Wartość obiektu</i>	$1,44 \times 10^{-19}$	Nie
<i>Długość całkowita obiektu</i>	$6,35 \times 10^{-18}$	Nie
<i>Szerokość obiektu</i>	$1,32 \times 10^{-18}$	Nie

Źródło: Opracowanie własne.

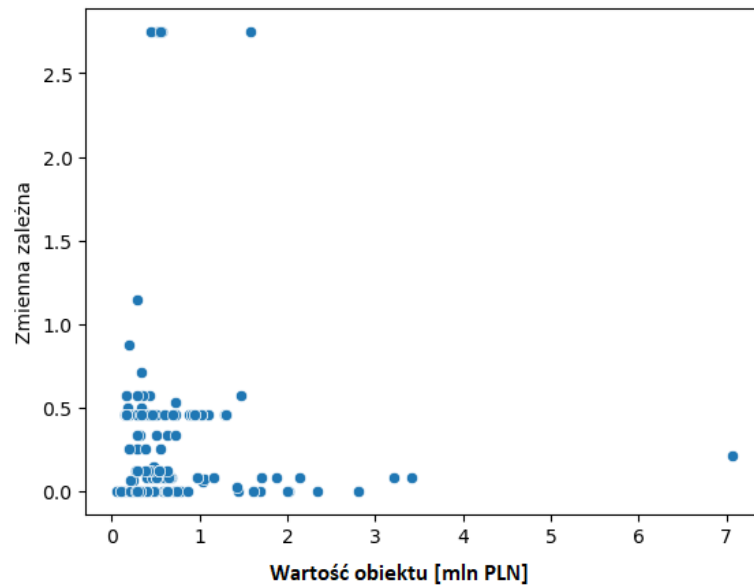
Wyniki analizy korelacji współczynników Pearsona dla parametrów *wartość obiektu*, *długość całkowita obiektu* i *szerokość obiektu* względem zmiennej zależnej (opóźnienie względne) zamieszczono w tabeli 4.28.

Tabela 4.28 Wartości współczynników korelacji Pearsona oraz wyniki testu Kruskala-Wallisa dla wybranych zmiennych ilościowych względem zmiennej zależnej.

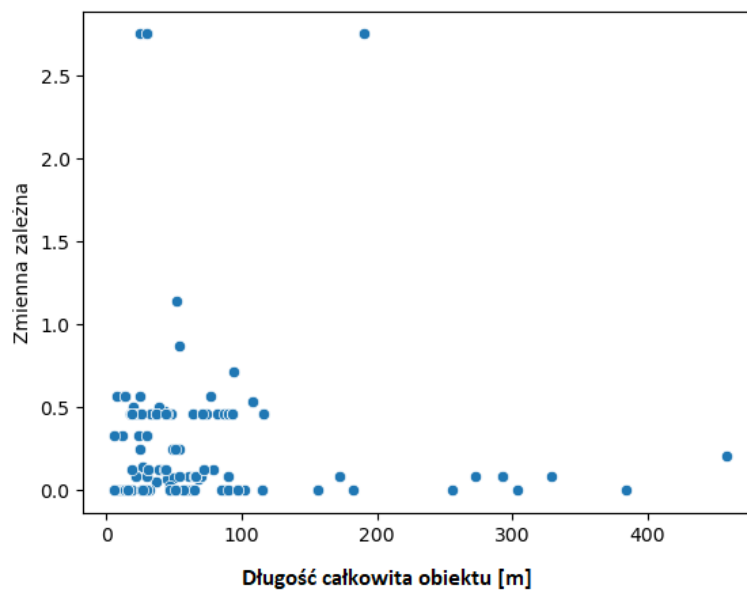
Zmienna	Współczynnik korelacji Pearsona	Wartość $p$	Korelacja istotna statystycznie
<b>Wartość obiektu</b>	-0,055	0,476	Nie
<b>Długość całkowita obiektu</b>	-0,069	0,369	Nie
<b>Szerokość obiektu</b>	0,001	0,984	Nie

Źródło: Opracowanie własne.

Powyższe wyniki wskazują, że żadna ze zmiennych ilościowych nie jest skorelowana ze zmienną zależną. Wartości  $p$  we wszystkich przypadkach są większe niż  $\alpha = 0,05$ . Ponadto wyznaczone wartości współczynników korelacji są bliskie 0, co wskazuje na brak zależności pomiędzy badanymi zmiennymi ilościowymi i wartością zmiennej zależnej. Na rysunkach 4.48, 4.49, 4.50 zaprezentowano także wykresy rozrzutu dla analizowanych zmiennych zależnych.

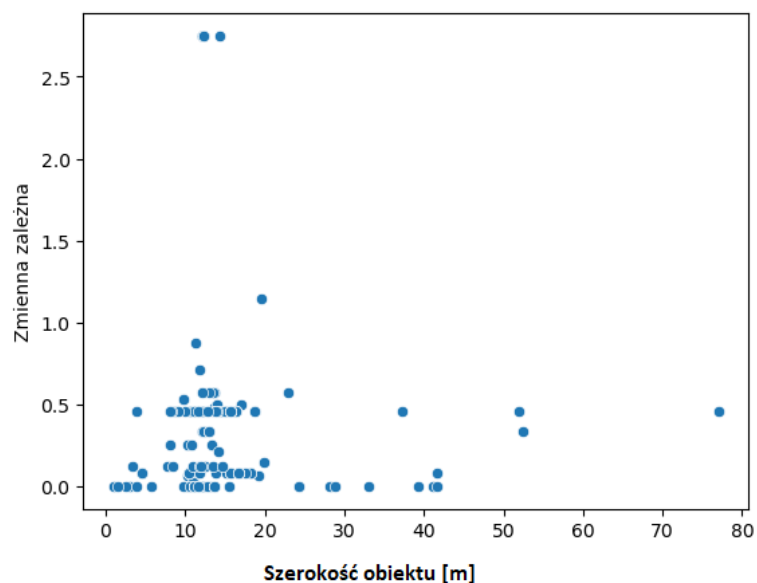


Rys. 4.48 Wykres rozrzutu dla zmiennej *Wartość obiektu* względem zmiennej zależnej. Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 4.49 Wykres rozrzutu dla zmiennej *Długość całkowita obiektu* względem zmiennej zależnej. Źródło: Opracowanie własne.





Rys. 4.50 Wykres rozrzutu dla zmiennej *Szerokość obiektu* względem zmiennej zależnej. Źródło: Opracowanie własne.

Zamieszczone powyżej wykresy rozrzutu potwierdzają, że pomiędzy badanymi zmiennymi nie występuje zależność – nie ma zauważalnego trendu w ułożeniu punktów na wykresach wskazującego na to, że wzrost zmiennej przedstawionej zależnej (przedstawionej na osi poziomej) powoduje wzrost lub spadek wartości zmiennej zależnej (przedstawionej na osi pionowej).

#### Zmienne ilościowe dyskretne

Do zbadania zależności pomiędzy ilościową dyskretną; *liczba przęseł obiektu* (przyjmującą wartości liczbowe ze skończonych i przeliczalnych zbiorów wartości całkowitych) a zmienną ilościową (zależną) wykorzystano, podobnie jak wyżej, nieparametryczny testu Kruskala-Wallisa [163,205]. Istotność różnic pomiędzy przeciętnymi wartościami zmiennej zależnej w grupach zmiennej niezależnej oceniono się na uzyskanej z testu Kruskala-Wallisa wartości  $p$ . Wyniki zamieszczono w tabeli 4.29. Tabela 4.29 Wyniki z testu Kruskala-Wallisa dla zmiennej niezależnej ilościowej dyskretnej

Zmienna	Wartość $p$	Różnice pomiędzy grupami istotne statystycznie
Liczba przęseł obiektu	0,299	Nie

Źródło: Opracowanie własne.

Jak wynika z tabeli 4.29 wartość  $p$  jest większa od przyjętego poziomu istotności ( $\alpha = 0,05$ ), co oznacza, że analizowana zmienna: *liczba pręseł obiektu* nie ma wpływu na zmienną zależną.

### Zmienne jakościowe dwustanowe

W wypadku analizy czynników powodujących opóźnienia, występują zmienne, które mogą przyjąć tylko dwie wartości: 0 lub 1. W takiej sytuacji należy użyć testów przeznaczonych do porównania dwóch prób. Test istotności różnic pomiędzy dwiema grupami należy dobrać na podstawie analizy grup: ich rozkładu (normalny/inny) i wariancji (takie same/różne): W literaturze wymienia się następujące testy [111,194]:

- t-test dla dwóch średnich: rozkład normalny, wariancje jednorodne,
- test Welcha: rozkład normalny, różne wariancje,
- test U Manna-Whitneya: rozkład inny niż normalny

Grupy wydzielone ze względu na 10 analizowanych zmiennych jakościowych dwustanowych (czynników powodujących opóźnienie) mają rozkład inny niż normalny, co sprawdzono testem Shapiro-Wilka [153].

Wyniki rozkładu normalności testu Shapiro-Wilka przedstawiono w tabeli 4.30. Tabela 4.30 Wyniki rozkładu normalności testu Shapiro-Wilka dla zmiennych jakościowych dwustanowych (czynników powodujących opóźnienie).

Zmienna		Wartość $p$	Rozkład normalny
<b>Potencjał projektanta</b>	wystąpił	0,726	Tak
	nie wystąpił	$2,03 \times 10^{-21}$	Nie
<b>Koncepcja projektowa</b>	wystąpił	0,499	Tak
	nie wystąpił	$3,15 \times 10^{-21}$	Nie
<b>Uzgodnienia projektowe</b>	wystąpił	0,625	Tak
	nie wystąpił	$2,41 \times 10^{-21}$	Nie
<b>Opracowanie dokumentacji projektowej</b>	wystąpił	0,776	Tak
	nie wystąpił	$3,17 \times 10^{-21}$	Nie
<b>Decyzje administracyjne</b>	wystąpił	$7,22 \times 10^{-21}$	Nie
	nie wystąpił	$9,10 \times 10^{-07}$	Nie
<b>Potencjał wykonawcy</b>	wystąpił	$3,34 \times 10^{-15}$	Nie
	nie wystąpił	$2,76 \times 10^{-17}$	Nie
<b>Administracja i finanse budowy</b>	wystąpił	$1,25 \times 10^{-15}$	Nie
	nie wystąpił	$9,57 \times 10^{-18}$	Nie
<b>Organizacja i technologia budowy</b>	wystąpił	$3,82 \times 10^{-18}$	Nie
	nie wystąpił	$1,06 \times 10^{-14}$	Nie
<b>Zasoby sprzętowe i materiałowe</b>	wystąpił	$1,35 \times 10^{-15}$	Nie
	nie wystąpił	$8,41 \times 10^{-12}$	Nie

Zmienna		Wartość $p$	Rozkład normalny
<i>Warunki atmosferyczne i społeczne</i>	wystąpił	$7,92 \times 10^{-18}$	Nie
	nie wystąpił	$3,73 \times 10^{-15}$	Nie

Źródło: Opracowanie własne.

Jak wynika z tabeli 4.30 w niektórych przypadkach liczebność grup jest bardzo niewielka (3-4 obiekty), co może powodować, że uzyskane wyniki nie są wiarygodne. Według literatury [153] test Shapiro-Wilka może być stosowany dla prób liczących nie mniej niż 3 obiekty, jednak w przypadku tak małej próby należy ostrożnie interpretować uzyskane wyniki. Wobec powyższego do analizy różnic pomiędzy grupami użyto testu U Manna-Whitneya. Przyjęto następujące hipotezy, które dotyczą równości średnich rang dla porównywanych grup lub są upraszczane do median:

- hipotezę zerową  $H_0: \emptyset_1 = \emptyset_2$  oraz
- hipotezę alternatywną  $H_1: \emptyset_1 \neq \emptyset_2$

gdzie:  $\emptyset_1, \emptyset_2$  to rozkłady badanej zmiennej w pierwszej i drugiej grupy

Istotność różnic pomiędzy przeciętnymi wartościami zmiennej zależnej w grupach zmiennej niezależnej ocenia się na podstawie uzyskanej z testu U Manna-Whitneya wartości  $p$ . Jeżeli [111]:

- wartość  $p < \alpha$  (zazwyczaj przyjmuje się poziom istotności  $\alpha=0,05$ ), to należy odrzucić hipotezę zerową mówiącą o równości przeciętnych poziomów czasu opóźnienia w grupach,
- wartość  $p > \alpha$ , to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej i można przyjąć, że przeciętne poziomy opóźnienia w grupach są takie same.

Wyniki testu U Manna-Whitneya dla analizowanych zmiennych przedstawiono w tabeli 4.31.

Tabela 4.31 Wyniki testu U Manna-Whitneya dla zmiennych niezależnych jakościowych dwustanowych.

Zmienna	Wartość $p$	Różnice pomiędzy grupami istotne statystycznie
<i>Potencjał projektanta</i>	0,004	Tak
<i>Koncepcja projektowa</i>	0,053	Nie
<i>Uzgodnienia projektowe</i>	0,033	Tak
<i>Opracowanie dokumentacji projektowej</i>	0,133	Nie
<i>Decyzje administracyjne</i>	0,893	Nie
<i>Potencjał wykonawcy</i>	$1,97 \times 10^{-21}$	Tak

Zmienna	Wartość <i>p</i>	Różnice pomiędzy grupami istotne statystycznie
<i>Administracja i finanse budowy</i>	$4,77 \times 10^{-19}$	Tak
<i>Organizacja i technologia budowy</i>	$4,11 \times 10^{-21}$	Tak
<i>Zasoby sprzętowe i materiałowe</i>	$2,43 \times 10^{-08}$	Tak
<i>Warunki atmosferyczne i społeczne</i>	$3,25 \times 10^{-22}$	Tak

Źródło: Opracowanie własne.

Analizując wyniki przedstawione w tabeli 4.31 można stwierdzić, że istotny wpływ na zmienną zależną jaką jest opóźnienie względne mają zmienne: *Potencjał projektanta, Uzgodnienia projektowe, Potencjał wykonawcy, Administracja i finanse budowy, Organizacja i technologia budowy, Zasoby sprzętowe i materiałowe, Warunki atmosferyczne i społeczne.*

Pozostałe zmienne: *Koncepcja projektowa, Opracowanie dokumentacji projektowej, Decyzje administracyjne* zgodnie z przeprowadzonym testem nie mają wpływu na zmienną zależną.

#### **Wybór zmiennych wejściowych do modelu**

W oparciu o przeprowadzoną analizę statystyczną do dalszego modelowania zostały wybrane w pierwszej kolejności zmienne, dla których wykazano statystyczną istotność zależności pomiędzy nimi a zmienną zależną. Należą do nich: *Potencjał projektanta, Uzgodnienia projektowe, Potencjał wykonawcy, Administracja i finanse budowy, Organizacja i technologia budowy, Zasoby sprzętowe i materiałowe, Warunki atmosferyczne i społeczne, Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe, Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki), Rodzaje podpór pośrednich obiektu, Sposób posadowienia podpór obiektu, Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statystyczny.*

Autor zdecydował także o przyjęciu trzech zmiennych, które nie zostały wskazane jako istotne statycznie. Są to zmienne: *Decyzje administracyjne, Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę, Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny.*

Zdaniem autora pracy należy je wprowadzić do modelu z uwagi na fakt, iż respondenci w badaniach wskazywali na wysoką ważność tych czynników niezależnie od systemu realizacji przedsięwzięcia. Opóźnienie w wydaniu *Decyzji administracyjnych*

niezbędnych do realizacji przedsięwzięcia lub ich termin ważności ma istotny wpływ na opóźnienia. *Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę* oraz *Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny* są czynnikami narzucającymi warunki brzegowe realizacji przedsięwzięcia. To właśnie od tych czynników zależy technologia realizacji przedsięwzięcia jak również dobór *zasobów sprzętowych, materiałowych i ludzkich*. Zmienne wybrane do modelowania zebrano w tabeli 4.32.

Tab. 4.32 Zmienne niezależne (wejściowe) do modelu.

<b>Zmienna niezależna</b>	<b>Oznaczenie zmiennej</b>
<i>Potencjał projektanta</i>	$X_1$
<i>Uzgodnienia projektowe</i>	$X_2$
<i>Potencjał wykonawcy</i>	$X_3$
<i>Administracja i finanse budowy</i>	$X_4$
<i>Organizacja i technologia budowy</i>	$X_5$
<i>Zasoby sprzętowe i materiałowe</i>	$X_6$
<i>Warunki atmosferyczne i społeczne</i>	$X_7$
<i>Decyzje administracyjne</i>	$X_8$
<i>Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe</i>	$X_9$
<i>Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe</i>	$X_{10}$
<i>Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)</i>	$X_{11}$
<i>Rodzaje podpór pośrednich obiektu</i>	$X_{12}$
<i>Sposób posadowienia podpór obiektu</i>	$X_{13}$
<i>Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę</i>	$X_{14}$
<i>Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statystyczny</i>	$X_{15}$

Źródło: Opracowanie własne.

#### 4.7 Podsumowanie rozdziału

W niniejszym rozdziale przedstawiono metodę opracowania zbioru danych, który obejmował trzy grupy, tj. charakterystyki obiektów mostowych tzw. informacje ogólne, parametry techniczne obiektów mostowych oraz informacje związane z czynnikami powodującymi opóźnienia w realizacji obiektów mostowych. Powyższy zbiór stanowił podstawę do budowy bazy danych, która jest niezbędna do budowy modeli predykcji.

Na podstawie badań własnych w efekcie pozyskano dane dotyczące 169 zakończonych inwestycji obejmujących realizacje obiektów mostowych. Pozyskane

informacje w bazie danych obejmują 120 obiektów mostowych, w których wykazano opóźnienia i zidentyfikowano ich przyczyny oraz 49 obiektów mostowych, w których nie wykazano opóźnień w ich realizacji. Zbiór danych zawierał informacje o przedsięwzięciach budowlanych obejmujących obiekty mostowe takie jak wiadukty (69%), mosty (21%) i pozostałe (10%), w tym obiekty drogowe (70%), kolejowe (14%) i pozostałe (16%). Przedsięwzięcia te były realizowane w oparciu o system „zbuduj” (92%) oraz „zaprojektuj i zbuduj” (14%).

Kolejnym krokiem było przeprowadzenie oceny statystycznej zebranego materiału badawczego, co w konsekwencji, pozwoliło na wybór ostatecznego zbioru zmiennych do modelowania. W oparciu o przeprowadzoną analizę statystyczną do dalszego modelowania zostały wybrane w pierwszej kolejności zmienne niezależne, dla których wykazano statystyczną istotność zależności pomiędzy nimi a zmienną zależną. Należą do nich: *Potencjał projektanta, Uzgodnienia projektowe, Potencjał wykonawcy, Administracja i finanse budowy, Organizacja i technologia budowy, Zasoby sprzętowe i materiałowe, Warunki atmosferyczne i społeczne, Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe, Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki), Rodzaje podpór pośrednich obiektu, Sposób posadowienia podpór obiektu, Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statystyczny.*

Ze względu na wysoką ważność, zdecydowano również o przyjęciu trzech zmiennych niezależnych, które nie zostały wskazane jako istotne statystycznie: *Decyzje administracyjne, Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę, Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny.*

Ostatecznie dokonano wyboru 15 zmiennych niezależnych do modelowania.

## 5. MODELE PREDYKCJI OPÓŹNIENÍ W REALIZACJI OBIEKTÓW MOSTOWYCH

### 5.1 Przygotowanie zmiennych w zbiorze danych

#### Kodowanie zmiennych w zbiorze danych

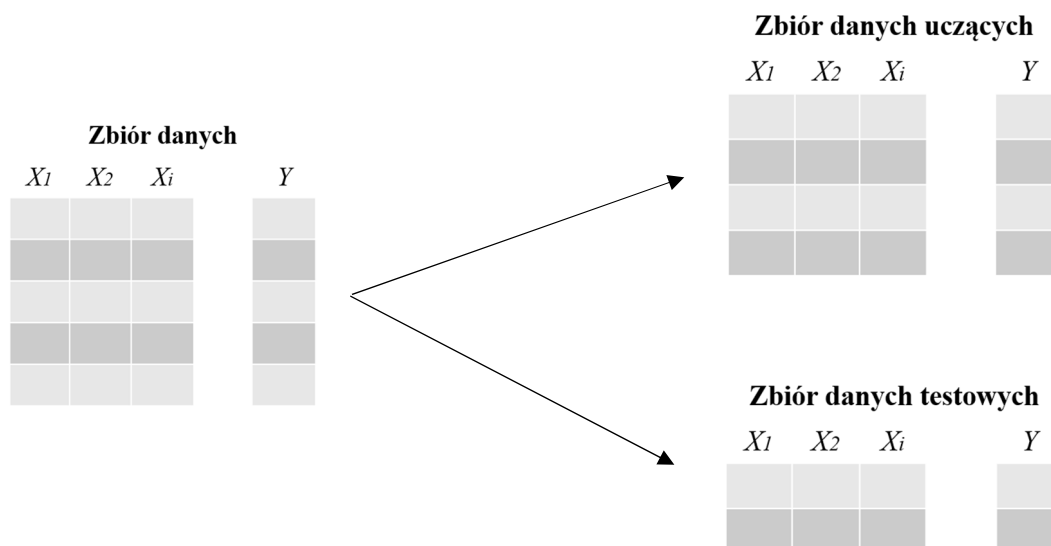
Odpowiednie przygotowanie danych do analizy musi być poprzedzone kodowaniem zmiennych nominalnych i porządkowych. Jest to ważny element przygotowania danych do analizy, gdyż ma zasadniczy wpływ na interpretację współczynników modelu. W tym celu wykorzystano bibliotekę *scikit-learn* [248], która jest jedną z najpopularniejszych bibliotek uczenia maszynowego i zapewnia dostęp do szerokiego wachlarza algorytmów do klasyfikacji, regresji, grupowania itp. W bibliotece tej dostępna jest funkcja *OrdinalEncoder* [249], która służy do zastąpienia opisowych kategorii poszczególnych zmiennych kategoriami cyfrowymi. Wobec tego, występujące w bazie danych zmienne jakościowe, których kategorie były wyrażone w postaci tekstu zostały przekodowane na wartości liczbowe przy użyciu funkcji kodowania kategoriowego *OrdinalEncoder* [249]. Przekodowanie polegało na przyporządkowaniu każdej kategorii opisowej danej zmiennej cyfry z przedziału  $[0, k-1]$ , gdzie  $k$  jest kategorią danej zmiennej. Pierwsza wartość występująca w kolumnie arkusza zawierającej rozważaną zmienną została zastąpiona liczbą 0, druga wartość liczbą 1 itd. W wyniku zastosowania funkcji *OrdinalEncoder* [249] otrzymano zbiór przekodowanych danych, który stanowi załącznik nr 10 do niniejszej pracy.

#### Podział na zbioru danych na testowy i uczący

Podczas uczenia modeli zależności od danych, aby uniknąć nadmiernego uczenia, ważne jest, aby podzielić dane na zbiór uczący i zbiór testowy. W pierwszej kolejności uczy się model na zbiorze uczącym, a następnie używa się danych ze zbioru testowego, aby ocenić dokładność powstałego modelu. Badania empiryczne pokazują, że najlepsze wyniki są uzyskiwane, jeśli wykorzystuje się 20–30% danych do testowania, a pozostałe 70–80% danych do szkolenia [76].

Podziału na zbiory dokonano za pomocą funkcji *train\_test\_split* [250] dostępnej w bibliotece *scikit-learn* [248], gdzie funkcja ta pomaga w oparciu o zbiór wszystkich danych opracować zbiór danych uczących i zbiór danych testowych.

Aby uzyskać dane do zbudowania modelu, należy zacząć od pojedynczego zbioru danych, a następnie podzielić go na dwa zbiory danych: zbiór danych uczących i zbiór danych testowych, co zostało przedstawione na przykładzie Rysunku 4.1.



Rys. 5.1 Podział zbioru danych na zbiór danych uczących i zbiór danych testowych.

Źródło: Opracowanie własne.

W celu przeprowadzenia walidacji krzyżowej cały zbiór uczący podzielono na podzbiór uczący i podzbiór walidacyjny. Rysunek 5.2 przedstawia podział zbioru uczącego na podzbiór uczący i podzbiór walidacyjny w celu przeprowadzenia 5-krotnego sprawdziany krzyżowego.

Zbiór danych uczących					
1	Podzbiór walidacyjny	Podzbiór uczący			
2	Podzbiór uczący	Podzbiór walidacyjny	Podzbiór uczący		
3	Podzbiór uczący		Podzbiór walidacyjny	Podzbiór uczący	
4	Podzbiór uczący			Podzbiór walidacyjny	Podzbiór uczący
5	Podzbiór uczący				Podzbiór walidacyjny

Rys. 5.2 Podział całego zbioru uczącego na podzbiór uczący i podzbiór walidacyjny w celu przeprowadzenia 5-krotnego sprawdziany krzyżowego. Źródło: Opracowanie własne.

Zbiór danych uczących i testowych, które zostały wykorzystane podczas uczenia i ewaluacji modeli zaprezentowano w załączniku nr 11 niniejszej pracy. Dla zobrazowania podziału zbiorów testowy oznaczono kolorem zielonym, natomiast zbiorowi uczącemu pozostawiono domyślne białe tło. Zbiór testowy zawiera 43 obiekty mostowe,



co stanowi 25 % całego zbioru danych, natomiast zbiór uczący zawiera 126 obiektów mostowych, co stanowi 74 % całego zbioru danych.

Ponieważ wszystkie wybrane zmienne wyjściowe do modelu na podstawie analizy w rozdziale trzecim niniejszej pracy są zmiennymi jakościowymi, nie przeprowadzono ich normalizacji, która jest standardowym etapem przygotowania danych ilościowych do zastosowań w modelach uczenia maszynowego.

Uczenie, walidacja, testowanie oraz ocena wszystkich modeli zostały przeprowadzone z użyciem tego samego zbioru testowego i zbioru uczącego, aby umożliwić porównanie wyników uzyskanych przez poszczególne modele.

## 5.2 Sformułowanie założeń do modelowania

Po odpowiednim przygotowaniu danych poprzez ich kodowanie oraz podział zbioru danych na zbiór uczący i zbiór testowy, kolejnym krokiem jest przyjęcie ogólnych założeń dotyczących rodzajów rozważanych modeli. Operacje, wizualizacje oraz obliczenia zostały wykonane przy pomocy biblioteki *scikit-learn* [248]. W niniejszej pracy do modelowania użyto języka programowania *Python* (v.3.9), który jest wykorzystywany m. in. do predykcyjnej analizy danych. Język programowania *Python* jest wysokopoziomowym językiem ogólnego przeznaczenia. Jego składnia została tak zbudowana aby maksymalizować czytelność kodu i być niezależna od sprzętowych i implementacyjnych detali oraz język ten może być stosowany do różnych zastosowań. Wśród cech i zalet *Pythona* należy wymienić:

- jest językiem interpretowanym, co umożliwia modyfikowanie oraz wykonywanie eksperymentowania kodu,
- wyróżnia się wysoką popularnością wśród języków programowania,
- jego działanie jest możliwe na wielu platformach sprzętowych i na różnych systemach operacyjnych,
- istnieje bardzo wiele bibliotek skryptowych, które stosują się w tym języku oprogramowania,
- cechują się rozszerzalnością przy pomocy (własnych) bibliotek/modułów,
- kod w tym języku może być łatwo wywoływany z poziomu innego języka programowania np. C/C++, co pozwala na wykorzystanie *Pythona* jako języka skryptowego dla projektów tworzonych w C/C++.

Ponadto język programowania *Python* jest wygodniejszy w uczeniu od wielu innych języków m.in. ze względu na to, że kod napisany w tym języku realizujący tą samą

funkcjonalność, przy takim samym poziomie obsługi błędów, etc. i podobnej czytelności, praktycznie jest krótszy od kodu C [169,242,245].

### **Optymalizacja parametrów modeli**

Optymalizacja hiperparametrów modeli, czyli dobór wartości parametrów, które należy ustalić podczas inicjalizacji modelu, tj. w fazie tworzenia modelu i nie ulegają modyfikacji podczas treningu (np. liczba neuronów w warstwie sieci neuronowej) została przeprowadzona przy użyciu pakietu *Optuna* [258], który jest platformą oprogramowania do automatycznej optymalizacji hiperparametrów, zaprojektowaną specjalnie do uczenia maszynowego [11].

Optymalizacji poddano następujące modele: drzewo regresyjne, model oparty o maszynę wektorów nośnych, perceptron wielowarstwowy MLP oraz sieć radialną RBF.

Proces doboru wartości hiperparametrów przebiegał w następujący sposób:

- zdefiniowano przestrzeń poszukiwań, czyli dla każdego hiperparametru określono przedział wartości, w którym poszukiwana była wartość dająca najlepsze rezultaty.
- określono kierunek zmian – zdecydowano się zastosować optymalizację wielokryterialną, czyli taką, w której zdefiniowana jest więcej niż jedna miara jakości modelu:
  - jako pierwszą miarę jakości modelu stosowaną podczas oceny modeli zdecydowano zastosować się błąd średniokwadratowy MSE ze względu na to, że rozważane było zagadnienie regresji, a wartości zmiennej zależnej przyjmują również wartości większe od 1. Ponieważ miarą jakości modelu był popelniany przez model błąd MSE, najlepszym modelem był ten, który pozwolił na uzyskanie najmniejszej wartości tego błędu.
  - błąd średniokwadratowy (MSE):

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (y^{(i)} - y_{pred}^{(i)})^2}{N} \quad (5.1)$$

Dla wartości zmiennej zależnej mniejszych od 1, wartości MSE są mniejsze niż wartości średniego błędu absolutnego MAE. Dla wartości zmiennej zależnej większych od 1 zależność jest odwrotna. Dlatego lepszą miarą jakości predykcji dla stosunkowo niewielkich wartości jest MAE, a dla większych od jeden MSE.

- średni błąd absolutny (MAE):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |y^{(i)} - y_{pred}^{(i)}|}{N} \quad (5.2)$$

Ponieważ analizowana zmienna zależna przyjmuje zarówno wartości mniejsze, jak i większe od 1 zdecydowano się przedstawić wartości obu błędów. Za bardziej istotne uznano jednak wartości MAE, ponieważ w zbiorze testowym znalazły się wyłącznie obiekty o wartości opóźnienia względnego  $< 1$ .

- o drugą wybraną miarą jakości modelu jest współczynnik determinacji określający stopień zgodności predykcji modelu z wartościami rzeczywistymi.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y^{(i)} - y_{pred}^{(i)})^2}{\sum_{i=1}^N (y^{(i)} - \bar{y})^2} \quad (5.3)$$

gdzie:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y^{(i)} \quad (5.4)$$

-  $N$  oznacza liczbę obserwacji,

-  $y^{(i)}$  oznacza wartość rzeczywistą  $i$ -tej obserwacji,

-  $y_{pred}^{(i)}$  oznacza wartość prognozowaną  $i$ -tej obserwacji.

- optymalizacja prowadzona była tylko z użyciem zbioru uczącego – zbiór testowy wykorzystano jedynie do oceny jakości działania już zoptymalizowanego modelu,
- proces optymalizacji był prowadzony z wykorzystaniem pięciokrotnego sprawdzianu krzyżowego,
- zbiór uczący, na którym prowadzono optymalizację został podzielony na pięć podzbiorów,
- dla danego zestawu wartości hiperparametrów testowanie modelu było prowadzone pięciokrotnie – za każdym razem inny podzbiór był traktowany jako podzbiór walidacyjny (czyli służący do oceny działania modelu – dla niego wyznaczano popełniany błąd MSE), a pozostałe cztery podzbiory wykorzystano do uczenia,

- po przeprowadzeniu pięciokrotnego testowania modelu uzyskiwane wartości MSE na podzbiorach walidacyjnych uśredniono, traktując to jako zbiorczą ocenę działania modelu o danym zestawie wartości hiperparametrów.
- pięciokrotne testowanie modelu jest prowadzone w sposób losowy.

### **Założenia modelowania – regresja wieloraka**

Metoda regresji to jedna z metod statystycznych, która służy do modelowania związków między dwiema lub więcej zmiennymi. Celem tej metody jest ilościowe ujęcie związków pomiędzy wieloma zmiennymi niezależnymi  $X$  a zmienną zależną  $Y$ . Regresja pozwala na badanie związku pomiędzy wielkościami danych i przewidywanie na tej podstawie nieznanymi wartościami jednych wielkości na podstawie znanych wartości innych. Regresja, w której występuje więcej niż jedna zmienna objaśniająca, zwana jest regresją wieloraką.

Zastosowanie metody regresji sprowadza się do dwóch etapów [115]:

- konstruowanie modelu regresyjnego, czyli funkcji opisującej, jak zależy wartość oczekiwana zmiennej objaśnianej od zmiennych objaśniających. Model konstruuje się tak, aby jak najlepiej pasował do danych z próby.
- użycie wyliczonego modelu do danych, w których znamy tylko zmienne objaśniające, w celu wyznaczenia wartości oczekiwanej zmiennej objaśnianej.

Innymi słowy regresja wieloraka „polega na zastosowaniu wielu zmiennych objaśniających do przewidywania wartości zmiennej objaśnianej” [6].

Model regresji wielorakiej wyraża się wzorem:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_iX_i + \varepsilon \quad (5.4)$$

gdzie:

$Y$  - oznacza zmienną zależną,

$a_0$  - oznacza wyraz wolny,

$a_i$  - oznacza współczynnik regresji  $k$ -tej zmiennej niezależnej,

$X_i$  - oznacza  $k$ -tą zmienną niezależną,

$\varepsilon$  - oznacza składnik losowy modelu (błąd).

Należy zwrócić uwagę, że w równaniu (5.4) współczynniki regresji (współczynniki  $a_i$ ) reprezentują *niezależne* wkłady każdej ze zmiennych niezależnych do predykcji zmiennej zależnej. Innym sposobem wyrażenia tego faktu jest następujące sformułowanie: zmienna  $X_i$  jest skorelowana ze zmienną  $Y$  po uwzględnieniu wpływu

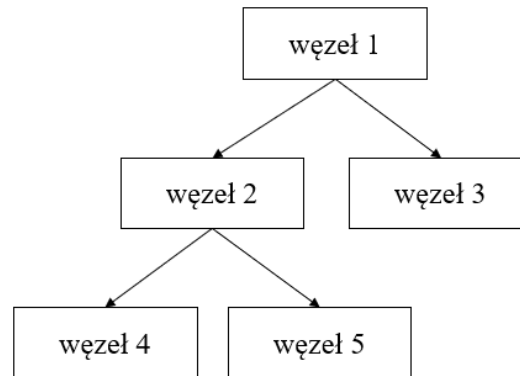
wszystkich pozostałych zmiennych niezależnych. Taki rodzaj korelacji nazywamy korelacją cząstkową [90].

Predykcja z wykorzystaniem regresji wielorakiej znajduje szerokie zastosowanie, również w zakresie zagadnień inżynierii procesów budowlanych. W kolejnych rozdziałach niniejszej pracy zostanie zaprezentowany model statystyczny predykcji opóźnień obiektów mostowych oparty na analizie regresji wielorakiej. Metoda sztucznych sieci neuronowych.

### **Założenia modelowania – drzewa regresyjne**

Drzewa regresyjne wykorzystuje się do wyznaczania wartości zmiennej zależnej na podstawie pomiarów jednej lub więcej zmiennych objaśniających (predyktorów). Zastosowanie tej metody było zapoczątkowane w latach 60. XX wieku, nie mniej metoda ta stała się popularna 1984 r. dzięki L. Bremanowi [44] Drzewo regresyjne można przedstawić w postaci graficznej obrazującej kryteria decyzyjne grupujące obiekty w skupienia jak najbardziej jednolite pod względem wartości opisujących je predyktorów. Analiza wykorzystująca algorytm budowy drzew polega na znalezieniu zbioru logicznych warunków podziału oraz znalezieniu relacji pomiędzy predyktorami a zmienną zależną, co w konsekwencji prowadzi do uzyskania wyników przewidywania [190]. Zaletą stosowania drzew regresyjnych jest relatywnie prosta interpretacja wyników oraz dobre rezultaty predykcji. Ich główną zaletą jest interpretowalność: drzewo regresyjne można przedstawić w postaci graficznej obrazującej kryteria decyzyjne grupujące obiekty w skupienia jak najbardziej jednolite pod względem wartości opisujących je predyktorów. Pogrupowanie obiektów w ten sposób umożliwia uzyskanie prognoz obarczonych możliwie małym błędem predykcji. Wartością prognozowaną zwracaną przez drzewo jest średnia wartość zmiennej zależnej wyznaczona dla obiektów znajdujących się w zbiorze uczącym, które znajdują się w skupieniu najbardziej podobnym do obiektu, dla którego wyznaczana jest prognoza. Ponadto drzewa regresyjne cechują się dużą odpornością na obserwacje odstające (czyli takie, które w znacznym stopniu odbiegają od innych obserwacji występujących w zbiorze danych, np. cechują się bardzo dużą lub bardzo małą wartością jednego z predyktorów w porównaniu do pozostałych obiektów). Obserwacje odstające umieszczane są w osobnym węźle drzewa, dzięki czemu wartość średnia wyznaczana dla poszczególnych węzłów nie ulega znacznemu zaniżeniu lub zawyżeniu (co miałyby miejsce w sytuacji, gdyby obserwacje odstające trafiły do tego samego węzła, co obserwacje typowe).

Do wad drzew regresyjnych można zaliczyć stosunkowo niewielką jakość prognoz w sytuacji, gdy obiekty przynależące do danego skupienia (przyjmujące podobne wartości predyktorów) są zróżnicowane pod względem wartości zmiennej zależnej. Uzyskiwane wówczas prognozy mogą znacząco różnić się od wartości rzeczywistych, co czyni model mało przydatnym.



Rys. 5.3 Przykład drzewa regresyjnego. Źródło: Opracowanie własne.

### **Założenia modelowania – model w oparciu o maszyny wektorów nośnych**

Maszyny wektorów nośnych to zestaw nadzorowanych metod uczenia używanych do klasyfikacji, regresji i wykrywania wartości odstających.

Zalety maszyn wektorów nośnych to:

- skuteczny w przestrzeniach wielowymiarowych,
- nadal skuteczne w przypadkach, gdy liczba wymiarów jest większa niż liczba próbek,
- wykorzystuje podzbiór punktów treningowych w funkcji decyzyjnej (nazywanych wektorami wsparcia), więc jest również wydajny pod względem pamięci,
- wszechstronność: dla funkcji decyzyjnej można określić różne funkcje jądra. Dostępne są wspólne jądra, ale możliwe jest również określenie jąder niestandardowych.

Wady maszyn wektorów nośnych obejmują:

- jeśli liczba cech jest znacznie większa niż liczba próbek, unikaj nadmiernego dopasowania przy wyborze funkcji jądra, a termin regularyzacji ma kluczowe znaczenie,

- maszyny wektorów nośnych nie dostarczają bezpośrednio oszacowań prawdopodobieństwa, są one obliczane przy użyciu kosztownej pięciokrotnej walidacji krzyżowej.

Maszyna wektorów nośnych często daje dobre rezultaty w sytuacji, gdy modele o jądrach liniowych (dające się opisać modelem matematycznym bazującym na kombinacji liniowej predyktorów) nie sprawdzają się. Maszyny wektorów nośnych rzutuje obiekty na płaszczyznę o  $N+1$  wymiarach (gdzie  $N$  to liczba zmiennych opisujących obiekt), co może doprowadzić do zaobserwowania zależności, które nie są widoczne w przestrzeni  $N$  wymiarowej. Ze względu na opisywane w literaturze rozwiązania bazujące na SVM dające satysfakcjonujące rezultaty w wielu dziedzinach, np. diagnostyce medycznej, przetwarzaniu obrazów, bioinformatyce czy analizie dynamicznych procesów chaotycznych stwierdzono, że warto podjąć próbę zastosowania tej metody do rozwiązania problemu predykcji opóźnienia [42,116,206].

### **Założenia modelowania – sztuczne sieci neuronowe**

Sposób działania sztucznych sieci neuronowych wzorowany jest na działaniu ludzkiego systemu nerwowego i mózgu, w którym to wiele komórek nerwowych tworzy sieć. Niemniej należy zwrócić uwagę, że sztuczne sieci neuronowe stanowią bardzo uproszczony model w porównaniu do sieci komórek nerwowych w ludzkim mózgu. Sztuczna sieć neuronowa to wiele połączonych ze sobą sztucznych neuronów. Modele sztucznych neuronów można postrzegać jako modele matematyczne realizujące obliczenia lub przetwarzają sygnały. Pierwszy model sieci neuronowej zbudowany w oparciu o biologiczny model neuronu został zaproponowany przez W. McCullacha i W. Pittsa w 1943 roku [198].

Przedmiot sztucznych sieci neuronowych jest szeroko opisany w literaturze krajowej i zagranicznej [39,89,114,166,167,168,179,196,197], gdzie prezentowano ich główne zastosowania do których należą: predykcja, aproksymacja, sterowanie, asocjacja, klasyfikacja i rozpoznawanie wzorców, kojarzenie danych, analiza danych filtracja sygnałów czy optymalizacja. Mając na uwadze powyższe, warto podkreślić, że sztuczne sieci neuronowe mają szerokie spektrum zastosowania do rozwiązywania konkretnych problemów.

Modele sieci neuronowych różnią się zarówno rodzajem neuronów, z których są zbudowane jak i topologią (układem) połączeń międzyneuralnych oraz sposobem przesyłania sygnałów w obrębie sieci. Istnieje bardzo wiele rodzajów sieci neuronowych jednak do podstawowych należą [114,166,197]:

- sieci jednokierunkowe jedno lub wielowarstwowe - sieci te składają się z neuronów ułożonych w warstwach o jednym kierunku przepływu sygnałów i połączeniach międzywarstwowych jedynie między kolejnymi warstwami. Sieć tego typu posiada warstwę wejściową, wyjściową i warstwy ukryte.
- sieci rekurecyjne – w tych sieciach występuje przynajmniej jedno sprzężenie zwrotne. Oznacza to, że sygnały wyjściowe warstwy podawane są na jej wejścia, co powoduje pewną dynamikę w pracy sieci. Sygnały wejściowe w takiej sieci zależą zarówno od aktualnego stanu wejścia jak i od sygnałów wyjściowych w poprzednim cyklu.
- sieci komórkowe - w tych sieciach sprzężenia wzajemne między elementami przetwarzającymi dotyczą jedynie najbliższego sąsiedztwa. Połączenia te są w ogólności nieliniowe i opisane poprzez układ równań różniczkowych. Podstawową trudność w stosowaniu tego typu sieci stanowi opracowanie skutecznej, efektywnej i uniwersalnej metody projektowania.

Wyróżnia się również podział sieci neuronowych ze względu na sposób realizacji procesu uczenia [89,167,197]

- sieci nadzorowane zwane również „uczeniem z nauczycielem”, które polega na porównaniu sygnału wyjściowego sieci ze znanymi prawidłowymi odpowiedziami,
- uczenie bez nadzoru, zwane również „uczeniem bez nauczyciela”, które polega na tym, że sieć, na podstawie zależności w podawanych danych wejściowych, musi stworzyć własne kategorie w celu właściwego rozpoznawania sygnałów wejściowych.

Sieci neuronowe znajdują zastosowania w: diagnostyce medycznej, rozpoznawaniu obrazów, mowy i pisma, kompresji danych, prognozowaniu oraz modelowaniu różnych zjawisk i procesów, ale również w zagadnieniach z zakresu inżynierii procesów budowlanych.

W niniejszej pracy wybrano perceptron wielowarstwowy (MLP) oraz radialną sieć neuronową RBF, a założenia do modelowania w oparciu o powyższe sieci neuronowe przedstawiono poniżej.



## Perceptron wielowarstwowy (MLP)

Perceptron wielowarstwowy (MLP), czyli wielowarstwowa sieć neuronowa to taka sieć, w której połączone jest kilka warstw neuronów. Łączone są one w taki sposób, że neurony danej warstwy połączone są z neuronami warstwy poprzedniej (nie ma sprzężeń zwrotnych ani „przeskakiwania” warstw w taki sposób, że np. neurony z warstwy pierwszej łączą się bezpośrednio z neuronami warstwy trzeciej). Już trzy warstwy - wejściowa, ukryta i wyjściowa – pozwalają na uzyskanie charakterystyki na wyjściu sieci, dlatego w podstawowej wersji MLP składa się właśnie z trzech części: warstwy wejściowej, ukrytej i wyjściowej .

Dla każdej warstwy ukrytej należy określić tzw. funkcję aktywacji, która określa wartość wyjściową z danej warstwy. Musi być to funkcja monotoniczna, różniczkowalna w całej dziedzinie i nie powinna być to funkcja skokowa. Do najpopularniejszych funkcji aktywacji, które mogą zostać zastosowane w sieci neuronowej zaliczają się następujące funkcje [196,199]:

- liniowej:

$$h(x) = x \quad (5.5)$$

Przez  $h(x)$  oznaczmy wyjście perceptronu spowodowane podaniem na wejście wektora argumentów  $x$ .

- sigmoid:

$$h(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (5.6)$$

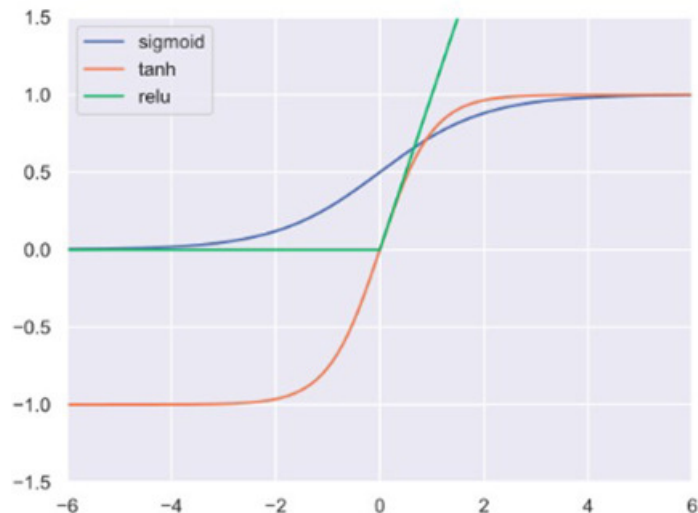
- tanh:

$$h(x) = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1 \quad (5.7)$$

- ReLu:

$$h(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ x, & x \geq 0 \end{cases} \quad (5.8)$$

Na rysunku 5.4 zaprezentowano wykresy funkcji aktywacji sigmoid, tanh oraz ReLu



Rys. 5.4 Wykresy funkcji aktywacji sigmoid, tanh oraz ReLu. Źródło: [199]

Problemem może być dobranie zbyt dużych wartości wag w połączeniach neuronów. Prowadzi to do pogorszenia zdolności generalizacyjnych sieci oraz „faworyzowania” wybranych wejść ze szczególnie dużymi wagami, co oznacza przeuczenie sieci (nadmierne dopasowanie do danych uczących) i niewielką przydatność uzyskanego modelu. Jedną z metod radzenia sobie z problemem zbyt dużych wag jest regularyzacja, która ma na celu „zmuszenie” algorytmu optymalizującego wagi modelu do preferowania wartości niewielkich [196].

Jedną z najczęściej stosowanych metod regularyzacji jest tzw. regularyzacja L2 (regularyzacja Tichonowa) [80]. Polega ona na wprowadzeniu do funkcji kosztu (wykorzystywanej podczas treningu i optymalizacji do oceny aktualnego zestawu parametrów modelu, np. MAE lub MSE) dodatkowego parametru oznaczającego karę nakładaną na model, gdy dobrane wartości wag są zbyt duże.

$$\hat{E}(w) = E(w) + \frac{1}{2} \alpha \sum_{j=1}^n w_j^2 \quad (5.9)$$

gdzie:

$\alpha$  - jest parametrem regularyzacji decydującym o jej sile,

$E(w_j)$  - oznacza funkcję kosztu bez regularyzacji,

$\hat{E}(w_j)$  - oznacza funkcję kosztu po uwzględnieniu regularyzacji, w oznacza wagę.

### **Radialna sieć neuronowa (RBF)**

Radialna sieć neuronowa jest rodzajem sieci, w której zamiast „standardowych” neuronów o funkcjach aktywacji opisanych powyżej występują neurony radialne rozmieszczone w przestrzeni danych na podstawie lokalnej gęstości rozmieszczenia

obiektów należących do zbioru danych. Sieć RBF składa się typowo z trzech warstw: wejściowej, ukrytej (zbudowanej z neuronów radialnych) oraz wyjściowej. Jest to sieć jednokierunkowa, czyli przepływ danych zawsze przebiega od warstwy wejściowej, poprzez ukrytą, do wyjściowej (najczęściej złożonej z jednego neuronu o liniowej funkcji aktywacji). W przypadku występowania większej liczby warstw ukrytych nie występują pomiędzy nimi sprzężenia zwrotne [29].

Każdy z neuronów radialnych wchodzących w skład sieci RBF posiada swoje centrum – taki neuron odpowiada pojedynczemu skupieniu obiektów wydzielonemu na podstawie wartości predyktorów opisujących obiekty. Neuron radialny realizuje funkcję (zwaną jądrem) zmieniającą się radialnie wokół centrum – stąd jego nazwa. Najczęściej wykorzystywaną funkcją radialną jest funkcja Gaussa o parametrze sigma (zwanym czasem parametrem beta) określającym szerokość jądra. Przyporządkowanie obiektów uczących do skupień odpowiadających poszczególnym neuronom radialnym dokonywane jest na podstawie ich odległości od centrów neuronów – w tym celu wykorzystuje się metody klasteryzacji, najczęściej metodę k-średnich [88].

Metoda k-średnich polega na tym, że wśród analizowanych obiektów uczących wybierana jest losowa określona liczba obiektów (w przypadku sieci RBF odpowiadająca liczbie neuronów radialnych). Obiekty te stanowią początkowe centra skupień. Następnie obliczana jest odległość pomiędzy wszystkimi obiektami oraz centrami poszczególnych skupień. Obiekt przyporządkowywany jest do tego skupienia, którego centrum leży najbliżej. Dla utworzonych w ten sposób skupień obliczane są środki ciężkości (średnie arytmetyczne wartości predyktorów), które stanowią nowe centrum skupienia. W dalszych krokach powtarzane są obie procedury, tj. liczona jest odległość obiektów od nowych centrów, a następnie wyznaczane są ich środki ciężkości. Algorytm kończy się w momencie znalezienia najlepszego podziału (wtedy, gdy środek ciężkości przestaje ulegać zmianie w kolejnych iteracjach) lub po przeprowadzeniu zdefiniowanej liczby powtórzeń [141].

Predykcja przy użyciu sieci RBF polega na tym, że pobudzeniu ulega ten neuron, który odpowiada skupieniu obiektów uczących najbardziej podobnych do aktualnie rozważanego obiektu pod względem wartości predyktorów. Pobudzenia neuronów radialnych sumowane są w wyjściowym neuronie liniowym i na tej podstawie wyznaczana jest wartość prognozowana zmiennej zależnej.

Sieć RBF z definicji służy do aproksymacji funkcji opisującej zjawisko, jest więc dobrym wyborem w przypadku rozwiązywania problemu regresji, w którym chcemy przewidzieć

wartość zmiennej zależnej będącej zmienną ilościową, a nie jakościową (jak ma to miejsce w przypadku klasyfikacji).

### 5.3 Wyniki modelowania i ocena modeli

#### Model regresji wielorakiej

Model regresji wielorakiej służący do predykcji wartości zmiennej zależnej na podstawie wybranych 15 predyktorów został zbudowany przy użyciu funkcji *LinearRegression* [251] dostępnej w bibliotece *scikit-learn* [248], która to funkcja dopasowuje model liniowy, aby zminimalizować resztkową sumę kwadratów między obserwowanymi wartościami docelowymi w zbiorze danych a wartościami docelowymi przewidywanymi przez przybliżenie liniowe. Metoda ta ma na celu wyznaczenie linii regresji, linii trendu dla zebranych danych. W tym przypadku nie stosowano walidacji krzyżowej.

Uzyskany model można opisać wzorem przedstawionym poniżej:

$$\begin{aligned} Y = & 0,87947083 \times X_1 + 0,17357033 \times X_2 + 0,09800201 \times X_3 + 0,12489346 \times \\ & X_4 - 0,36010279 \times X_5 + 0,18927234 \times X_6 + 0,47816636 \times X_7 + 0,265237 \times X_8 + \\ & 0,13913352 \times X_9 + 0,10720143 \times X_{10} - 0,14640762 \times X_{11} - 0,05183806 \times \\ & X_{12} + 0,28806272 \times X_{13} + 0,03866911 \times X_{14} - 0,00259351 \times X_{15} - \\ & 0,21209795723237745 \end{aligned} \quad (5.10)$$

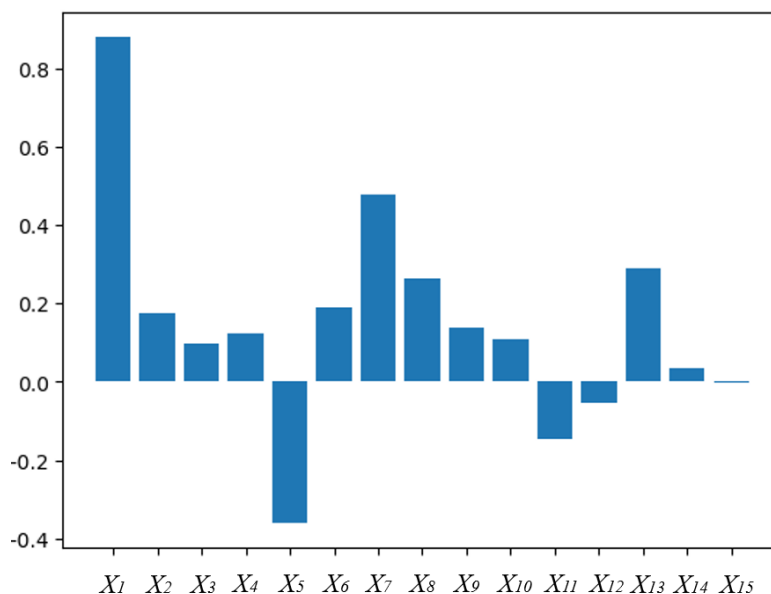
gdzie:

$Y$  – zmienna zależna wyjściowa modelu, jaką jest opóźnienie względne

$X_1 - X_{15}$  – zmienne niezależne wejściowe do modelu zgodnie z rozdziałem trzecim

Na podstawie wartości współczynników regresji można przeprowadzić analizę ważności zmiennych niezależnych i określić, które z nich miały największy wpływ na wyniki predykcji. Im większa wartość współczynnika przy danej zmiennej niezależnej  $X_i$ , tym bardziej znaczący jest jej wpływ na wynik prowadzonej predykcji, tj. wartość zmiennej zależnej  $Y$ , tj. wartość opóźnienia względnego. Znak „-” zmniejsza, natomiast znak „+” zwiększa wartość opóźnienia względnego.

Na rysunku 5.5 zaprezentowano wykres przedstawiający wpływ poszczególnych zmiennych niezależnych na wyniki predykcji dla modelu regresji wielorakiej.



Rys. 5.5 Wpływ poszczególnych zmiennych niezależnych  $X_i$  na wyniki zmiennej zależnej  $Y$ , tj. opóźnienia względnego dla modelu drzew regresyjnych. Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie powyższego wykresu stwierdzono, że największy wpływ na wyniki miały cztery zmienne:  $X_1$  – *Potencjał projektanta*,  $X_5$  – *Organizacja i technologia budowy*,  $X_7$  – *Warunki atmosferyczne i społeczne oraz Sposób posadowienia podpór obiektu*.

Najmniej ważne okazały się zmienne:  $X_{15}$  – *Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny*,  $X_{12}$  – *Rodzaje podpór pośrednich obiektu* oraz  $X_{14}$  – *Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę*. Warto zauważyć, że analiza jednoczynnikowa wskazała na brak istotnych różnic pomiędzy wartościami przeciętnymi zmiennej zależnej w grupach w przypadku dwóch z tych zmiennych i zostały one uwzględnione w analizie na podstawie przesłanek merytorycznych.

Model przewiduje wartość opóźnienia względnego. Znak „-” przy wartościach współczynników regresji zmniejsza wartość opóźnienia względnego, natomiast znak „+” zwiększa.

Poniżej w tabeli 5.1 zaprezentowano uzyskane wyniki dla zbioru uczącego i testowego dla modelu regresji wielorakiej.

Tabela 5.1 Wartości miar jakości modelu dla zbioru uczącego i zbioru testowego dla modelu regresji wielorakiej.

Miara jakości modelu	Wartość dla zbioru uczącego	Wartość dla zbioru testowego
<b>Błąd średniokwadratowy (MSE)</b>	0,1608	0,0585
<b>Średni błąd absolutny (MAE)</b>	0,2323	0,1977
<b>Współczynnik determinacji (<math>R^2</math>)</b>	0,4569	-0,3793

Źródło: Opracowanie własne.

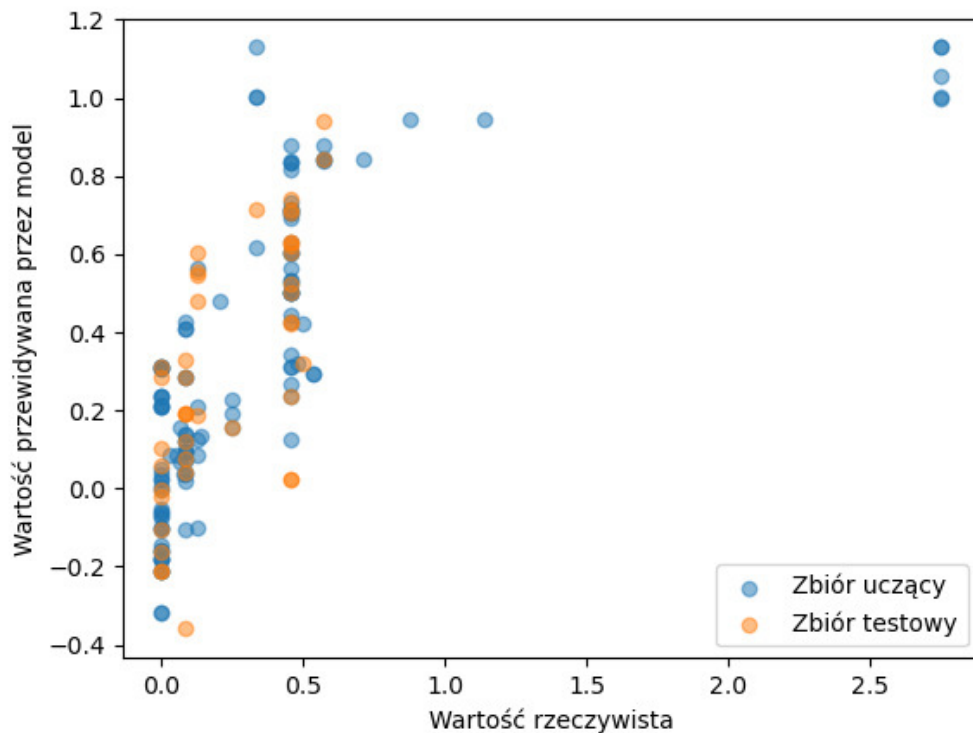
Uzyskane wartości MAE można interpretować w następujący sposób: przewidując czas opóźnienia z użyciem modelu regresji wielorakiej popełniamy średni błąd wynoszący 0,2341 w przypadku zbioru uczącego oraz 0,2095 w przypadku zbioru testowego. Wartość tego błędu nie wskazuje na kierunek różnic, tzn. nie można określić, czy wartość przewidywana jest o 0,2095 mniejsza czy większa od wartości rzeczywistej. Co więcej należy zauważyć, że jest to wartość stosunkowo duża, ponieważ w przypadku większości analizowanych obiektów opóźnienie było mniejsze od 1.

Wartości obu błędów uzyskane dla zbioru uczącego są większe, niż dla zbioru testowego – wskazuje to na to, że w zbiorze testowym znalazły się obiekty, dla których łatwiejsze jest przeprowadzenie predykcji. Może to mieć związek z faktem, że w zbiorze uczącym znajdują się obiekty, dla których wartość opóźnienia względnego przekracza 1, podczas gdy w zbiorze testowym znajdują się wyłącznie obiekty o opóźnieniu względnym  $< 1$ . Poprawna predykcja wartości z zakresu, który nie został pokryty przez zbiór testowy może więc być trudniejsza (a przynajmniej tak sugerują wyniki). Przeciwna sytuacja, czyli mniejsze wartości błędów uzyskane dla zbioru uczącego świadczyłyby o przeuczeniu modelu (nadmiernym dopasowaniu do danych uczących). Niewielkie przeuczenie jest zjawiskiem normalnym, zwłaszcza w przypadku niewielkich zbiorów danych, jednak duża rozbieżność pomiędzy wynikami uzyskanymi dla zbioru uczącego i testowego (na niekorzyść testowego) świadczą o słabych zdolnościach generalizacyjnych modelu i jego braku zdolności uogólnienia wzorców zaobserwowanych w danych uczących na inne, nieznanne obiekty.

W przypadku współczynnika determinacji obserwuje się, że wartość uzyskana dla zbioru uczącego wskazuje na niezbyt dobre dopasowanie modelu, natomiast ujemna wartość uzyskana na zbiorze testowym wskazuje na bardzo duże rozbieżności pomiędzy

wartościami rzeczywistymi i przewidywanymi opóźnienia względnego dla obiektów testowych. Różnica w znakach wskazuje ponadto na bardzo słabe zdolności generalizacyjne modelu.

Na poniższym rysunku 5.6 zaprezentowano wykres rozrzutu na którym przedstawiono wartości rzeczywiste zmiennej zależnej oraz odpowiadające im wartości przewidywane przez model – każdy punkt odpowiada współrzędnym wyznaczanym przez wartości rzeczywiste i przewidywane przez model dla danego obiektu.



Rys. 5.6 Wykres rozrzutu przedstawiający wartości rzeczywiste zmiennej zależnej oraz odpowiadające im wartości przewidywane przez model regresji wielorakiej. Źródło:

Opracowanie własne.

Z powyższego wykresu wynika, że predykcje modelu nie są satysfakcjonujące. Stosunkowo dużo predykcji ma wartość ujemną, co nie jest poprawne – w zbiorze danych występują wartości wyłącznie  $\geq 0$ . Dla tej samej wartości rzeczywistej występuje wiele różnych wartości przewidywanych (i ich rozrzut jest duży), np. dla wartości rzeczywistej 0 występują wartości przewidywane wynoszące od ok. -0,3 do +0,35. Oznacza to dużą wariancję wartości przewidywanych przez model, czyli małą wiarygodność zwracanych przez niego predykcji. Największe uzyskane wartości predykcji wynoszą ok. 1,25, podczas gdy największa wartość rzeczywista wynosi ponad 2,5.

## Model – drzewa regresyjne

Model drzewa regresyjnego został zbudowany przy użyciu funkcji *DecisionTreeRegressor* [252], dostępnej w bibliotece *scikit-learn* [248], która to funkcja jest zdolna do przeprowadzenia klasyfikacji wielorakiej na zbiorze danych. Funkcja *DecisionTreeClassifier* [253] przyjmuje jako dane wejściowe dwie tablice: tablicę X, rzadką lub gęstą, o kształcie przechowującą próbki uczące oraz tablicę Y o wartościach całkowitych, przechowującą etykiety klas dla próbek uczących.

Optymalizacji poddano następujące hiperparametry:

- *minimalna liczba obiektów w węźle*, przy której może on zostać podzielony na mniejsze podzbiory, przestrzeń poszukiwań: [2, 10]
- *maksymalna głębokość drzewa* (liczba poziomów podziału), przestrzeń poszukiwań: [1, 50]

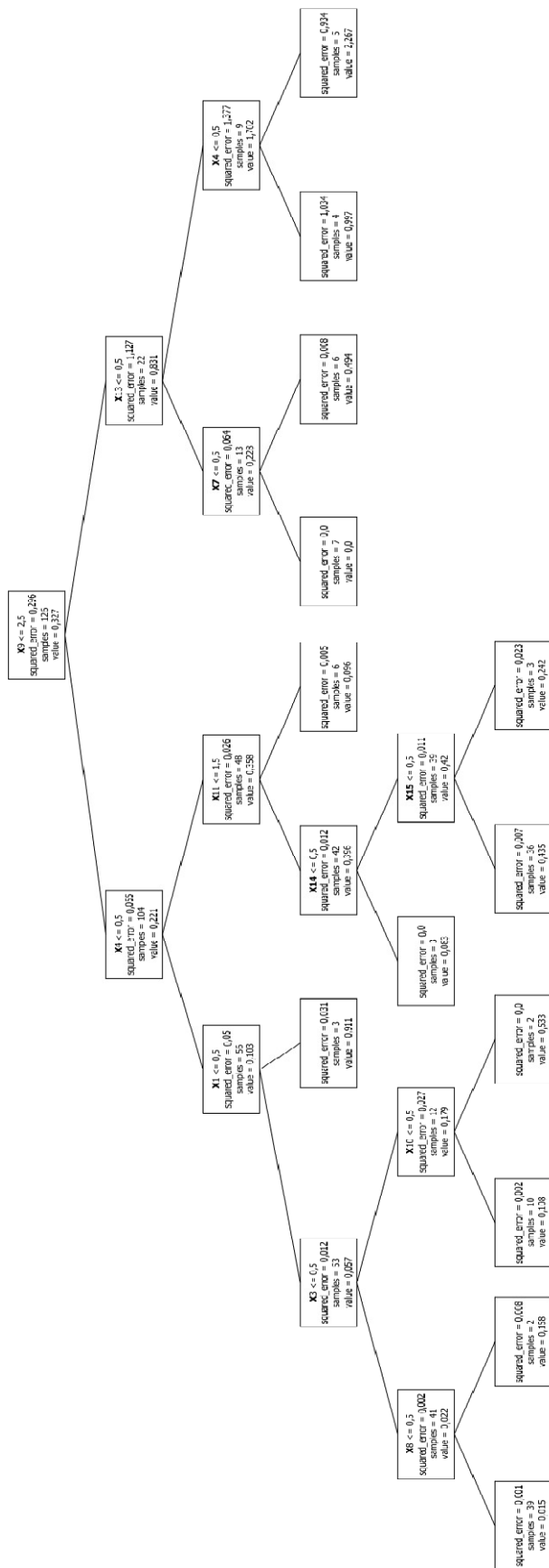
Wartości dobrane podczas optymalizacji:

*Minimalna liczba obiektów w węźle wynosi: 8*

*Maksymalna głębokość drzewa wynosi: 5*

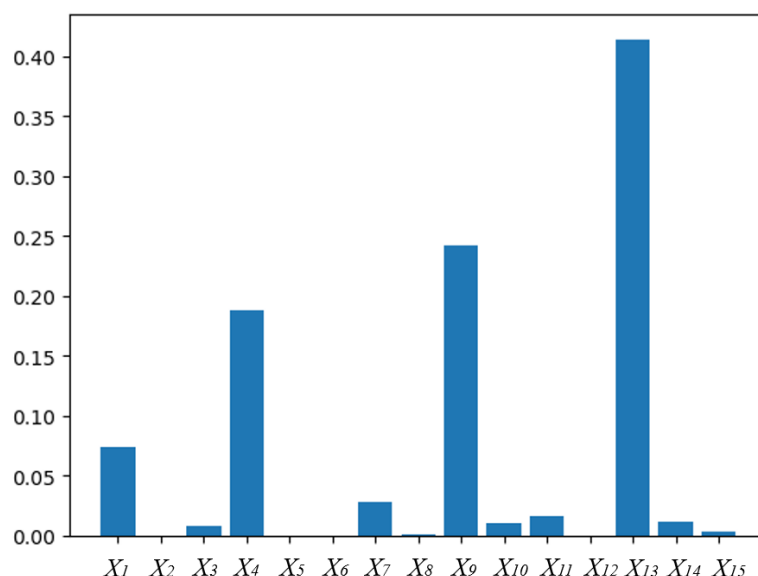
Na rysunku 4.7 zaprezentowano drzewo regresyjne dla modelu drzewa regresyjnego uwzględniającego wszystkie zmienne  $X_1 - X_{15}$





Rys. 5.7 Drzewo regresyjne dla modelu drzewa regresyjnego uwzględniającego wszystkie zmienne  $X_1 - X_{15}$ . Źródło: Opracowanie własne.

Na rysunku 5.8 zaprezentowano wykres przedstawiający wpływ poszczególnych zmiennych niezależnych  $X_i$  na wyniki zmiennej zależnej  $Y$ , tj. opóźnienia względnego dla modelu drzew regresyjnych.



Rys. 5.8 Wpływ poszczególnych zmiennych niezależnych  $X_i$  na wyniki zmiennej zależnej  $Y$ , tj. opóźnienia względnego dla modelu drzew regresyjnych, Źródło:

Opracowanie własne.

Na podstawie ważności cech można stwierdzić, że wpływ na wyniki prognozy mają przede wszystkim cztery zmienne:  $X_1$  – *Potencjał projektanta*,  $X_4$  – *Administracja i finanse budowy*,  $X_9$  – *Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe* oraz  $X_{13}$  – *Sposób posadowienia podpór obiektu*. Wpływ pozostałych zmiennych jest znikomy.

W tabeli 5.2 zaprezentowano wyniki sprawdzianu krzyżowego dla modelu drzewa regresyjnego uwzględniającego wszystkie zmienne niezależne  $X_1 - X_{15}$ .

Tabela 5.2 Wartości miar jakości modelu w wyniku sprawdzianu krzyżowego dla modelu drzewa regresyjnego uwzględniającego wszystkie zmienne niezależne  $X_1 - X_{15}$ .

Miary jakości modelu	Wartości dla zbioru uczącego: podzbiory uczące	Wartości dla zbioru uczącego: podzbiory walidacyjne	Wartości dla zbioru testowego
<b>Błąd średniokwadratowy (MSE)</b>	<b>0,0711</b> ( $\pm 0,0338$ )	<b>0,2142</b> ( $\pm 0,1645$ )	<b>0,0093</b>
<b>Średni błąd absolutny (MAE)</b>	<b>0,0943</b> ( $\pm 0,0316$ )	<b>0,1711</b> ( $\pm 0,0743$ )	<b>0,0539</b>
<b>Współczynnik determinacji (<math>R^2</math>)</b>	<b>0,7549</b> ( $\pm 0,1346$ )	<b>-0,5313</b> ( $\pm 1,8076$ )	<b>0,7819</b>

Źródło: Opracowanie własne.

Przedstawione w tabeli 5.2 wartości należy interpretować w poniższy sposób.

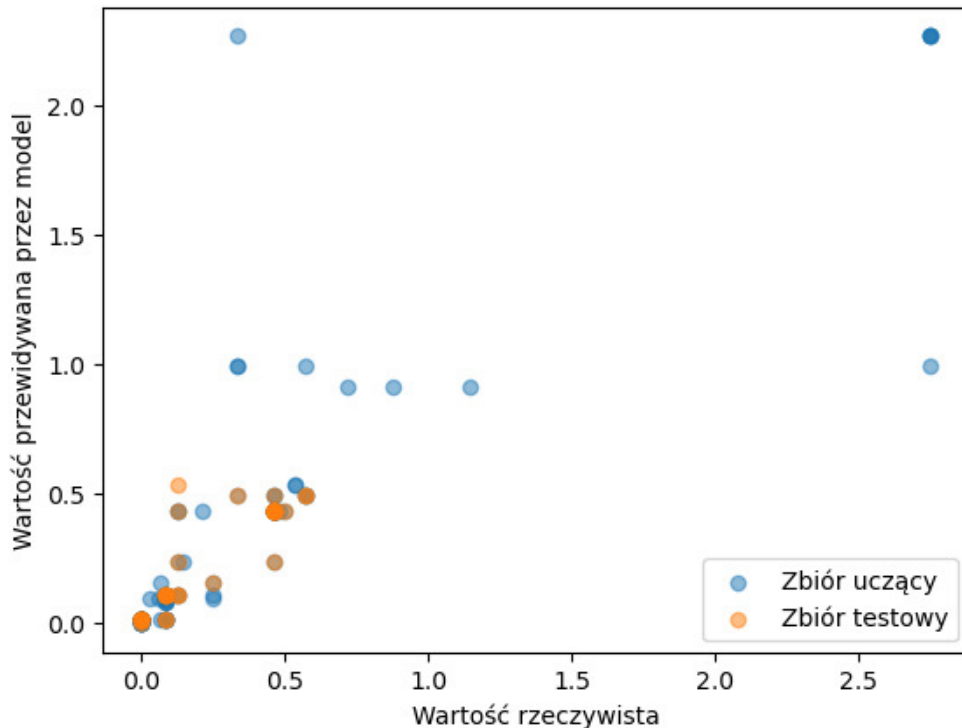
Wartości przedstawione w tabeli 5.2 stanowią średnie wartości błędów uzyskane w oparciu o pięciokrotny sprawdzian krzyżowy dla podzbiorów, które brały udział w procesie uczenia oraz wartości dla zbioru testowego. Wartości, które podano w nawiasach to wartości odchylenia standardowego danej miary jakości modelu dla zbiorów uczących i zbioru testowego.

Wartości miar jakości modelu MSE, MAE oraz  $R^2$  uzyskane dla zbioru testowego oraz podzbiorów uczących są zbliżone. Rezultaty dla zbioru testowego są bardziej satysfakcjonujące – wartości błędów MAE i MSE są mniejsze, natomiast wartość  $R^2$  większa niż w przypadku podzbiorów uczących. Wartości uzyskane dla podzbiorów walidacyjnych są natomiast niesatysfakcjonujące, w szczególności wartość  $R^2$  wskazuje na niezdolność modelu do prawidłowego odtworzenia wartości zmiennej zależnej. Może to wynikać z faktu, że obiekty dla których jest popełniany największy błąd (a więc model nie był w stanie poprawnie przewidzieć wartości czasu opóźnienia w ich przypadku) należą wyłącznie do zbioru uczącego, co można stwierdzić na podstawie przedstawionego poniżej wykresu rozrzutu. Ponieważ wartości przedstawione w powyższej tabeli zostały obliczone jako średnia wartość uzyskana w kolejnych iteracjach 5-krotnego sprawdzianu krzyżowego można założyć, że w niektórych iteracjach uzyskano wyniki bardzo niekorzystne, natomiast w pozostałych wartości prognozowane były bardziej zbliżone do wartości rzeczywistych. Wskazuje na to również wartość odchylenia standardowego – duża wartość odchylenia standardowego  $R^2$  uzyskana dla podzbiorów walidacyjnych wskazuje na duże różnice w wartościach  $R^2$  uzyskanych dla poszczególnych podzbiorów walidacyjnych.

Wartości błędu MAE wskazują na to, że uzyskany model popełnia stosunkowo duży błąd predykcji – w przypadku podzbiorów uczących wynosi on ok. 0,09 (niemal 10%). W przypadku podzbiorów walidacyjnych błąd ten przekracza 0,17, co oznacza, że prognozowane wartości są średnio o 20% większe lub mniejsze niż wartość opóźnienia względnego. Najbardziej korzystne wyniki uzyskano w przypadku zbioru testowego – wartość błędu MAE wskazuje na to, że średnio popełniany jest błąd prognozy wynoszący 5%, co można uznać za wartość satysfakcjonującą.

Poniżej zaprezentowano wykres rozrzutu (rys. 5.9) na którym przedstawiono wartości rzeczywiste zmiennej zależnej oraz odpowiadające im wartości przewidywane przez model drzewa regresyjnego – każdy punkt odpowiada współrzędnym

wyznaczanym przez wartości rzeczywiste i przewidywane przez model dla danego obiektu.



Rys. 5.9 Wykres rozrzutu przedstawiający wartości rzeczywiste zmiennej zależnej oraz odpowiadające im wartości przewidywane przez model drzewa regresyjnego. Źródło:

Opracowanie własne.

Na podstawie wykresu rozrzutu można stwierdzić, że obiekty dla których rzeczywista wartość zmiennej zależnej jest relatywnie duża (zarówno wartości rzeczywiste, jak i przewidywane). Wartości przyjmowane przez obiekty zawarte w zbiorze testowym są znacząco mniejsze i nie przekraczają ok. 0,6.

W przypadku obiektów, dla których wartość rzeczywista zmiennej zależnej jest stosunkowo niewielka, wartości przewidywane przez model w większości przypadków wykazują niewielkie odchylenia od wartości rzeczywistych.

Wraz ze wzrostem wartości opóźnienia względnego można zaobserwować wzrost błędu predykcji – punkty na wykresie coraz bardziej odbiegają od przekątnej. Ponadto można zaobserwować zarówno obserwacje, dla których wartość przewidywana jest znacząco zaniżona, jak i takie, dla których wartość przewidywana znacząco przekracza wartość rzeczywistą. Widoczna jest również zależność wskazująca na to, że wraz ze wzrostem czasu opóźnienia liczba obiektów występujących w zbiorze danych maleje, co może utrudniać uzyskanie modelu uzyskującego niewielki błąd predykcji w całym zakresie wartości zmiennej zależnej.

Należy zwrócić uwagę, że dla części obiektów o wartości opóźnienia względnego przekraczającym 2,5 uzyskano poprawne wartości prognozowane (są to obiekty, którym odpowiadają punkty w prawym górnym rogu wykresu).

Przeprowadzono ponowny trening modelu z użyciem tylko 4 zmiennych, które zidentyfikowano jako najbardziej istotne  $X_1$  – *Potencjał projektanta*,  $X_4$  – *Administracja i finanse budowy*,  $X_9$  – *Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe* oraz  $X_{13}$  – *Sposób posadowienia podpór obiektu*.

W tabeli 5.3 zaprezentowano wyniki sprawdzianu krzyżowego dla modelu drzewa regresyjnego uwzględniającego cztery zmienne niezależne najbardziej istotne  $X_1$ ,  $X_4$ ,  $X_9$ ,  $X_{13}$ .

Tabela 5.3 Wartości miar jakości modelu w wyniku sprawdzianu krzyżowego dla modelu drzewa regresyjnego uwzględniającego cztery zmienne niezależne najbardziej istotne  $X_1$ ,  $X_4$ ,  $X_9$ ,  $X_{13}$ .

Miary jakości modelu	Wartości dla zbioru uczącego: podzbiory uczące	Wartości dla zbioru uczącego: podzbiory walidacyjne	Wartości dla zbioru testowego
<b>Błąd średniokwadratowy (MSE)</b>	<b>0,0816</b> (± 0,0331)	<b>0,2384</b> (± 0,1839)	<b>0,0132</b>
<b>Średni błąd absolutny (MAE)</b>	<b>0,1407</b> (± 0,0271)	<b>0,2162</b> (± 0,0870)	<b>0,0883</b>
<b>Współczynnik determinacji (<math>R^2</math>)</b>	<b>0,7123</b> (± 0,1492)	<b>-0,5335</b> (± 1,5697)	<b>0,6892</b>

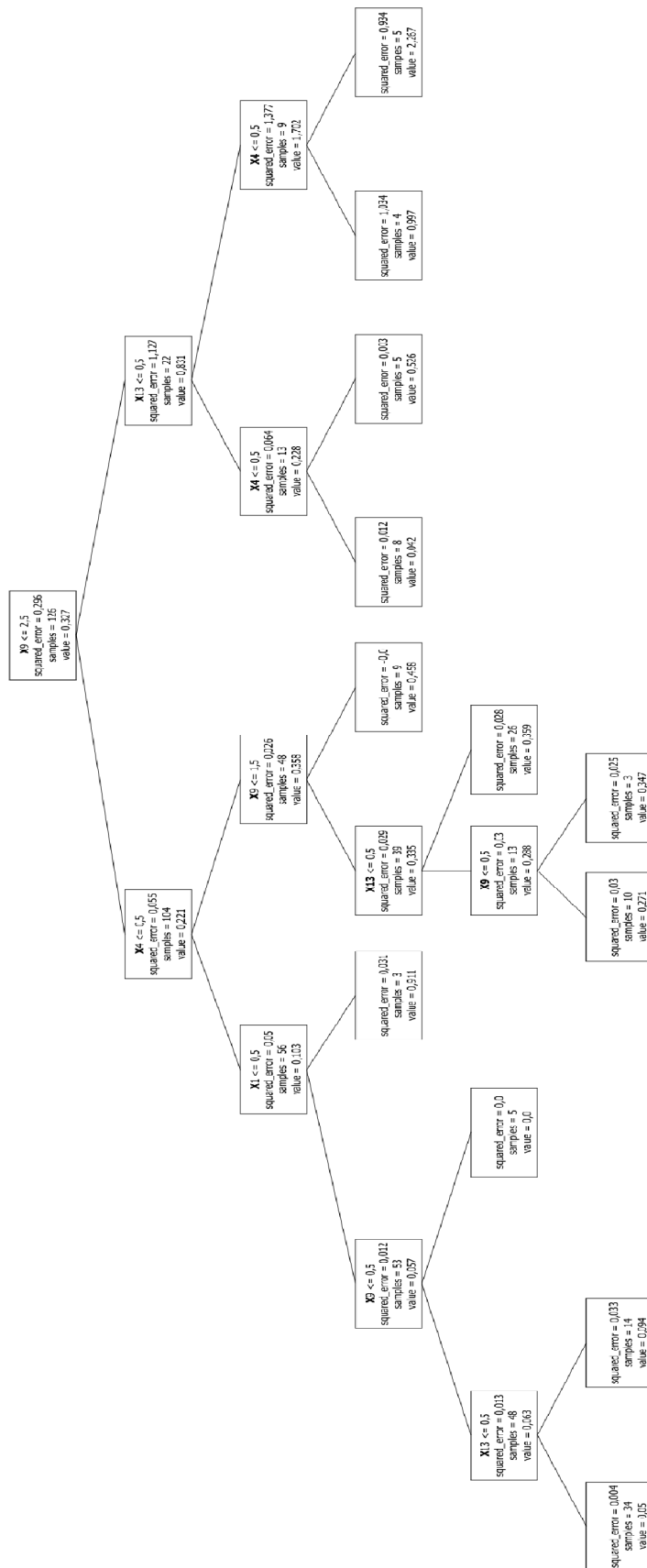
Źródło: Opracowanie własne.

Wartości przedstawione w tabeli 5.3 stanowią średnie wartości błędów uzyskane w oparciu o pięciokrotny sprawdzian krzyżowy dla podzbiorów, które brały udział w procesie uczenia oraz wartości dla zbioru testowego. Wartości, które podano w nawiasach to wartości odchylenia standardowego danej miary jakości modelu dla zbiorów uczących. Kolumna *Wartości dla zbioru uczącego: podzbiory uczące* zawiera uśrednione wartości uzyskane na drodze pięciokrotnego sprawdzianu krzyżowego dla podzbiorów, które brały udział w procesie uczenia. Kolumna *Wartości dla zbioru uczącego: podzbiory walidacyjne* zawiera uśrednione wartości uzyskane na drodze pięciokrotnego sprawdzianu krzyżowego dla podzbiorów walidacyjnych (nie biorących udziału w procesie uczenia, a wykorzystywanych jedynie do oceny działania modelu).

Wartości przedstawione w tabeli 5.3 wskazują na to, że model drzewa regresyjnego uczący z wykorzystaniem ograniczonej liczby zmiennych (tylko na cztery najbardziej istotnych zmiennych niezależnych  $X_1$  – *Potencjał projektanta*,  $X_4$  – *Administracja i finanse budowy*,  $X_9$  – *Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe* oraz  $X_{13}$  – *Sposób posadowienia podpór obiektu*) ma jeszcze gorsze właściwości generalizacyjne niż model uczący z wykorzystaniem wszystkich zmiennych (tabela 5.2). Wartości błędów MAE i MSE są w tym przypadku większe, co oznacza, że średni błąd prognozy jest większy: w przypadku podzbiorów uczących MAE sięga niemal 15%, w przypadku podzbiorów walidacyjnych przekracza 20%, natomiast w przypadku zbioru testowego wynosi 9%. Różnice pomiędzy wartościami uzyskanymi dla zbioru uczącego oraz dla zbioru testowego są więc większe niż w przypadku modelu uczonego na wszystkich zmiennych, co oznacza pogorszenie zdolności generalizacyjnych.

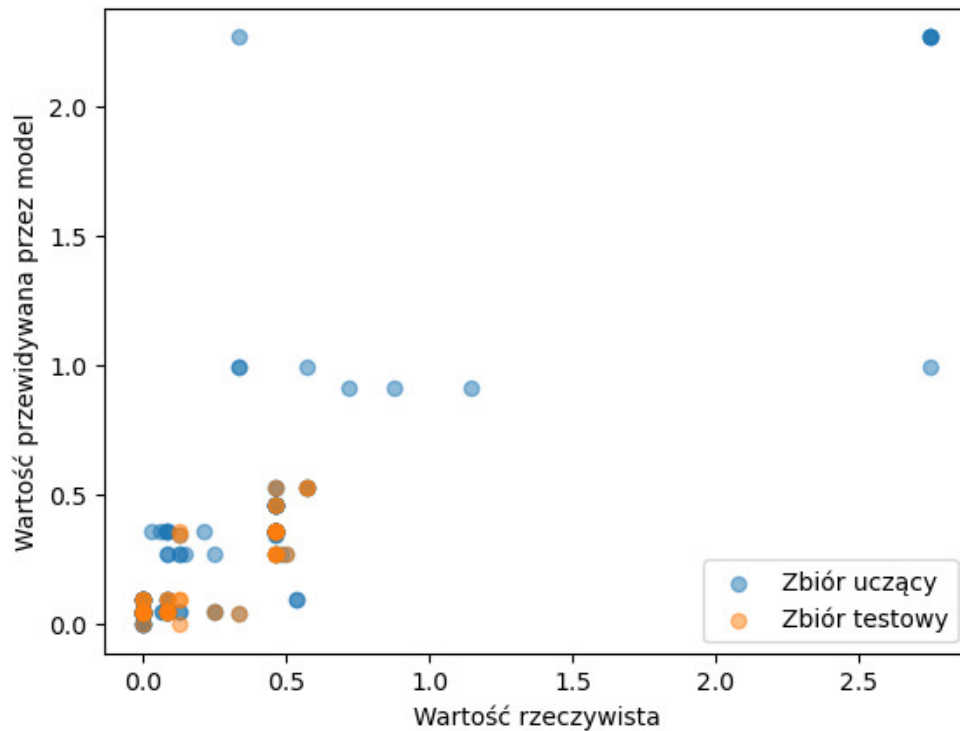
Na znaczące pogorszenie zdolności predykcyjnych modelu wskazują w szczególności wartości  $R^2$ : zmniejszenie liczby zmiennych zależnych, na których był uczony model spowodowało spadek wartości  $R^2$  z 0,79 do 0,68. Obserwuje się również zmniejszenie wartości tej miary jakości modelu dla podzbiorów uczących. W przypadku podzbiorów walidacyjnych uzyskane przez oba modele wartości są zbliżone, jednak ujemny współczynnik determinacji w obu przypadkach wskazuje na bardzo duże rozbieżności pomiędzy wartościami rzeczywistymi i przewidywanymi zmiennej zależnej.

Na rysunku 5.10 zaprezentowano drzewo regresyjne dla modelu drzewa regresyjnego uwzględniającego cztery najbardziej istotne zmienne niezależne  $X_1$  – *Potencjał projektanta*,  $X_4$  – *Administracja i finanse budowy*,  $X_9$  – *Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe* oraz  $X_{13}$  – *Sposób posadowienia podpór obiektu*.



Rys. 5.10 Drzewo regresyjne dla modelu drzewa regresyjnego uwzględniającego cztery zmienne  $X_1$ ,  $X_4$ ,  $X_9$ ,  $X_{13}$ . Źródło: Opracowanie własne.

Na wykresie rozrzutu (rys. 5.11) zaprezentowano wartości rzeczywiste zmiennej zależnej oraz odpowiadające im wartości przewidywane przez model drzewa regresyjnego – każdy punkt odpowiada współrzędnym wyznaczanym przez wartości rzeczywiste i przewidywane przez model dla danego obiektu.



Rys. 5.11 Wykres rozrzutu przedstawiający wartości rzeczywiste zmiennej zależnej oraz odpowiadające im wartości przewidywane przez model drzewa regresyjnego.

Źródło: Opracowanie własne.

Na powyższym wykresie rozrzutu można stwierdzić, że zmniejszenie liczby zmiennych, na których trenowany był model spowodowało pogorszenie rezultatów w zakresie niewielkich wartości zmiennej zależnej, w szczególności wśród obiektów ze zbioru testowego – obserwuje się również większy rozrzut punktów w przedziale wartości rzeczywistej (0,0; 0,25) niż miało to miejsce na rysunku 5.9. Ponadto punkty odpowiadające obiektom ze zbioru uczącego i testowego są bardziej oddalone od przekątnej wyznaczającej prognozy idealnie zgodne z wartościami rzeczywistymi.

Na podstawie analizy wartości uzyskanych na drodze sprawdzianu krzyżowego oraz wykresu rozrzutu można stwierdzić, że zmniejszenie liczby zmiennych niezależnych wykorzystanych w treningu modelu spowodowało pogorszenie jego zdolności predykcyjnych.



Największe pogorszenie jakości predykcji dla zbioru uczącego wystąpiło dla wartości zmiennej zależnej z przedziału  $[0 - 0,25]$ , o czym świadczy nagromadzenie w tym przedziale niebieskich punktów, które odpowiadają obiektom, dla których model prognozował wartość opóźnienia względnego wynoszącą ok. 0,4.

### **Model – maszyna wektorów nośnych (nuSVR)**

Model regresyjny bazujący na maszynie wektorów nośnych zbudowano wykorzystując klasę NuSVR [255] zaimplementowaną w bibliotece *scikit-learn* [248].

Optymalizowane hiperparametry:

- $C$  – współczynnik kary nakładanej na model, gdy jego predykcje są niepoprawne. Większe wartości  $C$  prowadzą do lepszej predykcji wartości dla zbioru uczącego, ale mogą spowodować niewystarczające uogólnienie modelu (granice decyzyjne modelu mogą być zbyt dopasowane do obiektów w zbiorze uczącym i nie sprawdzać się podczas prowadzenia predykcji dla nowych, nieznanymi obiektów). Mniejsze wartości  $C$  zwiększają zdolności generalizacyjne modelu, ale mogą doprowadzić do niesatysfakcjonującej jakości predykcji. Przestrzeń poszukiwań:  $[0, 1]$ .
- $nu$  – parametr określający maksymalną część obiektów w zbiorze trenującym, dla których predykcje będą różniły się od wartości rzeczywistej oraz minimalną liczbę obiektów ze zbioru uczącego, które będą stanowiły wektory nośne. Przestrzeń poszukiwań:  $[0, 1]$ .

Wartości dobrane podczas optymalizacji:

$$C = 0,995;$$

$$nu = 0,364.$$

W tabeli 5.4 zaprezentowano wyniki sprawdzianu krzyżowego dla modelu bazującym na maszynie wektorów nośnych (nuSVR).

Tabela 5.4 Wartości miar jakości modelu w wyniku sprawdzianu krzyżowego dla modelu maszyny wektorów nośnych (nuSVR).

Miary jakości modelu	Wartości dla zbioru uczącego: podzbiory uczące	Wartości dla zbioru uczącego: podzbiory walidacyjne	Wartości dla zbioru testowego
Błąd średniokwadratowy (MSE)	<b>0,1805</b> (± 0,0474)	<b>0,2191</b> (± 0,2516)	0,0097
Średni błąd absolutny (MAE)	<b>0,1363</b> (± 0,0299)	<b>0,1747</b> (± 0,1089)	0,0742
Współczynnik determinacji (R <sup>2</sup> )	<b>0,3880</b> (± 0,0361)	<b>0,4648</b> (± 0,2569)	0,7709

Źródło: Opracowanie własne.

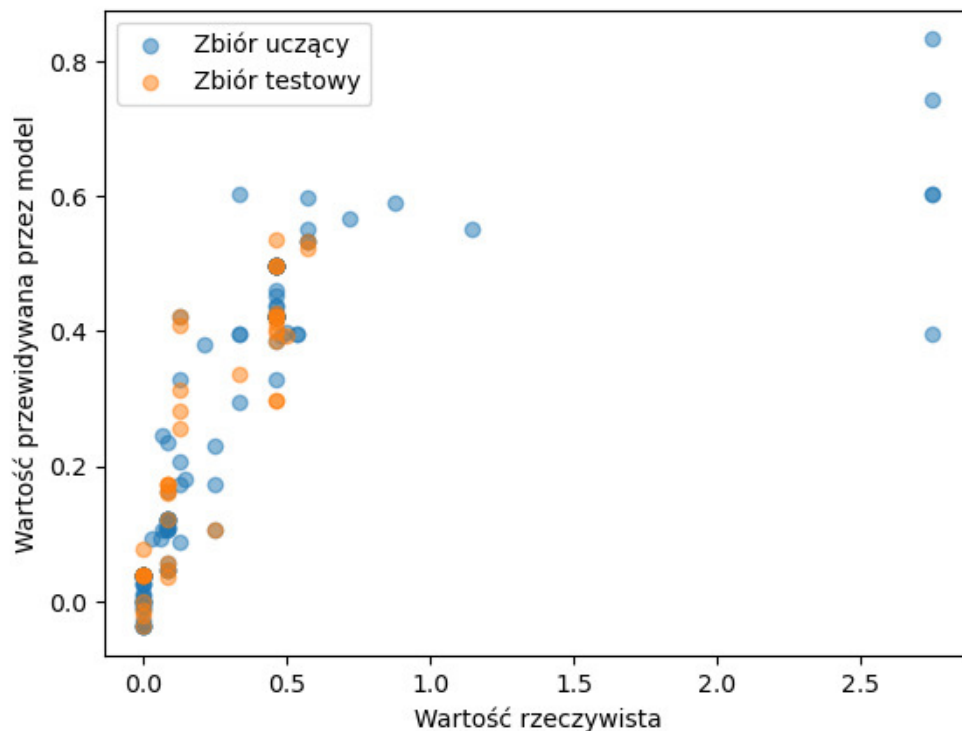
Wartości przedstawione w tabeli 5.4 stanowią średnie wartości błędów uzyskane w oparciu o 5-krotny sprawdzian krzyżowy dla podzbiorów, które brały udział w procesie uczenia oraz wartości dla zbioru testowego, które brały udział w procesie uczenia oraz wartości dla zbioru testowego. Wartości, które podano w nawiasach to wartości odchylenia standardowego danej miary jakości modelu dla zbiorów uczących. Kolumna *Wartości dla zbioru uczącego: podzbiory uczące* zawiera uśrednione wartości uzyskane na drodze 5-krotnego sprawdzianu krzyżowego dla podzbiorów, które brały udział w procesie uczenia. Kolumna *Wartości dla zbioru uczącego: podzbiory walidacyjne* zawiera uśrednione wartości uzyskane na drodze 5-krotnego sprawdzianu krzyżowego dla podzbiorów walidacyjnych (nie biorących udziału w procesie uczenia, a wykorzystywanych jedynie do oceny działania modelu).

Wartości współczynnika determinacji R<sup>2</sup> uzyskane dla zbioru uczącego są niesatysfakcjonujące – w przypadku podzbiorów uczący osiąga wartość 0,39, natomiast w przypadku podzbiorów walidacyjnych jest znacząco większy a jego wartość wynosi 0,46. Oba współczynniki determinacji są jednak dużo mniejsze niż współczynnik uzyskany dla zbioru testowego. Duża rozbieżność pomiędzy uzyskanymi wartościami R<sup>2</sup> wskazuje na to, że model nuSVR nie ma dobrych zdolności generalizacyjnych. Należy jednak zwrócić uwagę na to, że uzyskane dla tego modelu odchylenia standardowe R<sup>2</sup> są dużo mniejsze niż miało to miejsce w przypadku modeli drzew regresyjnych, co oznacza, że model nuSVR cechuje się większą stabilnością.

Wartości MSE i MAE wskazują na stosunkowo duże błędy popełniane przez model dla obiektów ze zbioru uczącego – w przypadku podzbiorów walidacyjnych średni

błąd prognozy wynosi 18%, natomiast w przypadku podzbiorów uczących 14%. Błąd popełniany w przypadku obiektów testowych jest dwukrotnie mniejszy i wynosi 7%.

Na rysunku 5.12 zaprezentowano wykres rozrzutu na którym przedstawiono wartości rzeczywiste zmiennej zależnej oraz odpowiadające im wartości przewidywane przez model oparty o maszynę wektorów nośnych (nuSVR) – każdy punkt oznacza jeden obiekt.



Rys. 5.12 Wykres rozrzutu przedstawiający wartości rzeczywiste zmiennej zależnej oraz odpowiadające im wartości przewidywane przez model oparty o maszynę wektorów nośnych (nuSVR). Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu rozrzutu wynika (rys. 5.12), że model nuSVR dla wszystkich obiektów zwrócił wartości nieprzekraczające 0,9, nawet w przypadku wartości rzeczywistych większych niż 2,5. W zakresie wartości zmiennej zależnej (0; 0,6) wartości prognozowane są bardzo zbliżone do wartości rzeczywistych, co oznacza, że model jest dość wiarygodny w przypadku niewielkich wartości opóźnienia względnego. Należy jednak zauważyć, że dla części obiektów model zwrócił wartości ujemne, które nie występują w analizowanym zbiorze danych. Zwracane przez model wartości są jednak zupełnie nieprzydatne w przypadku dużych wartości opóźnienia względnego, ponieważ są znacząco zaniżane.

Mimo zalet maszyn wektorów nośnych w modelowaniu zależności nieliniowych, w przypadku rozważanego w niniejszej pracy problemu rezultaty nie są satysfakcjonujące.

### **Model perceptron wielowarstwowy (MLP)**

Perceptron wielowarstwowy został zbudowany przy użyciu klasy *MLPRegressor* [254] zaimplementowanej w bibliotece *scikit-learn* [248]. *MLPRegressor* [254] to algorytm uczenia maszynowego do zadań regresji. Zapewnia wysoki stopień dokładności i może obsługiwać złożone, nieliniowe zbiory danych. *MLPRegressor* [254] to model sztucznej sieci neuronowej, który wykorzystuje propagację wsteczną do dostosowywania wag między neuronami w celu poprawy dokładności przewidywania. *MLPRegressor* [254] implementuje algorytm *Multi-Layer Perceptron* (MLP) do uczenia i testowania zbiorów danych przy użyciu metod wstecznej propagacji i stochastycznego spadku gradientu. Obejmuje kilka parametrów, które można wykorzystać do precyzyjnego dostrojenia wydajności modelu, w tym liczbę warstw ukrytych, funkcje aktywacji itp. Jest to wydajna metoda rozwiązywania problemów z regresją, ponieważ może nauczyć się złożonych zależności nieliniowych między zmiennymi wejściowymi i wyjściowymi [199].

Optymalizowane hiperparametry:

- liczbę neuronów w warstwie ukrytej, przestrzeń poszukiwań: [2, 200]
- funkcję aktywacji warstwy ukrytej, przestrzeń poszukiwań: [tanh, relu, logistic] (*tanh* – tangens hiperboliczny, *ReLU* – poprawiona funkcja liniowa, czyli taka, która jest funkcją liniową dla wartości  $>0$  oraz przyjmuje wartość 0 w pozostałych przypadkach, *logistic* – funkcja logistyczna)
- współczynnik regularyzacji określający siłę regularyzacji L2, przestrzeń poszukiwań: [0, 1]

Wartości dobrane podczas optymalizacji:

*Liczba neuronów w warstwie ukrytej wynosiła: 47*

*Funkcja aktywacji warstwy ukrytej: ReLU,*

*Wartość współczynnika regularyzacji: 0,918*

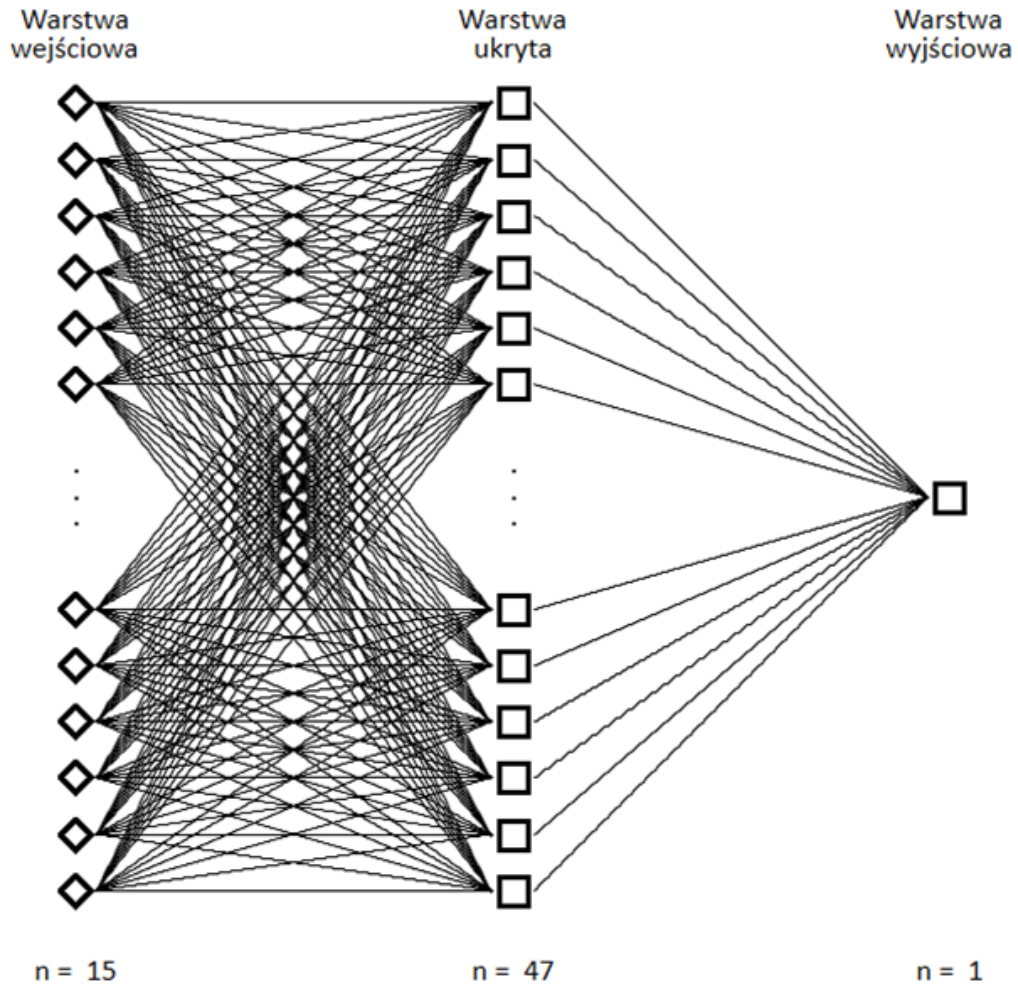
Ostatecznie charakterystykę sieci MLP w tym dane dotyczące architektury sieci, jej parametry wraz z wartościami zoptymalizowanych hiperparametrów przedstawiono w tabeli 5.6.

Tabela 5.6 Charakterystyka sieci MLP.

<b>Funkcja aktywacji warstwy ukrytej:</b>	ReLU ( <i>Rectified Linear Unit</i> )
<b>Funkcja aktywacji warstwy wyjściowej:</b>	liniowa
<b>Liczba warstw:</b>	3 (warstwa wejściowa, warstwa ukryta, warstwa wyjściowa)
<b>Liczba neuronów w warstwie wejściowej:</b>	15
<b>Liczba neuronów w warstwie ukrytej:</b>	47
<b>Liczba neuronów w warstwie wyjściowej:</b>	1
<b>Optymalizacja (funkcja wykorzystywana podczas poszukiwania optymalnych wag):</b>	Adam ( <i>Adaptive Moment Estimation</i> )
<b>Learning rate:</b>	0,001
<b>Miara 149łędu:</b>	MSE
<b>Współczynnik regularyzacji L2 (Alpha):</b>	0,918

Źródło: Opracowanie własne.

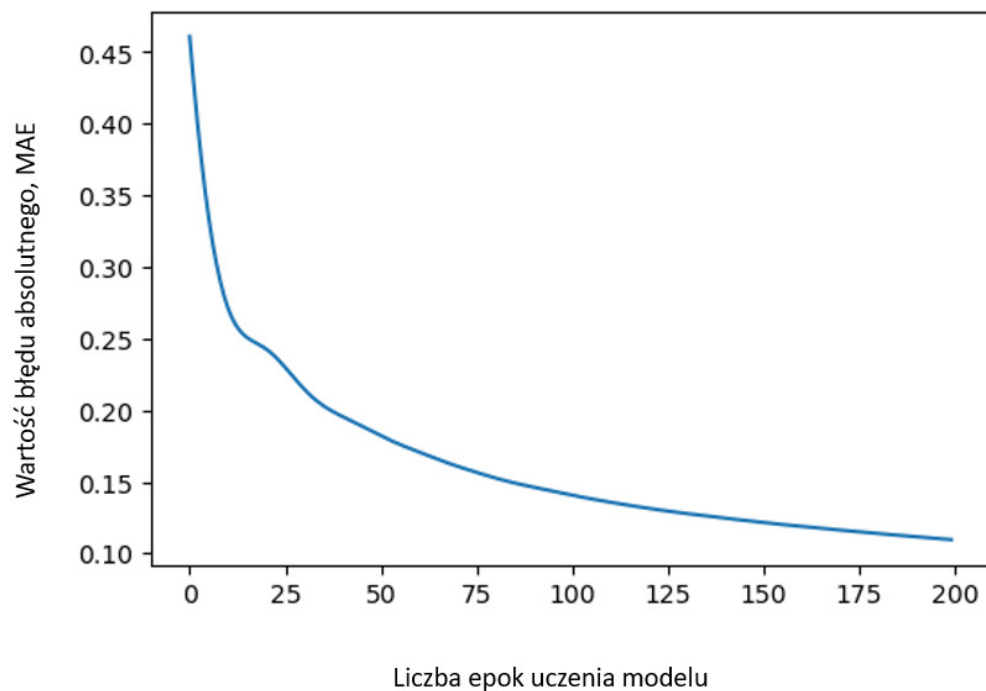
Zastosowano prostą liniową funkcję ReLU (*Rectified Linear Unit*) jako funkcję aktywacji warstwy ukrytej, która jest powszechnie stosowana w modelach uczenia maszynowego, natomiast jako funkcję aktywacji warstwy wyjściowej zastosowano funkcję liniową. W modelowaniu z zastosowaniem sztucznych sieciach neuronowych, tj. perceptron wielowarstwowy (MLP) przyjęto sieć złożoną z trzech części: warstwy wejściowej, ukrytej i wyjściowej. Liczba neuronów w warstwie wejściowej 15, liczba neuronów w warstwie ukrytej wynosi 47, natomiast liczba neuronów w warstwie wyjściowej wynosi 1. Optymalizację przeprowadzono za pomocą algorytmu ADAM (*Adaptive Moment Estimation*), który jest jedną z technik optymalizacji parametrów głębokiego uczenia maszynowego. Współczynnik regularyzacji L2 (Alpha) wyniósł 0,918. Strukturę sieci zaprezentowano na rysunku 5.13.



Rys. 5.13 Struktura sieci dla modelu perceptron wielowarstwowy (MLP). Źródło:

Opracowanie własne.

Na rysunku 5.14 zaprezentowano przebieg procesu uczenia sieci o dobranych hiperparametrach – zmiany wartości popełnianego błędu MAE w kolejnych epokach uczenia:



Rys. 5.14 Przebieg procesu uczenia sieci dla modelu w oparciu o sieci MLP. Źródło:  
Opracowanie własne.

Na powyższym wykresie (rys. 5.14) obserwuje się, że największy spadek popełnianego błędnie MAE następował w początkowych epokach treningu. W okolicach 50 epoki można zaobserwować powolne wypłaszczenie krzywej, jednak wartości mniejsze niż 0,15 osiągnięto dopiero ok. 100 epoki.

W tabeli 5.5 zaprezentowano wyniki sprawdzianu krzyżowego dla modelu sieci neuronowych MLP.

Tabela 5.5 Wartości miar jakości modelu w wyniku sprawdzianu krzyżowego dla modelu sieci neuronowych MLP

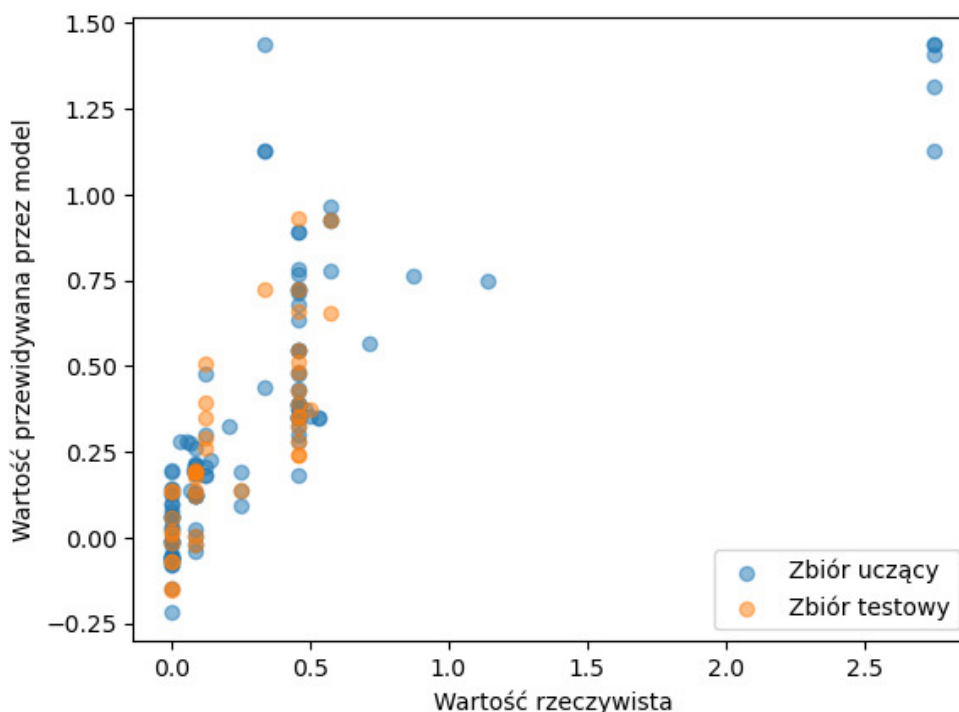
Miary jakości modelu	Wartości dla zbioru uczącego: podzbiory uczące	Wartości dla zbioru uczącego: podzbiory walidacyjne	Wartości dla zbioru testowego
<b>Błąd średniokwadratowy (MSE)</b>	<b>0,1191</b> (± 0,0326)	<b>0,2005</b> (± 0,1444)	<b>0,0307</b>
<b>Średni błąd absolutny (MAE)</b>	<b>0,1860</b> (± 0,0456)	<b>0,2501</b> (± 0,0607)	<b>0,1403</b>
<b>Współczynnik determinacji (R<sup>2</sup>)</b>	<b>0,5934</b> (± 0,0504)	<b>-0,2815</b> (± 0,6392)	<b>0,2757</b>

Źródło: Opracowanie własne.

Wartości przedstawione w tabeli 5.5 stanowią średnie wartości błędów uzyskane w oparciu o pięciokrotny sprawdzian krzyżowy dla podzbiorów, które brały udział w procesie uczenia (podzbiory uczące i walidacyjne) oraz wartości dla zbioru testowego, które brały udział w procesie uczenia oraz wartości dla zbioru testowego. Wartości, które podano w nawiasach to wartości odchylenia standardowego danej miary jakości modelu dla zbiorów uczących.

Wartości przedstawione w tabeli 5.5 wskazują na słabe zdolności predykcyjne oraz generalizacyjne modelu MLP. Model popełnia duże błędy predykcji, o czym świadczą wartości MAE wynoszące ok. 19% dla podzbiorów uczących, 25% dla podzbiorów walidacyjnych oraz 14% dla zbioru testowego. Niesatysfakcjonujące są również wartości  $R^2$  – dla podzbiorów uczących uzyskano co prawda  $R^2$  wynoszące ok 0,6 i niewielkie odchylenie standardowe, jednak ujemna wartość uzyskana dla podzbiorów walidacyjnych oraz  $R^2$  wynoszące 0,2757 dla zbioru testowego wskazują na brak korelacji pomiędzy wartościami przewidywanymi i rzeczywistymi.

Na rysunku 5.15 zaprezentowano wykres rozrzutu na którym przedstawiono wartości rzeczywiste zmiennej zależnej oraz odpowiadające im wartości przewidywane przez model perceptron wielowarstwowy (MLP) – każdy punkt oznacza jeden obiekt.



Rys. 5.15 Wykres rozrzutu przedstawiający wartości rzeczywiste zmiennej zależnej oraz odpowiadające im wartości przewidywane przez model perceptron wielowarstwowy (MLP). Źródło: Opracowanie własne.



Z wykresu rozrzutu wyniku (rys. 5.15), że prognozy zwracane przez model MLP cechują się dużą zmiennością dla obiektów, które mają tę samą wartość rzeczywistą zmiennej zależnej. Świadczą o tym punkty na wykresie układające się wzdłuż pionowych linii, co jest szczególnie widoczne dla wartości rzeczywistych 0 i 0,5. Można również zauważyć, że model zwracał wartości ujemne, co wskazuje na to, że nie wyznaczył poprawnie zależności w danych uczących, w których występują wyłącznie wartości dodatnie. Co więcej, błędy popełniane przez model są duże bez względu na to, czy obiekty należą do zbioru uczącego czy testowego. Ponadto można zaobserwować, że największa wartość zwracana przez model nie przekracza 1,5, a większość punktów na wykresie zlokalizowana jest poniżej linii wyznaczającej idealne prognozy, co oznacza, że model ma tendencję do zaniżania wartości zmiennej zależnej.

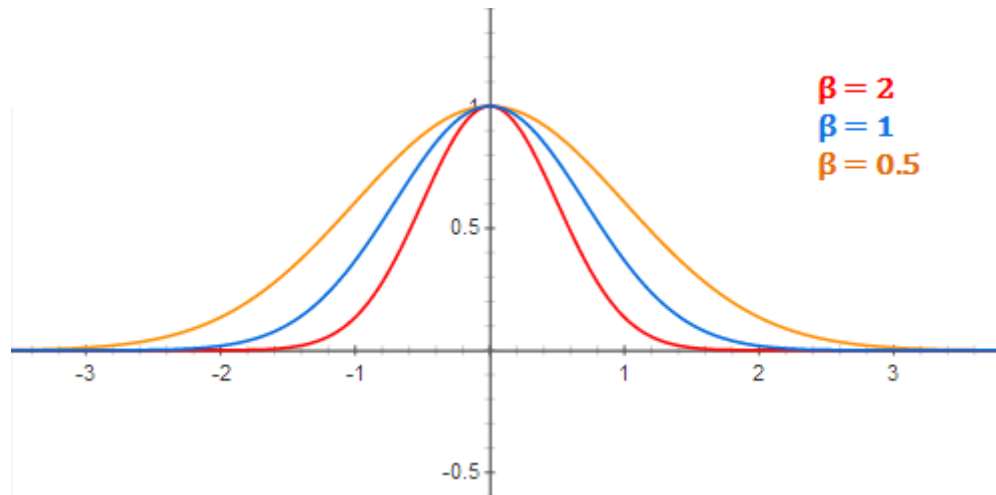
### **Model – radialna sieć neuronowa (RBF)**

Sieć radialną zaimplementowano używając pakietu *TensorFlow* [247] oraz *Keras* [241]. Pakiet *TensorFlow* [247] jest kompleksową platformą oprogramowania do uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji. Może być używany w wielu zadaniach, ale koncentruje się w szczególności na szkoleniu i wnioskowaniu głębokich sieci neuronowych. Pakiet *Keras* [241] jest interfejsem do głębokiego uczenia napisany w języku *Python*, działający na platformie uczenia maszynowego *TensorFlow* [247]. Został opracowany z myślą o umożliwieniu szybkiego eksperymentowania. Służy do rozwiązywania problemów związanych z uczeniem maszynowym, z naciskiem na nowoczesne głębokie uczenie się. Zapewnia podstawowe abstrakcje i bloki konstrukcyjne do opracowywania i dostarczania rozwiązań uczenia maszynowego z dużą szybkością iteracji.

Wykorzystano implementację sieci udostępnioną na platformie github, która jest dostępna do użytku naukowego i komercyjnego [238,239].

Optymalizowane hiperparametry:

- parametr określający funkcję aktywacji neuronu radialnego, im większy parametr  $\beta$ , tym „węższa” krzywa (tak jak na poniższym rysunku 4.15) przestrzeń poszukiwań: [0,1]



Rys. 5.16 Funkcja aktywacji neuronów sieci RBF dla różnych wartości  $\beta$ .  
 Źródło: [238,239]

- liczba jednostek radialnych wchodzących w skład warstwy RBF [1, 36]

Architekturę sieci dla modelu radialnej sieć neuronowej (RBF) zaprezentowano w tabeli 5.9.

Tabela 5.9 Architektura sieci dla modelu radialnej sieć neuronowej (RBF).

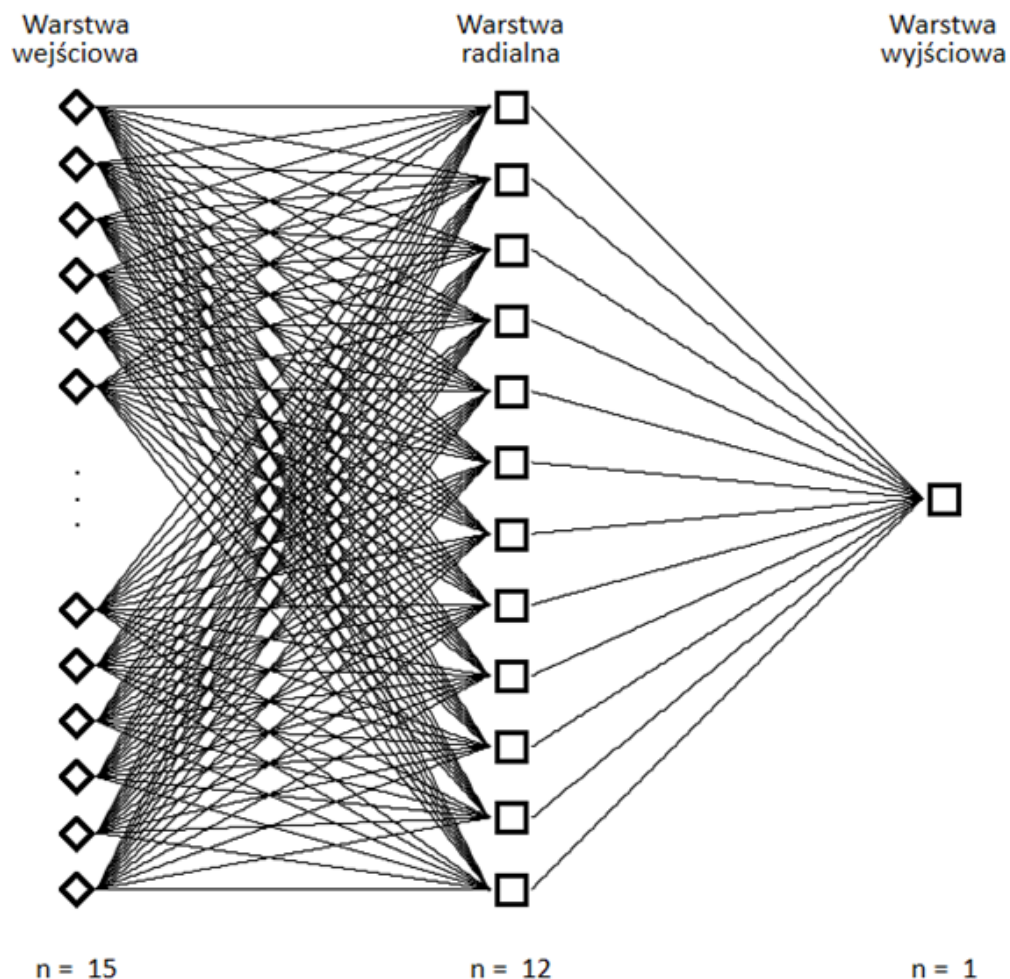
<b>Funkcja aktywacji warstwy wyjściowej</b>	ReLU
<b>Liczba warstw:</b>	3 (warstwa wejściowa, warstwa RBF, warstwa wyjściowa)
<b>Liczba neuronów w warstwie wejściowej:</b>	15
<b>Liczba neuronów w warstwie RBF:</b>	12
<b>Liczba neuronów w warstwie wyjściowej:</b>	1
<b>Optimizer (funkcja wykorzystywana podczas poszukiwania optymalnych wag):</b>	Adam ( <i>Adaptive Moment Estimation</i> )
<b>Learning rate:</b>	0,001
<b>Miara błędu:</b>	MSE
<b>Współczynnik <math>\beta</math> warstwy RBF</b>	0,71

Źródło: Opracowanie własne.

Podobnie jak dla modelu MLP zastosowano prostą liniową funkcję ReLU (*Rectified Linear Unit*) jako funkcję aktywacji warstwy ukrytej. W modelowaniu z zastosowaniem radialnej sieć neuronowej (RBF), przyjęto sieć złożoną z trzech części: warstwy wejściowej, ukrytej i wyjściowej. Liczba neuronów w warstwie wejściowej 15, liczba neuronów w warstwie ukrytej wynosi 12, natomiast liczba neuronów w warstwie

wyjściowej wynosi 1. Optymalizację przeprowadzono również za pomocą algorytmu *ADAM* (*Adaptive Moment Estimation*) Algorytm *ADAM* optymalizacji stochastycznych funkcji celu oparty na gradiencie pierwszego rzędu, oparty na adaptacyjnych oszacowaniach momentów niższego rzędu. Metoda jest prosta do wdrożenia, wydajna obliczeniowo, ma niewielkie wymagania pamięciowe, jest niezmienna dla diagonalnego przeskalowania gradientów i dobrze nadaje się do problemów, które są duże pod względem danych i / lub parametrów [112]. Współczynnik beta warstwowy RBF wyniósł 0,71.

Strukturę sieci dla sieci dla modelu radialnej sieć neuronowej (RBF) zaprezentowano na rysunku 5.17.



Rys. 5.17 Struktura sieci dla modelu radialnej sieć neuronowej (RBF). Źródło:

Opracowanie własne.

W tabeli 5.8 zaprezentowano wyniki sprawdzianu krzyżowego dla modelu radialnej sieć neuronowej (RBF).

Tabela 5.8 Wartości miar jakości modelu w wyniku sprawdzianu krzyżowego dla modelu radialnej sieć neuronowej (RBF).

Miary jakości modelu	Wartości dla zbioru uczącego: podzbiory uczące	Wartości dla zbioru uczącego: podzbiory walidacyjne	Wartości dla zbioru testowego
<b>Błąd średniokwadratowy (MSE)</b>	<b>0,0823</b> (± 0,0195)	<b>0,0769</b> (± 0,0711)	<b>0,0089</b>
<b>Średni błąd absolutny (MAE)</b>	<b>0,0988</b> (± 0,0211)	<b>0,0933</b> (± 0,1711)	<b>0,0558</b>
<b>Współczynnik determinacji (R<sup>2</sup>)</b>	<b>0,7140</b> (± 0,1581)	<b>0,7495</b> (± 0,2273)	<b>0,7914</b>

Źródło: Opracowanie własne.

Wartości przedstawione w tabeli 5.8 o stanowią średnie wartości błędów uzyskane w oparciu o pięciokrotny sprawdzian krzyżowy dla podzbiorów, które brały udział w procesie uczenia oraz wartości dla zbioru testowego, które brały udział w procesie uczenia oraz wartości dla zbioru testowego. Wartości, które podano w nawiasach to wartości odchylenia standardowego danej miary jakości modelu dla zbiorów uczących.

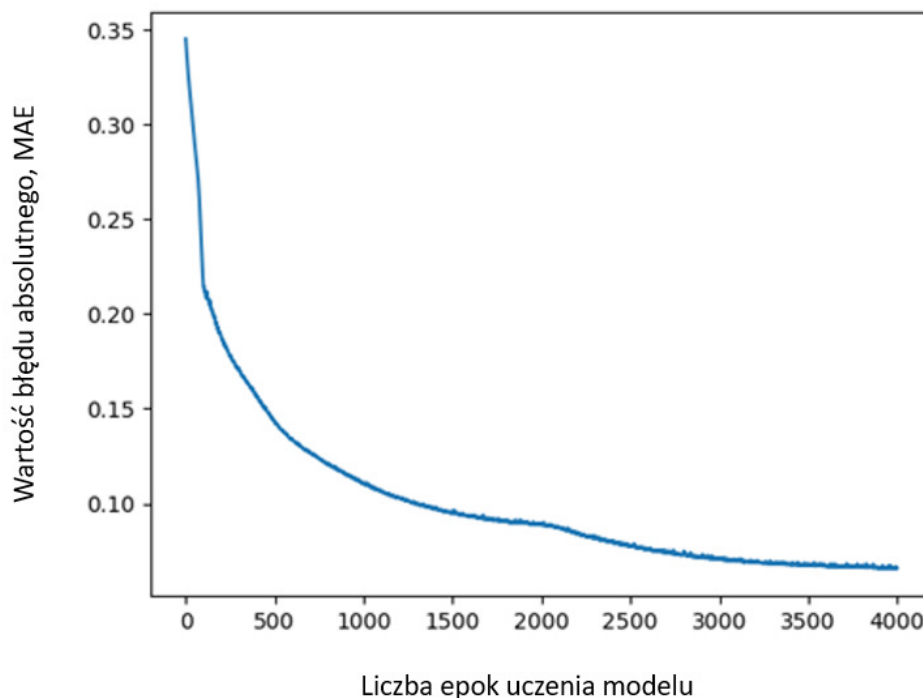
Należy zwrócić uwagę na stosunkowo duże wartości odchylenia standardowego – wynikają one z tego, że w zbiorze uczącym występowały obiekty, dla których błędy prognozy były duże. Z tego też wynikają mniejsze wartości R<sup>2</sup> i większe wartości błędów uzyskane podczas sprawdzianu krzyżowego niż wartości podane dla całego zbioru uczącego. Sprawdzian krzyżowy wiąże się z uczeniem modelu na mniejszej liczbie danych (z uwagi na fakt wydzielenia ze zbioru uczącego podzbiory walidacyjnego), co ma wpływ na jakość uzyskanego modelu. Przy dużych zbiorach danych ma to mniejsze znaczenie, jednak ponieważ analizowany zbiór danych jest stosunkowo niewielki, można zaobserwować wpływ zmniejszenia liczby obiektów wykorzystywanych podczas uczenia sieci na jakość predykcji.

Uzyskane wartości błędów MAE i MSE oraz współczynnik determinacji są bardzo zbliżone dla podzbiorów uczących, walidacyjnych oraz zbioru testowego. Świadczy to o dobrych zdolnościach generalizacyjnych modelu. Wartości odchylenia standardowego uzyskane na drodze sprawdzianu krzyżowego są stosunkowo duże, zwłaszcza w przypadku R<sup>2</sup>, co może świadczyć o problemach ze stabilnością modelu – należy jednak wziąć pod uwagę, że analizowany zbiór danych jest stosunkowo niewielki,

a liczba obiektów o dużym czasie opóźnienia stanowi bardzo małą część zbioru danych, co może utrudniać proces uczenia.

Poprawę w stosunku do wcześniej analizowanych modeli można zaobserwować na podstawie wartości popełnianych błędów: zarówno w przypadku podzbiorów uczących, jak i walidacyjnych MAE nie przekracza 10%, natomiast w przypadku zbioru testowego wynosi ok 5,6%. Największą różnicę obserwuje się w przypadku  $R^2$ : model RBF jako jedyny pozwolił na uzyskanie dużych wartości współczynnika determinacji w przypadku podzbiorów walidacyjnych.

Przebieg procesu uczenia sieci o dobranych hiperparametrach – zmiany wartości popełnianego błędu MAE w kolejnych epokach treningu przedstawiono na rysunku 5.18.

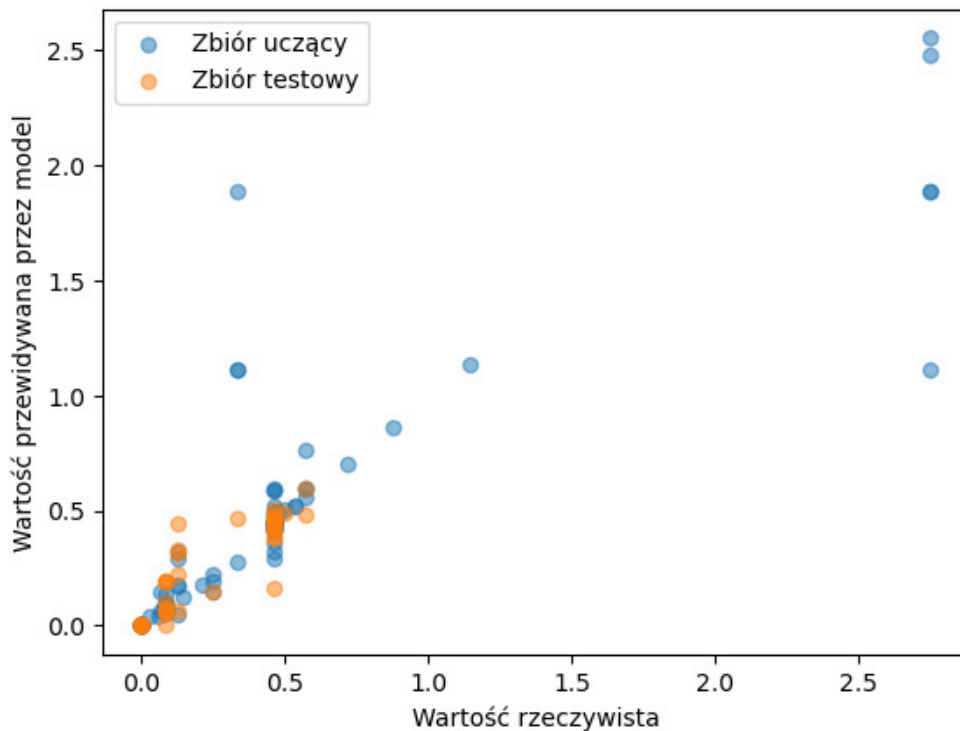


Rys. 5.18 Przebieg procesu uczenia radialnej sieci neuronowej RBF. Źródło:

Opracowanie własne.

Z powyższego wykresu (rys. 5.18) wynika, że największy spadek popełnianego błędu następował w początkowych epokach treningu. W okolicach 500 epoki można zaobserwować powolne wypłaszczenie krzywej, jednak wartości mniejsze niż 0,1 osiągnięto dopiero ok. 2000 epoki.

Na rysunku 5.19 zaprezentowano wykres rozrzutu na którym przedstawiono wartości rzeczywiste zmiennej zależnej oraz odpowiadające im wartości przewidywane przez model radialnej sieci neuronowej (RBF) – każdy punkt oznacza jeden obiekt.



Rys. 5.19 Wykres rozrzutu przedstawiający wartości rzeczywiste zmiennej zależnej oraz odpowiadające im wartości przewidywane przez model radialnej sieci neuronowej (RBF). Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie rysunku 4.18 można stwierdzić, że większość punktów na wykresie układa się wzdłuż przekątnej oznaczającej zgodność prognoz z wartościami rzeczywistymi lub znajduje się w niewielkim oddaleniu od niej. Można również zauważyć, że też kilka punktów wskazujących na mocne odchylenia wartości prognozowanych przez model od wartości rzeczywistych, niemniej jest ich relatywnie bardzo niewiele.

Największą poprawę w stosunku do pozostałych modeli możemy zaobserwować w przypadku zbioru uczącego – w przypadku pojedynczych obiektów możemy zauważyć duże zawyżenie wartości opóźnienia względnego, jednak popełniany błąd jest mniejszy niż możliwy do zaobserwowania na rysunku 5.6 i 5.9 przedstawiających wyniki uzyskane dla modeli drzew regresyjnych. Ponadto nie występują prognozy ujemne, co oznacza, że model poprawnie nauczył się zależności obserwowanych w analizowanym zbiorze danych. Obserwujemy więc przewagę modelu RBF nad pozostałymi analizowanymi modelami w całym analizowanym zakresie zmiennej zależnej.

## 5.4 Wybór najlepszego modelu

W wyniku uzyskanych wyników dla poszczególnych modeli w pkt. 5.3 najlepszym spośród wypróbowanych modeli okazał się zostać model zbudowany w oparciu o radialną sieć neuronową (RBF). W oparciu o poniższe kryteria takie jak *błąd predykcji (MAE i MSE)*, *współczynnik determinacji ( $R^2$ )*, *zdolności generalizacyjne oraz stopień skomplikowania struktury modelu* dokonano wyboru najlepszego modelu predykcji do dalszej weryfikacji.

Kryteria wyboru modelu:

- **Błąd predykcji** – im mniejsze wartości średniego błędu absolutnego MAE i błędu średniokwadratowego MSE, tym lepszy model z uwagi na małe błędy pomiędzy predykcjami a wartościami rzeczywistymi;
- **Współczynnik determinacji** – im większa wartość współczynnika determinacji  $R^2$ , tym większa zgodność pomiędzy predykcjami a wartościami rzeczywistymi;
- **Zdolności generalizacyjne** – im mniejsza różnica pomiędzy wynikami uzyskanymi na zbiorze uczącym i testowym, tym lepiej. Podobnie lepszym modelem będzie ten, który ma mniejszy rozrzut wyników dla podzbiorów walidacyjnych w sprawdzanie krzyżowym;
- **Stopień skomplikowania struktury modelu**, jego złożoność obliczeniowa i czasowa – im prostszy model, tym mniej czasu i zasobów obliczeniowych trzeba zużyć podczas jego treningu i taki model można uznać za lepszy od bardziej skomplikowanych, jeżeli zwraca porównywalnie dobre wyniki.

Pod względem dwóch pierwszych kryteriów najlepszy jest model zbudowany w oparciu o radialne sieci RBF – uzyskane przez niego wartości błędów MSE i MAE są najmniejsze, natomiast wartości współczynnika  $R^2$  największe i zbliżone do siebie dla obu zbiorów uczącego i testowego. Jest to jedyny model z przetestowanych modeli, który pozwolił na uzyskanie wartości współczynnika  $R^2$  dla zbioru uczącego zbliżony do 0,8. Model zbudowany w oparciu o radialne sieci RBF jest najlepszy również pod względem zdolności generalizacyjnych, o czym świadczą niewielkie różnice pomiędzy wartościami miar uzyskanymi na zbiorze uczącym i testowym.

Pod względem skomplikowania struktury model ten jest najbardziej zaawansowany i kosztowny obliczeniowo, jednak czas predykcji wszystkich modeli jest zbliżony. Kryterium złożoności modelu jest stosowane dopiero wówczas, gdy mamy do czynienia z wieloma modelami gwarantującymi zbliżone rezultaty i jakość predykcji.

W rozważanym przypadku tak nie jest, a więc kryterium złożoności nie powinno być wiążące i może nie być brane pod uwagę. Zatem do dalszej analizy i weryfikacji wybrano model zbudowany w oparciu o radialne sieci RBF.

### 5.5 Podsumowanie rozdziału

W niniejszym rozdziale zaprezentowano wyniki zaproponowanych modeli predykcji opóźnień w realizacji obiektów mostowych, co zostało poprzedzone odpowiednim przygotowaniem danych. W pierwszej kolejności dokonano kodowania zmiennych nominalnych i porządkowych, które jest istotnym elementem przygotowania danych do analizy, gdyż ma zasadniczy wpływ na interpretację miar jakości modelu.

Następnie dokonano podziału zbioru danych na dwa zbiory, tj. zbiór danych uczących (126 obiektów mostowych, co stanowi 74 % całego zbioru danych) i zbiór danych testowych (43 obiekty mostowe, co stanowi 25 % całego zbioru danych). W dalszej kolejności dokonano podziału zbioru uczącego na podzbiory uczące i walidacyjne w celu przeprowadzenia pięciokrotnej walidacji krzyżowej.

Uczenie, walidacja, testowanie oraz ocena wszystkich modeli zostały przeprowadzone z użyciem tego samego zbioru testowego i zbioru uczącego, aby umożliwić porównanie wyników uzyskanych przez poszczególne modele.

W dalszej części rozdziału przyjęto ogólne założenia dotyczące rodzajów rozważanych modeli oraz poddano optymalizacji następujące modele: model drzewa regresyjnego, model oparty o maszynę wektorów nośnych (nuSVR), model sieci neuronowej wielowarstwowej MLP oraz model sieci radialnej RBF.

Zaprezentowano wyniki modelowania poszczególnych modeli oraz dokonano ich oceny, a następnie na podstawie przyjętych kryteriów wyboru modelu, tj. *błąd predykcji (MAE i MSE)*, *współczynnik determinacji ( $R^2$ )*, *zdolności generalizacyjne oraz stopień skomplikowania struktury modelu* dokonano wyboru najlepszego modelu predykcji opóźnień w realizacji obiektów mostowych, którym okazał się być model zbudowany w oparciu o radialną sieć neuronową (RBF). Należy wskazać, iż w modelu tym uzyskane przez niego wartości błędów MSE i MAE są najmniejsze, a wartości współczynnika  $R^2$  największe i zbliżone do siebie dla obu zbiorów uczącego i testowego. Model ten uzyskał wartości współczynnika  $R^2$  dla zbioru uczącego zbliżony do 0,8. Niewielkie różnice pomiędzy wartościami miar jakościowych modelu uzyskanymi na zbiorze uczącym i testowym świadczą o dobrych zdolnościach generalizacyjnych modelu.



## 6. ANALIZA I WERYFIKACJA MODELU

### 6.1 Wyniki uczenia i testowania wybranej sieci

W tabeli 6.1 przedstawiono wyniki uczenia i testowania wybranej sieci RBF. W kolumnie 1 przedstawiono przynależność danej do zbioru uczącego lub testowego. W kolejnych kolumnach 3 i 4 przedstawiono wartości rzeczywiste i wartości prognozowane danego przypadku zbioru uczącego lub testowego. Natomiast w kolumnie 5 wskazano błąd absolutny, który stanowi różnicę między wartością prognozowaną a rzeczywistą. Wyniki uczenia i testowania sieci RBF dla wszystkich 169 przypadków zamieszczono w załączniku nr 12. W tabeli 6.1 zaprezentowano wyniki uczenia i testowania modelu sieci RBF dla wybranych przypadków.

Tabela 6.1 Wyniki uczenia i testowania wybranej sieci RBF dla wybranych przypadków

Lp.	Zbiór	Wartość rzeczywista	Wartość prognozowana	Błąd absolutny
1	2	3	4	5 = 4-3
1	testowy	0,000	0,000	0,000
2	uczący	0,143	0,125	-0,018
3	uczący	0,000	0,000	0,000
4	uczący	0,000	0,000	0,000
5	uczący	0,000	0,000	0,000
...	...	...	...	...
42	uczący	0,333	1,116	0,782
43	uczący	0,333	1,886	<b>1,553</b>
44	uczący	0,333	1,111	0,782
45	uczący	0,333	0,273	-0,06
46	uczący	2,75	1,116	<b>-1,634</b>
...	...	...	...	...
101	uczący	0,458	0,292	-0,167
102	testowy	0,458	0,455	-0,003
103	testowy	0,458	0,383	-0,075
104	uczący	0,458	0,363	-0,095
105	uczący	0,458	0,480	0,021
...	...	...	...	...
165	testowy	0,000	0,000	0,000
166	uczący	0,000	0,000	0,000
167	uczący	0,000	0,000	0,000
168	uczący	0,000	0,000	0,000
169	testowy	0,000	0,000	0,000
<b>Dla 169 przypadków</b>			<b>Min błąd absolutny</b>	<b>-1,634</b>
			<b>Max błąd absolutny</b>	<b>1,553</b>

Źródło: Opracowanie własne.

Na rysunku 6.1 i 6.2 przedstawiono wykres punktowy błędów predykcji PE (percentage error) dla zbiorów uczenia i testowania wybranej sieci RBF liczony zgodnie ze wzorem:

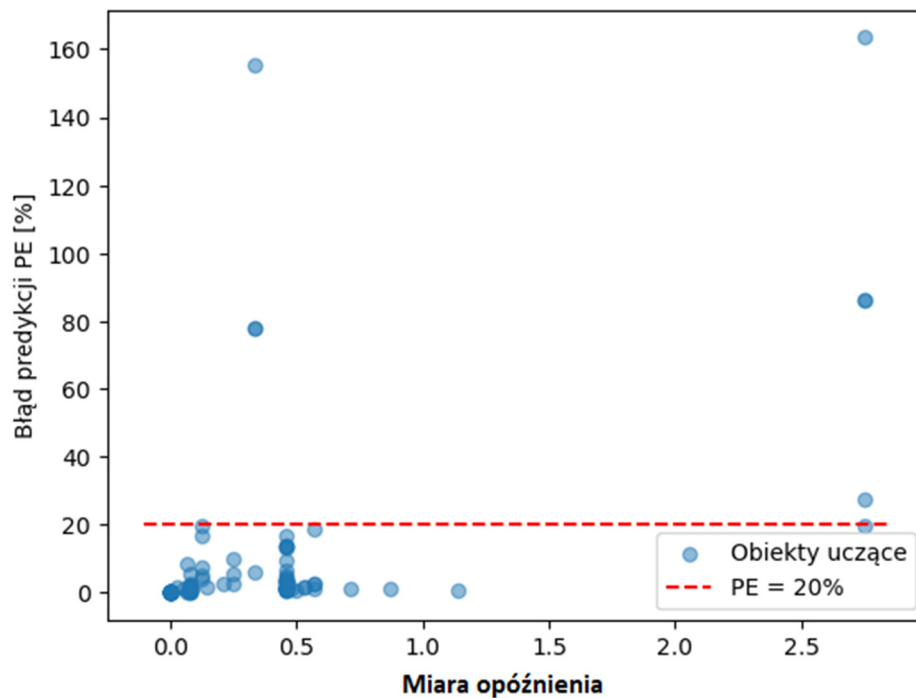
$$PE = \left( \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\% \right) \quad (6.1)$$

gdzie:

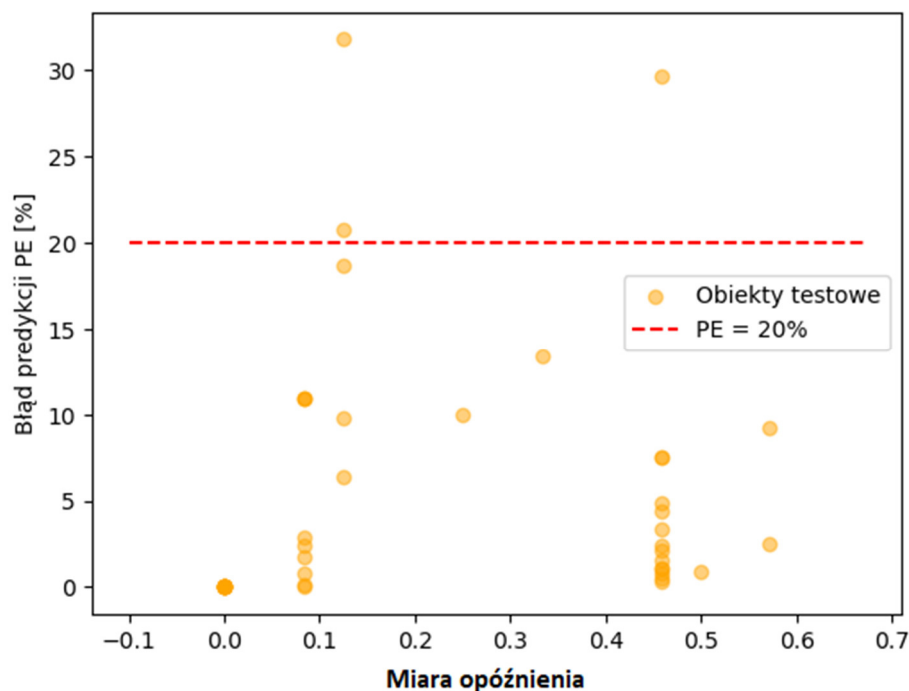
$y_i$  – wartość rzeczywista opóźnień dla  $i$ -tej próbki,

$\hat{y}_i$  – wartość opóźnień prognozowana przez sieć dla  $i$ -tej próbki.

Współrzędne poziome punktów stanowią rzeczywiste wartości miary opóźnienia w realizacji obiektów mostowych, natomiast współrzędne pionowe odpowiadają wartościom błędów predykcji PE opóźnień.



Rys. 6.1 Wykres punktowy wartości błędów predykcji PE dla zbioru uczącego wybranej sieci RBF względem miary opóźnienia. Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 6.2 Wykres punktowy wartości błędów predykcji PE dla zbioru testowania wybranej sieci RBF względem miary opóźnienia. Źródło: Opracowanie własne.

Na zaprezentowanych rysunkach 6.1 i 6.2 punkty odpowiadające uczeniu i testowaniu sieci mieszczą się w większości w  $\pm 20\%$  błędów predykcji.

Wobec powyższego, w związku z wyznaczeniem charakterystyk statystycznych określających zgodność modelu neuronowego z danymi empirycznymi, należy odnieść się do rysunku 5.19 w rozdziale 5, tj. rysunku przedstawiającego wykres punktowy wyników uczenia i testowania wybranej sieci RBF w zależności wartości prognozowanej  $\hat{y}_i$  i rzeczywistej miary opóźnienia  $y_i$ . Rysunek 6.2 potwierdza, iż punkty odpowiadające uczeniu i testowaniu sieci mieszczą się w większości w stożku błędów  $\pm 20\%$  rozkładając się wzdłuż prostej idealnego dopasowania:

$$y_i = \hat{y}_i \tag{6.2}$$

gdzie:

$y_i$  – wartość rzeczywista opóźnień dla  $i$ -tej próbki,

$\hat{y}_i$  – wartość opóźnień prognozowana przez sieć dla  $i$ -tej.

Dla zbiorów uczącego, testującego oraz obu zbiorów razem wyznaczono następujące charakterystyki statystyczne określające zgodność oszacowań opóźnień względnych wyznaczonych przez sieć z wartościami rzeczywistego opóźnienia:

- współczynniki korelacji  $R$  [41, 160],
- współczynniki determinacji  $R^2$  [12, 72], zgodnie ze wzorem (5.3) zapisanym w rozdziale piątym,
- współczynniki zbieżności  $\varphi^2$  [12, 72].

Wyznaczone wartości charakterystyk statystycznych zestawiono w tabeli 6.2.

Tabela 6.2 Charakterystyki statystyczne określające zgodność modelu neuronowego RBF z danymi empirycznymi.

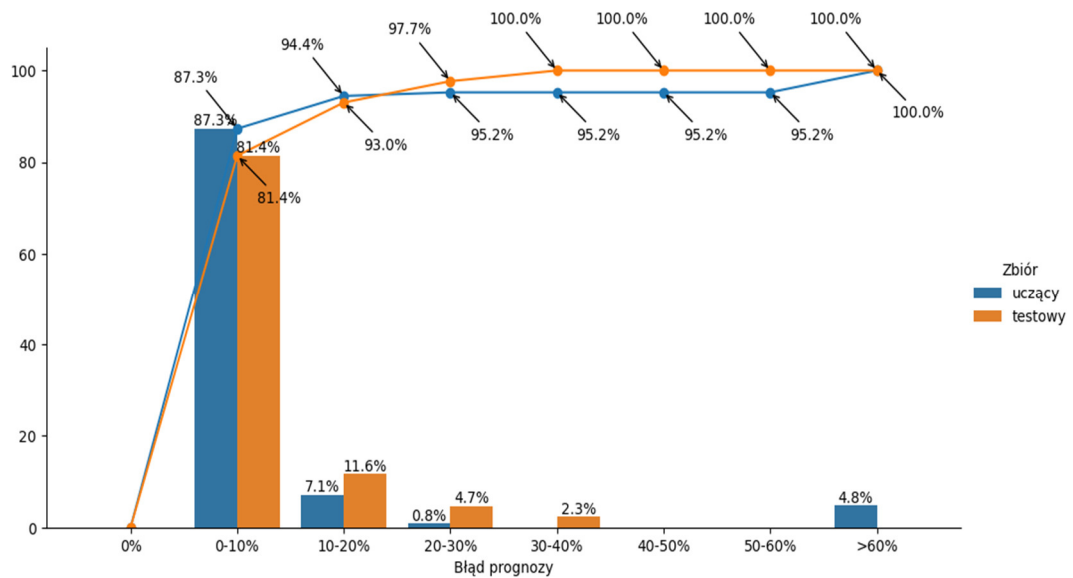
<b>Charakterystyka</b>	<b>Zbiór uczący</b>	<b>Zbiór testujący</b>	<b>Zbiory uczący i testujący razem</b>
<b>Współczynnik korelacji <math>R</math></b>	0,884	0,894	0,885
<b>Współczynnik determinacji <math>R^2</math></b>	0,780	0,791	0,783
<b>Współczynnik zbieżności <math>\varphi^2</math></b>	0,220	0,209	0,217

Źródło: Opracowanie własne.

Obliczone dla proponowanego modelu wartości charakterystyk statystycznych uznano za zadowalające. Wartości zbioru uczącego i testowego są zbliżone łącznie dla tych zbiorów. Współczynnik korelacji jest na poziomie ok. 90% co świadczy o wysokiej korelacji. Oznacza to, że wartości rzeczywiste miary opóźnień i wartości prognozowane zwracane przez model są bardzo zbliżone. Zatem model prawidłowo wskazuje wartości prognozowane przy niewielkich błędach prognozy.

Wobec powyższego, współczynniki korelacji bliskie 1, współczynniki determinacji bliskie 1 oraz współczynniki zbieżności bliskie 0 mogą świadczyć o bardzo dobrym dopasowaniu modelu neuronowego do danych empirycznych [41].

Na rysunku 6.3 dla wybranej sieci RBF przedstawiono wykres rozkładu i dystrybuanty błędów predykcji PE:



Rys. 6.3 Histogram rozkładu i wykres liniowy dystrybuanty błędów predykcji PE zbioru uczącego i zbioru testowego dla wybranej sieci RBF. Źródło: Opracowanie własne.

Z wykresu (rys. 6.3) wynika, że dla ponad 80% odpowiedzi sieci wartości błędów predykcji uczenia oraz testowania mieszczą się w przedziale od 0% do 10%. Dla przedziału od 0% do 30% jest to 95% odpowiedzi modelu predykcji. Średni błąd względny MAPE wynosi dla zbioru uczącego 5,89%, natomiast dla zbioru testowego 5,68%. Maksimum błędów wynosi dla zbioru uczącego 163,44%, natomiast dla zbioru testowego 31,80%.

## 6.2 Analiza wrażliwości

Analiza wrażliwości pozwala określić użyteczność i ważność poszczególnych zmiennych niezależnych (wejściowych) sieci neuronowej [139]. W oparciu o analizę wrażliwości określono podatność zmiennej zależnej (wyjściowej) na zmienność poszczególnych zmiennych niezależnych (wejściowych). Wpływ poszczególnych zmiennych na zwracane przez model RBF predykcje zostały wyznaczone w oparciu o tzw. wartości Shapley'a. W pierwotnym zastosowaniu w teorii gier wartości Shapley'a określały, jaki jest wkład pojedynczego gracza w wynik uzyskiwany przez całą drużynę w grze koalicyjnej.

Wartość Shapley'a [186] dla  $i$ -tego gracza wyznacza się za pomocą wzoru 6.3:

$$\varphi_i = \frac{1}{n!} \sum_{\substack{S \subseteq N \\ i \in S}} (s-1)! (n-s)! [v(S) - v(S \setminus \{i\})], \quad (6.3)$$

gdzie,  $s$  jest wielkością (liczebnością) koalicji  $S$ . Wartość Shapley'a interpretuje się jako średnią wartość wygranej, jaką wnosi do wielkiej koalicji  $i$ -ty gracz, gdy kolejność tworzenia tej koalicji jest równoprawdopodobna,  $\varphi = (\varphi_1, \dots, \varphi_n)$  jest zawsze imputacją. Interpretacja wartości Shapley'a powoduje, że jest ona bardzo atrakcyjnym sposobem ustalenia podziału – gracz otrzymuje tyle, ile średnio wnosi do koalicji [186].

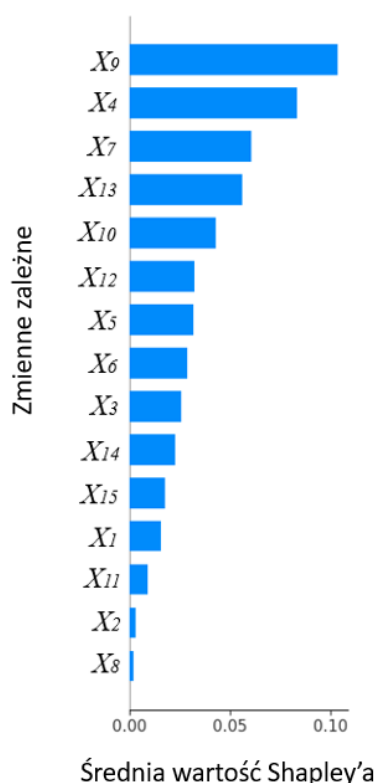
W uczeniu maszynowym pojęcie to zostało zaadaptowane do określania ważności cech w modelach, w których nie można tej ważności wyjaśnić w prostszy sposób (np. na podstawie wartości współczynników przy poszczególnych zmiennych, tak jak robi się w przypadku regresji wielorakiej). Im większa wartość Shapley'a, tym większy wkład tej zmiennej w wynik końcowy (czyli zwracaną wartość prognozowaną w przypadku analizowanej sieci RBF). Wyniki analizy wrażliwości przedstawiono w tabeli 6.3.

Tabela 6.3 Wyniki analizy wrażliwości zmiennych niezależnych w oparciu o średnią wartość Shapley'a

Zmienna niezależna	Oznaczenie zmiennej niezależnej	Średnia wartość Shapley'a (wpływ zmiennej na prognozy modelu)
<i>Potencjał projektanta</i>	$X_1$	0,015
<i>Uzgodnienia projektowe</i>	$X_2$	0,003
<i>Potencjał wykonawcy</i>	$X_3$	0,026
<i>Administracja i finanse budowy</i>	$X_4$	0,083
<i>Organizacja i technologia budowy</i>	$X_5$	0,032
<i>Zasoby sprzętowe i materiałowe</i>	$X_6$	0,029
<i>Warunki atmosferyczne i społeczne</i>	$X_7$	0,061
<i>Decyzje administracyjne</i>	$X_8$	0,002
<i>Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe</i>	$X_9$	0,103
<i>Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe</i>	$X_{10}$	0,043
<i>Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)</i>	$X_{11}$	0,009
<i>Rodzaje podpór pośrednich obiektu</i>	$X_{12}$	0,032
<i>Sposób posadowienia podpór obiektu</i>	$X_{13}$	0,056
<i>Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę</i>	$X_{14}$	0,023
<i>Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statystyczny</i>	$X_{15}$	0,018

Źródło: Opracowanie własne.

Na rysunku 6.4 przedstawiono wyniki analizy wrażliwości w oparciu o średnie wartości Shapley'a w uporządkowaniu od zmiennej niezależnej  $X_i$  mającej najsilniejszy wpływ do zmiennej niezależnej  $X_i$  o wpływie najmniejszym na zmienną zależną  $Y$ .



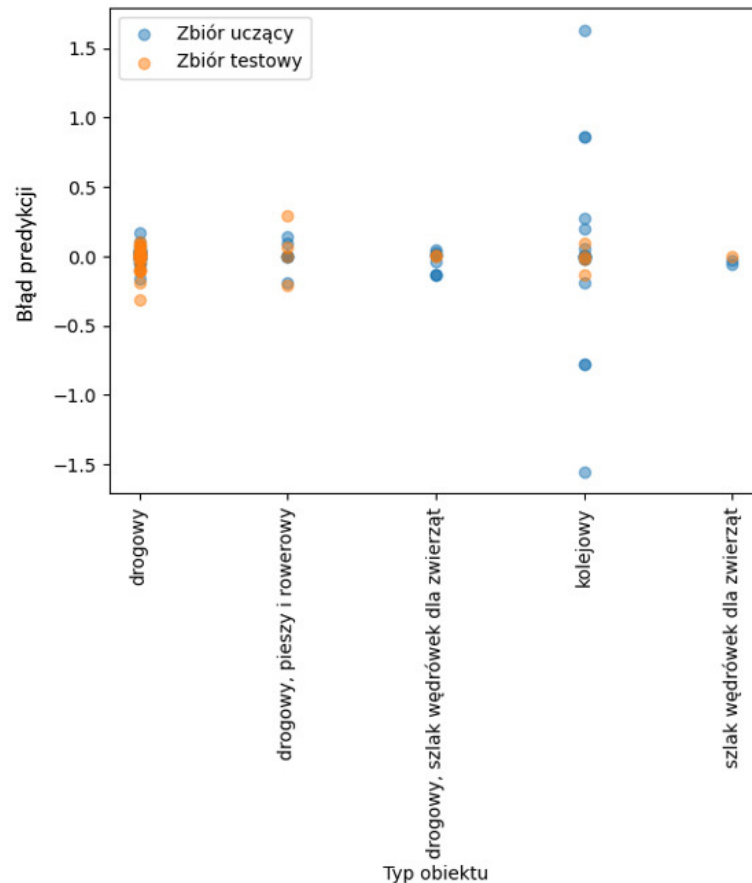
Rys. 6.4 Wykres przedstawiający siłę wpływu zmiennych zależnych  $X_i$  na zmienną niezależną  $Y$  (wartości Shapley'a), Źródło: Opracowanie własne.

Wrażliwość zmiennej zależnej na zmienność zmiennych niezależnych określały wartości liczbowe – im większa wrażliwość zmiennej zależnej tym większa ważność zmiennej niezależnej. Na podstawie wartości przedstawionych w tabeli 6.3 oraz rysunku 6.4 można stwierdzić, iż w proponowanym modelu najsilniej na wartość zmiennej zależnej  $Y$  wpływa zmienność zmiennej niezależnej  $X_9$  - *Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe*. Najslabiej na wartość zmiennej opisywanej  $Y$  wpływa zmienność zmiennej niezależnej  $X_8$  - *Decyzje administracyjne*. Siłę wpływu pozostałych zmiennych niezależnych określają wartości przedstawione na rysunku 6.4 w porządku malejącym (im mniejsza wrażliwość zmiennej niezależnej  $X_i$  tym mniejszy wpływ zmienności zmiennej niezależnej  $X_i$  na wartość zmiennej zależnej  $Y$ ). Uwagę zwraca wysoka pozycja zmiennych  $X_4$  - *Administracja i finanse budowy*,  $X_7$  - *Warunki atmosferyczne i społeczne* oraz  $X_{13}$  - *Sposób posadowienia obiektu*. Mała wrażliwość zmiennej  $Y$  na zmienne  $X_2$  - *Uzgodnienia projektowe* oraz  $X_8$  - *Decyzje administracyjne*

daje podstawę do rozważenia usunięcia tych zmiennych ze zbioru zmiennych niezależnych (wejściowych) w dalszej pracy badawczej nad rozwojem modelu.

### 6.3 Analiza jakości modelu

Przedstawiona poniżej analiza miała na celu ocenę jakości proponowanego modelu dla zmiennych o największych wartościach Shapley'a, czyli  $X_9$  - *Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe*,  $X_4$  - *Administracja i finanse budowy* a także zmienne  $X_7$  - *Warunki atmosferyczne i społeczne* oraz  $X_{13}$  - *Sposób posadowienia podpór obiektu*.

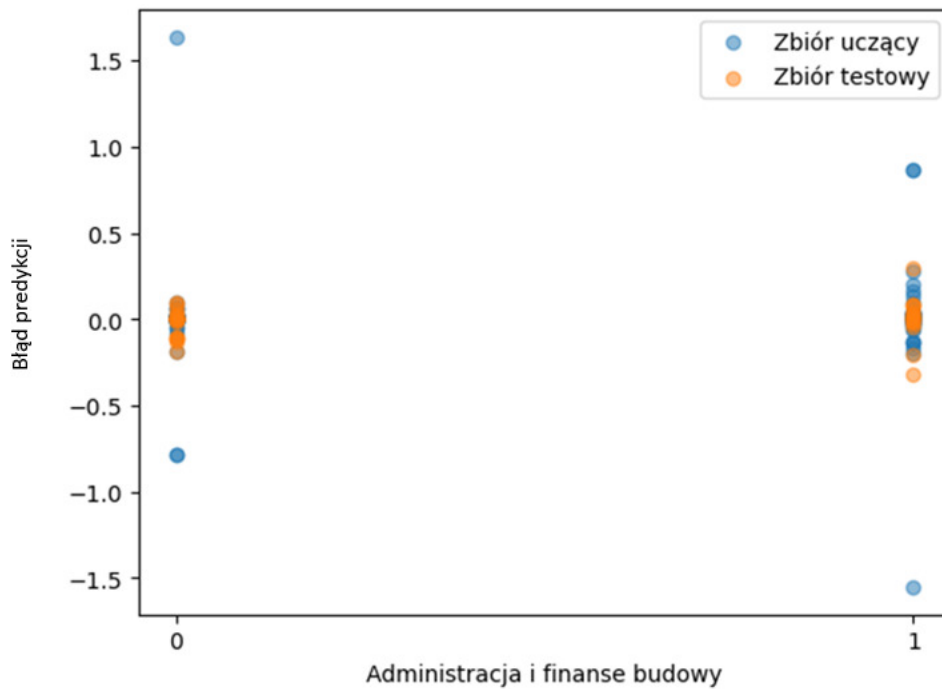


Rys. 6.5 Rozrzut wartości błędu predykcji opóźnienia względnego dla zmiennej  $X_9$  *Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe*. Źródło: Opracowanie własne.

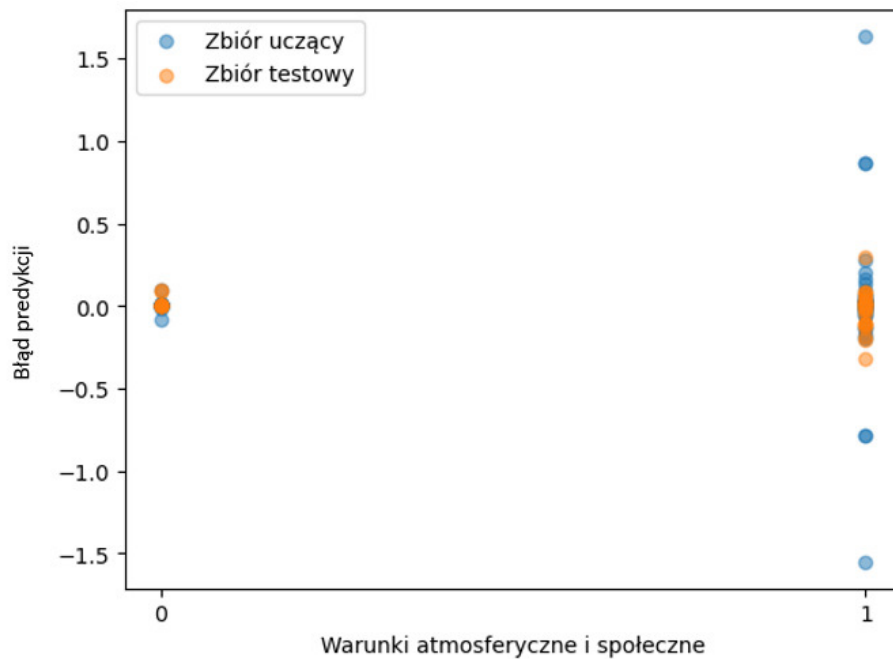
Największy rozrzut wartości błędu predykcji opóźnienia względnego można zaobserwować dla obiektów typu kolejowego – w niektórych przypadkach błędy predykcji sięgają wartości przekraczających 100% wartości rzeczywistej. Występują zarówno niedoszacowania, jak i przeszacowania wartości opóźnienia względnego, na co wskazuje występowanie ujemnych i dodatnich wartości błędów predykcji. Najmniejszym rozrzutem wartości zmiennej zależnej cechują się obiekty z grupy szlak wędrówek dla zwierząt, może to jednak mieć związek z bardzo niewielką liczebnością tej grupy. Należy również zauważyć, że obiekty należące do zbioru testowego cechują się mniejszym



rozzrzutem zmiennej zależnej oraz większą dokładnością prognozy – największe błędy popełniane są dla obiektów ze zbioru uczącego.



Rys. 6.6 Rozrzut wartości czasu opóźnienia dla zmiennej  $X_4$  - *Administracja i finanse budowy*. Źródło: Opracowanie własne.

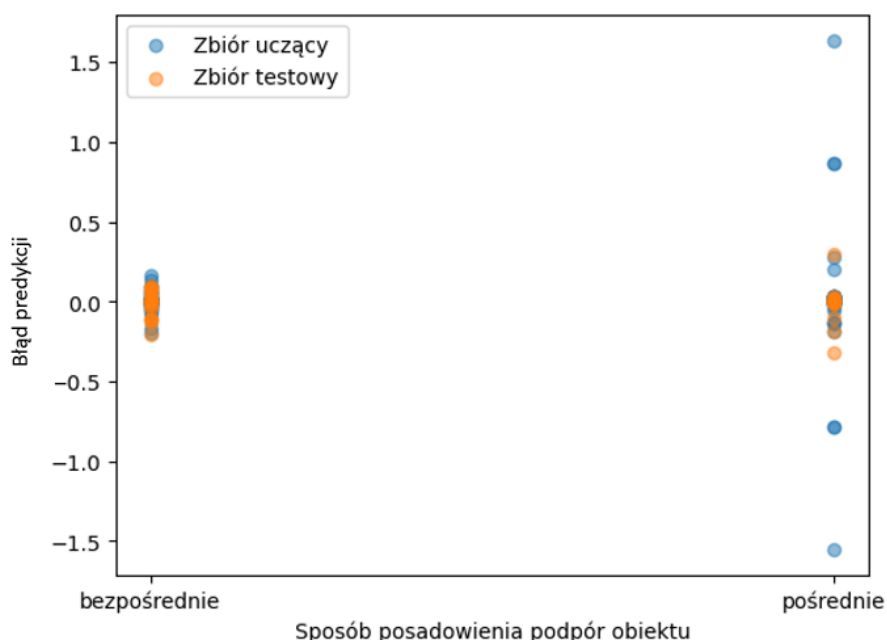


Rys. 6.7 Rozrzut wartości czasu opóźnienia dla zmiennej  $X_7$  - *Warunki atmosferyczne i społeczne*, Źródło: Opracowanie własne.

W przypadku zmiennych  $X_4$  - *Administracja i finanse budowy* oraz  $X_7$  - *Warunki atmosferyczne i społeczne* można zaobserwować, że wystąpienie danego czynnika

opóźniającego znacząco wpłynęło na dokładność prognozy opóźnienia względnego. W grupie oznaczonej jako 0, czyli w przypadku obiektów, dla których dana zmienna nie wystąpiła błędy prognozy są stosunkowo niewielkie i nie przekraczają 20% zarówno dla zbioru uczącego, jak i testowego (w przypadku zmiennej  $X_4$  - *Administracja i finanse budowy* można zaobserwować pojedyncze obiekty uczące, dla których błąd predykcji jest znacząco większy, jednak są to przypadki jednostkowe i nie wpływają na ogólną tendencję).

W przypadku wystąpienia danej zmiennej prognozy są już mniej dokładne, szczególnie dla obiektów ze zbioru uczącego – oprócz obiektów, dla których popełniany błąd jest wyjątkowo duży (przekraczający 150%) można zaobserwować większe rozproszenie punktów na płaszczyźnie, co świadczy o większym zróżnicowaniu wartości popełnianych błędów.



Rys. 6.8 Rozrzut wartości błędu predykcji opóźnienia względnego dla zmiennej  $X_{13}$  - *Sposób posadowienia podpór obiektu*, Źródło: Opracowanie własne.

W przypadku sposobu posadowienia podpór obiektu również można zaobserwować tendencję do popełniania większych błędów w grupie *pośrednie*. W grupie obiektów o posadowieniu *bezpośrednim* popełniany błąd nie przekracza ok. 25%, natomiast w drugiej grupie *pośrednie* dla części obiektów popełniany błąd przekracza 90% i sięga nawet ponad 150%. Podobnie jak w przypadku poprzednich analizowanych zmiennych, większe błędy można zaobserwować dla obiektów ze zbioru uczącego. Na podstawie wszystkich 4 wykresów przedstawionych powyżej można stwierdzić, że błędy

popelniane przez model przyjmują zarówno wartości dodatnie, jak i ujemne. Nie można zaobserwować jednoznacznej tendencji modelu do popelniania określonych błędów, tzn. zwracania zbyt dużych lub zbyt małych wartości prognozy zmiennej zależnej. Jest to cecha pozytywna, ponieważ zwracane przez model wartości predykcji dodatnich lub ujemnych wskazywałyby na brak losowości popelnianych błędów oraz konieczność wprowadzania czynników korygujących prognozy.

#### **6.4 Weryfikacja hipotez statystycznych dotyczących proponowanego modelu**

Na podstawie przeprowadzonego modelowania neuronowego oraz analiz wyników uczenia i testowania wybranego modelu w postaci sieci RBF przyjęto, że proponowany model pozwoli na prognozowanie opóźnień z wykorzystaniem założonej miary opóźnienia (opóźnienia względnego) w realizacji obiektów mostowych we wczesnej fazie budowlanego procesu inwestycyjnego w określonym przedziale błędu.

Dla proponowanego modelu przeprowadzono testowanie następujących hipotez statystycznych:

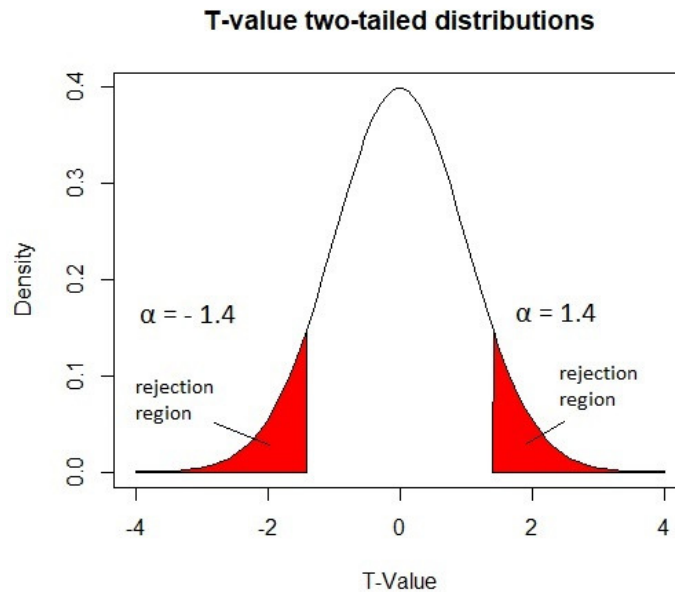
- o nieobciążoności odchyłeń losowych modelu,
- o identyczności rozkładów wartości zmiennej zależnej prognozowanej przez model i obserwowanej.

Weryfikację hipotez przeprowadzono dla zbiorów uczącego i testującego razem, zbioru uczącego oraz zbioru testującego. Podstawy teoretyczne oraz procedury testowania hipotez statystycznych zaczerpnięto z literatury [41, 154, 160, 221].

##### **Hipoteza o nieobciążoności odchyłeń losowych modelu**

W tym rozdziale wykonano test t-Studenta, ponieważ sprawdza on równość dwóch wartości – w analizowanym przypadku wartości oczekiwanej błędu (czyli średniej arytmetycznej popelnianych błędów predykcji) oraz 0. W celu dokonania sprawdzenia czy model jest nieobciążony, należy porównać z wartością 0, jeżeli tak, to średnia wartość popelnianego błędu predykcji powinna wynosić właśnie 0.

Ponieważ hipoteza alternatywną dwustronną jest poddawana testowi, należy dokonać sprawdzenia, czy wartość statystyki testowej  $I$  należy do tzw. obszaru krytycznego, czyli obszaru pod krzywą gęstości rozkładu prawdopodobieństwa oznaczającego, że hipotezę zerową należy odrzucić - w przypadku hipotezy dwustronnej obszar krytyczny wygląda tak jak zaznaczono kolorem czerwonym na rysunku 6.9.



Rys. 6.9 Przykład - krytyczne wartości rozkładu t-Studenta. Źródło: [233]

Wartość krytyczna ( $I^*$ ) to wartość, która wyznacza początek lub koniec obszaru krytycznego. W przypadku hipotezy dwustronnej trzeba wyznaczyć dwie wartości krytyczne, jednak ponieważ rozkład t-Studenta jest symetryczny, te wartości to  $-I^*$  oraz  $I^*$ .

$$-I^* < I < I^* \quad (6.4)$$

Jeżeli statystyka testowa ( $I$ ) zawiera się w przedziale  $(-I^*; I^*)$ , to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej i możemy przyjąć, że średni popełniany błąd wynosi 0, czyli model jest nieobciążony.

Nieobciążoność odchyłeń losowych badano weryfikując hipotezę, że wartość oczekiwana odchyłeń losowych jest nieistotnie różna od zera.

Sformułowano hipotezę zerową:

$$H_0: [E(\varepsilon) = 0] \quad (6.5)$$

wobec hipotezy alternatywnej:

$$H_1: [E(\varepsilon) \neq 0] \quad (6.6)$$

## Weryfikacja hipotezy dla zbiorów uczącego i testującego razem

Tok weryfikacji hipotezy  $H_0$  był następujący [160]:

1. Wyznaczono wartość statystyki:

$$I = \frac{|\bar{e}|\sqrt{n-1}}{\hat{S}_e} \quad (6.7)$$

gdzie:

-  $\bar{e}$  – średnia arytmetyczna odchyleń losowych,

-  $\hat{S}_e$  – odchylenie standardowe reszt losowych,

-  $n$  – liczność próby.

$$I = 0,245$$

2. Dla podstawie testu  $t$  Studenta ustalono wartość krytyczną  $I^*$  dla  $m = n-1$  stopni swobody oraz przyjętego poziomu istotności  $\gamma$ .

$$m = 168$$

$$\gamma = 0,05$$

$$I^*(\gamma = 0,05; m = 168) = 1,9742$$

3. Porównano obliczoną wartość statystyki  $I$  z wartością krytyczną  $I^*$ :

$$-I^* = -1,9742 < I = 0,1175 < I^* = 1,9742$$

Ponieważ  $-I^* < I < I^*$  nie było podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$  o nieobciążoności odchyleń losowych modelu weryfikowanej dla zbiorów uczącego i testującego razem.

### Weryfikacja hipotezy dla zbioru uczącego

Tok weryfikacji hipotezy  $H_0$  był analogiczny jak dla zbiorów uczącego i testującego razem:

Wyznaczono wartość statystyki  $I$  (6.7):

$$I = 0,2594$$

2. Dla podstawie testu  $t$  Studenta ustalono wartość krytyczną  $I^*$  dla  $m = n-1$  stopni swobody oraz przyjętego poziomu istotności  $\gamma$ .

$$m = 125$$

$$\gamma = 0,05$$

$$I^*(\gamma = 0,05; m=125) = 1,9791$$

3. Porównano obliczoną wartość statystyki  $I$  z wartością krytyczną  $I^*$ :

$$-I^* = -1,9791 < I = 0,2594 < I^* = 1,9791$$

Ponieważ  $-I^* < I < I^*$  nie było podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$  o nieobciążoności odchyłeń losowych modelu weryfikowanej dla zbioru uczącego.

### **Weryfikacja hipotezy dla zbioru testującego**

Tok weryfikacji hipotezy  $H_0$  był analogiczny jak dla zbiorów uczącego i testującego razem:

1. Wyznaczono wartość statystyki  $I$  (6.7):

$$I = -0,6487$$

2. Dla podstawie testu  $t$  Studenta ustalono wartość krytyczną  $I^*$  dla  $m = n-1$  stopni swobody oraz przyjętego poziomu istotności  $\gamma$ .

$$m = 42$$

$$\gamma = 0,05$$

$$I^*(\gamma = 0,05; m=42) = 2,0181$$

3. Porównano obliczoną wartość statystyki  $I$  z wartością krytyczną  $I^*$ :

$$-I^* = -2,0181 < I = -0,6487 < I^* = 2,0181$$

Ponieważ  $-I^* < I < I^*$  nie było podstaw do odrzucenia hipotezy  $H_0$  o nieobciążoności odchyłeń losowych modelu weryfikowanej dla zbioru testującego.

### **Hipoteza o identyczności rozkładów wartości zmiennej zależnej prognozowanej przez model i obserwowanej**

W celu weryfikacji hipotezy o identyczności rozkładów wartości zmiennej zależnej prognozowanej przez model i obserwowanej wybrano test U Manna-Whitneya. Powodem wyboru jest fakt, że zmienna zależna oraz predykcje modelu nie mają rozkładu normalnego, co zostało sprawdzone testem Shapiro-Wilka. Test U Manna-Whitney'a jest nieparametryczną alternatywą dla testu t-Studenta dla prób niezależnych, służącego od oceny różnic między średnimi w dwóch grupach. Wykonuje się go wtedy, gdy nie są spełnione założenia dla wspomnianego wcześniej testu t-Studenta (brak normalności rozkładu). W teście U Manna-Whitney'a zakłada się, że rozważana zmienna została zmierzona przynajmniej na skali porządkowej (rangowej). Interpretacja wyników tego

testu jest zasadniczo taka sama jak w przypadku testu t dla prób niezależnych. Różnica polega na tym, że obliczenia w teście U są wykonywane w oparciu o sumę rang a nie o średnie. Test U jest najmocniejszą nieparametryczną alternatywą dla testu t dla prób niezależnych [240].

Wartości  $p$  uzyskane w teście Shapiro-Wilka zaprezentowano w tabeli 6.4.

Tabela 6.4 Wyniki testu Shapiro-Wilka w zakresie rozkładu normalnego

Wartości	$p$	
	Zbiór uczący	Zbiór testowy
Wartości obserwowane zmiennej zależnej	$3,254 \times 10^{-18}$	$4,326 \times 10^{-06}$
Wartości prognozowane przez model	$2,012 \times 10^{-15}$	$6,465 \times 10^{-05}$

Źródło: Opracowanie własne.

Wszystkie powyższe wartości wskazują na istnienie podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o normalności rozkładu ( $p < \alpha = 0,05$ ).

Założenia testu U Manna Whitney'a:

Funkcje  $F(x)$ ,  $G(x)$  to dystrybuanty rozpatrywanych populacji, na podstawie, których można sformułować następujące hipotezy:

Hipoteza zerowa:

$$H_0: F(x) = G(x) \quad 6.8$$

Hipoteza alternatywna:

$$H_0: F(x) \neq G(x) \quad 6.9$$

Przyjęty poziom istotności:  $\alpha = 0,05$

Wyniki testu U Manna-Whitney'a zaprezentowano w tabeli 6.4

Tabela 6.4 Wyniki testu U Manna-Whitney'a

Zbiór	U	$p$
Uczący	8 115,5	0,756
Testowy	947,0	0,849
Uczący + testowy	14 630,0	0,693

Źródło: Opracowanie własne.

We wszystkich trzech przypadkach  $p > \alpha = 0,05$ , co świadczy o tym, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o równości rozkładów zmiennych. Oznacza to, że nie ma podstaw do stwierdzenia, że dystrybuanty rozkładów opisujących predykcje oraz rzeczywiste wartości zmiennej zależnej są różne.

## 6.5 Podsumowanie rozdziału

Niniejszy rozdział stanowi analizę i ocenę wybranego modelu w zakresie uczenia i testowania oraz jakości modelu. Zaprezentowano wyniki uczenia i testowania wybranego modelu radialnej sieci RBF. Wykonano analizę wrażliwości, określając użyteczność i ważność poszczególnych zmiennych niezależnych wybranej sieci neuronowej. Analizę przeprowadzono dla poszczególnych zmiennych niezależnych na zwracane przez model RBF predykcje w oparciu o tzw. wartości Shapley'a. W wyniku czego stwierdzono, że najsilniejszy wpływ na wartość zmiennej zależnej  $Y$  wpływa zmienność zmiennej niezależnej  $X_9$  - *Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe*. Uwagę zwraca również wysoka pozycja zmiennych  $X_4$  - *Administracja i finanse budowy*,  $X_7$  - *Warunki atmosferyczne i społeczne oraz*  $X_{13}$  - *Sposób posadowienia obiektu*. Natomiast najsłabiej na wartość zmiennej zależnej  $Y$  wpływa zmienność zmiennej niezależnej  $X_8$  - *Decyzje administracyjne*. W dalszej kolejności przeprowadzono analizę jakości modelu dla zmiennych niezależnych o największych wartościach Shapley'a, czyli  $X_9$  - *Typ obiektu ze względu na przeznaczenie użytkowe*,  $X_4$  - *Administracja i finanse budowy* a także zmienne  $X_7$  - *Warunki atmosferyczne i społeczne oraz*  $X_{13}$  - *Sposób posadowienia podpór obiektu*. Analiza ta miała na celu ocenę jakości wybranego modelu. Następnie przeprowadzono weryfikację hipotez statystycznych o nieobciążoności odchyłeń losowych modelu oraz o identyczności rozkładów wartości zmiennej zależnej prognozowanej przez model i obserwowanej. Weryfikację hipotez przeprowadzono dla zbiorów uczącego i testującego razem, zbioru uczącego oraz zbioru testującego. W celu weryfikacji hipotezy o nieobciążoności odchyłeń losowych modelu wykonano test t-Studenta. Weryfikację hipotezy o identyczności rozkładów wartości zmiennej zależnej prognozowanej przez model i obserwowanej przeprowadzono w oparciu o wybrano test U Manna-Whitneya z uwagi na fakt, iż zmienna zależna oraz predykcje modelu nie mają rozkładu normalnego, co zostało sprawdzone testem Shapiro-Wilka. We wszystkich przypadkach dla zbiorów uczącego i testującego razem, zbioru uczącego oraz zbioru testującego  $p > \alpha = 0,05$ , co świadczy o tym, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotez. Wyniki przeprowadzonego testowania zbioru przyjętych hipotez statystycznych nie dały podstaw do negatywnej oceny. Uznano, że weryfikacja modelu wypadła pomyślnie.



## 7. ZAKOŃCZENIE

### 7.1 Podsumowanie

W niniejszej pracy zaproponowano modele predykcyjne umożliwiające prognozowanie opóźnień w realizacji obiektów mostowych z wykorzystaniem metod statystycznych oraz metod sztucznej inteligencji.

W celu pozyskania danych do modelowania, opracowano zbiór danych składający się z trzech części: informacje ogólne o obiektach, parametry techniczne obiektów oraz czynniki powodujące opóźnienia. W wyniku studiów literatury, badań własnych oraz analizy dokumentacji kontraktowej, dokumentacji projektowej i dokumentacji odbiorowej zakończonych realizacji obiektów mostowych opracowano część pierwszą zbioru danych dotyczącą informacji ogólnych, w której zebrano informacje o zrealizowanych obiektach mostowych. Druga część zbioru danych zawierała charakterystyczne parametry techniczne obiektów mostowych, które zostały wskazane przez autora na podstawie literatury oraz weryfikacji dokumentacji. Trzecia część zbioru danych stanowiła 10 czynników zidentyfikowanych w badaniach własnych jako przyczyny opóźnień realizacji obiektów mostowych. W efekcie prowadzonych badań pozyskano dane w zakresie 169 zakończonych inwestycji obiektów mostowych, z których dla 120 wykazano opóźnienia i zidentyfikowano przyczyny opóźnień.

Zbiór danych zawierał informacje o przedsięwzięciach budowlanych obejmujących obiekty mostowe takie jak wiadukty (69%), mosty (21%) i pozostałe (10%), w tym obiekty drogowe (70%), kolejowe (14%) i pozostałe (16%). Przedsięwzięcia te były realizowane w oparciu o system „zbuduj” (92%) oraz „zaprojektuj i zbuduj” (8%).

W pracy dokonano oceny statystycznej zebranego materiału badawczego, co w konsekwencji pozwoliło na wybór ostatecznego zbioru zmiennych do budowy modeli predykcji.

W celu opracowania modeli predykcji opóźnień, jako zmienną zależną przyjęto opóźnienie względne dla przedsięwzięć opóźnionych, a w wyniku przeprowadzonych analiz statystycznych wytypowano 15 zmiennych niezależnych.

Na podstawie powyższego, zaproponowano 5 modeli predykcji opóźnień obiektów mostowych: model regresji wielorakiej, model drzewa regresyjnego, model maszyny wektorów nośnych, sztucznej sieci neuronowej MLP oraz model radialnej sieci neuronowej RBF.

Na podstawie przyjętych kryteriów wyboru jakim były: błąd predykcji, współczynnik determinacji, zdolności generalizacyjne oraz stopień skomplikowania struktury modelu, spośród wskazanych powyżej modeli, wybrano jeden, charakteryzujący się najlepszym dopasowaniem prognozy do danych rzeczywistych. Okazał się nim model w postaci sieci RBF.

Dla wybranego modelu, wykonano analizę wrażliwości, określając użyteczność i ważność poszczególnych zmiennych niezależnych wybranej sieci neuronowej. Wpływ poszczególnych zmiennych na zwracane wyniki przez wybrany model predykcji został wyznaczony w oparciu o wartości Shapleya. Dodatkowo przeprowadzono analizę jakości wybranego modelu ze względu na wybrane parametry oraz przetestowano zbiór hipotez statystycznych: nieobciążoności odchyłeń losowych modelu oraz o identyczności rozkładów kosztów prognozowanych przez model z kosztami obserwowanymi w rzeczywistości. Przeprowadzona weryfikacja hipotez statystycznych nie dała podstaw do negatywnej oceny co oznacza, że weryfikacja modelu wypadła pomyślnie.

## 7.2 Wnioski końcowe

W efekcie przeprowadzonych badań przedstawionych w niniejszej pracy sformułowano następujące wnioski:

- zidentyfikowano 10 czynników jako przyczyny opóźnień realizacji obiektów mostowych,
- w wyniku analiz wytypowano 15 zmiennych niezależnych mających wpływ na opóźnienia w realizacji obiektów mostowych,
- spośród zaproponowanych 5 modeli predykcyjnych najlepszą jakość wykazuje model w postaci radialnej sieci neuronowej RBF, model ten uzyskał najmniejsze wartości błędów predykcji (zarówno w przypadku podzbiorów uczących, jak i walidacyjnych średni błąd absolutny MAE nie przekracza 10%, natomiast w przypadku zbioru testowego wynosi ok 5,6%),
- ponad 80% odpowiedzi sieci RBF wartości błędów PE uczenia oraz testowania mieści się w przedziale od 0% do 10%. Dla przedziału od 0% do 30% jest to 95% odpowiedzi modelu predykcji.
- średni błąd względny MAPE wynosi dla zbioru uczącego 5,89%, natomiast dla zbioru testującego 5,68%.
- w wyniku przeprowadzonej analizy wrażliwości największą siłę wpływu na opóźnienia w realizacji obiektów mostowych wykazały: *Typ obiektu ze względu*

*na przeznaczenie użytkowe, Administracja i finanse budowy, Warunki atmosferyczne i społeczne oraz Sposób posadowienia podpór obiektu,*

- wykorzystanie sztucznej sieci neuronowej w postaci radialnej sieci RBF umożliwiło zbudowanie modelu predykcji opóźnień w realizacji obiektów mostowych w warunkach znajomości informacji ogólnych o obiekcie, jego parametrów technicznych oraz czynników powodujących opóźnienia,
- uzyskane wyniki są zadowalające i potwierdzają możliwość zastosowania proponowanego modelu w postaci sieci RBF w praktyce inżynierskiej.

Biorąc pod uwagę powyższe wnioski, należy stwierdzić, że sformułowana następująca teza pracy *„Zaproponowany model predykcyjny wykorzystujący zidentyfikowane zmienne wejściowe i autorską bazę danych pozwala na oszacowanie możliwego opóźnienia w realizacji obiektu mostowego przed rozpoczęciem robót budowlanych.”* została udowodniona, a wszystkie cele pracy zostały osiągnięte.

### **7.3 Wkład własny oraz oryginalne elementy pracy**

Wkład własny autora pracy stanowi znaczące rozszerzenie podejmowanych zagadnień z zakresu tematyki opóźnień w realizacji obiektów mostowych. Dotychczas kierunki badań w tym obszarze skupiały się na podejściu ogólnym w zakresie opóźnień w budownictwie.

W niniejszej rozprawie można wyróżnić oryginalne elementy takie jak:

- usystematyzowanie stanu wiedzy obejmującego występowania opóźnień w realizacji obiektów mostowych,
- poddanie szczegółowej analizie opóźnień w realizacji obiektów mostowych,
- identyfikacja przyczyn opóźnień w realizacji obiektów mostowych,
- przeprowadzenie badań własnych z wykorzystaniem badań ankietowych, analizy udostępnionej autorowi dokumentacji projektowej oraz analizy statystycznej w zakresie opóźnień w projektowaniu i realizacji obiektów mostowych,
- budowę bazy danych, w oparciu o pozyskane w wyniku badań i analiz informacje, dotyczące zrealizowanych inwestycji mostowych,
- wykorzystanie wybranych metod sztucznej inteligencji do budowy modeli predykcji opóźnień w realizacji obiektów mostowych

Największą wartość dodaną rozprawy stanowi modelowanie opóźnień w budownictwie i zbudowanie modelu w postaci sztucznej sieci neuronowej RBF do predykcji opóźnień w realizacji obiektów mostowych, który może być zastosowany w przyszłości w praktyce inżynierskiej.

#### **7.4 Proponowane kierunki dalszych badań**

Problem opóźnień w realizacji obiektów mostowych jest powszechnie występujący, a na opóźnienia składa się wiele czynników. Pomimo rozpoznania dostępnych źródeł literatury krajowej i zagranicznej oraz przeprowadzenia szczegółowych badań własnych w zakresie przyczyn opóźnień w realizacji obiektów mostowych autor dostrzega możliwości poszerzenia badań w następujących kierunkach:

- rozbudowę bazy danych i ich aktualizację dla dalszej poprawy dokładności oszacowań uzyskiwanych opóźnień za pomocą proponowanego modelu,
- budowę modelu w postaci, nie pojedynczych sieci ale zespołu sztucznych sieci neuronowych,
- modyfikację radialnej sieci RBF poprzez zastosowanie dodatkowej warstwy gęstej,
- implementacja proponowanego modelu do programu informatycznego, który umożliwi jego weryfikację w praktyce inżynierskiej.

## SPIS LITERATURY

1. Abd El-Razek M.E., Bassioni H.A., Mobarak A.M., (2008), *Causes of delay in building construction projects in Egypt*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 134 No. 11, 831
2. Abd. Majid M.Z., McCaffer R., (1998), *Factors of non-excusable delays that influence contractors performance*, Journal of Management in Engineering, Vol. 14 No. 3, 42
3. Abdul-Rahman H., Takim R., Min W.S., (2009), *Financial-related causes contributing to project delays*, Journal of Retail & Leisure Property, Vol. 8 No. 3, 225-238
4. Abdul-Rahman H., Berawi M.A., Berawi A.R., Mohamed O., Othman M., Yahya, I.A., (2006), *Delay mitigation in the Malaysian construction industry*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 132 No. 2, 125
5. AbouRizk S., Knowles P., Hermann U. R., (2001), *Estimating labor production rates for industrial construction activities*, Journal of Construction Engineering and Management, Volume 127, Number 6, 502-511
6. Aczel A. D., (2018), *Statystyka w zarządzaniu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
7. Adam A., Josephson P.-E.B., Lindahl G., (2017), *Aggregation of factors causing cost overruns and time delays in large public construction projects: trends and implications*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 24 No. 3, 393-406
8. Agyekum-Mensah G., Knight A.D., (2017), *The professionals perspective on the causes of project delay in the construction industry*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 24 No. 5, 828-841
9. Ahsan K., Gunawan I., (2010), *Analysis of cost and schedule performance of international development projects*, International Journal of Project Management, Vol. 28 No. 1, 68-78
10. Aibinu A.A., Odeyinka H.A., (2006), *Construction delays and their causative factors in Nigeria*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 132 No. 7, 667

11. Akiba T., Sano Sh., Yanase T., Ohta T., Koyama M., (2019), *Optuna: A Next-generation Hyperparameter Optimization Framework*. KDD: Knowledge Discovery and Data Mining
12. Akogbe R.-K.T.M., Feng X., Zhou J., (2013), *Importance and ranking evaluation of delay factors for development construction projects in Benin*, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 17 No. 6, 1213-1222
13. Alaghbari W., Kadir M.R.A., Salim A., Ernawati, (2007), *The significant factors causing delay of building construction projects in Malaysia*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 14 No. 2, 92-206
14. Alinaitwe H., Apolot R., Tindiwensi, D., (2013), *Investigation into the causes of delays and cost overruns in Uganda's public sector construction projects*, Journal of Construction in Developing Countries, Vol. 18 No. 2, 33-47
15. Al-Khalil M.I., Al-Ghafly M.A., (1999), *Important causes of delay in public utility projects in Saudi Arabia*, Construction Management and Economics, Vol. 17 No. 5, 647-655
16. Al-Kharashi A., Skitmore M., (2009), *Causes of delays in Saudi Arabian public sector construction projects*, Construction Management and Economics, 27(1), 3-23.
17. Al-Momani A.H., (2000), *Construction delay: a quantitative analysis*, International Journal of Project Management, Vol. 18 No. 1, 51-59
18. Alshaimi A., Koskela L., Tzortzopoulos P., (2013), *Need for alternative research approaches in construction management: case of delay studies*, Journal of Management in Engineering, Vol. 29 No. 4
19. Al-Sobie O.S., Arditi D., Polat G., (2005), *Managing owner's risk of contractor default*, Journal of Construction Engineering and Management, Volume 131, Number 9, 973-978
20. Amoatey C.T., Ankrah A.N.O., (2017), *Exploring critical road project delay factors in Ghana*, Journal of Facilities Management, Vol. 15 No. 2, 110-127
21. Amoatey C.T., Ameyaw Y.A., Adaku E., Famiyeh, S., (2015), *Analysing delay causes and effects in Ghanaian state housing construction projects*, International Journal of Managing Projects in Business, Vol. 8 No. 1, 198-214
22. Anastasopoulos P.C., Labi S., Bhargava A., Mannering F.L., (2012), *Empirical assessment of the likelihood and duration of highway project time delays*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 138 No. 3

23. Ansah R.H., Sorooshian S., (2018), “4P delays in project management”, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 25 No. 1, 62-76
24. Anysz H., Zbiciak A., (2013), *Przyczyny powstawania opóźnień w realizacji kontraktów budowlanych: analiza wstępnych wyników badania ankietowego*, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 14, 963–972
25. Anysz H., (2017), *Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do oceny możliwości wystąpienia opóźnień w realizacji kontraktów budowlanych*, Rozprawa doktorska, Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej
26. Apanowicz J., (2000), *Metodologiczne elementy procesu poznania naukowego w teorii organizacji i zarządzania (140-171)*, Wyższa Szkoła Administracji i Biznesu
27. Apipattanavis S., Sabol K., Molenaar K.R., Rajagopalan B., Xi Y., Blackard B., Patil S., (2010), *Integrated framework for quantifying and predicting weather-related highway construction delays*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 136 No. 11
28. Arditi, D., Akan, G.T. and Gurdamar, S. (1985), *Reasons for delays in public projects in Turkey*, Construction Management and Economics, Vol. 3 No. 2, 171-181
29. Arora Y., Singhal A., Bansal A., (2014), *A Study of Applications of RBF Network*. International Journal of Computer Applications. 94. 17-20
30. Asiedu R.O., Alfen, H.W., (2016), *Understanding the underlying reasons behind time overruns of government building projects in Ghana*, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 20 No. 6, 2103-2111
31. Assaf S.A., Al-Hejji S., (2006), *Causes of delay in large construction projects*, International Journal of Project Management, Vol. 24 No. 4, 349-357
32. Assaf S.A., Al-Khalil M., Al-Hazmi M., (1995), *Causes of delay in large building construction projects*, Journal of Management in Engineering, Vol. 11 No. 2, 45
33. Bagaya O., Song J., (2016), *Empirical study of factors influencing schedule delays of public construction projects in Burkina Faso*, Journal of Management in Engineering, Vol. 32 No. 5
34. Ballesteros-Pérez P., Del Campo-Hitschfeld M.L., González-Naranjo M.A., González-Cruz M.C., (2015), *Climate and construction delays: case study in Chile*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 22 No. 6, 596-621

35. Bekr G.A., (2015), *Causes of delay in public construction projects in Iraq*, Jordan Journal of Civil Engineering, Vol. 9 No. 2, 149-162
36. Bhargava A., Anastasopoulos P.C., Labi S., Sinha K.C., Mannering F.L., (2010), *Three-stage least-squares analysis of time and cost overruns in construction contracts*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 136 No. 11
37. Bhokha S., Ogunlana S. O., (1999), *Application of artificial neural network to forecast construction duration of buildings at the predesign stage*, Engineering, Construction and Architectural Management, Volume 6, Issue 2, 133-144,
38. Biliszczyk J., (2005), *Mosty podwieszane. Projektowanie i realizacja*, Arkady, Warszawa.
39. Bishop C., (1995), *Neural Networks for Pattern Recognition*, Oxford University Press Oxford
40. Boczek Z., (2015), *Projektuj i buduj w zamówieniach publicznych (uregulowania prawne)*, Biuletyn Konsultant, 37, 3–9
41. Borkowski B., Dudek H., Szczęśny W., (2003), *Ekonometria – wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
42. Boser B., Guyon I., Vapnik V., (1992), *A Training Algorithm for Optimal Margin Classifiers. COLT 92: Proceedings of the 5th Annual Workshop on Computational Learning Theory*, July 27–29, Pittsburgh, PA, USA. New York: Association for Computing Machinery, 144–152
43. Boussabaine A.H., (2001), *Neurofuzzy modelling of construction projects' duration I: principles*, Engineering, Construction and Architectural Management, Volume 8, Issue 2, 104-113
44. Breiman L., Friedman JH, Olshen RA, Stone CJ., (1984), *Classification and Regression Trees*. Boca Raton, USA: Chapman Hall/CRC
45. Chang A.S.T., (2002), *Reasons for cost and schedule increase for engineering design projects*, Journal of Management in Engineering, Vol. 18 No. 1, 29-36
46. Chen G.X., Shan M., Chan A.P.C., Liu X., Zhao Y.Q., (2017), *Investigating the causes of delay in grain bin construction projects: the case of China*, International Journal of Construction Management
47. Cheng M.Y., K.H., (2003), *Objects oriented evolutionary fuzzy neural inference system for construction management*, Journal of Construction Engineering and Management, Volume 129, Number 4, 461-469



48. Chiu, B.W.Y., Lai J.H.K., (2017), *Project delay: key electrical construction factors in Hong Kong*, Journal of Civil Engineering and Management, Vol. 23 No. 7, 847-857
49. Cieślak M., (2004), *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, PWN, Warszawa
50. Czarnigowska A., Sobotka A., (2011), *Przewidywalność kosztu przedsięwzięć drogowych*, Magazyn Autostrady: budownictwo drogowo-mostowe, nr 10, s. 60–64
51. Czarnigowska A., Sobotka A., (2013), *Time–cost relationship for predicting construction duration*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 13(4), 518-526
52. Czerwiński Z., (1992), *Dylematy ekonomiczne*, PWE, Warszawa
53. Czudek H., Radomski W., (1983), *Podstawy mostownictwa*, PWN Warszawa, ISBN-83-01- 02893-9.
54. Dittmann P., (2004), *Prognozowanie w przedsiębiorstwie. Metody i przykłady zastosowań*. Oficyna Ekonomiczna, Kraków
55. Dlakwa M.M., Culpin F.M., (1990), *Reasons for overrun in public sector construction projects in Nigeria*, International Journal of Project Management, Vol. 8 No. 4, 237-241
56. Doloi H., Sawhney A., Iyer K.C., (2012), *Structural equation model for investigating factors affecting delay in Indian construction projects*, Construction Management and Economics, Vol. 30 No. 10, 869-884
57. Doloi H., Sawhney A., Iyer K.C., Rentala, S., (2012), *Analysing factors affecting delays in Indian construction projects*, International Journal of Project Management, Vol. 30, 479-489
58. Durdeyev S., Hosseini M.R., (2018), *Causes of delays on construction projects: a comprehensive list*, International Journal of Managing Projects in Business
59. Durdeyev S., Ihtiyar A., (2019), *Structural equation model of factors influencing students to major in architecture, engineering, and construction*, Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, Vol. 145 No. 2
60. Durdeyev S., Ismail S., (2017), *On-site construction productivity in Malaysian infrastructure projects*, Structural Survey, Vol. 34 Nos 4-5, 446-462

61. Durdeyev S., Mbachu J., (2011), *On-site labor productivity of New Zealand construction industry: key constraints and improvement measures*, Australasian Journal of Construction Economics and Building, Vol. 11 No. 3, 18-33
62. Durdeyev S., Omarov M., Ismail S., (2016), *Causes of delay in residential construction projects in Cambodia*, Cogent Engineering, Vol. 4 No. 1, 1-12
63. Dyr T., Dyr J., (2019), *Trendy rozwoju transportu w Polsce i w Unii Europejskiej*, tts 6/2019
64. Dytczak M., Ginda G., Wojtkiewicz T., (2011), *Identyfikacja roli czynników opóźnień realizacji złożonych przedsięwzięć budowlanych*, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 2, 481-485
65. Dziadosz A., Rejment M., (2012), *Wpływ zakłóceń na opóźnienia procesów budowlanych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 59, nr 3/III, 65–72
66. Eizakshiri F., Chan P.W., Emsley M.W., (2015), *Where is intentionality in studying project delays?*, International Journal of Managing Projects in Business, Vol. 8 No. 2, 349-367
67. Elinwa A.U., Joshua M., (2001), *Time-overrun factors in Nigerian construction industry*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 127 No. 5, 419
68. El-Maaty A.E.A., El-Kholy A.M., Akal A.Y., (2017), *Modeling schedule overrun and cost escalation percentages of highway projects using fuzzy approach*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 24 No. 5, 809-827
69. Enshassi A., Al-Najjar J., Kumaraswamy M., (2009), *Delays and cost overruns in the construction projects in the Gaza Strip*, Journal of Financial Management of Property and Construction, Vol. 14 No. 2, 126-151
70. Enshassi A., Kumaraswamy M., Jomah A. N., (2010), *Significant factors causing time and cost overruns in construction projects in the Gaza Strip: contractors' perspective*, International Journal of Construction Management, Vol. 10 No. 1, 35-60
71. Falagas M.E., Pitsouni E.I., Malietzis G.A., Pappas, G., (2008), *Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strength and weaknesses*, The FASEB Journal, Vol. 22 No. 2, 338-342

72. Fallahnejad M.H., (2013), *Delay causes in Iran gas pipeline projects*, International Journal of Project Management, Vol. 31 No. 1, 136-146
73. Faridi A.S., El-Sayegh S.M., (2006), *Significant factors causing delay in the UAE construction industry*, Construction Management and Economics, Vol. 24 No. 11, 1167-1176
74. Frimpong Y., Oluwoye J., Crawford L., (2003), *Causes of delay and cost overruns in construction of groundwater projects in a developing countries; Ghana as a case study*”, International Journal of Project Management, Vol. 21 No. 5, pp. 321-326
75. Gajda J., (2001), *Prognozowanie i symulacje a decyzje gospodarcze*, wyd. C. H. Beck, Warszawa
76. Gholamy A., Kreinovich V., Kosheleva O., (2018), *Why 70/30 or 80/20 Relation Between Training and Testing Sets: A Pedagogical Explanation*.
77. Głuszak M., Leśniak A., (2015), *Construction delays in clients opinion – multivariate statistical analysis*, Procedia Engineering, 123, 182-189
78. Głuszak M., Leśniak A., (2015), *Czynniki powodujące opóźnienia budowy – wielowymiarowa analiza statystyczna*, [In:] *Zastosowanie metod matematycznych w wybranych problemach zarządzania w budownictwie*, S. Belniek (ed.), Kraków, 79–105
79. González P., González V., Molenaar K., Orozco F., (2014), *Analysis of causes of delay and time performance in construction projects*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 140 No. 1
80. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A., (2018), *Deep learning. Systemy uczące się*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN
81. Georgy M.E., Chang L.M., Zhang L., (2005), *Prediction of engineering performance: a neurofuzzy approach*, Journal of Construction Engineering and Management, Volume 131, Number 5, 548-557
82. Gradowska A., Połowski M., (2013), *Wpływ uwarunkowań środowiskowych na koszty realizacji inwestycji drogowych na przykładzie przebudowy odcinka drogi krajowej S7*, Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, Vol. 22 (4) nr 62, s. 472–486
83. Greń J., (1984), *Modele i zadania statystyki matematycznej*, PWN, Warszawa

84. Gündüz M., AbuHassan M.H.A., (2017), *Mapping the industrial perception of delay data through importance rating*, Arabian Journal for Science and Engineering, Vol. 42 No. 9, 3799-3808
85. Gündüz M., Nielsen Y., Ozdemir M., (2013), *Quantification of delay factors using the relative importance index method for construction projects in Turkey*, Journal of Management in Engineering, Vol. 29 No. 2
86. Gündüz M., Nielsen Y., Ozdemir M., (2015), *Fuzzy assessment model to estimate the probability of delay in Turkish construction projects*, Journal of Management in Engineering, Vol. 31 No. 4
87. Hampton G., Baldwin A.N., Holt G., (2012), *Project delays and cost: stakeholder perceptions of traditional v. PPP procurement*, Journal of Financial Management of Property and Construction, Vol. 17 No. 1, 73-91
88. Hartigan J.A., Wong M.A., (1979), *Algorithm AS 136: A K-Means Clustering Algorithm*, Journal of the Royal Statistical Society. Series C (applied Statistics), vol. 28, no. 1, 100–108.
89. Haykin S., (1994), *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Macmillan Publishing, New York
90. Havlicek L. L., Peterson N. L., (1976), *Robustness of the Pearson Correlation against Violations of Assumptions*. Perceptual and Motor Skills, 43(3\_suppl), 1319–1334
91. Hoła B., Schabowicz K., (2007), *Mathematical neural model for assessing productivity of earthmoving machinery*, Journal of Civil Engineering and Management, Volume XIII, Number 1, 47-54
92. Hoła B., Schabowicz K., (2006), *Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do predykcji wydajności układów maszyn do robót ziemnych*, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej nr 87, 101-108
93. Hughes R., Thorpe D., (2014), *A review of enabling factors in construction industry productivity in an Australian environment*, Construction Innovation, Vol. 14 No. 2, 210-228
94. Hussain S., Zhu F., Ali Z., Aslam H.D., Hussain A., (2018), *Critical delaying factors: public sector building projects in Gilgit-Baltistan, Pakistan*, Buildings, Vol. 8 No. 1

95. Ibironke O.T., Oladinrin T.O., Adeniyi O., Eboreime I.V., (2013), *Analysis of non-excusable delay factors influencing contractors' performance in Lagos State, Nigeria*, Journal of Construction in Developing Countries, Vol. 18 No. 1, 53-72
96. Ibadov N., Kulejewski J., (2015), *Evaluation of the project timeliness with fuzzy constraints*, International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (IC-NAAM-2015), AIP Conference Proceedings, 1648(1), 600002
97. Iwasiewicz A. Paszek Z., (2004) *Statystyka z elementami statystycznych metod monitorowania procesów*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków
98. Iyer K.C., Jha K.N., (2006), *Critical factors affecting schedule performance: evidence from Indian construction projects*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 132 No. 8, 871
99. Iyer K.C., Chaphalkar N.B., Joshi G.A., (2008), *Understanding time delay disputes in construction contracts*, International Journal of Project Management, Vol. 26 No. 2, 174-184
100. Jalal M.P., Shoar S.A., (2017), *A hybrid SD-DEMATEL approach to develop a delay model for construction projects*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 24 No. 4, 629-651
101. Jaśkowski P., Biruk S., (2010), *Analiza czynników ryzyka czasu realizacji przedsięwzięć budowlanych*, Czasopismo Techniczne, Budownictwo, 1-B(2), 157-166
102. Jaworski K. M., (2004), *Podstawy organizacji budowy*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
103. Jędrzejewski S., (1995), *Proces budowlany, zagadnienia administracyjno-prawne*, Oficyna Wydawnicza Branta, Bydgoszcz
104. Kadry M., Osman H., Georgy M., (2017), *Causes of construction delays in countries with high geopolitical risks*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 143 No. 2
105. Kaliba C., Muya M., Mumba K., (2009), *Cost escalation and schedule delays in road construction projects in Zambia*, International Journal of Project Management, Vol. 27 No. 5, 522-531
106. Kaming P.F., Olomolaiye P.O., Holt G.D., Harris F.C., (1997), *Factors influencing construction time and cost overruns on high-rise projects in Indonesia*, Construction Management and Economics, Vol. 15 No. 1, 83-94

107. Kazaz A., Ulubeyli S., Tuncbilekli N.A., (2012). *Causes of delays in construction projects in Turkey*, Journal of Civil Engineering and Management, 3, 426-435
108. Khoshgoftar M., Bakar A.H.A., Osman O., (2010), *Causes of delays in Iranian construction projects*, International Journal of Construction Management, Vol. 10 No. 2, 53-69
109. Kietliński W., Janowska J., Woźniak C., (2007), *Proces inwestycyjny w budownictwie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
110. Kim S.Y., Tuan K.N., Luu, V.T., (2016), *Delay factor analysis for hospital projects in Vietnam*, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 20 No. 2, 519-529
111. Kim T., (2017), *Understanding one-way ANOVA using conceptual figures*, Korean Journal of Anesthesiology. 70. 22
112. Kingma D., Ba J., (2014), *Adam: A Method for Stochastic Optimization*, International Conference on Learning Representations
113. Ko C.H., Cheng M.Y., (2007), *Dynamic prediction od project success using artificial intelligence*, Journal of Construction Engineering and Management, Volume 133, Number 4, 316-321
114. Korbicz J., Obuchowicz A., Uciński D., (1995), *Sztuczne sieci neuronowe: podstawy i zastosowania*, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
115. Kornacki J., Ćwik J., (2005), *Statystyczne systemy uczące się*, Warszawa, WNT
116. Koronacki J., Ćwik J., (2015), *Statystyczne systemy uczące się*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT
117. Kot S., Jakubowski J., Sokołowski A., (2011), *Statystyka*, Difin
118. Koushki P.A., Kartam N., (2004), *Impact of construction materials on project time and cost in Kuwait*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 11 No. 2, 126-132
119. Koushki P.A., Al-Rashid K., Kartam N., (2005), *Delays and cost increases in the construction of private residential projects in Kuwait*, Construction Management and Economics, Vol. 23 No. 3, 285-294
120. Kozik, R., Leśniak, A., Plebankiewicz, E. i Zima, K., (2015). *Dokumentacja przetargowa i kosztowa w budowlanym procesie inwestycyjnym*, Kraków, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.

121. Krzemiński M., (2016), *KASS v.2.2. Scheduling Software for Construction with Optimization Criteria Description*, Acta Physica Polonica A, 309(6), 1439-1442
122. Kumaraswamy M.M., Chan D.W.M., (1998), *Contributors to construction delays*, Construction Management and Economics, Vol. 16 No. 1, 17-29.
123. Larsen J.K., Shen G.Q., Lindhard SØ. M., Brunoe T.D., (2016), *Factors affecting schedule delay, cost overrun, and quality level in public construction projects*, Journal of Management in Engineering, Vol. 32 No. 1
124. Leach L.P., (2004), *Critical Chain Project Management*, 2nd ed., Artech House, Boston, MA.
125. Lepage M. (2017), *Types of schedule delays in construction projects*, Planacademy, (accessed 2 November 2018).
126. Lessing B., Thurnell D., Durdyev S., (2017), *Main factors causing delays in large construction projects: evidence from New Zealand*, Journal of Management, Economics, and Industrial Organization, Vol. 1 No. 2, 63-82
127. Leśniak A., Juszczak M., Piskorz G., (2018) *Grupowanie czynników opóźnienia realizacji przedsięwzięcia budowlanego z wykorzystaniem analizy skupień*, „Materiały Budowlane” 10/2018, 62–65
128. Leśniak A., Piskorz G., (2017), *Potential reasons for works delays resulting from the provisions of the agreement*, Technical Transactions, Vol. 6, 2017, 135–143
129. Leśniak A., Piskorz G., (2018), *Czynniki opóźniające realizację przedsięwzięć budowlanych w systemie zaprojektuj i wybuduj*, Acta Sci. Pol. Architectura, 17 (4) 2018, 113–124
130. Leśniak A., Piskorz G., (2019), *Faktory opóźnień*, „Builder”, 36-38
131. Leśniak A., Plebankiewicz E., (2010), *Opóźnienia w robotach budowlanych*, Zeszyty Naukowe WSOWL Nr 3 (157)
132. Leśniak A., (2012), *Przyczyny opóźnień budowy w opiniach wykonawców*, Czasopismo Techniczne, Budownictwo, 1-B(2), 57-68
133. Leśniak A., Plebankiewicz E., Zima K., (2012), *Design and Build procurement system – contractor selection*, Archives of Civil Engineering, 58, 4, 463–476
134. Leśniak, A., Zima, K., (2013). *Design and Build procurements in the polish public sector*, Journal of Public Procurement, 13 (3), 315–336

135. Leśniak A., *Skąd się biorą opóźnienia*, „Builder”, 1, 2010, 24–25
136. Lindhard S., Wandahl S., (2014), *Exploration of the reasons for delays in construction*, International Journal of Construction Management, Vol. 14 No. 1, 36-44
137. Lo T.Y., Fung I.W.H., Tung, K.C.F., (2006), *Construction delays in Hong Kong civil engineering projects*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 132 No. 6, 636
138. Lu M., Ling Y.Y., (2002), *Modeling a contractor's markup estimation*, Journal of Construction Engineering and Management, Volume 128, Number 5, 438-445
139. Lula P., Tadeusiewicz R., (2001), *StatSoft, Statistica Neural Networks PL. Przewodnik problemowy* (autorskie tłumaczenie, StatSoft Polska, Kraków)
140. Lula P., Tadeusiewicz R., (2001), *Wprowadzenie do sieci neuronowych*, (autorskie tłumaczenie, StatSoft Polska, Kraków)
141. MacQueen J., (1967), *Some methods for classification and analysis of multivariate observations* [w:] Le Cam L.M., Neyman J. (Eds.), Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Berkeley: University of California Press, 281–297
142. Madaj A., Wołowicki W., (2013), *Budowa i utrzymanie mostów*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności WKŁ
143. McCord J., McCord M., Davis P.T., Haran M., Rodgers W.J., (2015), *Understanding delays in housing construction: evidence from Northern Ireland*, Journal of Financial Management of Property and Construction, Vol. 20 No. 3, 286-319
144. Mahamid I. (2011), *Risk matrix for factors affecting time delay in road construction projects: owners' perspective*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 18 No. 6, 609-617
145. Mahamid I., (2013), *Common risks affecting time overrun in road construction projects in Palestine: contractors' perspective*, Australasian Journal of Construction Economics and Building, Vol. 13 No. 2, 45-53
146. Mahamid, I., (2017), *Analysis of schedule deviations in road construction projects and the effects of project physical characteristics*, Journal of Financial Management of Property and Construction, Vol. 22 No. 2, 192-210



147. Mahamid I., Bruland A., Dmaidi N., (2012), *Causes of delay in road construction projects*, Journal of Management in Engineering, Vol. 28 No. 3
148. Manavazhi M.R., Adhikari D.K., (2002), *Material and equipment procurement delays in highway projects in Nepal*, International Journal of Project Management, Vol. 20 No. 8, 627-632
149. Mansfield N., Ugwu O., Doran, T., (1994), *Causes of delay and cost overruns in Nigerian construction projects*, International Journal of Project Management, Vol. 12 No. 4, 254-260
150. Mezher T.M., Tawil W., (1998), *Causes of delays in the construction industry in Lebanon*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 5 No. 3, 252-260
151. Miciak J., (2015), *System zaprojektuj i zbuduj receptą na drogowy sukces*, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 1 (58), 30–32.
152. Młodożeniec W.S., (2011), *Budowa dróg podstawy projektowania*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa
153. Mohd Razali N. Yap B., (2011), *Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests*. J. Stat. Model. Analytics. 2.
154. Morrison D.F., (1990), *Wielowymiarowa analiza statystyczna*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa
155. Moselhi O., Assem I., El-Rayes K., (2005), *Change orders impact on labor productivity*, Journal of Construction Engineering and Management, Volume 131, Number 3, 354-359
156. Mpofo B., Ochieng E.G., Moobela C., Pretorius A., (2017), *Profiling causative factors leading to construction project delays in the United Arab Emirates*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 24 No. 2, 346-376
157. Muya M., Kaliba C., Sichombo B., Shakantu W., (2013), *Cost escalation, schedule overruns and quality shortfalls on construction projects: the case of Zambia*, International Journal of Construction Management, Vol. 13 No. 1, 53-68
158. Nguyen, L.D., Kneppers, J., García De Soto, B. and Ibbs, W. (2010), *Analysis of adverse weather for excusable delays*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 136 No. 12
159. Nowak E., (1998), *Prognozowanie gospodarcze*, PLACET

160. Nowak E., (2002), *Zarys metod ekonometrii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
161. Ogunlana S.O., Promkuntong K., Jearkjirm V., (1996), *Construction delays in a fast-growing economy: comparing Thailand with other economies*, International Journal of Project Management, Vol. 14 No. 1, 37-45
162. Ok S.C., Sinha S. K., (2006), *Construction equipment productivity estimation using artificial neural network model*, Construction Management and Economics, Volume 24, Issue 10, 1029-1044
163. Ostertagová, E., Ostertag, O., Kováč, J., (2014). *Methodology and Application of the Kruskal-Wallis Test*, AMM 611, 115–120
164. Othman A.A., Torrance J.V., Hamid M.A. (2006), *Factors influencing the construction time of civil engineering projects in Malaysia*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 13 No. 5, 481-501
165. Oyegoke A.S., Al Kiyumi N., (2017), *The causes, impacts and mitigations of delay in megaprojects in the Sultanate of Oman*, Journal of Financial Management of Property and Construction, Vol. 22 No. 3, 286-302
166. Osowski S., (1994), *Sieci neuronowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
167. Osowski S., (1996), *Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym*, WNT, Warszawa
168. Osowski S., (2000), *Sieci neuronowe do przetwarzania informacji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
169. Paciorek R.R., (2022), *Python: Wprowadzenie do programowania Projekt „Matematyka dla Ciekawych Świata”*
170. Pawłowski Z., (1982), *Zasady predykcji ekonometrycznej*. PWN, Warszawa
171. Paślawski J., Drzewiecka J., (2011), *Analiza zakłóceń procesów budowlanych*, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 2/2011, 475–479
172. PMI, (2017), *PMBOK Guide*, 6th ed., Project Management Institute, Newtown Square, PA.
173. Połośki M., Pruszyński K., (2013), *Impact of baseline terms on the course of critical paths and time buffers in the modified Goldratt's method*, Archives of Civil Engineering, 59 (3), 313-320

174. Połowski M., (2007), *Wiarygodność szacowanych kosztów planowanych inwestycji na tle barier w procesie inwestycyjnym*, Acta Scientiarum Polonorum. Architectura, 6 (3), 35–41
175. Połowski M., Zawadewicz K., (2017), *Analiza skutków wdrożenia specustawy jako procedury przygotowania inwestycji drogowych w Polsce*, „Acta Scientiarum Polonorum. Architectura”, 16(1), 25-34
176. Portas J., AbouRizk S., (1997), *Neural network model for estimating construction productivity*, Journal of Construction Engineering and Management, Volume 123, Number 4, 399-410
177. Ranjeeth S., Latchoumi T. P., Victor Paul P., (2020), *Optimal Stochastic Gradient Descent with Multilayer Perceptron Based Student's Academic Performance Prediction Model*, Recent Advances in Computer Science and Communications 2020, 12, 1-100
178. Rogalska M., (2016), *Wieloczynnikowe modele w prognozowaniu czasu procesów budowlanych*, Politechnika Lubelska – Monografie, Lublin
179. Rojas R., (1996), *Neural; Networks. A Systematic Introduction*, Verlag-Springer, Berlin
180. Ruqaishi M., Bashir H.A., (2015), *Causes of delay in construction projects in the oil and gas industry in the gulf cooperation council countries: a case study*, Journal of Management in Engineering, Vol. 31 No. 3
181. Russell M.M., Hsiang S.M., Liu M., Wambeke, B., (2014), *Causes of time buffer and duration variation in construction project tasks: comparison of perception to reality*”, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 140 No. 6
182. Samarghandi H., Tabatabaei S.M.M., Taabayan P., Hashemi A.M., Willoughby K., (2016), *Studying the reasons for delay and cost overrun in construction projects: the case of Iran*, Journal of Construction in Developing Countries, Vol. 21 No. 1, 51-84
183. Sambasivan M., Soon Y.W. (2007), *Causes and effects of delays in Malaysian construction industry*, International Journal of Project Management, Vol. 25 No. 5, 517-526
184. Sambasivan M., Deepak T.J., Salim A.N., Ponniah V., (2017), *Analysis of delays in Tanzanian construction industry: transaction cost economics (TCE) and*

- structural equation modeling (SEM) approach*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 24 No. 2, 308-325
185. Santoso D.S., Soeng S., (2016), *Analyzing delays of road construction projects in Cambodia: causes and effects*, Journal of Management in Engineering, Vol. 32 No. 6
186. Shapley L.S., (1953), *A Value for n-person Games*, Annales of Mathematical Studies, 28.
187. Shebob A., Dawood N., Shah R.K., Xu, Q., (2012), *Comparative study of delay factors in Libyan and the UK construction industry*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 19 No. 6, 688-712
188. Shehu Z., Endut I.R., Akintoye A., (2014), *Factors contributing to project time and hence cost overrun in the Malaysian construction industry*, Journal of Financial Management of Property and Construction, Vol. 19 No. 1, 55-75
189. Siwowski T., (2019), *Katalog typowych konstrukcji drogowych obiektów mostowych i przepustów. Część II. Podstawowe wiadomości o drogowych obiektach mostowych*, Promost Consulting, Rzeszów
190. Speybroeck, N. (2012) Classification and regression trees. Int J Public Health 57, 243–246
191. Skorupka D., (2005), *The metodidentifucation and qualification of construction project risk*, Archives of Civil Engineering, LI, 4, Warszawa, 647-662
192. Skorupka D., (2008), *Identification and initial risk assessment of construction projects in Poland*, Journal of Management In Engineering ASCE, 24(3), 120-127
193. Staśkiewicz K., (2013), *Uzgodnienia – trudny obowiązek projektanta*, Inżynier Budownictwa, 1 (102), 22–24
194. Stohle L., Wold S, (1989), *Analysis of variance (ANOVA)*, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 6: 259-272
195. Sweis G., Sweis R., Abu Hammad, A., Shboul, A., (2008), *Delays in construction projects: the case of Jordan*, International Journal of Project Management, Vol. 26 No. 6, 665-674
196. Tadeusiewicz R. (1993), *Sieci neuronowe*, Akademicka Oficyna Wydawnicza RM, Warszawa

197. Tadeusiewicz R., (1998), *Elementarne wprowadzenie do techniki sieci neuronowych*, Warszawa
198. Tadeusiewicz R., (1999), *Elementarne wprowadzenie do technik sieci neuronowych z przykładowymi programami*, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa
199. Tadeusiewicz R., Szaleniec M., (2015), *Leksykon sieci neuronowych*, Wrocław: Wydawnictwo Fundacji Projekt Nauka
200. Tam C. M., Tong T.K.L., Tse S.L., (2002), *Artificial neural networks model for predicting excavator productivity*, Engineering, Construction and Architectural Management, Volume 9, Issue 5/6, 446-452
201. Tam C.M., Tong T.K.L., Tse S.L., (2004), *Modeling hook times of mobile cranes using artificial neural networks*, Construction Management and Economics, Volume 22, Issue 8, 839-849
202. Toor S., Ogunlana S., *Problems causing delays in major construction projects in Thailand*, Construction Management and Economics, 26(4), 2008, 395–408
203. Thomas A.V., Kalidindi S.N., Ganesh L.S., (2006), *Modeling and assessment of critical risks in BOT road projects*, Construction Management and Economics, Volume 24, Issue 4, 407-424
204. Tragosz J., Wiederek J., (2019), *Rozwój infrastruktury drogowej w Polsce*, Autobusy 1-2/2019
205. Van Hecke T., (2012), *Power study of anova versus Kruskal-Wallis test*, Journal of Statistics and Management Systems, 15:2-3, 241-247
206. Vapnik V.N., (1998), *Statistical Learning Theory*, John Wiley & Sons
207. Venkateswaran C.B., Murugasan, R., (2017), *Time delay and cost overrun of road over bridge (ROB) construction projects in India*, Journal of Construction in Developing Countries, Vol. 22 No. 1, 79-96
208. Vilventhan A., Kalidindi S.N., (2016), *Interrelationships of factors causing delays in the relocation of utilities: a cognitive mapping approach*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 23 No. 3, 349-368
209. Vu H.A., Cu V.H., Min L.X., Wang, J.Q., (2017), *Risk analysis of schedule delays in international highway projects in Vietnam using a structural equation*

- model*, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 24 No. 6, 1018-1039
210. Wang J., Yuan H., (2017), *System dynamics approach for investigating the risk effects on schedule delay in infrastructure projects*”, Journal of Management in Engineering, Vol. 33
211. Wang W.C., Lin C.L., Wang S.H., Liu J.J., Lee, M.T., (2014), *Application of importance-satisfaction analysis and influence-relations map to evaluate design delay factors*, Journal of Civil Engineering and Management, Vol. 20 No. 4, 497-510
212. Waszczyszyn Z., (1995), *Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w inżynierii lądowej*, XLI Konferencja Naukowa KILiW PAN i Komitetu Nauki PZITB, Kraków-Krynica.
213. Yang J.B., Ou S.F., (2008), *Using structural equation modeling to analyze relationships among key causes of delay in construction*, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 35 No. 4, 321-332
214. Yang J.B., Yang C.C., Kao, C.K., (2010), *Evaluating schedule delay causes for private participating public construction works under the build-operate-transfer model*, International Journal of Project Management, Vol. 28 No. 6, 569-579
215. Zack, J.G. (2003), *Schedule delay analysis; is there agreement?*”, Proceedings of PMI-CPM Spring Conference, College of Performance Management, Project Management Institute, 7–9 May, New Orleans, LA.
216. Zakeri M., Olomolaiye P.O., Holt G.D., Harris F.C., (1996), *A survey of constraints on Iranian construction operatives' productivity*, Construction Management and Economics, Vol. 14 No. 5, 417-426.
217. Zayed T.M., Halpin D.W., (2005), *Pile Construction Productivity Assessment*, Journal of Construction Engineering and Management, Volume 131, Number 6, 705-714
218. Zayed T.M., Halpin D.W., Basha I.M., (2005), *Productivity and delays assessment for concrete batch plant-truck mixer operations*, Construction Management and Economics, Volume 23, Issue 8, 839-850
219. Zeliaś A., (2003), *Prognozowanie ekonomiczne. Teoria. Przykłady. Zadania*, PWN, Warszawa

220. Zidane Y.J.T., Andersen B., (2018), *The top 10 universal delay factors in construction projects*, International Journal of Managing Projects in Business, Vol. 11 No. 3, 650-672
221. Zieliński R., (1972), *Tablice statystyczne*, PWN, Warszawa

**Akty prawne i przepisy techniczne:**

222. Polska Norma PN-85/S-10030 Obiekty mostowe. Obciążenia.
223. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych, (Dz. U. 2022, poz. 1518)
224. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 25 września 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie sieci autostrad i dróg ekspresowych, (Dz. U. 2019, poz. 1819)
- 225.
226. Uchwała nr 249/2022 Rady Ministrów z dnia 13 grudnia 2022 r. zmieniająca uchwałę w sprawie ustanowienia Krajowego Programu Kolejowego do 2023 roku
227. Uchwała nr 253/2022 Rady Ministrów z dnia 13 grudnia 2022 r.
228. Uchwała nr 162/2015 Rady Ministrów z dnia 15 września 2015 r. w sprawie ustanowienia Krajowego Programu Kolejowego do 2023 roku
229. Uchwała nr 144/2016 Rady Ministrów z dnia 23 listopada 2016 r. zmieniająca uchwałę w sprawie ustanowienia Krajowego Programu Kolejowego do 2023 r.
230. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane, (Dz. U. 2023, poz. 682)
231. Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych, (Dz. U. 2023 poz. 645)
232. Ustawa z dnia 23 kwietnia 1964 r. - Kodeks cywilny, (Dz.U. 1964 nr 16 poz. 93)

**Pozostałe źródła:**

233. <https://1na2.pl/wartosci-krytyczne-rozkladu-t-studenta/>
234. <https://www.gov.pl/web/gddkia/dane-statystyczne>
235. <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/program-budowy-100-obwodnic-na-lata-2020---2031>

236. <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/program-budowy-drog-krajowych-na-lata-2014-2023-z-perspektywa-do-2025-r>
237. <https://www.gov.pl/web/gddkia/ogolne-informacje-o-sieci-drog-krajowych>
238. [https://github.com/raaaouf/RBF\\_neural\\_network\\_python](https://github.com/raaaouf/RBF_neural_network_python),
239. [https://github.com/raaaouf/RBF\\_neural\\_network\\_python/blob/master/LI\\_CENSE](https://github.com/raaaouf/RBF_neural_network_python/blob/master/LI_CENSE)
240. [http://home.agh.edu.pl/~mmd/\\_media/dydaktyka/adp/testy\\_nieparametryczne.pdf](http://home.agh.edu.pl/~mmd/_media/dydaktyka/adp/testy_nieparametryczne.pdf)
241. <https://keras.io/>
242. [https://pl.wikibooks.org/wiki/Zanurkuj\\_w\\_Pythonie](https://pl.wikibooks.org/wiki/Zanurkuj_w_Pythonie)
243. [https://pl.wikipedia.org/wiki/Regularyzacja\\_Tichonowa](https://pl.wikipedia.org/wiki/Regularyzacja_Tichonowa)
244. <https://www.plk-sa.pl/informacje/rozwoj/zamierzenia-inwestycyjne>
245. <http://www.python.rk.edu.pl/w/p/podstawy>
246. <https://www.plk-sa.pl/bip/raport-roczny>
247. <https://www.tensorflow.org>
248. <https://scikit-learn.org/>
249. <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.OrdinalEncoder.html>
250. [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.model\\_selection.train\\_test\\_split.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.model_selection.train_test_split.html)
251. [https://scikitlearn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear\\_model.LinearRegression.html](https://scikitlearn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear_model.LinearRegression.html)
252. <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.tree.DecisionTreeRegressor.html>
253. <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.tree.DecisionTreeClassifier.html>
254. [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.neural\\_network.MLPRegressor.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.neural_network.MLPRegressor.html)
255. <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.svm.NuSVR.html>
256. <https://utk.gov.pl/pl/aktualnosci/19158,Linie-kolejowe-w-Polsce-podstawowe-parametry.html>



257. <https://dane.utk.gov.pl/sts/infrastruktura/linie-kolejowe/18885,Linie-kolejowe-w-2021-r.html>
258. <https://optuna.pl>

## STRESZCZENIE

Przedsięwzięcia budowlane, nawet wzorowo zaplanowane i zorganizowane, niosą ze sobą ryzyko wystąpienia nieprzewidzianych zdarzeń i problemów, które w efekcie mogą stać się przyczyną nieterminowego ukończenia robót, czyli wystąpienia opóźnień.

Inwestycje drogowe i kolejowe, a w ślad za tym rozwój komunikacji to obszar najbardziej zauważalnych zmian, jakie nastąpiły w Polsce przy wsparciu Funduszy Europejskich. W zakresie inwestycji drogowych i kolejowych nieodzownym elementem jest realizacja obiektów mostowych, które są nierozzerwalnie związane z budową i rozbudową sieci transportowej. Istotny wpływ na powodzenie inwestycji drogowych czy kolejowych ma realizacja obiektów mostowych, których to realizacja często warunkuje terminowe jej wykonanie.

Problem opóźnień w projektowaniu i realizacji obiektów mostowych jest powszechnie występujący, a na opóźnienia składa się wiele czynników.

Identyfikacja przyczyn opóźnień w projektowaniu i realizacji obiektów mostowych i wczesna reakcja może przyczynić się do sprawnego przebiegu inwestycji ograniczając a nawet zapobiegając opóźnieniom.

Celem głównym rozprawy jest budowa modeli umożliwiających prognozowanie opóźnień w realizacji obiektów mostowych w warunkach znajomości informacji ogólnych o obiekcie, jego parametrów technicznych oraz czynników powodujących opóźnienia.

Na podstawie analizy literatury, udostępnionych materiałów badawczych oraz przeprowadzonych badań własnych w niniejszej pracy podjęto rozważania budowy modeli predykcji opóźnień obiektów mostowych w oparciu o regresję wieloraką, drzewa regresyjne, maszynę wektorów nośnych (nuSVR), perceptron wielowarstwowy (MLP) oraz radialną sieć neuronową (RBF).

Praca składa się z 7 rozdziałów.

W rozdziale pierwszym przedstawiono problem badawczy dysertacji wraz z celami oraz tezą pracy. Omówiono przedmiot badań, a także zaprezentowano zakres pracy.

Zawartość rozdziału drugiego stanowi analiza stanu wiedzy w zakresie tematu pracy, przytoczenie definicji i uwarunkowań prawnych problematyki opóźnień oraz omówienie przyczyn powstawania opóźnień w budownictwie. Rozdział ten zawiera również przegląd literatury krajowej i zagranicznej oraz wskazanie metod prognozowania opóźnień w budownictwie.

Treść rozdziału trzeciego zawiera opis badań własnych w zakresie powstawania przyczyn opóźnień oraz metodologię ich prowadzenia. W rozdziale tym zaprezentowano analizę czynników powodujących opóźnienia przedsięwzięć budowlanych realizowanych w poszczególnych systemach ich realizacji. Dodatkowo w rozdziale opisano ocenę wiarygodności przeprowadzonych badań.

W rozdziale czwartym zaprezentowano założenia budowy modeli oraz opracowanie bazy danych składającej się z trzech części: informacje ogólne o obiektach, parametry techniczne obiektów oraz czynniki powodujące opóźnienia, która posłużyła do modelowania opóźnień w oparciu o zakończone realizacje obiektów mostowych ze wskazaniem ich charakterystyk. Baza danych obejmowała dane w zakresie 169 zakończonych inwestycji obiektów mostowych, z których dla 120 wykazano opóźnienia.

Zbiór danych zawierał informacje o przedsięwzięciach budowlanych obejmujących obiekty mostowe takie jak wiadukty (69%), mosty (21%) i pozostałe (10%), w tym obiekty drogowe (70%), kolejowe (14%) i pozostałe (16%). Przedsięwzięcia te były realizowane w oparciu o system „zbuduj” (92%) oraz „zaprojektuj i zbuduj” (8%).

W rozdziale tym dokonano również opisu zmiennej zależnej stanowiącej opóźnienie względne dla przedsięwzięć opóźnionych. Zakończeniem tego rozdziału jest zestawienie piętnastu zmiennych wejściowych do modelu, które zostały wybrane w oparciu o przeprowadzone analizy statystyczne.

W rozdziale piątym zaprezentowano budowę modeli predykcji opóźnień w realizacji obiektów mostowych w oparciu o analizę regresji wielorakiej, drzew regresyjnych, maszynę wektorów nośnych oraz o sztuczne sieci neuronowe typu MLP i RBF, jak również analizę dokładności prognoz i wybór najlepszego modelu prognozowania opóźnień. Na podstawie przyjętych kryteriów wyboru, tj.: błąd predykcji, współczynnik determinacji, zdolności generalizacyjne oraz stopień skomplikowania struktury modelu.

Rozdział szósty stanowi analizę wybranego modelu w zakresie uczenia i testowania oraz jakości modelu. Wykonano analizę wrażliwości, określając użyteczność i wagę poszczególnych zmiennych niezależnych wybranej sieci neuronowej. Dokonano również weryfikacji hipotez statystycznych dotyczących wybranego modelu: hipoteza o nieobciążoności odchylen losowych modelu oraz hipoteza o identyczności rozkładów wartości zmiennej zależnej prognozowanej przez model i obserwowanej. Przeprowadzone weryfikacje hipotez statystycznych nie dały podstaw do negatywnej oceny co oznacza, że weryfikacja modelu wypadła pomyślnie.

W ostatnim rozdziale siódmym dokonano podsumowania badań i analiz, wyszczególniono wkład własny autora i oryginalne elementy pracy, a także wskazano dalsze kierunki badań.

W efekcie przeprowadzonych w rozprawie doktorskiej badań i analiz można wnioskować, że spośród pięciu zaproponowanych modeli predykcyjnych, najlepszą jakością wykazuje model zbudowany w oparciu o radialną sieć neuronową RBF, który to charakteryzował się najlepszym dopasowaniem predykcji do danych rzeczywistych. Model ten uzyskał najmniejsze wartości błędów predykcji (zarówno w przypadku podzbiorów uczących, jak i walidacyjnych średni błąd absolutny MAE nie przekracza 10%, natomiast w przypadku zbioru testowego wynosi ok 5,6%).

Do oryginalnych elementów rozprawy zaliczyć można: usystematyzowanie stanu wiedzy obejmującego występowania opóźnień w realizacji obiektów mostowych, poddanie szczegółowej analizie opóźnień w realizacji obiektów mostowych, identyfikację przyczyn opóźnień w realizacji obiektów mostowych, przeprowadzenie badań własnych z wykorzystaniem badań ankietowych, analizy udostępnionej autorowi dokumentacji projektowej oraz analizy statystycznej w zakresie opóźnień w projektowaniu i realizacji obiektów mostowych, budowę bazy danych w oparciu o pozyskane w wyniku badań i analiz informacje, dotyczące zrealizowanych inwestycji mostowych oraz wykorzystanie wybranych metod sztucznej inteligencji do budowy modeli predykcji opóźnień w realizacji obiektów mostowych.

## **ABSTRACT**

Construction projects, even if perfectly planned and organized, carry the risk of unforeseen events and problems, which may result in late completion of works, i.e. delays.

Road and railway investments, followed by the development of communication, are the area of the most noticeable changes that have taken place in Poland with the support of European Funds. In the field of road and railway investments, an indispensable element is the implementation of bridge structures, which are inextricably linked with the construction and expansion of the transport network. The implementation of bridge structures has a significant impact on the success of road or railway investments, the implementation of which often determines its timely execution.

The problem of delays in the design and construction of bridges is common and the delays are caused by many factors.

Identification of the causes of delays in the design and implementation of bridge structures and an early reaction can contribute to the smooth running of the investment by limiting or even preventing delays.

The main purpose of the dissertation is to build models that allow forecasting delays in the construction of bridge structures having general information about the structure, its technical parameters and factors causing delays.

Based on the analysis of the literature, available research materials and own research, this paper considers the construction of bridge delay prediction models based on multiple regression, regression trees, support vector machine (nuSVR), multilayer perceptron MLP and radial neural network RBF.

The doctoral thesis consists of 7 chapters.

The first chapter presents the research problem of the dissertation along with the objectives and the thesis statement. The subject of the research is discussed and the scope of the work is presented.

The content of the second chapter is an analysis of the state of knowledge in the field of the subject of the work, citing the definition and legal conditions of the problem of delays and discussing the causes of delays in the construction industry. This chapter also contains a review of domestic and foreign literature and an indication of methods for forecasting delays in construction.

The content of the third chapter contains a description of own research in the field of the causes of delays and the methodology of their conduct. This chapter presents an analysis of the factors causing delays in construction projects implemented in individual implementation systems. In addition, the chapter describes the assessment of the reliability of the conducted research.

The fourth chapter presents the assumptions for the structure of models and the development of a database consisting of three parts: general information about structures, technical parameters of structures and factors causing delays. The aforementioned database was used to model delays based on completed bridge structures with an indication of their characteristics. The database includes data of 169 completed bridge investments, 120 of which had delays.

The dataset contained information on construction projects involving bridges such as viaducts (69%), bridges (21%) and others (10%), including road (70%), rail (14%) and others (16%). These projects were carried out on a *build* (92%) and *design and build* (8%) basis.

This chapter also describes the dependent variable constituting the relative delay for delayed projects. The end of this chapter presents a list of fifteen input variables to the model, which were selected on the basis of statistical analyses.

The fifth chapter shows the construction of delay prediction models in the construction of bridge structures based on the analysis of multiple regression, regression trees, support vector machine and artificial neural networks of the MLP and RBF type, as well as the analysis of the accuracy of forecasts and the selection of the best delay forecasting model. On the basis of the adopted selection criteria, i.e.: prediction error, coefficient of determination, generalization abilities and the complexity of the model structure.

The sixth chapter is an analysis of the selected model in terms of learning and testing along with the quality of the model. A sensitivity analysis was performed, determining the usefulness and importance of individual independent variables of the selected neural network. The statistical hypotheses concerning the selected model were also verified: the hypothesis of unbiased random deviations of the model and the hypothesis of the identity of the distributions of the values of the dependent variable predicted by the model and the observed one. The verifications of statistical hypotheses did not give grounds for a negative assessment, which means that the verification of the model was successful.

In the last chapter, the research and analyses are summarized, the author's own contribution and original elements of the work are listed, and further research directions are indicated.

As a result of the research and analyses carried out in the doctoral thesis, it can be concluded that out of the five proposed prediction models, the model built on the basis of the RBF radial neural network, which was characterized by the best fit of prediction to real data, shows the best quality. This model obtained the smallest values of prediction errors (both in the case of training and validation subsets, the average MAE absolute error does not exceed 10%, while in the case of the test set it is about 5,6%).

The original elements of the dissertation include: systematising of knowledge including the occurrence of delays in the implementation of bridge structures, subjecting to a detailed analysis of delays in the implementation of bridge structures, identification of the causes of delays in the implementation of bridge structures, conducting own research using surveys, analysis of the design documentation made available to the author and in the field of delays in the design and construction of bridges, construction of a database based on information obtained as a result of research and analysis, regarding completed bridge investments, and the use of selected artificial intelligence methods to build models for predicting delays in the construction of bridges.

## ZAŁĄCZNIKI:

**Załącznik nr 1 – Średnie oceny ważności czynników opóźnienia w poszczególnych grupach na etapie projektowania przedsięwzięć budowlanych, system realizacji „zaprojektuj i zbuduj”.**

Źródło: Opracowanie własne.

Lp.	Opis czynnika	Ocena ważności czynników przez kolejnych respondentów					Średnia ocena ważności czynnika
		1	2	3	...	86	
<b>Grupa 1</b>	<b>Potencjał wykonawcy</b>						
1	brak odpowiedniego zaplecze kadrowego wykonawcy	4	5	4	...	4	3,95
2	brak wystarczających zasobów koniecznych do przygotowania projektu	4	2	5	...	4	3,88
3	brak doświadczenia wykonawcy w systemie „zaprojektuj i zbuduj”	4	5	3	...	4	3,93
4	błędy w kalkulacji oferty wykonawcy	5	3	5	...	4	4,13
5	problemy finansowe wykonawcy	4	5	5	...	4	4,03
6	brak odpowiedniego planowania na etapie projektowania	5	5	3	...	3	4,12
<b>Grupa 2</b>	<b>Koncepcja projektowa</b>						
1	brak pełnego opracowania Programu Funkcjonalno-Użytkowego (PFU)	4	3	4	...	3	4,02
2	błędy lub niezgodności w Programie Funkcjonalno-Użytkowym (PFU)	4	1	4	...	3	3,99
3	brak zdecydowania/ opieszałość w podejmowaniu decyzji przez Zamawiającego dot. akceptacji koncepcji projektowej	4	4	4	...	3	4,24
4	częste zmiany dokonywane przez zamawiającego dotyczące koncepcji projektowej	4	3	4	...	2	3,91
5	błędne opracowanie koncepcji projektowej przez Wykonawcę niezgodnie z wymaganiami zamawiającego	4	2	5	...	2	3,56
6	brak komunikacji pomiędzy zamawiającym a wykonawcą	5	1	4	...	3	4,00
<b>Grupa 3</b>	<b>Uzgodnienia projektowe</b>						
1	niekompletne wnioski o wydanie uzgodnień złożone przez Wykonawcę	4	1	5	...	2	3,69
2	nie wydanie uzgodnień w ustalonym terminie	4	5	3	...	2	3,99



Lp.	Opis czynnika	Ocena ważności czynników przez kolejnych respondentów					Średnia ocena ważności czynnika
		1	2	3	...	86	
3	ryzyko opóźnień związane z ograniczeniami wynikającymi z uzgodnień	4	1	3	...	4	3,77
4	wydłużające się procedury i czasookres wydania uzgodnień	4	1	3	...	3	4,02
<b>Grupa 4</b>	<b>Opracowanie dokumentacji projektowej</b>						
1	nie dotrzymanie umownych terminów przygotowania dokumentacji projektowej	5	5	4	...	3	4,34
2	brak optymalnego wykorzystania zasobów koniecznych do opracowania dokumentacji projektowej	4	5	4	...	3	3,66
3	brak dobrej jakości opracowania dokumentacji projektowej (odstępstwa norm, zdefiniowanych parametrów)	4	2	5	...	2	3,88
4	nieprzewidziane zwiększenie kosztów związane z przygotowaniem dokumentacji projektowej	4	3	2	...	2	3,51
5	brak rzetelnej koordynacji międzybranżowej	5	5	5	...	2	4,30
6	błędne zdefiniowanie ryzyk mogących wystąpić na projekcie	5	1	5	...	3	4,08
7	krótki "wymagalny" czas przez zamawiającego na opracowanie dokumentacji projektowej	4	1	3	...	3	4,22
<b>Grupa 5</b>	<b>Decyzje administracyjne</b>						
1	błędy lub braki we wnioskach o pozwolenie na budowę/ ZRID złożonych przez wykonawcę	4	1	5	...	3	3,94
2	błędy w pozwoleniach lub decyzjach wymagalnych do rozpoczęcia realizacji	4	3	3	...	3	3,83
3	niezgodności projektu budowlanego mające wpływ na wydanie decyzji	4	5	2	...	3	3,76
4	nie wydanie decyzji administracyjnych w terminie ustawowym	4	5	1	...	3	3,98
5	opieszałość urzędnicza w procesie wydania decyzji administracyjnych	4	2	1	...	2	3,99
6	długi czasookres wydania decyzji administracyjnych	4	5	1	...	2	4,02

**Załącznik nr 2 – Średnie oceny częstości czynników opóźnień w poszczególnych grupach na etapie projektowania przedsięwzięć budowlanych, system realizacji „zaprojektuj i zbuduj”.**

Źródło: Opracowanie własne.

Lp.	Opis czynnika	Ocena ważności czynników przez kolejnych respondentów					Średnia ocena ważności czynnika
		1	2	3	...	86	
<b>Grupa 1</b>	<b>Potencjał wykonawcy</b>						
1	brak odpowiedniego zaplecze kadrowego wykonawcy	3	3	4	...	4	3,12
2	brak wystarczających zasobów koniecznych do przygotowania projektu	3	2	5	...	3	3,10
3	brak doświadczenia Wykonawcy w systemie "zaprojektuj i zbuduj"	3	4	3	...	4	3,09
4	błędy w kalkulacji oferty wykonawcy	4	2	5	...	3	3,42
5	problemy finansowe wykonawcy	2	4	5	...	2	2,98
6	brak odpowiedniego planowania na etapie projektowania	4	5	3	...	2	3,53
<b>Grupa 2</b>	<b>Koncepcja projektowa</b>						
1	brak pełnego opracowania Programu Funkcjonalno-Użytkowego (PFU)	2	1	4	...	2	3,24
2	błędy lub niezgodności w Programie Funkcjonalno-Użytkowym (PFU)	2	1	4	...	2	3,40
3	brak zdecydowania/ opieszałość w podejmowaniu decyzji przez zamawiającego dot. akceptacji koncepcji projektowej	2	1	4	...	3	3,57
4	częste zmiany dokonywane przez zamawiającego dotyczące koncepcji projektowej	1	2	4	...	3	3,12
5	błędne opracowanie koncepcji projektowej przez wykonawcę niezgodnie z wymaganiami zamawiającego	2	1	5	...	2	2,72
6	brak komunikacji pomiędzy zamawiający a wykonawcą	3	1	4	...	3	3,12
<b>Grupa 3</b>	<b>Uzgodnienia projektowe</b>						
1	niekompletne wnioski o wydanie uzgodnień złożone przez Wykonawcę	3	1	5	...	2	2,97
2	nie wydanie uzgodnień w ustalonym terminie	2	2	3	...	2	3,15

Lp.	Opis czynnika	Ocena ważności czynników przez kolejnych respondentów					Średnia ocena ważności czynnika
		1	2	3	...	86	
3	ryzyko opóźnień związane z ograniczeniami wynikającymi z uzgodnień	3	1	3	...	2	3,05
4	wydłużające się procedury i czasookres wydania uzgodnień	2	1	3	...	2	3,40
<b>Grupa 4</b>	<b>Opracowanie dokumentacji projektowej</b>						
1	nie dotrzymanie umownych terminów przygotowania dokumentacji projektowej	4	2	5	...	2	3,37
2	brak optymalnego wykorzystania zasobów koniecznych do opracowania dokumentacji projektowej	3	4	4	...	4	2,97
3	brak dobrej jakości opracowania dokumentacji projektowej (odstępstwa norm, zdefiniowanych parametrów)	3	1	4	...	4	2,98
4	nieprzewidziane zwiększenie kosztów związane z przygotowaniem dokumentacji projektowej	3	2	2	...	3	3,03
5	brak rzetelnej koordynacji międzybranżowej	5	5	5	...	4	3,79
6	błędne zdefiniowanie ryzyk mogących wystąpić na projekcie	3	1	5	...	5	3,36
7	krótki "wymagalny" czas przez zamawiającego na opracowanie dokumentacji projektowej	3	1	3	...	4	3,84
<b>Grupa 5</b>	<b>Decyzje administracyjne</b>						
1	błędy lub braki we wnioskach o pozwolenie na budowę/ ZRID złożonych przez wykonawcę	2	1	5	...	2	2,70
2	błędy w pozwoleniach lub decyzjach wymagalnych do rozpoczęcia realizacji	2	1	4	...	3	2,50
3	niezgodności projektu budowlanego mające wpływ na wydanie decyzji	2	2	2	...	3	2,51
4	nie wydanie decyzji administracyjnych w terminie ustawowym	2	3	1	...	2	2,60
5	opieszałość urzędnicza w procesie wydania decyzji administracyjnych	2	2	1	...	2	3,01
6	długi czasookres wydania decyzji administracyjnych	2	5	1	...	2	3,30

**Załącznik nr 3 – Średnie oceny ważności czynników opóźnień w poszczególnych grupach na etapie realizacji przedsięwzięć budowlanych, system realizacji „zbuduj”**

Źródło: Opracowanie własne.

Lp.	Opis czynnika	Ocena ważności czynników przez kolejnych respondentów					Średnia ocena ważności czynnika
		1	2	3	...	71	
<b>Grupa 1</b>	<b>Potencjał wykonawcy</b>						
	brak doświadczenia wykonawcy	4	4	5	...	4	4,28
2	brak wystarczającej i kompetentnej kadry wykonawcy	5	5	5	...	5	4,31
3	brak lub problemy z dostępnością podwykonawców	3	4	4	...	4	3,92
4	problemy finansowe wykonawcy	4	4	4	...	5	3,86
5	brak właściwej współpracy z zamawiającym/ inżynierem kontraktu	5	5	5	...	3	4,15
<b>Grupa 2</b>	<b>Administracja i finanse budowy</b>						
1	zła kalkulacja oferty wykonawcy	5	5	5	...	4	4,35
2	przyjęcie rozwiązań zamiennych na etapie oferowania i brak zgody zamawiającego/ inżyniera kontraktu	3	5	5	...	3	3,97
3	wydłużony czasookres zatwierdzania dokumentów w tym materiałów niezbędnych do realizacji	5	4	4	...	5	3,70
4	opóźnianie odbiorów częściowych przez zamawiającego/ inżyniera kontraktu/ inspektora nadzoru	4	4	4	...	5	3,58
5	opóźnienia w płatnościach przez zamawiającego	5	4	4	...	3	3,69
<b>Grupa 3</b>	<b>Organizacja i technologia budowy</b>						
1	rozbieżność projektu ze stanem faktycznym i zmiany projektu wynikające w trakcie realizacji	4	5	4	...	5	4,24
2	konieczność zmiany technologii wykonania robót budowlanych	2	4	4	...	4	3,73
3	brak lub nieodpowiednia organizacja robót budowlanych	5	5	5	...	5	4,15
4	nieodpowiednie lub brak planowania i monitoringu robót budowlanych	5	5	5	...	4	4,00
5	odmienne warunki fizyczne na placu budowy (np. Warunki geologiczne itp.)	4	4	4	...	3	4,13

Lp.	Opis czynnika	Ocena ważności czynników przez kolejnych respondentów					Średnia ocena ważności czynnika
		1	2	3	...	71	
<b>Grupa 4</b>	<b>Zasoby sprzętowe i materiałowe</b>						
1	zamiany materiałów	3	4	4	...	3	3,49
2	problemy z dostawą materiałów	5	4	4	...	4	3,39
3	problemy logistyczne	5	4	4	...	3	3,23
4	brak optymalizacji sprzętu pod względem ilości, parametrów i wydajności	3	4	4	...	2	3,28
5	brak dostępności sprzętu specjalistycznego	4	4	4	...	2	3,24
<b>Grupa 5</b>	<b>Warunki atmosferyczne i społeczne</b>						
1	konieczność realizacji robót budowlanych w okresie zimowym	3	5	4	...	4	3,77
2	wystąpienie w trakcie realizacji niekorzystnych warunków atmosferycznych (np. deszcz, śnieg, wiatr)	4	5	4	...	3	3,63
3	wystąpienie klęsk żywiołowych (np. powódź)	2	4	4	...	4	3,73
4	protesty i roszczenia mieszkańców zamieszkujących obszar w bliskim otoczeniu budowy	2	4	4	...	3	3,46
5	protesty w związku z ochroną środowiska	4	4	4	...	3	3,48

**Załącznik nr 4 – Średnie oceny częstości czynników opóźnień w poszczególnych grupach na etapie realizacji przedsięwzięć budowlanych, system realizacji „zbuduj”.**

Źródło: Opracowanie własne.

Lp.	Opis czynnika	Ocena częstości czynników przez kolejnych respondentów					Średnia ocena częstości czynnika
		1	2	3	...	71	
<b>Grupa 1</b>	<b>Potencjal wykonawcy</b>						
1	brak doświadczenia wykonawcy	3	3	3	...	3	3,06
2	brak wystarczającej i kompetentnej kadry wykonawcy	3	3	3	...	4	3,38
3	brak lub problemy z dostępnością podwykonawców	3	2	3	...	3	3,35
4	problemy finansowe wykonawcy	3	2	3	...	5	2,93
5	brak właściwej współpracy z zamawiającym/ inżynierem kontraktu	3	3	3	...	3	3,34
<b>Grupa 2</b>	<b>Administracja i finanse budowy</b>						
1	zła kalkulacja oferty wykonawcy	4	4	4	...	4	3,58
2	przyjęcie rozwiązań zamiennych na etapie oferowania i brak zgody zamawiającego/ inżyniera kontraktu	3	4	4	...	3	3,39
3	wydłużony czasookres zatwierdzania dokumentów w tym materiałów niezbędnych do realizacji	4	2	2	...	4	3,03
4	opóźnianie odbiorów częściowych przez zamawiającego/ inżyniera kontraktu/ inspektora nadzoru	2	2	2	...	4	2,58
5	opóźnienia w płatnościach przez zamawiającego	2	1	2	...	5	1,86
<b>Grupa 3</b>	<b>Organizacja i technologia budowy</b>						
1	rozbieżność projektu ze stanem faktycznym i zmiany projektu wynikające w trakcie realizacji	3	3	3	...	3	3,61
2	konieczność zmiany technologii wykonania robót budowlanych	3	3	3	...	3	3,04
3	brak lub nieodpowiednia organizacja robót budowlanych	4	4	4	...	3	3,20
4	nieodpowiednie lub brak planowania i monitoringu robót budowlanych	4	5	4	...	3	3,35
5	odmienne warunki fizyczne na placu budowy (np. warunki geologiczne itp.)	3	3	3	...	2	3,07

Lp.	Opis czynnika	Ocena częstości czynników przez kolejnych respondentów					Średnia ocena częstości czynnika
		1	2	3	...	71	
<b>Grupa 4</b>	<b>Zasoby sprzętowe i materiałowe</b>						
1	zamiany materiałów	3	3	2	...	3	3,20
2	problemy z dostawą materiałów	3	2	2	...	3	2,45
3	problemy logistyczne	4	2	2	...	3	2,42
4	brak optymalizacji sprzętu pod względem ilości, parametrów i wydajności	3	2	2	...	2	2,49
5	brak dostępności sprzętu specjalistycznego	3	1	1	...	2	2,11
<b>Grupa 5</b>	<b>Warunki atmosferyczne i społeczne</b>						
1	konieczność realizacji robót budowlanych w okresie zimowym	3	4	3	...	4	3,15
2	wystąpienie w trakcie realizacji niekorzystnych warunków atmosferycznych (np. deszcz, śnieg, wiatr)	3	3	3	...	3	2,99
3	wystąpienie klęsk żywiołowych (np. powódź)	2	1	1	...	1	1,48
4	protesty i roszczenia mieszkańców zamieszkujących obszar w bliskim otoczeniu budowy	2	1	1	...	2	2,23
5	protesty w związku z ochroną środowiska	2	2	1	...	2	2,21

**Załącznik nr 5 – Ocena wpływu czynników opóźnień na etapie projektowania obiektów mostowych.**

Źródło: opracowanie własne

Lp.	Opis czynnika	Ocena wpływu czynnika							Średnia ocena wpływu czynnika
		1	2	3	4	5	6	7	
<b>Grupa 1</b>	<b>Potencjał wykonawcy</b>								
1	brak odpowiednich zasobów ludzkich, sprzętowych oraz doświadczenia Wykonawcy	1	1	1	1	1	1	1	1,00
2	błędy w kalkulacji oferty Wykonawcy	1	3	1	1	1	1	4	1,71
3	brak odpowiedniego planowania na etapie projektowania	1	4	1	4	1	1	2	2,00
4	inne	1	1	1	1	1	1	1	1,00
<b>Grupa 2</b>	<b>Koncepcja projektowa</b>								
1	błędy lub niezgodności w Programie Funkcjonalno-Użytkowym (PFU)	4	5	4	4	1	4	5	3,86
2	błędne opracowanie koncepcji projektowej przez Wykonawcę niezgodnie z wymaganiami zamawiającego	1	1	1	1	1	1	1	1,00
3	brak odpowiedniej komunikacji pomiędzy zamawiającym a Wykonawcą dotyczącej opracowania koncepcji	4	4	5	4	1	5	3	3,71
4	inne	1	1	1	1	1	1	1	1,00
<b>Grupa 3</b>	<b>Uzgodnienia projektowe</b>								
1	niekompletne wnioski o wydanie uzgodnień złożone przez wykonawcę	1	2	1	4	2	1	1	1,71
2	wydłużające się procedury administracyjne i nie wydanie uzgodnień w ustalonym terminie	1	5	1	5	4	1	5	3,14
3	inne	1	1	1	1	1	1	1	1,00
<b>Grupa 4</b>	<b>Opracowanie dokumentacji projektowej</b>								
1	nie dotrzymanie umownych terminów przygotowania dokumentacji projektowej przez wykonawcę	1	1	1	1	1	1	1	1,00
2	brak dobrej jakości opracowania dokumentacji projektowej	1	3	1	3	3	1	1	1,86
3	brak rzetelnej koordynacji międzybranżowej	1	5	1	5	5	1	1	2,71



Lp.	Opis czynnika	Ocena wpływu czynnika							Średnia ocena wpływu czynnika
		1	2	3	4	5	6	7	
4	inne	1	1	1	1	1	1	1	1,00
<b>Grupa 5</b>	<b>Decyzje administracyjne</b>								
1	błędy lub braki we wnioskach o pozwolenie na budowę/ ZRID złożonych przez Wykonawcę	4	1	5	1	1	3	1	2,29
2	niezgodności w projekcie budowlanym mające wpływ na wydanie decyzji	2	1	2	1	1	1	1	1,29
3	nie wydanie decyzji administracyjnych w terminie ustawowym	5	1	5	1	1	5	1	2,71
4	inne	1	1	1	1	1	1	1	1,00

## Załącznik nr 6 – Ocena wpływu czynników opóźnień na etapie realizacji obiektów mostowych.

Źródło: Opracowanie własne.

Lp.	Opis czynnika	Ocena wpływu czynnika						Średnia ocena wpływu czynnika
		1	2	3	...	112	113	
<b>Grupa 1</b>	<b>Potencjał wykonawcy</b>							
1	brak wystarczającej i kompetentnej kadry oraz doświadczenia wykonawcy	1	2	2	...	1	1	1,78
2	brak lub problemy z dostępnością podwykonawców	1	1	1	...	1	1	1,04
3	brak właściwej współpracy z zamawiającym/ inżynierem kontraktu	1	3	2	...	4	3	2,81
4	inne	1	1	1	...	1	1	1,00
<b>Grupa 2</b>	<b>Administracja i finanse budowy</b>							
1	wydłużony czasookres zatwierdzania dokumentów w tym materiałów niezbędnych do realizacji	1	1	1	...	3	1	2,09
2	opóźnianie odbiorów częściowych przez zamawiającego/ inżyniera kontraktu/ inspektora nadzoru	1	1	1	...	1	1	1,04
3	opóźnienia w płatnościach przez zamawiającego	1	1	1	...	1	1	1,00
4	problemy finansowe wykonawcy	2	1	1	...	3	3	1,72
5	inne	1	1	1	...	1	1	1,00
<b>Grupa 3</b>	<b>Organizacja i technologia budowy</b>							
1	rozbieżność projektu ze stanem faktycznym i zmiany projektu wynikające w trakcie realizacji	1	2	2	...	1	1	1,99
2	brak lub nieodpowiednia organizacja robót budowlanych	3	4	4	...	5	3	3,74
3	nieodpowiednie lub brak planowania i monitoringu robót budowlanych	1	4	4	...	5	4	3,53
4	inne	1	1	1	...	1	1	1,00
<b>Grupa 4</b>	<b>Zasoby sprzętowe i materiałowe</b>							
1	zamiany materiałów	1	1	1	...	1	2	1,01
2	problemy z dostawą materiałów	1	1	1	...	1	1	1,07

Lp.	Opis czynnika	Ocena wpływu czynnika						Średnia ocena wpływu czynnika
		1	2	3	...	112	113	
3	problemy logistyczne i brak optymalizacji sprzętu pod względem ilości, parametrów i wydajności	1	1	1	...	4	4	2,80
4	inne	1	1	1	...	1	1	1,00
<b>Grupa 5</b>	<b>Warunki atmosferyczne i społeczne</b>							
1	konieczność realizacji robót budowlanych w okresie zimowym	1	1	1	...	1	1	1,00
2	wystąpienie w trakcie realizacji niekorzystnych warunków atmosferycznych	4	4	4	...	4	5	3,51
3	protesty związane z ochroną środowiska i roszczenia mieszkańców zamieszkujących obszar w bliskim otoczeniu budowy	1	1	1	...	1	1	1,00
4	inne	1	1	1	...	1	1	1,00

## Załącznik nr 7 – Baza danych – część 1 – Informacje ogólne

Źródło: Opracowanie własne.

BAZA DANYCH – część 1										
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Czas realizacji			
							Planowany (Tp)	Rzeczywisty (Tr)	$\Delta T = (Tp - Tr)$	Zmienna zależna $Y =  Tp - Tr  / Tp$
							(miesiące)	(miesiące)	(miesiące)	Jeżeli $Y=0$ to $Y=0$ ; jeśli $Y>0$ to $Y=0$ ; Jeżeli $Y<0$ to $Y=i$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
1	Rozbiórka i budowa przepustu w ciągu drogi krajowej nr 40 w km 9+238 w m. WIERZBIEC	przepust	drogowy	zbuduj	890 012,00 zł	2017	7	7	0	0,000
2	Rozbiórka i budowa nowego mostu w ciągu drogi krajowej nr 39 w km 85+775 w m. KAMIENNA	wiadukt	drogowy	zbuduj	4 710 341,00 zł	2017	7	8	-1	0,143
3	Rozbiórka i budowa nowego mostu w ciągu drogi krajowej nr 39 w km 67+181 w m. KSIĄŻKOWICE	most	drogowy	zbuduj	2 837 858,00 zł	2017	8	8	0	0,000
4	Budowa nowego przepustu w ciągu drogi krajowej nr 40 w km 56+342,7 w m. Pokrzywnica oraz rozbiórka istniejącego przepustu. Przebudowa sieci napowietrznej NN	przepust	drogowy	zbuduj	780 552,00 zł	2016	4	4	0	0,000
5	Rozbiórka i budowa mostu w ciągu drogi krajowej nr 39 w km 67+514 w m. Książkowie	most	drogowy	zbuduj	2 609 167,00 zł	2016	10	10	0	0,000

BAZA DANYCH – część I																					
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Informacje ogólne				Czas realizacji										
							Zmiana zależna $Y = Tp - Tr / Tp$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = 1$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = 1$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = 1$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = 1$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = 1$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = 1$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = 1$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = 1$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = 1$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = 1$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = 1$			
																			Planowany (Tp)	Rzeczywisty (Tr)	$\Delta T = (Tp - Tr)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11											
	wraz z przebudowa dojazdów od km 67+218 do km 67+768																				
6	Rozbudowa mostu w ciągu drogi krajowej nr 40 w km 57+167 w m. Pokrzywnica wraz z regulacją wysokościową lewego brzegu Potoku Ligockiego w m. Pokrzywnica	przepust	drogowy	zbuduj	1 359 331,00 zł	2016	9	9	0	0,000											
7	Budowa przepustu drogowego zlokalizowanego w ciągu drogi krajowej nr 38 w km 18+315 w m. Grobniki	przepust	drogowy	zbuduj	537 256,00 zł	2016	8	8	0	0,000											
8	Rozbudowa mostu w ciągu drogi krajowej nr 45 w miejscowości Gosławice - Zawada	most	drogowy	zbuduj	4 249 761,00 zł	2014	7	7	0	0,000											
9	Rozbudowa mostu Krakusa w ciągu drogi krajowej nr 39 w m. Brzeg	most	drogowy	zbuduj	16 912 232,00 zł	2013	13	13	0	0,000											
10	Wiadukt nad skrzyżowaniem ulic: Armii Krajowej Żelaznej, Grunwaldzkiej, Żytniej w Kielcach, jezdnia wschodnia	wiadukt	drogowy	zbuduj	7 307 135,64 zł	2013	15	23	-8	0,533											

BAZA DANYCH – część I										
Lp.	Informacje ogólne									
	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Czas realizacji			Zmiana zależna $Y = Tp - Tr / Tp$
							Planowany (Tp)	Rzeczywisty (Tr)	$\Delta T = (Tp - Tr)$ (miesiące)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11	Wiadukt nad skrzyżowaniem ulic: Armii Krajowej Żelaznej, Grunwaldzkiej, Żytniej w Kielcach, jezdnia zachodnia	wiadukt	drogowy	zbuduj	7 307 135,64 zł	2013	15	23	-8	0,533
12	Wiadukt W1 w ciągu ul. 1 Maja nad ul. Gosińskiego w Kielcach	wiadukt	drogowy	zbuduj	3 525 905,22 zł	2014	25	37	-12	0,480
13	Wiadukt W2 w ciągu ul. 1 Maja nad ul. Zagnańską w Kielcach	wiadukt	drogowy	zbuduj	3 408 440,07 zł	2014	24	36	-12	0,500
14	Wiadukt W3 w ciągu ul. 1 Maja w Kielcach	wiadukt	drogowy	zbuduj	1 797 419,02 zł	2014	24	36	-12	0,500
15	WC1	wiadukt	drogowy	zaprojektuj i zbuduj	4 219 876,16 zł	2017	15	15	0	0,000
16	WC2	wiadukt	drogowy	zaprojektuj i zbuduj	7 075 340,71 zł	2017	17	15	2	0,000
17	WC3	wiadukt	drogowy	zaprojektuj i zbuduj	7 798 470,08 zł	2017	16	16	0	0,000
18	WC4	wiadukt	drogowy	zaprojektuj i zbuduj	2 349 358,62 zł	2017	15	16	-1	0,067

BAZA DANYCH – część I														
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Informacje ogólne				Czas realizacji			
							Zmiana zależna $Y = Tp - Tr / Tp$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ ; $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = i$	Planowany (Tp)	Rzeczywisty (Tr)	$\Delta T = (Tp - Tr)$	(miesiące)	(miesiące)	(miesiące)
1	2	3	4	(drogowy, kolejowy, wodny, zalewowy, przemysłowy, pieszy i/lub rowerowy, szlak wędrówek dla zwierząt)	(miejscowy)	2017	5	6	7	8	9	10	11	
19	WC5	wiadukt	drogowy	zaprojektuj i zbuduj	2 800 841,87 zł	2017	7	7	7	7	15	-8	1,143	
20	WC6	wiadukt	drogowy	zaprojektuj i zbuduj	2 856 523,72 zł	2017	12	12	12	12	15	-3	0,250	
21	WN3	wiadukt	drogowy	zaprojektuj i zbuduj	1 911 729,67 zł	2017	14	14	14	14	13	1	0,000	
22	WN4	wiadukt	drogowy	zaprojektuj i zbuduj	3 342 549,68 zł	2017	7	7	7	7	12	-5	0,714	
23	WN5	wiadukt	drogowy	zaprojektuj i zbuduj	2 070 028,10 zł	2017	15	15	15	15	16	-1	0,067	
24	WN6	wiadukt	drogowy	zaprojektuj i zbuduj	1 923 489,32 zł	2017	12	12	12	12	15	-3	0,250	
25	WN7	wiadukt	drogowy	zaprojektuj i zbuduj	1 953 741,85 zł	2017	8	8	8	8	15	-7	0,875	
26	M1	most	drogowy	zaprojektuj i zbuduj	20 0883 40,86	2017	17	17	17	17	17	0	0,000	

BAZA DANYCH – część I																					
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Informacje ogólne				Czas realizacji										
							Zmiana zależna $Y = Tp - Tr / Tp$	Rzeczywisty (Tr)	$\Delta T = (Tp - Tr)$	Planowany (Tp)	Zmiana zależna $Y = Tp - Tr / Tp$	Zmiana zależna $Y = Tp - Tr / Tp$	Zmiana zależna $Y = Tp - Tr / Tp$								
														1	2	3	4	5	6	7	8
		(most/wiadukt/estakada/przejście dla zwierząt/przepust/kładka)	(drogowy, kolejowy, wodny, zalewowy, przemysłowy, pieszy i/lub rowerowy, szlak wędrówek dla zwierząt)	(zbuduj/zaprojektuj i zbuduj)																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11											
27	M2	most	drogowy	zaprojektuj i zbuduj	3 719 746,98 zł	2017	15	15	0	0,000											
28	M3	most	drogowy	zaprojektuj i zbuduj	14 401 777,96 zł	2017	17	17	0	0,000											
29	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	drogowy	zbuduj	10 380 000,00 zł	2017	18	19	-1	0,056											
30	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	drogowy	zbuduj	10 554 315,30 zł	2013	13	14	-1	0,077											
31	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	drogowy	zbuduj	11 635 944,18 zł	2014	12	13	-1	0,083											
32	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	drogowy	zbuduj	14 295 894,89 zł	2013	18	18,5	-0,5	0,028											
33	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	drogowy	zbuduj	7 457 186,93 zł	2013	18	18	0	0,000											
34	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	drogowy	zbuduj	5 561 316,00 zł	2015	8	10	-2	0,250											



BAZA DANYCH – część I															
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Informacje ogólne				Czas realizacji				
							3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11					
35	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	4 238 831,07 zł	2015	7	11	-4	0,571					
36	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	14 665 333,59 zł	2015	7	11	-4	0,571					
37	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	3 551 001,33 zł	2015	7	11	-4	0,571					
38	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	1 608 428,58 zł	2015	7	11	-4	0,571					
39	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	2 848 869,89 zł	2015	7	11	-4	0,571					
40	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	most	kolejowy	zbuduj	1 570 192,38 zł	2015	7	11	-4	0,571					
41	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	6 285 697,00 zł	2014	6	8	-2	0,333					
42	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	3 241 184,00 zł	2014	6	8	-2	0,333					

BAZA DANYCH – część I										
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Informacje ogólne			
							Czas realizacji			
							Planowany (Tp)	Rzeczywisty (Tr)	$\Delta T = (Tp - Tr)$	Zmiana zależna $Y = Tp - Tr / Tp$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
43	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	7 278 042,00 zł	2014	6	8	-2	0,333
44	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	5 066 540,00 zł	2014	6	8	-2	0,333
45	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	2 838 756,00 zł	2014	6	8	-2	0,333
46	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	5 212 372,36 zł	2016	4	15	-11	2,750
47	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	4 456 600,28 zł	2016	4	15	-11	2,750
48	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	5 704 189,82 zł	2016	4	15	-11	2,750
49	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	most	kolejowy	zbuduj	5 505 936,25 zł	2016	4	15	-11	2,750
50	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	most	kolejowy	zbuduj	15 855 284,55 zł	2016	4	15	-11	2,750

**BAZA DANYCH – część I**

Informacje ogólne											
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Czas realizacji				Zmienna zależna $Y = T_p - T_r / T_p$
							Planowany (Tp)	Rzeczywisty (Tr)	$\Delta T = (T_p - T_r)$ (miesiące)		
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	
51	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	2 770 348,00 zł	2016	9	9	0	0,000	
52	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	most	kolejowy	zbuduj	5 786 505,00 zł	2016	9	9	0	0,000	
53	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	1 302 034,00 zł	2016	9	9	0	0,000	
54	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	1 186 340,00 zł	2016	9	9	0	0,000	
55	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	2 682 412,00 zł	2016	9	9	0	0,000	
56	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	most	kolejowy	zbuduj	4 873 782,00 zł	2016	9	9	0	0,000	
57	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	4 812 516,00 zł	2016	9	9	0	0,000	
58	Modernizacja Linii Kolejowej nr 4 – Centralna Magistrala Kolejowa	wiadukt	kolejowy	zbuduj	2 747 672,00 zł	2016	9	9	0	0,000	

BAZA DANYCH – część I																					
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Informacje ogólne				Czas realizacji										
							Zmiana zależna $Y = Tp - Tr / Tp$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = i$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = i$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = i$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = i$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = i$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = i$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = i$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = i$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = i$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = i$	Zmiana zależna $Y = 0$ ; jeśli $Y > 0$ to $Y = 0$ ; jeśli $Y < 0$ to $Y = i$			
																			Planowany (Tp)	Rzeczywisty (Tr)	$\Delta T = (Tp - Tr)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11											
59	M1/p	most	drogowy	zbuduj	944 824,04 zł	2005	8	8	0	0,000											
60	M1/L	most	drogowy	zbuduj	944 824,04 zł	2005	8	8	0	0,000											
61	WD-2	wiadukt	drogowy	zbuduj	3 953 125,56 zł	2005	8	8	0	0,000											
62	WD3 / L	wiadukt	drogowy	zbuduj	19 934 293,94 zł	2005	8	8	0	0,000											
63	E1/P	estakada	drogowy	zbuduj	32 084 281,98 zł	2011	24	26	-2	0,083											
64	E1/L	estakada	drogowy	zbuduj	34 148 302,70 zł	2011	24	26	-2	0,083											
65	KP-2	kładka dla pieszych	drogowy	zbuduj	5 316 289,45 zł	2011	24	26	-2	0,083											
66	WD-3	wiadukt	drogowy	zbuduj	6 695 646,49 zł	2011	24	26	-2	0,083											

BAZA DANYCH – część I															
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Informacje ogólne				Czas realizacji				
							Zmiana zależna $Y = Tp - Tr / Tp$	$\Delta T = (Tp - Tr)$	Rzeczywisty (Tr)	Planowany (Tp)	Rok oddania obiektu do użytku	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Nazwa obiektu
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11					
		(most/wiadukt/estakada/przejście dla zwierząt/przepust/ładka)	(drogowy, kolejowy, wodny, zalewowy, przemysłowy, pieszy i/lub rowerowy, szlak wędrówek dla zwierząt)	(zbuduj/zaprojektuj i zbuduj)										Jeżeli $Y=0$ to $Y=0$ ; jeśli $Y>0$ to $Y=0$ ; Jeżeli $Y<0$ to $Y=i$	
67	PZ-1	wiadukt	drogowy	zbuduj	18 785 145,12 zł	2011	24	26	-2	0,083					
68	WD-4	wiadukt	drogowy	zbuduj	6 495 747,32 zł	2011	24	26	-2	0,083					
69	WD-5	wiadukt	drogowy	zbuduj	5 461 280,48 zł	2011	24	26	-2	0,083					
70	MS-6/p	most	drogowy	zbuduj	4 725 176,58 zł	2011	24	26	-2	0,083					
71	MS-6/L	most	drogowy	zbuduj	4 725 176,58 zł	2011	24	26	-2	0,083					
72	WD-7	wiadukt	drogowy	zbuduj	5 192 860,51 zł	2011	24	26	-2	0,083					
73	PZ-2/p	wiadukt	drogowy	zbuduj	3 990 838,58 zł	2011	24	26	-2	0,083					
74	PZ-2/L	wiadukt	drogowy	zbuduj	3 990 838,58 zł	2011	24	26	-2	0,083					

BAZA DANYCH – część I																										
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Informacje ogólne				Czas realizacji															
							3	4	5	6	7	8	9	10	11											
																1	2	3								
75	WS-8/p	wiadukt	drogowy	zbuduj	4 833 762,22 zł	2011	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj						
76	WS-8/L	wiadukt	drogowy	zbuduj	4 833 762,22 zł	2011	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj					
77	MS-9/p	most	drogowy	zbuduj	6 031 176,23 zł	2011	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj				
78	MS-9/L	most	drogowy	zbuduj	6 031 176,23 zł	2011	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj			
79	WD-10	wiadukt	drogowy	zbuduj	4 564 968,31 zł	2011	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj		
80	WD-11	wiadukt	drogowy	zbuduj	6 653 196,07 zł	2011	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	
81	E12/p	estakada	drogowy	zbuduj	16 989 139,14 zł	2011	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	
82	E12/L	estakada	drogowy	zbuduj	16 989 139,14 zł	2011	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj	zbuduj

BAZA DANYCH – część I																					
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Informacje ogólne				Czas realizacji										
							4	5	6	7	8	9	10	11							
															3						
		(most/wiadukt/estakada/przejście dla zwierząt/przepust/kładka)	(drogowy, kolejowy, wodny, zalewowy, przemysłowy, pieszy i/lub rowerowy, szlak wędrówek dla zwierząt)	(zbuduj/zaprojektuj i zbuduj)																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11											
83	E13/p	estakada	drogowy	zbuduj	9 793 769,71 zł	2011	24	26	-2	0,083											
84	E13/L	estakada	drogowy	zbuduj	9 793 769,71 zł	2011	24	26	-2	0,083											
85	WS-14/p	wiadukt	drogowy	zbuduj	5 111 959,48 zł	2011	24	26	-2	0,083											
86	WS-14/L	wiadukt	drogowy	zbuduj	5 111 959,48 zł	2011	24	26	-2	0,083											
87	KP-15	kładka dla pieszych	drogowy	zbuduj	6 455 277,62 zł	2011	24	26	-2	0,083											
88	E1A	estakada	drogowy	zbuduj	21 457 640,82 zł	2011	24	26	-2	0,083											
89	WD-1a	wiadukt	drogowy	zbuduj	3 768 276,43 zł	2013	12	15	-3	0,250											
90	WDEk-1/L	wiadukt	drogowy	zbuduj	4 396 591,15 zł	2009	24	27	-3	0,125											

BAZA DANYCH – część I														
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Informacje ogólne				Czas realizacji			
							Planowany (Tp)	Rzeczywisty (Tr)	$\Delta T = (Tp - Tr)$	Zmiana zależna $Y = Tp - Tr / Tp$	Planowany (Tp)	Rzeczywisty (Tr)	$\Delta T = (Tp - Tr)$	Zmiana zależna $Y = Tp - Tr / Tp$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
		(most/wiadukt/estakada/przejście dla zwierząt/przepust/kładka)	(drogowy, kolejowy, wodny, zalewowy, przemysłowy, pieszy i/lub rowerowy, szlak wędrówek dla zwierząt)	(zbuduj/zaprojektuj i zbuduj)										
91	WDEK-1/p	wiadukt	drogowy	zbuduj	4 057 720,63 zł	2009	24	27	-3	0,125				
92	wiadukt nr WDE-2/p	wiadukt	drogowy	zbuduj	5 412 346,38 zł	2009	24	27	-3	0,125				
93	wiadukt nr WDE-2/L	wiadukt	drogowy	zbuduj	5 412 346,37 zł	2009	24	27	-3	0,125				
94	wiadukt nr WD-3	wiadukt	drogowy, pieszy i rowerowy	zbuduj	6 298 628,09 zł	2009	24	27	-3	0,125				
95	kładka dla pieszych nr K-4	kładka dla pieszych	drogowy, pieszy i rowerowy	zbuduj	2 659 785,80 zł	2009	24	27	-3	0,125				
96	wiadukt nr WD-5	wiadukt	drogowy, pieszy i rowerowy	zbuduj	3 804 951,60 zł	2009	24	27	-3	0,125				
97	wiadukt WD-7	wiadukt	drogowy	zbuduj	2 852 967,82 zł	2009	24	27	-3	0,125				
98	obiekt nr WD-6b	wiadukt	drogowy	zbuduj	5 373 213,13 zł	2009	24	27	-3	0,125				



BAZA DANYCH – część I										
Informacje ogólne										
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Czas realizacji			
							Planowany (Tp)	Rzeczywisty (Tr)	$\Delta T = (Tp - Tr)$	Zmiana zależna $Y = Tp - Tr / Tp$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
99	wiadukt - WD-6a	wiadukt	drogowy	zbuduj	5 373 213,13 zł	2009	24	27	-3	0,125
100	most MD-6j/pld.	most	drogowy	zbuduj	1 882 242,83 zł	2013	24	35	-11	0,458
101	WD-18C	wiadukt	drogowy	zbuduj	1 858 982,80 zł	2013	24	35	-11	0,458
102	przejście dla zw. dużych - PZ-1	wiadukt	szlak wędrówek zwierząt	zbuduj	8 719 950,05 zł	2013	24	35	-11	0,458
103	wiadukt WD-2	wiadukt	drogowy	zbuduj	3 978 629,64 zł	2013	24	35	-11	0,458
104	kładka pieszo-rower.- K-9	kładka dla pieszych	pieszy i rowerowy	zbuduj	3 067 917,91 zł	2013	24	35	-11	0,458
105	wiadukt WD-10/L	wiadukt	drogowy	zbuduj	9 162 224,79 zł	2013	24	35	-11	0,458
106	wiadukt nr WD-10/p	wiadukt	drogowy	zbuduj	9 162 224,79 zł	2013	24	35	-11	0,458

BAZA DANYCH – część I															
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Informacje ogólne				Czas realizacji				
							3	4	5	6	7	8	9	10	11
107	wiadukt nr WD-11/L	wiadukt	drogowy	zbuduj	4 570 774,32 zł	2013	24	35	-11	0,458					
108	wiadukt nr WD-11/p	wiadukt	drogowy	zbuduj	4 570 774,32 zł	2013	24	35	-11	0,458					
109	most nr MD-12/p	most	drogowy, szlak wędrowek dla zwierząt	zbuduj	10 943 670,91 zł	2013	24	35	-11	0,458					
110	wiadukt nr MD-12/L	most	drogowy, szlak wędrowek dla zwierząt	zbuduj	10 943 670,92 zł	2013	24	35	-11	0,458					
111	wiadukt WD-13/p	wiadukt	drogowy	zbuduj	10 113 203,60 zł	2013	24	35	-11	0,458					
112	wiadukt nr WD-13/L	wiadukt	drogowy	zbuduj	10 113 203,61 zł	2013	24	35	-11	0,458					
113	wiadukt nr WD-14	wiadukt	drogowy	zbuduj	4 365 130,66 zł	2013	24	35	-11	0,458					
114	przejście dla zwierząt PZ-15	wiadukt	szlak wędrowek zwierząt	zbuduj	12 766 537,70 zł	2013	24	35	-11	0,458					



BAZA DANYCH – część I																				
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Informacje ogólne				Czas realizacji									
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
																		Planowany (Tp)	Rzeczywisty (Tr)	$\Delta T = (Tp - Tr)$
		(most/wiadukt/estakada/przejście dla zwierząt/przepust/kładka)	(drogowy, kolejowy, wodny, zalewowy, przemysłowy, pieszy i/lub rowerowy, szlak wędrówek dla zwierząt)	(zbuduj/zaprojektuj i zbuduj)																
123	wiadukt nr WD-18B	wiadukt	drogowy	zbuduj	7 293 642,67 zł	2013	24	35	-11	0,458										
124	wiadukt - WD-4/L	wiadukt	drogowy	zbuduj	13 009 597,28 zł	2013	24	35	-11	0,458										
125	wiadukt WD-4/p	wiadukt	drogowy	zbuduj	13 009 597,29 zł	2013	24	35	-11	0,458										
126	wiadukt - WD-5/L	wiadukt	drogowy i rowerowy	zbuduj	1 455 546,06 zł	2013	24	35	-11	0,458										
127	wiadukt - WD-5/p	wiadukt	drogowy, szlak wędrówek dla zwierząt	zbuduj	1 455 546,06 zł	2013	24	35	-11	0,458										
128	most MD-6A/L	most	drogowy, szlak wędrówek dla zwierząt	zbuduj	7 302 080,08 zł	2013	24	35	-11	0,458										
129	most nr WD-6A/L-ś	most	drogowy, szlak wędrówek dla zwierząt	zbuduj	7 302 080,08 zł	2013	24	35	-11	0,458										
130	most nr MA-6A/ś-p	most	drogowy, szlak wędrówek dla zwierząt	zbuduj	7 302 080,08 zł	2013	24	35	-11	0,458										

BAZA DANYCH – część I																								
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Informacje ogólne				Czas realizacji													
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11							
		(most/wiadukt/estakada/przejście dla zwierząt/przepust/ładka)	(drogowy, kolejowy, wodny, zalewowy, przemysłowy, pieszy i/lub rowerowy, szlak wędrowek dla zwierząt)	(zbuduj/zaprojektuj i zbuduj)																				
131	most nr MD-6A/p	most	drogowy, szlak wędrowek dla zwierząt	zbuduj	7 302 080,08 zł	2013	24	35	-11														0,458	
132	WD-6B/L	wiadukt	drogowy	zbuduj	2 876 156,32 zł	2013	24	35	-11															0,458
133	WD-6B/L-ś	wiadukt	drogowy	zbuduj	2 876 156,32 zł	2013	24	35	-11															0,458
134	WD-6B/ś-p	wiadukt	drogowy	zbuduj	2 876 156,32 zł	2013	24	35	-11															0,458
135	WD-6B/p	wiadukt	drogowy	zbuduj	2 876 156,32 zł	2013	24	35	-11															0,458
136	MD-6H/p/d.	most	drogowy	zbuduj	4 332 758,88 zł	2013	24	35	-11															0,458
137	Most MD-6C	most	drogowy	zbuduj	3 399 773,76 zł	2013	24	35	-11															0,458
138	most MD-6I	most	drogowy	zbuduj	4 649 564,30 zł	2013	24	35	-11															0,458





BAZA DANYCH – część I

Informacje ogólne										
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Czas realizacji			Zmienna zależna $Y = Tp - Tr / Tp$
							Planowany (Tp)	Rzeczywisty (Tr)	$\Delta T = (Tp - Tr)$ (miesiące)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
155	wiadukt nr WD-2	wiadukt	drogowy i pieszy	zbuduj	6 074 545,24 zł	2011	30	30	0	0,000
156	most nr MA-1 (płn. )	most	drogowy	zbuduj	16 122 929,36 zł	2011	30	30	0	0,000
157	most nr MA-1 (płd. )	most	drogowy	zbuduj	16 122 929,36 zł	2011	30	30	0	0,000
158	Przasław	wiadukt	drogowy	zbuduj	3 948 788,74 zł	2012	25	25	0	0,000
159	Przasław	wiadukt	drogowy	zbuduj	3 948 788,73 zł	2012	25	25	0	0,000
160	Przasław	wiadukt	drogowy	zbuduj	3 111 357,56 zł	2012	25	25	0	0,000
161	Sudół	wiadukt	drogowy	zbuduj	2 956 324,10 zł	2012	25	25	0	0,000
162	Sudół	wiadukt	drogowy	zbuduj	2 447 530,41 zł	2012	25	25	0	0,000



BAZA DANYCH – część I										
Lp.	Nazwa obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeszkodę	Typ obiektu ze względu na przeznaczenie	System realizacji przedsięwzięcia budowlanego	Wartość obiektu (PLN)	Rok oddania obiektu do użytku	Informacje ogólne			
							Czas realizacji			
							Planowany (Tp)	Rzeczywisty (Tr)	$\Delta T = (Tp - Tr)$	Zmiana zależna $Y = Tp - Tr / Tp$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		(most/wiadukt/estakada/przejście dla zwierząt/przepust/kładka)	(drogowy, kolejowy, wodny, zalewowy, przemysłowy, pieszy i/lub rowerowy, szlak wędrówek dla zwierząt)	(zbuduj/zaprojektuj i zbuduj)	(PLN)		(miesiące)	(miesiące)	(miesiące)	Jeżeli $Y=0$ to $Y=0$ ; jeśli $Y>0$ to $Y=0$ ; Jeżeli $Y<0$ to $Y=i$
163	Wilanów	kładka dla pieszych	pieszy	zbuduj	2 025 509,06 zł	2012	25	25	0	0,000
164	Sudół	wiadukt	drogowy	zbuduj	2 657 531,85 zł	2012	25	25	0	0,000
165	Jędrzejów	wiadukt	drogowy	zbuduj	3 230 822,68 zł	2013	25	25	0	0,000
166	Jędrzejów	wiadukt	drogowy	zbuduj	3 230 822,69 zł	2012	25	25	0	0,000
167	Jędrzejów	wiadukt	drogowy	zbuduj	6 286 893,78 zł	2012	25	25	0	0,000
168	Jędrzejów	wiadukt	drogowy	zbuduj	6 286 893,79 zł	2012	25	25	0	0,000
169	Jędrzejów	wiadukt	drogowy	zbuduj	2 835 142,86 zł	2012	25	25	0	0,000

## Załącznik nr 8 – Baza danych – część 2 – Charakterystyki obiektów mostowych

Źródło: Opracowanie własne.

BAZA DANYCH – część 2										
Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynkowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(słupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(słupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A,B,C,D,E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	10,36	3,1	1	skrzynkowy	beton zbrojony	brak	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	A (500 kN)
2	26,34	19,92	1	ramowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
3	14	10,7	1	ramowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
4	12,7	1	1	skrzynkowy	beton zbrojony	brak	brak	Bezpśrednie	Beton asfaltowy	A (500 kN)
5	8,3	10,3	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
6	10,6	2,5	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A

BAZA DANYCH – część 2

Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynkowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(słupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(słupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A,B,C,D,E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
7	12,68	1,5	1	skrzynkowy	beton zbrojony	brak	brak	Pośrednie	Beton asfaltowy	A (500 kN)
8	13,2	10,28	1	łukowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
9	60,5	13,7	1	łukowy	stalowy	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
10	107,8	9,75	3	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
11	107,8	9,75	3	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
12	42,8	13,63	2	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	słupowe	bezpśrednie	Nawierzchnia modyfikowana	A (500 kN)
13	38,8	17,1	2	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	słupowe	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
14	20	14,03	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	Nawierzchnia modyfikowana	A (500 kN)

BAZA DANYCH – część 2

Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A, B, C, D, E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
15	62,8	24,3	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
16	115,2	24,3	4	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	stupowe	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
17	86,98	28,1	3	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	stupowe	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
18	45,36	19,3	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
19	52,11	19,6	1	ramowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
20	48,9	13,3	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
21	58,8	10,3	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa B
22	94,3	11,8	3	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	stupowe	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A

BAZA DANYCH – część 2

Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałow	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynkowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stłupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stłupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A, B, C, D, E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
23	67,8	10,3	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa B
24	53,57	10,3	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa B
25	54,1	11,3	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
26	383,5	13,3	7	skrzynkowy	beton zbrojony	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
27	84,6	13,3	3	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	stłupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
28	303,8	13,3	6	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
29	37,02	10,9	1	belkowy	beton zbrojony	stłupowe	brak	Posrednie	nawierzchnia modyfikowana	B (400 kN)
30	50,07	10,9	2	belkowy	beton zbrojony	stłupowe	pełnościenne	Posrednie	nawierzchnia modyfikowana	B (400 kN)

BAZA DANYCH – część 2

		Charakterystyka obiektu									
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu	
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stłupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stłupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	21	
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
31	60,92	10,9	2	belkowy	beton zbrojony	stłupowe	pełnościenne	Pośrednie	nawierzchnia modyfikowana	B (400 kN)	
32	46,9	10,9	1	belkowy	beton zbrojony	stłupowe	brak	Pośrednie	nawierzchnia modyfikowana	A (500 kN)	
33	31,89	10,9	1	belkowy	beton zbrojony	stłupowe	brak	Pośrednie	nawierzchnia modyfikowana	B (400 kN)	
34	50,83	8,1	2	belkowy	beton zbrojony	stłupowe	pełnościenne	Bezpośrednie	nawierzchnia modyfikowana	B (400 kN)	
35	24,4	13,74	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	k=+2 (302,5kN, 96,8 kN/m)	
36	76,6	13,52	1	łukowy	stalowy	pełnościenne	brak	bezpśrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	k=+2 (302,5kN, 96,8 kN/m)	
37	13,2	12,06	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	k=+2 (302,5kN, 96,8 kN/m)	

BAZA DANYCH – część 2

Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stłupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stłupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A, B, C, D, E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
38	7,8	13	1	ramowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
39	14,12	12,06	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
40	13,5	22,9	2	ramowy	beton zbrojony	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
41	24,3	12,18	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
42	12,2	12,23	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	pośrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
43	30,3	12,94	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	pośrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)

BAZA DANYCH – część 2

Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stłupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stłupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A, B, C, D, E, k, inne przepisy)
44	30,3	12,94	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	pośrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
45	5,7	52,36	1	ramowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
46	30,3	12,18	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	pośrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
47	24,4	12,18	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	pośrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
48	30,3	12,28	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	pośrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
49	30,3	12,28	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	pośrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)



BAZA DANYCH – część 2

Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynkowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stłupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stłupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A, B, C, D, E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
50	190,7	14,31	5	skrzynkowy	beton zbrojony	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
51	18,3	12,18	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpośrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
52	30,3	12,18	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpośrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
53	5,7	13,4	1	ramowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpośrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
54	5,7	13,4	1	ramowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpośrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
55	18,3	12,18	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpośrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)

BAZA DANYCH – część 2

Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A, B, C, D, E, k, inne przepisy)
56	30,3	12,28	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
57	30,3	12,18	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
58	18,3	12,18	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej	$k=+2$ (302,5kN, 96,8 kN/m)
59	13,5	12,76	1	ramowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
60	13,5	13,68	1	ramowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
61	102,2	11,68	5	belkowy	stalowy	pełnościenne	pełnościenne	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
62	182,54	28,86	7	belkowy	stalowy	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A

BAZA DANYCH – część 2										
Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stłupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stłupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A, B, C, D, E, k, inne przepisy)
63	292,69	16,71	8	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
64	292,7	15,7	8	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
65	272,74	4,5	1	łukowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezpośrednie	beton asfaltowy	inne przepisy
66	69,8	10,5	2	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa B
67	54,4	41,7	2	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa E
68	66,05	13,75	2	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
69	65	11,75	1	belkowy	beton sprężony	stłupowe	brak	Bezpośrednie	Beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa B
70	29,48	18,15	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A

BAZA DANYCH – część 2

Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stłupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stłupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A, B, C, D, E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
71	29,48	18,15	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
72	66	10,5	2	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa B
73	22	15,6	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
74	22	17,5	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
75	21,8	15,7	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
76	21,8	16,71	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
77	22	15,7	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
78	22	15,7	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A

BAZA DANYCH – część 2										
Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stłupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stłupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A, B, C, D, E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
79	66	10,5	2	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa B
80	66	15,25	2	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
81	172,04	15,7	5	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
82	171,88	15,7	5	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
83	90,34	15,7	3	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
84	90,06	16,71	3	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
85	22,06	16,71	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
86	22,03	16,71	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A

BAZA DANYCH – część 2										
Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A,B,C,D,E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
87	328,95	4,5	1	łukowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezpośrednie	beton asfaltowy	inne przepisy
88	292,69	10,5	8	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa B
89	24,46	10,82	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
90	31,07	12,4	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
91	31,07	12,4	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
92	38,48	13,46	2	ramowy	beton sprężony	pełnościenne	palowe	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
93	38,48	14,74	2	ramowy	beton sprężony	pełnościenne	palowe	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
94	78,9	10,9	3	belkowy	stalowy	pełnościenne	stupowe	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa B

BAZA DANYCH – część 2

Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(słupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(słupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A,B,C,D,E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
95	43,04	3,3	1	łukowy	stalowy	pełnościenne	brak	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
96	43,46	7,82	1	belkowy	stalowy	pełnościenne	brak	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa C
97	18,45	11,78	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
98	71,71	8,4	3	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
99	71,64	11,9	3	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
100	25	8,7	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa B
101	23,03	11,08	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	bezppośrednie	beton asfaltowy	Normatyw 1920 - I klasa
102	43,9	51,92	2	ramowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa E

**BAZA DANYCH – część 2**

Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A, B, C, D, E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
103	89,05	11,96	4	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	stupowe	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa B
104	91,7	3,94	3	belkowy	stalowy	pełnościenne	stupowe	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
105	64,05	16,31	3	belkowy	stalowy	pełnościenne	stupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
106	64,05	16,31	3	belkowy	stalowy	pełnościenne	stupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
107	48,25	16,28	2	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	stupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
108	48,25	16,28	2	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	stupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
109	82,22	15,7	3	belkowy	stalowy	pełnościenne	stupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
110	82,22	15,7	3	belkowy	stalowy	pełnościenne	stupowe	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A



BAZA DANYCH – część 2

Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A,B,C,D,E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
111	87,73	15,8	3	belkowy	stalowy	pełnościenne	stupowe	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
112	87,73	15,8	3	belkowy	stalowy	pełnościenne	stupowe	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
113	70,6	13,6	3	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	stupowe	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
114	36,18	77,04	2	łukowy	stalowy	pełnościenne	pełnościenne	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa E
115	25,02	18,68	1	belkowy	stalowy	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
116	25,02	18,68	1	belkowy	stalowy	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
117	34,6	15,7	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
118	34,6	15,7	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A

BAZA DANYCH – część 2

Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(słupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(słupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A, B, C, D, E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
119	32,4	15,7	1	belkowy	stalowy	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
120	32,4	15,7	1	belkowy	stalowy	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
121	74,02	10,68	3	belkowy	stalowy	pełnościenne	słupowe	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa B
122	87,43	14,86	3	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
123	90,52	14,58	3	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
124	90,2	16,33	4	belkowy	stalowy	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
125	90,2	16,33	4	belkowy	stalowy	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
126	17,5	15,7	1	ramowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A

BAZA DANYCH – część 2

Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(słupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(słupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A,B,C,D,E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
127	17,5	15,7	1	ramowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
128	93,42	11,7	3	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
129	93,42	15,7	3	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
130	93,42	15,7	3	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
131	93,42	13,83	3	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
132	36,4	15,08	2	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
133	36,4	15,7	2	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
134	36,4	15,7	2	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A

BAZA DANYCH – część 2

Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(słupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(słupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A,B,C,D,E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
135	36,4	11,08	2	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
136	21,04	13,99	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
137	44,8	9,96	2	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
138	71,04	12,2	2	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
139	21,26	11,7	1	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	brak	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
140	25,33	13,82	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
141	116,1	9,08	3	belkowy	stalowy	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
142	116,1	12,78	3	belkowy	stalowy	pełnościenne	słupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A

BAZA DANYCH – część 2										
Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stłupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stłupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A,B,C,D,E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
143	18,9	8,18	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
144	18,9	15,7	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
145	18,9	15,7	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
146	18,9	8,08	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
147	43,9	37,34	2	ramowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa E
148	458	14,1	5	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
149	90,14	5,66	2	belkowy	stalowy	pełnościenne	inne	bezpśrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
150	26,3	33,1	1	ramowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A

BAZA DANYCH – część 2

		Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu		
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(stupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(stupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A,B,C,D,E, k, inne przepisy)		
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
151	26,9	41,18	1	ramowy	beton sprężony	pełnościenne	brak	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A		
152	255,8	15,5	15	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	stupowe	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A		
153	15,92	13,6	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A		
154	15,92	13,6	1	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	pełnościenne	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A		
155	64,5	9,7	3	ramowy	beton zbrojony	pełnościenne	palowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa B		
156	155,9	13,6	4	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	stupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A		
157	155,9	13,6	4	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	stupowe	pośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A		
158	56,58	11,15	3	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	pełnościenne	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A		

BAZA DANYCH – część 2										
Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałow	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(słupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(słupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednie)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A,B,C,D,E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
159	56,58	11,15	3	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	pełnościenne	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
160	16,12	41,68	1	łukowy	stalowy	pełnościenne	pełnościenne	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
161	16,12	39,3	1	łukowy	stalowy	pełnościenne	pełnościenne	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
162	50,9	10,7	2	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	słupowe	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa B
163	115,38	3,82	3	belkowy	stalowy	pełnościenne	słupowe	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa E
164	50,9	11,1	2	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	słupowe	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
165	47,2	11,16	3	ramowy	beton zbrojony	pełnościenne	pełnościenne	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
166	47,2	11,16	3	ramowy	beton zbrojony	pełnościenne	pełnościenne	bezpośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A

BAZA DANYCH – część 2										
Charakterystyka obiektu										
Lp.	Długość całkowita obiektu	Szerokość obiektu	Ilość przęseł obiektu	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadwienia podpór obiektu	Rodzaj nawierzchni na obiekcie	Klasa obciążenia obiektu
	(m)	(m)	(szt.)	(belkowy, skrzynekowy, ramowy, kratowy, łukowy)	(beton zbrojony, beton sprężony, stalowy, drewniany, aluminiowy, kompozytowy, zespolony, z blachy falistej)	(słupowe, pełnościenne, ściany oporowe)	(słupowe, palowe, pełnościenne)	(pośrednie, bezpośrednio)	(beton, beton asfaltowy, nawierzchnia modyfikowana, nawierzchnia kolejowa)	(A, B, C, D, E, k, inne przepisy)
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
167	97,2	11,15	3	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
168	97,2	11,15	3	belkowy	beton sprężony	pełnościenne	słupowe	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A
169	50,9	11,7	2	belkowy	beton zbrojony	pełnościenne	słupowe	bezppośrednie	beton asfaltowy	PN-85/S-10030 - klasa A



Załącznik nr 9 – Baza danych – część 3 – Czynniki powodujące opóźnienia

Źródło: Opracowanie własne.

Lp.	Czynniki powodujące opóźnienia														Warunki atmosferyczne i społeczne
	Potencjał projektanta	Koncepcja projektowa	Uzgodnienia projektowe	Opracowanie dokumentacji projektowej	Decyzje administracyjne	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe						
	22	21	22	23	24	25	26	27	28					29	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	
2	0	0	0	0	0	0	1	1	0					1	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	
10	0	0	0	0	0	1	0	1	0					1	
11	0	0	0	0	0	1	0	1	0					1	
12	0	0	0	0	0	1	1	1	1					1	
13	0	0	0	0	0	1	1	1	1					1	
14	0	0	0	0	0	1	1	1	1					1	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	
18	0	1	0	0	1	0	0	0	0					0	
19	1	1	1	1	0	0	0	0	0					0	
20	0	1	0	0	1	0	0	0	0					0	

BAZA DANYCH – część 3

Lp.	Czynniki powodujące opóźnienia													Warunki atmosferyczne i społeczne
	22	21	22	23	24	25	26	27	28	29				
	Potencjał projektanta	Koncepcja projektowa	Uzgodnienia projektowe	Opracowanie dokumentacji projektowej	Decyzje administracyjne	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe					
1	22	21	22	23	24	25	26	27	28	29				
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
22	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0				
23	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0				
24	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0				
25	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0				
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
29	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1				
30	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1				
31	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1				
32	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1				
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
34	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1				
35	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1				
36	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1				
37	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1				
38	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1				
39	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1				
40	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1				
41	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1				
42	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1				
43	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1				

BAZA DANYCH – część 3

Lp.	Czynniki powodujące opóźnienia														Warunki atmosferyczne i społeczne
	22	21	22	23	24	25	26	27	28	29					
	Potencjał projektanta	Koncepcja projektowa	Uzgodnienia projektowe	Opracowanie dokumentacji projektowej	Decyzje administracyjne	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe						
1	22	21	22	23	24	25	26	27	28	29					
44	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1					
45	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1					
46	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1					
47	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1					
48	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1					
49	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1					
50	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1					
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
63	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1					
64	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1					
65	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1					
66	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1					

BAZA DANYCH – część 3

Lp.	Czynniki powodujące opóźnienia													Warunki atmosferyczne i społeczne
	22	21	22	23	24	25	26	27	28	29				
	Potencjał projektanta	Koncepcja projektowa	Uzgodnienia projektowe	Opracowanie dokumentacji projektowej	Decyzje administracyjne	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe					
1	22	21	22	23	24	25	26	27	28	29				
67	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1				
68	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1				
69	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1				
70	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1				
71	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1				
72	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1				
73	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1				
74	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1				
75	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1				
76	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1				
77	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1			0	
78	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1			1	
79	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1			1	
80	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1			1	
81	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1			1	
82	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1			1	
83	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1			1	
84	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1			1	
85	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1			1	
86	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1			1	
87	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1			1	
88	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1			1	
89	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1			1	

BAZA DANYCH – część 3

Lp.	Czynniki powodujące opóźnienia													Warunki atmosferyczne i społeczne
	22	21	22	23	24	25	26	27	28	29				
	Potencjał projektanta	Koncepcja projektowa	Uzgodnienia projektowe	Opracowanie dokumentacji projektowej	Decyzje administracyjne	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

BAZA DANYCH – część 3

Lp.	Czynniki powodujące opóźnienia														Warunki atmosferyczne i społeczne
	22	21	22	23	24	25	26	27	28	29					
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
113	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
114	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
115	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
116	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
117	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
118	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
119	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
120	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
121	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
122	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
123	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
124	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
125	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
126	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
127	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
128	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
129	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
130	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
131	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
132	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
133	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
134	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
135	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

BAZA DANYCH – część 3

Lp.	Czynniki powodujące opóźnienia													Warunki atmosferyczne i społeczne
	22	21	22	23	24	25	26	27	28	29				
	Potencjał projektanta	Koncepcja projektowa	Uzgodnienia projektowe	Opracowanie dokumentacji projektowej	Decyzje administracyjne	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
147	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
149	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

BAZA DANYCH – część 3

Lp.	Czynniki powodujące opóźnienia											Warunki atmosferyczne i społeczne
	22	21	22	23	24	25	26	27	28	29		
	Potencjał projektanta	Koncepcja projektowa	Uzgodnienia projektowe	Opracowanie dokumentacji projektowej	Decyzje administracyjne	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
162	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
166	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
169	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	



## Załącznik nr 10 – Przekodowana baza danych

Źródło: Opracowanie własne.

Lp.	Zmienne niezależne											Zmienna zależna				
	Potencjał projektanta	Uzgodnienia projektowe	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe	Warunki atmosferyczne i społeczne	Decyzje administracyjne	Typ obiektu ze względu na przeszkodę	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe	Rodzaj podprójskrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podprójsrednich obiektu	Sposób posadowienia podprójs obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeznaczenie	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Opóźnienie względne
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$Y$
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	2	0,000
2	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	4	1	0,143
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	1	0,000
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	2	0,000
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0	0,000
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	0	0,000
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	2	0,000
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	2	3	0,000
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	2	3	0,000
10	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	2	1	4	0	0,533
11	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	2	1	4	0	0,533
12	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	2	0	4	0	0,480
13	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	2	0	4	0	0,500
14	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	4	0	0,500
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4	0	0,000
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4	0	0,000
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4	0	0,000
18	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	4	0	0,067
19	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4	1	1,143
20	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	4	0	0,250
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4	0	0,000
22	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4	0	0,714
23	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4	0	0,067
24	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	4	0	0,250
25	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4	0	0,875

Lp.	Zmienne niezależne													Zmienna zależna		
	Potencjał projektanta	Uzgodnienia projektowe	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe	Warunki atmosferyczne i społeczne	Decyzje administracyjne	Typ obiektu ze względu na przeszkodę	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe	Rodzaj podwór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podwór pośrednich obiektu	Sposób posiadania podwór obiektu		Rodzaj obiektu ze względu na przeznaczenie	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$Y$
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	0,000
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	2	0	0,000
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	0	0,000
29	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	2	0	1	4	0	0,056
30	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	1	4	0	0,077
31	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	1	4	0	0,083
32	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	2	0	1	4	0	0,028
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	4	0	0,000
34	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	2	1	0	4	0	0,250
35	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	0	4	0	0,571
36	0	0	1	1	1	1	1	0	3	2	1	0	0	4	3	0,571
37	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	0	4	0	0,571
38	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	0	4	1	0,571
39	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	0	4	0	0,571
40	0	0	1	0	1	1	1	0	3	1	1	1	1	2	1	0,571
41	0	0	1	0	1	1	1	0	3	1	1	0	0	4	0	0,333
42	0	0	1	0	1	1	1	0	3	1	1	0	1	4	0	0,333
43	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	1	4	0	0,333
44	0	0	1	0	1	1	1	0	3	1	1	0	1	4	0	0,333
45	0	0	0	0	1	1	1	0	3	1	1	0	0	4	1	0,333
46	0	0	1	0	1	1	1	0	3	1	1	0	1	4	0	2,750
47	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	1	4	0	2,750
48	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	1	4	0	2,750
49	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	1	2	0	2,750
50	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	1	1	2	2	2,750
51	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	4	0	0,000
52	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	2	0	0,000
53	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	4	1	0,000
54	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	4	1	0,000

Lp.	Zmienne niezależne													Zmienna zależna		
	Potencjal projektanta	Uzgodnienia projektowe	Potencjal wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe	Warunki atmosferyczne i społeczne	Decyzje administracyjne	Typ obiektu ze względu na przeszkodę	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe	Rodzaj podór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podór pośrednich obiektu	Sposób posiadania podór obiektu		Rodzaj obiektu ze względu na przeznaczenie	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$Y$
55	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	4	0	0,000
56	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	2	0	0,000
57	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	4	0	0,000
58	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	4	0	0,000
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	1	0,000
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	1	0,000
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	4	0	0,000
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	4	0	0,000
63	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0,083
64	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0,083
65	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	3	0,083
66	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	4	0	0,083
67	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	4	0	0,083
68	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	4	0	0,083
69	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	2	0	0	4	0	0,083
70	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0,083
71	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0,083
72	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	4	0	0,083
73	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,083
74	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,083
75	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,083
76	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,083
77	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0,083
78	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0,083
79	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	4	0	0,083
80	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	4	0	0,083
81	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0,083
82	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0,083
83	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0,083

Lp.	Zmienne niezależne											Zmienna zależna				
	Potencjał projektanta	Uzgodnienia projektowe	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe	Warunki atmosferyczne i społeczne	Decyzje administracyjne	Typ obiektu ze względu na przeszkodę	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe	Rodzaj podróży skrajnych obiektu (przyczółki)		Rodzaje podróży pośrednich obiektu	Sposób posiadania podróży obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeznaczenie	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$Y$
84	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0,083
85	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,083
86	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,083
87	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	3	0,083
88	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0,083
89	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,250
90	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	4	0	0,125
91	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	4	0	0,125
92	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	0	4	1	0,125
93	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	2	0	4	1	0,125
94	0	0	1	1	1	1	1	0	1	2	1	2	0	4	0	0,125
95	0	0	1	1	1	1	1	0	1	2	1	0	0	1	3	0,125
96	0	0	1	0	1	1	1	0	1	2	1	0	0	4	0	0,125
97	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,125
98	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	2	0	4	0	0,125
99	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0,125
100	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	2	0	0,458
101	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,458
102	0	0	1	1	1	0	1	0	4	0	1	1	0	4	1	0,458
103	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	2	0	4	0	0,458
104	0	0	1	1	1	0	1	0	1	2	1	2	0	1	0	0,458
105	0	0	1	1	1	0	1	0	0	2	1	2	1	4	0	0,458
106	0	0	1	1	1	0	1	0	0	2	1	2	1	4	0	0,458
107	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0,458
108	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0,458
109	0	0	1	1	1	0	1	0	2	2	1	2	1	2	0	0,458
110	0	0	1	1	1	0	1	0	2	2	1	2	1	2	0	0,458
111	0	0	1	1	1	0	1	0	0	2	1	2	0	4	0	0,458
112	0	0	1	1	1	0	1	0	0	2	1	2	0	4	0	0,458

Lp.	Zmienne niezależne													Zmienna zależna		
	Potencjał projektanta	Uzgodnienia projektowe	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe	Warunki atmosferyczne i społeczne	Decyzje administracyjne	Typ obiektu ze względu na przeszkodę	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe	Rodzaj podpróbk skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpróbk pośrednich obiektu	Sposób posiadania podpróbk obiektu		Rodzaj obiektu ze względu na przeznaczenie	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$Y$
113	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	2	0	4	0	0.458
114	0	0	1	1	1	0	1	0	4	2	1	1	0	4	3	0.458
115	0	0	1	1	1	0	1	0	0	2	1	0	1	4	0	0.458
116	0	0	1	1	1	0	1	0	0	2	1	0	1	4	0	0.458
117	0	0	1	1	1	0	1	0	2	0	1	0	1	2	0	0.458
118	0	0	1	1	1	0	1	0	2	0	1	0	1	4	0	0.458
119	0	0	1	1	1	0	1	0	2	2	1	0	1	2	0	0.458
120	0	0	1	1	1	0	1	0	2	2	1	0	1	2	0	0.458
121	0	0	1	1	1	1	1	0	1	2	1	2	0	4	0	0.458
122	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0.458
123	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0.458
124	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	1	2	1	4	0	0.458
125	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	1	2	1	4	0	0.458
126	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	4	1	0.458
127	0	0	1	1	1	1	1	0	2	0	1	0	1	4	1	0.458
128	0	0	1	1	1	1	1	0	2	0	1	2	1	2	0	0.458
129	0	0	1	1	1	1	1	0	2	0	1	2	1	2	0	0.458
130	0	0	1	1	1	1	1	0	2	0	1	2	1	2	0	0.458
131	0	0	1	1	1	1	1	0	2	0	1	2	1	2	0	0.458
132	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0.458
133	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0.458
134	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0.458
135	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0.458
136	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	2	0	0.458
137	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	2	0	0.458
138	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	2	0	0.458
139	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	4	0	0.458
140	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	2	0	0.458
141	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	1	2	1	4	0	0.458

Lp.	Zmienne niezależne													Zmienna zależna		
	Potencjał projektanta	Uzgodnienia projektowe	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe	Warunki atmosferyczne i społeczne	Decyzje administracyjne	Typ obiektu ze względu na przeszkodę	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu		Rodzaj obiektu ze względu na przeznaczenie	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$Y$
142	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	1	2	1	4	0	0,458
143	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	4	0	0,458
144	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	4	0	0,458
145	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	4	0	0,458
146	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	4	0	0,458
147	0	0	1	1	1	1	1	0	4	0	1	1	0	4	1	0,458
148	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	2	0	0,208
149	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0	1	0	0,000
150	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	4	1	0,000
151	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	4	1	0,000
152	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0	4	0	0,000
153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	0	0,000
154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	0	0,000
155	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	4	1	0,000
156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	0	0,000
157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	0	0,000
158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	4	0	0,000
159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	4	0	0,000
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	4	3	0,000
161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	4	3	0,000
162	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4	0	0,000
163	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	0	1	0	0,000
164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4	0	0,000
165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	4	1	0,000
166	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	4	1	0,000
167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	4	0	0,000
168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	4	0	0,000
169	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4	0	0,000

Załącznik nr 11 – Podział danych w bazie danych na zbiór uczący i zbiór testowy.

Źródło: Opracowanie własne.

I.p.	Zmienne niezależne											Zmienna zależna				
	Potencjal projektanta	Uzgodnienia projektowe	Potencjal wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe	Warunki atmosferyczne i społeczne	Decyzje administracyjne	Typ obiektu ze względu na przeszkodę	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posiadania podpór obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeznaczenie	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Opóźnienie względne
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$Y$
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	2	0,000
2	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	4	1	0,143
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	1	0,000
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	2	0,000
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0	0,000
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	0	0,000
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	2	0,000
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	2	3	0,000
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	2	3	0,000
10	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	2	1	4	0	0,533
11	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	2	1	4	0	0,533
12	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	2	0	4	0	0,480
13	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	2	0	4	0	0,500
14	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	4	0	0,500
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4	0	0,000
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4	0	0,000
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4	0	0,000
18	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	4	0	0,067
19	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4	1	1,143
20	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	4	0	0,250
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4	0	0,000
22	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4	0	0,714
23	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4	0	0,067
24	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	4	0	0,250
25	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4	0	0,875

I.p.	Zmienne niezależne													Zmienna zależna		
	Potencjał projektanta	Uzgodnienia projektowe	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe	Warunki atmosferyczne i społeczne	Decyzje administracyjne	Typ obiektu ze względu na przeszkodę	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeznaczenie	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Opoźnienie względne
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	Y
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	0,000
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	2	0	0,000
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	0	0,000
29	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	2	0	1	4	0	0,056
30	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	1	4	0	0,077
31	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	1	4	0	0,083
32	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	2	0	1	4	0	0,028
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	4	0	0,000
34	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	2	1	0	4	0	0,250
35	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	0	4	0	0,571
36	0	0	1	1	1	1	1	0	3	2	1	0	0	4	3	0,571
37	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	0	4	0	0,571
38	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	0	4	1	0,571
39	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	0	4	0	0,571
40	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	1	1	2	1	0,571
41	0	0	1	0	1	1	1	0	3	1	1	0	0	4	0	0,333
42	0	0	1	0	1	1	1	0	3	1	1	0	1	4	0	0,333
43	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	1	4	0	0,333
44	0	0	1	0	1	1	1	0	3	1	1	0	1	4	0	0,333
45	0	0	0	0	1	1	1	0	3	1	1	0	0	4	1	0,333
46	0	0	1	0	1	1	1	0	3	1	1	0	1	4	0	2,750
47	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	1	4	0	2,750
48	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	1	4	0	2,750
49	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	0	1	2	0	2,750
50	0	0	1	1	1	1	1	0	3	1	1	1	1	2	2	2,750
51	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	4	0	0,000
52	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	2	0	0,000
53	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	4	1	0,000
54	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	4	1	0,000
55	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	4	0	0,000



I.p.	Zmienne niezależne											Zmienna zależna				
	Potencjał projektanta	Uzgodnienia projektowe	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe	Warunki atmosferyczne i społeczne	Decyzje administracyjne	Typ obiektu ze względu na przyszłość	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeznaczenie	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny	Opóźnienie względne
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$Y$
56	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	2	0	0,000
57	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	4	0	0,000
58	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	4	0	0,000
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	1	0,000
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	1	0,000
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	4	0	0,000
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	4	0	0,000
63	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0,083
64	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0,083
65	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	3	0,083
66	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	4	0	0,083
67	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	4	0	0,083
68	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	4	0	0,083
69	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	2	0	0	4	0	0,083
70	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0,083
71	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0,083
72	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	4	0	0,083
73	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,083
74	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,083
75	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,083
76	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,083
77	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0,083
78	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0,083
79	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	4	0	0,083
80	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	4	0	0,083
81	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0,083
82	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0,083
83	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0,083
84	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0,083
85	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,083

Lp.	Zmienne niezależne													Zmienna zależna		
	Potencjal projektanta	Uzgodnienia projektowe	Potencjal wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe	Warunki atmosferyczne i społeczne	Decyzje administracyjne	Typ obiektu ze względu na przeszkodę	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu		Rodzaj obiektu ze względu na przeznaczenie	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$Y$
86	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,083
87	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	3	0,083
88	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0,083
89	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,250
90	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	4	0	0,125
91	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	4	0	0,125
92	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	0	4	1	0,125
93	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	2	0	4	1	0,125
94	0	0	1	1	1	1	1	0	1	2	1	2	0	4	0	0,125
95	0	0	1	1	1	1	1	0	1	2	1	0	0	1	3	0,125
96	0	0	1	0	1	1	1	0	1	2	1	0	0	4	0	0,125
97	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,125
98	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	2	0	4	0	0,125
99	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0,125
100	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	2	0	0,458
101	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0,458
102	0	0	1	1	1	1	1	0	4	0	1	1	0	4	1	0,458
103	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	0	4	0	0,458
104	0	0	1	1	1	1	1	0	1	2	1	2	0	1	0	0,458
105	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	1	2	1	4	0	0,458
106	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	1	2	1	4	0	0,458
107	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0,458
108	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0,458
109	0	0	1	1	1	1	1	0	2	2	1	2	1	2	0	0,458
110	0	0	1	1	1	1	1	0	2	2	1	2	0	2	0	0,458
111	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	1	2	0	4	0	0,458
112	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	1	2	0	4	0	0,458
113	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	0	4	0	0,458
114	0	0	1	1	1	1	1	0	4	2	1	1	0	4	3	0,458
115	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	1	0	1	4	0	0,458

Lp.	Zmienne niezależne											Zmienna zależna				
	Potencjał projektanta	Uzgodnienia projektowe	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe	Warunki atmosferyczne i społeczne	Decyzje administracyjne	Typ obiektu ze względu na przeszkodę	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązanie materiałowe	Rodzaj podzór skrajnych obiektu (przyczółki)		Rodzaje podzór pośrednich obiektu	Sposób posiadania podzór obiektu	Rodzaj obiektu ze względu na przeznaczenie	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$Y$
116	0	0	1	1	1	0	1	0	0	2	1	0	1	4	0	0,458
117	0	0	1	1	1	0	1	0	2	0	1	0	1	2	0	0,458
118	0	0	1	1	1	0	1	0	2	0	1	0	1	4	0	0,458
119	0	0	1	1	1	0	1	0	2	2	1	0	1	2	0	0,458
120	0	0	1	1	1	0	1	0	2	2	1	0	1	2	0	0,458
121	0	0	1	1	1	1	1	0	1	2	1	2	0	4	0	0,458
122	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0,458
123	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0,458
124	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	1	2	1	4	0	0,458
125	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	1	2	1	4	0	0,458
126	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	4	1	0,458
127	0	0	1	1	1	1	1	0	2	0	1	0	1	4	1	0,458
128	0	0	1	1	1	1	1	0	2	0	1	2	1	2	0	0,458
129	0	0	1	1	1	1	1	0	2	0	1	2	1	2	0	0,458
130	0	0	1	1	1	1	1	0	2	0	1	2	1	2	0	0,458
131	0	0	1	1	1	1	1	0	2	0	1	2	1	2	0	0,458
132	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0,458
133	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0,458
134	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0,458
135	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	4	0	0,458
136	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	2	0	0,458
137	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	2	0	0,458
138	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	2	1	2	0	0,458
139	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	4	0	0,458
140	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	2	0	0,458
141	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	1	2	1	4	0	0,458
142	0	0	1	1	1	1	1	0	0	2	1	2	1	4	0	0,458
143	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	4	0	0,458
144	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	4	0	0,458
145	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	4	0	0,458

I.p.	Zmienne niezależne													Zmienna zależna		
	Potencjał projektanta	Uzgodnienia projektowe	Potencjał wykonawcy	Administracja i finanse budowy	Organizacja i technologia budowy	Zasoby sprzętowe i materiałowe	Warunki atmosferyczne i społeczne	Decyzje administracyjne	Typ obiektu ze względu na przeszkodę	Rodzaj obiektu ze względu na rozwiązania materiałowe	Rodzaj podpór skrajnych obiektu (przyczółki)	Rodzaje podpór pośrednich obiektu	Sposób posadowienia podpór obiektu		Rodzaj obiektu ze względu na przeznaczenie	Typ konstrukcji obiektu ze względu na schemat statyczny
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$Y$
146	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	4	0	0,458
147	0	0	1	1	1	1	1	0	4	0	1	1	0	4	1	0,458
148	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	2	0	0,208
149	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0	1	0	0,000
150	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	4	1	0,000
151	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	4	1	0,000
152	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0	4	0	0,000
153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	0	0,000
154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	0	0,000
155	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	4	1	0,000
156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	0	0,000
157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	0	0,000
158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	4	0	0,000
159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	4	0	0,000
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	4	3	0,000
161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	4	3	0,000
162	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4	0	0,000
163	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	0	1	0	0,000
164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4	0	0,000
165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	4	1	0,000
166	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	4	1	0,000
167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	4	0	0,000
168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	4	0	0,000
169	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4	0	0,000

## Załącznik nr 12 – Wyniki uczenia i testowania wybranej sieci RBF.

Źródło: Opracowanie własne.

<b>Lp.</b>	<b>Zbiór</b>	<b>Wartość rzeczywista</b>	<b>Wartość prognozowana</b>	<b>Błąd absolutny</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5 = 4-3</b>
1	testowy	0,000	0,000	0,000
2	uczący	0,143	0,125	-0,018
3	uczący	0,000	0,000	0,000
4	uczący	0,000	0,000	0,000
5	uczący	0,000	0,000	0,000
6	uczący	0,000	0,000	0,000
7	testowy	0,000	0,000	0,000
8	testowy	0,000	0,000	0,000
9	uczący	0,000	0,000	0,000
10	uczący	0,533	0,516	-0,017
11	uczący	0,533	0,516	-0,017
12	uczący	0,480	0,491	0,011
13	testowy	0,500	0,491	-0,009
14	uczący	0,500	0,507	0,007
15	uczący	0,000	0,000	0,000
16	uczący	0,000	0,000	0,000
17	uczący	0,000	0,000	0,000
18	uczący	0,067	0,151	0,084
19	uczący	1,143	1,134	-0,009
20	testowy	0,250	0,151	-0,099
21	testowy	0,000	0,000	0,000
22	uczący	0,714	0,701	-0,014
23	uczący	0,067	0,066	-0,001
24	uczący	0,250	0,151	-0,099
25	uczący	0,875	0,864	-0,011
26	uczący	0,000	0,000	0,000
27	testowy	0,000	0,000	0,000
28	uczący	0,000	0,000	0,000
29	uczący	0,056	0,042	-0,013
30	uczący	0,077	0,073	-0,004
31	uczący	0,083	0,073	-0,010
32	uczący	0,028	0,042	0,014
33	uczący	0,000	0,000	0,000
34	uczący	0,250	0,226	-0,024
35	uczący	0,571	0,596	0,025
36	testowy	0,571	0,479	-0,092
37	testowy	0,571	0,596	0,025
38	uczący	0,571	0,560	-0,011
39	uczący	0,571	0,596	0,025
40	uczący	0,571	0,760	0,189
41	testowy	0,333	0,468	0,134
42	uczący	0,333	1,116	0,782

<b>Lp.</b>	<b>Zbiór</b>	<b>Wartość rzeczywista</b>	<b>Wartość prognozowana</b>	<b>Błąd absolutny</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5 = 4-3</b>
43	uczący	0,333	1,886	1,553
44	uczący	0,333	1,111	0,782
45	uczący	0,333	0,273	-0,060
46	uczący	2,750	1,116	-1,634
47	uczący	2,750	1,886	-0,864
48	uczący	2,750	1,886	-0,864
49	uczący	2,750	2,477	-0,273
50	uczący	2,750	2,552	-0,198
51	testowy	0,000	0,000	0,000
52	uczący	0,000	0,000	0,000
53	uczący	0,000	0,000	0,000
54	uczący	0,000	0,000	0,000
55	uczący	0,000	0,000	0,000
56	uczący	0,000	0,000	0,000
57	uczący	0,000	0,000	0,000
58	uczący	0,000	0,000	0,000
59	uczący	0,000	0,000	0,000
60	uczący	0,000	0,000	0,000
61	uczący	0,000	0,000	0,000
62	uczący	0,000	0,000	0,000
63	testowy	0,083	0,059	-0,024
64	uczący	0,083	0,059	-0,024
65	testowy	0,083	0,101	0,017
66	testowy	0,083	0,082	-0,001
67	uczący	0,083	0,074	-0,010
68	uczący	0,083	0,137	0,054
69	uczący	0,083	0,069	-0,014
70	testowy	0,083	0,075	-0,008
71	uczący	0,083	0,068	-0,016
72	uczący	0,083	0,074	-0,010
73	testowy	0,083	0,192	0,109
74	testowy	0,083	0,192	0,109
75	uczący	0,083	0,085	0,002
76	uczący	0,083	0,085	0,002
77	testowy	0,083	0,000	-0,083
78	uczący	0,083	0,075	-0,008
79	uczący	0,083	0,055	-0,028
80	testowy	0,083	0,055	-0,028
81	uczący	0,083	0,059	-0,024
82	uczący	0,083	0,089	0,006
83	uczący	0,083	0,066	-0,017
84	uczący	0,083	0,098	0,015
85	uczący	0,083	0,085	0,002
86	testowy	0,083	0,192	0,109
87	uczący	0,083	0,101	0,017

<b>Lp.</b>	<b>Zbiór</b>	<b>Wartość rzeczywista</b>	<b>Wartość prognozowana</b>	<b>Błąd absolutny</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5 = 4-3</b>
88	uczący	0,083	0,089	0,006
89	uczący	0,250	0,192	-0,058
90	testowy	0,125	0,443	0,318
91	testowy	0,125	0,312	0,187
92	uczący	0,125	0,177	0,052
93	uczący	0,125	0,052	-0,073
94	uczący	0,125	0,320	0,195
95	testowy	0,125	0,333	0,208
96	testowy	0,125	0,062	-0,063
97	uczący	0,125	0,292	0,167
98	testowy	0,125	0,168	0,043
99	testowy	0,125	0,223	0,977
100	uczący	0,458	0,440	-0,018
101	uczący	0,458	0,292	-0,167
102	testowy	0,458	0,455	-0,003
103	testowy	0,458	0,383	-0,075
104	uczący	0,458	0,363	-0,095
105	uczący	0,458	0,480	0,021
106	testowy	0,458	0,480	0,021
107	uczący	0,458	0,450	-0,009
108	uczący	0,458	0,450	-0,009
109	uczący	0,458	0,494	0,036
110	uczący	0,458	0,410	-0,049
111	uczący	0,458	0,414	-0,044
112	testowy	0,458	0,414	-0,044
113	testowy	0,458	0,383	-0,075
114	uczący	0,458	0,491	0,032
115	uczący	0,458	0,434	-0,024
116	testowy	0,458	0,434	-0,024
117	testowy	0,458	0,463	0,005
118	uczący	0,458	0,429	-0,029
119	uczący	0,458	0,591	0,133
120	uczący	0,458	0,591	0,133
121	uczący	0,458	0,320	-0,138
122	testowy	0,458	0,424	-0,034
123	uczący	0,458	0,424	-0,034
124	uczący	0,458	0,448	-0,010
125	testowy	0,458	0,448	-0,010
126	testowy	0,458	0,161	-0,297
127	uczący	0,458	0,594	0,136
128	uczący	0,458	0,447	-0,011
129	testowy	0,458	0,447	-0,011
130	uczący	0,458	0,447	-0,011
131	uczący	0,458	0,447	-0,011
132	uczący	0,458	0,424	-0,034

<b>Lp.</b>	<b>Zbiór</b>	<b>Wartość rzeczywista</b>	<b>Wartość prognozowana</b>	<b>Błąd absolutny</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5 = 4-3</b>
133	uczący	0,458	0,424	-0,034
134	uczący	0,458	0,424	-0,034
135	uczący	0,458	0,424	-0,034
136	uczący	0,458	0,445	-0,013
137	testowy	0,458	0,466	0,008
138	uczący	0,458	0,4664	0,008
139	testowy	0,458	0,507	0,049
140	uczący	0,458	0,445	-0,013
141	uczący	0,458	0,448	-0,010
142	uczący	0,458	0,448	-0,010
143	uczący	0,458	0,443	-0,015
144	testowy	0,458	0,443	-0,015
145	uczący	0,458	0,443	-0,015
146	uczący	0,458	0,443	-0,015
147	uczący	0,458	0,521	0,063
148	uczący	0,208	0,181	-0,027
149	testowy	0,000	0,000	0,000
150	uczący	0,000	0,000	0,000
151	uczący	0,000	0,000	0,000
152	uczący	0,000	0,000	0,000
153	uczący	0,000	0,000	0,000
154	uczący	0,000	0,000	0,000
155	uczący	0,000	0,000	0,000
156	uczący	0,000	0,000	0,000
157	uczący	0,000	0,000	0,000
158	uczący	0,000	0,000	0,000
159	uczący	0,000	0,000	0,000
160	uczący	0,000	0,000	0,000
161	uczący	0,000	0,000	0,000
162	uczący	0,000	0,000	0,000
163	uczący	0,000	0,000	0,000
164	testowy	0,000	0,000	0,000
165	testowy	0,000	0,000	0,000
166	uczący	0,000	0,000	0,000
167	uczący	0,000	0,000	0,000
168	uczący	0,000	0,000	0,000
169	testowy	0,000	0,000	0,000
<b>Dla 169 przypadków</b>			<b>Min błąd absolutny</b>	<b>-1,634</b>
			<b>Max błąd absolutny</b>	<b>1,553</b>