

dr inż. Marcin Świtala<sup>1)\*</sup>

ORCID: 0000-0002-4001-8948

dr inż. Maciej Maliszewski<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-0355-3319

# Determinants of poor road surface condition in the opinion of road administrators

## *Determinanty złego stanu nawierzchni dróg w opinii zarządców drogowych*

DOI: 10.15199/33.2025.05.12

**Abstract:** The aim of the study was to identify key factors influencing the poor condition of road surfaces from the perspective of road infrastructure managers. The research was conducted in 2024 using an online survey CAWI (*Computer-Assisted Web Interview*) on a sample of 362 road managers, selected through purposive sampling. The analysis employed factor analysis using the principal component method with Varimax rotation. Factor analysis identified three main components, which together explain 60.85% of the variance. The first component included structural and environmental factors, such as design and construction errors, material corrosion, and subsoil and groundwater conditions. The second related to weather-related factors (e.g., extreme temperatures, heavy rainfall) and economic factors (insufficient funding for regular maintenance), which – although different in nature – were often identified by respondents as constraints beyond the scope of technical interventions. The third component encompassed traffic-related factors, such as traffic intensity and axle overloading. The results of the study indicated that road administrators pointed financial constraints and excessive heavy traffic loads as the main causes of pavement deterioration. The findings may support the optimization of maintenance policies and the establishment of priorities in modernization efforts.

**Keywords:** road surface condition, road infrastructure, pavement deterioration, road management, factor analysis.

**Streszczenie:** Celem badania było określenie kluczowych czynników wpływających na zły stan nawierzchni dróg na podstawie opinii zarządców infrastruktury drogowej. Badanie przeprowadzono w 2024 r. metodą ankiety internetowej CAWI (*Computer-Assisted Web Interview*) na próbie 362 zarządców dróg, dobranych z użyciem metody doboru celowego. W analizie wykorzystano analizę czynnikową metodą głównych składowych z rotacją Varimax. Analiza wykazała trzy główne składowe, które łącznie wyjaśniają 60,85% wariancji. Pierwsza obejmuje czynniki strukturalne i środowiskowe, takie jak błędy projektowe i wykonawcze, korozja oraz uwarunkowania gruntowo-wodne. Druga dotyczy czynników pogodowych (np. ekstremalna temperatura, intensywne opady) oraz ekonomicznych (niedobór środków na bieżące utrzymanie), które – choć różnej natury – często współwystępują w percepcji respondentów jako ograniczenia niezależne od działań technicznych. Trzecia składowa obejmuje czynniki związane z ruchem drogowym, takie jak intensywność ruchu i przeciążenie osi pojazdów. Wyniki badania wskazują, że zarządcy dróg jako główne przyczyny złego stanu nawierzchni postrzegają ograniczenia finansowe oraz nadmierne obciążenie ruchem ciężkim. Uzyskane wnioski mogą wspomóc optymalizację polityki utrzymaniowej oraz ustalanie głównych działań modernizacyjnych.

**Słowa kluczowe:** stan nawierzchni; infrastruktura drogowa; degradacja nawierzchni; zarządzanie drogami; analiza czynnikowa.

The management of the technical condition of road pavements in Poland is based on diverse assessment systems and operational practices. According to the Act of March 21, 1985, on Public Roads [1], road management responsibilities are divided among various administrative levels, including municipal, county and voivodeship authorities, as well as the General Directorate for National Roads and Motorways (GDDKiA). While GDDKiA employs an advanced and unified system for assessing pavement condition – based, among other things, on a catalogue of damages and pavement condition indices [2] – local road authorities often lack comparable diagnostic tools and standardized assessment methodologies. Consequently, maintenance decisions are frequently based on subjective evaluations, ad hoc responses, and limited data availability.

Both the literature and practice indicate that road authorities face a range of challenges: limited financial resources [3],

Zarządzanie stanem technicznym nawierzchni drogowych w Polsce odbywa się na podstawie różnych systemów oceny i praktyk eksploatacyjnych. Zgodnie z ustawą z 21 marca 1985 r. o drogach publicznych [1], zarządzanie drogami należy do różnych szczebli administracyjnych, w tym samorządów gminnych, powiatowych i wojewódzkich, a także Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA). Pomimo że GDDKiA posiada rozwinięty i jednolity system oceny stanu technicznego nawierzchni, wykorzystujący m.in. katalog uszkodzeń oraz wskaźniki stanu nawierzchni [2], to zarządcy dróg samorządowych często nie dysponują porównywalnymi narzędziami diagnostycznymi i metodą oceny. W rezultacie podejmowanie decyzji utrzymaniowych odbywa się na podstawie subiektywnych ocen, doraźnych reakcji i ograniczonych danych. Zarówno literatura, jak i praktyka wskazują, że zarządcy dróg mierzą się z wieloma wyzwaniami, ograniczonym finansowaniem [3], brakiem systematycznych danych o stanie technicznym nawierzchni [4], niedostosowaniem konstrukcji drogowych do aktualnych ob-

<sup>1)</sup> Instytut Badawczy Dróg i Mostów

<sup>\*)</sup> Correspondence address: marcin.switala@ibdim.edu.pl

a lack of systematic data on pavement condition [4], insufficient structural adaptation of roads to current traffic loads [5], and the absence of tools for long-term planning of repairs and modernization. These issues are particularly acute for lower-category roads, for which damage records and regular condition assessments are often not maintained. As a result, maintenance backlogs accumulate, and the overall quality of the road network deteriorates.

The technical condition of pavements is influenced by a complex interplay of engineering, operational, environmental, economic, and managerial factors [6, 7]. From the perspective of pavement engineering, critical processes include material fatigue [8], permanent deformation in both transverse and longitudinal profiles [9], thermal and structural cracking, binder aging [10], and loss of surface texture. Operation under axle loads exceeding legal limits and high traffic intensity accelerates pavement degradation and shortens service life [5, 11, 12]. Research shows that the absence of investment in routine maintenance leads to significantly higher costs in the long term [13]. In this context, a network-level approach is essential: road authorities must allocate resources across entire networks, while managing within constrained budgets and under variable external conditions [14].

This study assumes that existing knowledge has largely focused on identifying individual technical and environmental factors, but there is a lack of research capturing the issue from the perspective of managers across different road categories. Furthermore, no consistent classification of factor groups currently exists that could support the design of maintenance decision-support tools. The aim of the study is to identify and categorize the factors considered by road managers as most critical to pavement degradation, using factor analysis. The study aligns with broader efforts to develop decision-support tools tailored to the realities of Polish road authorities. The findings may contribute to improved planning of maintenance activities and support the development of integrated infrastructure management systems.

Reference should also be made to the results of the strategic project “SIEC 11.5 t”, implemented under the GOSPOSTRATEG programme, which aimed to adapt the national road network to traffic from vehicles with 11.5-ton axle loads. Research conducted by Zofka and the IBDiM team provided extensive evidence on the scale of pavement durability problems and indicated directions for optimizing investment and maintenance strategies [15–18]. The conclusions of this programme represent an important reference point for assessing road management needs in Poland.

### Research Method and Data Characteristics

The study was conducted in the second and third quarter of 2024 using an online survey based on the Computer-Assisted Web Interviewing (CAWI) technique. The research sample consisted of 362 road infrastructure managers selected through purposive sampling. The survey questionnaire primarily comprised closed-ended questions, with responses measured on ratio, ordinal, and nominal scales. Table 1 presents the questions along with their corresponding measurement scales.

ciężarówką [5], a także brakiem narzędzi do długoterminowego planowania remontów i modernizacji. Problem ten pogłębia się w przypadku dróg niższych kategorii, w przypadku których często nie jest prowadzona ewidencja uszkodzeń ani regularna ocena stanu nawierzchni. W efekcie dochodzi do coraz większych zaległości remontowych i pogorszenia jakości sieci.

Stan techniczny nawierzchni drogowych zależy od złożonego oddziaływania czynników inżynierskich, eksploatacyjnych, środowiskowych, ekonomicznych i zarządczych [6, 7]. Z punktu widzenia inżynierii drogowej, kluczowe są procesy fizycznej degradacji nawierzchni, takie jak zmęczenie materiałów [8], deformacje trwałe w przekroju poprzecznym i podłużnym [9], pęknięcia termiczne i strukturalne, starzenie lepiszcza [10] czy utrata szorstkości. Eksploatacja nawierzchni w warunkach przekroczonego dopuszczalnego nacisku osi pojazdów oraz dużej intensywności ruchu przyspiesza ich degradację i skraca okres użytkowania [5, 11, 12]. Badania wykazują, że brak inwestycji w bieżące utrzymanie generuje kilkakrotnie większe koszty w przyszłości [13]. W tym kontekście ważna jest nie tylko analiza jednostkowa, ale i podejście sieciowe: zarządcy muszą podejmować decyzje dotyczące alokacji zasobów w skali całej sieci dróg, przy ograniczonych budżetach i zmiennych warunkach zewnętrznych [14].

W analizach prezentowanych w artykule przyjęto, że dotychczasowa wiedza koncentruje się na identyfikacji pojedynczych czynników technicznych i środowiskowych, natomiast brakuje badań ujmujących temat z perspektywy zarządców różnych kategorii dróg. Nie istnieje także spójna klasyfikacja grup czynników, które mogłyby być użyteczne w projektowaniu narzędzi wsparcia decyzji utrzymaniowych. Celem badania była identyfikacja i pogrupowanie czynników uznawanych przez zarządców za najistotniejsze w przypadku degradacji nawierzchni, z zastosowaniem metody analizy czynnikowej. Badanie wpisuje się w szerszy nurt poszukiwań narzędzi wspomagania decyzji utrzymaniowych, dostosowanych do realiów polskich jednostek drogowych. Wnioski mogą przyczynić się do lepszego planowania prac utrzymaniowych oraz wsparcia rozwoju zintegrowanych systemów zarządzania infrastrukturą.

Warto odnieść się także do rezultatów projektu strategicznego „SIEC 11,5 t” realizowanego w ramach programu GOSPOSTRATEG, którego celem było dostosowanie sieci dróg krajowych do ruchu pojazdów o nacisku osi 11,5 tony. Badania prowadzone m.in. przez Zofkę i zespół IBDiM dostarczyły licznych dowodów na skalę problemów związanych z trwałością nawierzchni oraz wskazały kierunki optymalizacji inwestycji i utrzymania [15–18]. Wnioski z tego programu stanowią istotny punkt odniesienia do oceny potrzeb w dziedzinie zarządzania drogami w Polsce.

### Metoda badań i charakterystyka danych

Badanie zostało przeprowadzone w drugim i trzecim kwartale 2024 r. w formie ankiety internetowej z wykorzystaniem techniki CAWI. Próba badawcza obejmowała 362 zarządców infrastruktury drogowej, dobranych metodą doboru celowego. Kwestionariusz składał się głównie z pytań zamkniętych, w których odpowiedzi były przedstawione na skalach

The data analysis was performed using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). The statistical description included basic descriptive statistics, frequency distributions, and factor analysis using the principal component method with Varimax rotation. This method allows for the reduction of the number of variables by extracting a smaller number of factors that explain most of the data's shared variance. To enhance interpretability, Varimax rotation – a commonly used orthogonal rotation technique – was applied. This method simplifies the factor structure by maximizing the variance of squared loadings within each factor. Prior to rotation, Kaiser normalization was used to ensure that all variables had unit-length loading vectors. As a result, the Varimax rotation produced a more transparent and interpretable factor structure.

To identify significant differences in the perceived importance of factors affecting pavement condition among different groups of road managers, the non-parametric Kruskal–Wallis test was employed. This test serves as an alternative to analysis of variance (ANOVA) in cases where the assumptions of normal distribution and homogeneity of variance are not met. In instances where the overall test yielded statistically significant results, post hoc pairwise comparisons were conducted to determine between which groups the differences were statistically significant.

The research sample included representatives from various categories of road authorities. The largest group of respondents consisted of municipal road managers, accounting for over 60% of the sample. County road managers represented 16%, while managers of public roads within cities with county rights constituted 6.7%. National road managers were represented by 19 regional branches, corresponding to just over 5% of the sam-

ilorazowych, porządkowych i nominalnych. W tabeli 1 zestawiono pytania wraz z przyporządkowanymi skalami pomiaru.

Do analizy wyników wykorzystano oprogramowanie SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*). W opisie statystycznym zastosowano: podstawowe miary statystyki opisowej; rozkłady częstości odpowiedzi oraz analizę czynnikową z metodą głównych składowych oraz rotacją Varimax. Metoda ta pozwala na redukcję liczby zmiennych przez wyodrębnienie małej liczby czynników, które wyjaśniają większość współzmienności danych. W celu poprawy interpretowalności wyników zastosowano rotację Varimax – ortogonalną technikę rotacyjną, która upraszcza strukturę czynników przez maksymalizację różnic między ładunkami czynnikowymi. Przed rotacją zastosowano normalizację Kaisera, która zapewnia, że wszystkie zmienne mają jednostkową długość wektora ładunków. Dzięki temu rotacja Varimax pozwala na uzyskanie przejrzystej i łatwej do interpretacji struktury czynnikowej.

W celu zidentyfikowania istotnych różnic, w ocenach znaczenia czynników wpływających na stan nawierzchni drogowych, pomiędzy grupami zarządców zastosowano nieparametryczny test Kruskala-Wallisa. Stanowi on alternatywę analizy wariancji (ANOVA) w sytuacjach, gdy nie są spełnione założenia o normalności rozkładu i homogeniczności wariancji. W przypadku istotnych wyników testu ogólnego przeprowadzono analizę *post hoc* porównania parami w celu wskazania, między którymi grupami występują istotne różnice statystyczne.

Próbę badawczą stanowili przedstawiciele różnych kategorii zarządców dróg. Największą grupą respondentów byli zarządcy dróg gminnych, reprezentowani przez ponad 60% uczestników badania. Zarządcy dróg powiatowych stanowili 16%, natomiast zarządcy dróg w granicach miast na prawach

**Table 1. Research questions and their corresponding types of measurement scales**

*Tabela 1. Pytania badawcze i przyporządkowane im rodzaje skal pomiaru*

| Research question                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Scale                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| If you are a Road Infrastructure Manager, please indicate the total length of the road network [in km] under your management:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Ratio scale (continuous) – numerical response in kilometers                                                 |
| Please select the appropriate answer. Is your organizational unit? <ul style="list-style-type: none"> <li>• a manager of estate/internal roads;</li> <li>• a manager of municipal roads;</li> <li>• a manager of county roads;</li> <li>• a manager of public roads within cities with county rights;</li> <li>• a manager of voivodeship roads;</li> <li>• a manager of national roads;</li> <li>• a manager of expressways and motorways (under concession);</li> <li>• another entity.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Nominal scale                                                                                               |
| Please assess the significance of the following factors contributing to the poor condition of road pavements under your management: <ul style="list-style-type: none"> <li>• extreme temperatures (heat, frost);</li> <li>• excessive rainfall and snowmelt;</li> <li>• heavy vehicle traffic (overloaded vehicles);</li> <li>• traffic volumes exceeding the designated road class;</li> <li>• insufficient drainage Infrastructure;</li> <li>• lack of funding for road maintenance and preservation;</li> <li>• corrosion and chemical damage (e.g., road salt);</li> <li>• soil and water conditions insufficiently recognized at the design stage;</li> <li>• infiltration of pollutants (e.g., oils, chemicals);</li> <li>• tree roots and other biological corrosion factors;</li> <li>• road accidents;</li> <li>• improper road design (design errors);</li> <li>• improper pavement construction (execution errors).</li> </ul> | Ordinal scale – 7-point scale, where 1 indicated the least important factor and 7 the most important factor |

ple. The share of voivodeship road managers amounted to 3.4%, meaning that this group included 12 respondents. Additionally, the sample included representatives of internal road managers (0.6%) and expressway/motorway concession managers (0.3%). In 24 cases, respondents did not specify their affiliation with a particular organization and selected the „other entity” option, representing 6.7% of the total sample.

Table 2 presents data on the length of road networks managed by the respondents. The analysis shows that the study participants are responsible for a total network length of 86,465 km. According to data from Statistics Poland (GUS, 2024) on transport activities, this length represents approximately 20% of the total national road network, which in 2023 amounted to 428,362.2 km [19]. These findings highlight the significant role of the surveyed road managers in maintaining the national road infrastructure, particularly considering its importance for economic development and transport mobility.

The largest share of the network is represented by municipal roads (28,708 km), while the smallest share pertains to expressways and motorways managed under concession agreements (200 km). The average length of the road network managed varies by road category and type of authority. The highest average network length per manager was recorded among voivodeship road authorities (1,250.33 km), whereas the lowest was observed for municipal roads (136.06 km). The variability in managed network length within each category of road authorities is confirmed by the minimum and maximum values, which indicate high intra-group dispersion and diverse operational scales among the surveyed entities. In most cases, the median lengths of managed road networks are lower than the means, suggesting that a greater number of managers operate smaller networks than the average would imply.

## Research Findings

**Factors Contributing to the Poor Condition of Road Pavements.** Table 3 presents detailed data on the factors affecting the condition of road pavements, including mean ratings, standard deviations, and the percentage distribution for each factor. Respondents rated the significance of each factor using a seven-point scale, where 1 indicated the least important factor and 7 the most important. The results reveal considerable variation in the ratings, ranging from a mean score of 2.94 for road accidents to 5.63 for the lack of funding for road maintenance and preservation. This wide range reflects the differing

powiatu – 6,7% próby. Zarządcy dróg krajowych byli reprezentowani przez 19 rejonów wojewódzkich, co odpowiadało nieco ponad 5% próby. Udział zarządców dróg wojewódzkich wyniósł 3,4%, co oznacza, że w badaniu wzięło udział 12 respondentów z tej grupy. Dodatkowo, wśród uczestników znaleźli się przedstawiciele zarządców dróg wewnętrznych (0,6%) oraz zarządców dróg ekspresowych i autostrad działających na zasadzie koncesji (0,3%). W 24 przypadkach respondenci nie zadeklarowali przynależności do konkretnej organizacji, wybierając opcję „inny podmiot”, co stanowiło 6,7% próby.

W tabeli 2 przedstawiono dane dotyczące długości sieci drogowej zarządzanej przez respondentów. Analiza danych wskazuje, że uczestnicy badania zarządzają łącznie siecią o długości 86 465 km. Zgodnie z danymi GUS (2024), dotyczącymi działalności transportowej, długość ta stanowi ok. 20% całkowitej

długości krajowej sieci drogowej, która w 2023 r. wynosiła 428 362,2 km [19]. Wyniki badań zwracają uwagę na istotny udział badanych zarządców w utrzymaniu krajowej infrastruktury drogowej, szczególnie w kontekście jej znaczenia dla gospodarki i mobilności transportowej.

Największy udział w sieci cechuje drogi gminne (28 708 km), a najmniejszy drogi ekspresowe i autostrady zarządzane w ramach koncesji (200 km). Średnia długość zarządzanej sieci różni się w zależności od kategorii dróg i zarządców. Największą średnią długość sieci na zarządcę odnotowano wśród zarządców dróg wojewódzkich (1 250,33 km), a najmniejszą w przypadku dróg gminnych (136,06 km). Zróżnicowanie długości zarządzanej sieci drogowej w ramach poszczególnych kategorii zarządców potwierdzają wartości minimalne i maksymalne, wskazujące na wysoką wewnątrzgrupową dyspersję i zróżnicowaną skalę działania analizowanych jednostek. W większości przypadków mediany długości zarządzanych sieci są mniejsze od średnich, co sugeruje, że większa liczba zarządców operuje na mniejszych sieciach, niż wynosi średnia.

W tabeli 3 przedstawiono szczegółowe dane dotyczące czynników wpływających na stan nawierzchni drogowych, uwzględniając średnie oceny, odchylenia standardowe oraz rozkład procentowy w przypadku każdego z nich. Respondenci dokonywali oceny z użyciem skali siedmiostopniowej, gdzie oceny 1 oznaczały najmniej istotny czynnik, a 7 – czynnik najistotniejszy. Wyniki badań zwracają uwagę na duże zróżnicowanie ocen,

**Table 2. Road network managed by respondents [km]**

*Tabela 2. Sieć drogowa zarządzana przez respondentów [km]*

| Category of Road Manager                             | Mean    | Min | Max  | Median  | Total  |
|------------------------------------------------------|---------|-----|------|---------|--------|
| County Road Manager                                  | 382.81  | 32  | 1129 | 331.00  | 21 820 |
| Voivodeship Road Manager                             | 1250.33 | 29  | 3000 | 1224.00 | 15 004 |
| Manager of Public Roads in Cities with County Rights | 460.04  | 50  | 3000 | 254.00  | 11 041 |
| National Road Manager                                | 446.43  | 146 | 1363 | 210.00  | 6 250  |
| Municipal Road Manager                               | 136.06  | 11  | 1761 | 101.00  | 28 708 |
| Internal Road Manager                                | 140.50  | 110 | 171  | 140.50  | 281    |
| Expressway and Motorway Manager (under concession)   | 200.00  | 200 | 200  | 200.00  | 200    |
| Other Entity                                         | 166.37  | 0   | 1300 | 80.00   | 3 161  |
| Total/Overall                                        | 254.31  | 0   | 3000 | 149.00  | 86 465 |

## Wyniki badań

**Czynniki odpowiedzialne za zły stan nawierzchni dróg.**

W tabeli 3 przedstawiono szczegółowe dane dotyczące czynników wpływających na stan nawierzchni drogowych, uwzględniając średnie oceny, odchylenia standardowe oraz rozkład procentowy w przypadku każdego z nich. Respondenci dokonywali oceny z użyciem skali siedmiostopniowej, gdzie oceny 1 oznaczały najmniej istotny czynnik, a 7 – czynnik najistotniejszy. Wyniki badań zwracają uwagę na duże zróżnicowanie ocen,

**Table 3. Factors responsible for the poor condition of road surfaces according to respondents**

*Tabela 3. Czynniki odpowiedzialne za zły stan nawierzchni dróg w opinii respondentów*

| Factor                                                                 | Mean | Standard deviations | Least important | Slightly unimportant | Rather unimportant | Neither | Rather important | Important | Most important |
|------------------------------------------------------------------------|------|---------------------|-----------------|----------------------|--------------------|---------|------------------|-----------|----------------|
| [%]                                                                    |      |                     |                 |                      |                    |         |                  |           |                |
| Lack of funding for road maintenance and preservation                  | 5.63 | 1.46                | 2.8             | 2.2                  | 3.7                | 7.6     | 22.2             | 27.5      | 34.0           |
| Heavy vehicle traffic (overloaded)                                     | 5.57 | 1.15                | 0.6             | 1.4                  | 4.8                | 5.9     | 27.9             | 40.3      | 19.2           |
| Traffic volume exceeding road classification                           | 4.85 | 1.45                | 3.1             | 4.5                  | 9.3                | 17.3    | 28.9             | 26.9      | 9.9            |
| Insufficient drainage infrastructure                                   | 4.83 | 1.48                | 3.1             | 5.9                  | 7.9                | 17.7    | 30.6             | 23.3      | 11.5           |
| Extreme temperatures (heat, frost)                                     | 4.79 | 1.51                | 3.1             | 8.6                  | 9.1                | 7.7     | 37.1             | 25.7      | 8.6            |
| Excessive rainfall and snowmelt                                        | 4.70 | 1.53                | 2.8             | 8.8                  | 12.2               | 9.9     | 33.0             | 24.4      | 8.8            |
| Corrosion and chemical damage (e.g., road salt)                        | 4.13 | 1.51                | 6.2             | 10.8                 | 13.9               | 24.6    | 24.9             | 16.7      | 2.8            |
| Tree roots and other biological corrosion factors                      | 4.07 | 1.51                | 4.5             | 13.8                 | 16.9               | 20.6    | 26.8             | 13.8      | 3.7            |
| Subsoil and groundwater conditions (poorly identified at design stage) | 4.04 | 1.52                | 6.2             | 11.5                 | 17.1               | 22.8    | 25.8             | 12.9      | 3.7            |
| Poor pavement construction (execution errors)                          | 3.64 | 1.56                | 9.6             | 17.5                 | 17.7               | 23.7    | 21.4             | 6.5       | 3.7            |
| Poor design (design errors)                                            | 3.48 | 1.61                | 13.2            | 17.7                 | 19.4               | 20.6    | 18.9             | 7.0       | 3.1            |
| Infiltration of pollutants (e.g., oils, chemicals)                     | 3.03 | 1.40                | 16.9            | 22.0                 | 21.7               | 23.9    | 12.1             | 3.1       | 0.3            |
| Road accidents                                                         | 2.94 | 1.39                | 19.6            | 19.6                 | 23.0               | 27.3    | 7.1              | 2.3       | 1.1            |

levels of perceived importance among the various contributors to pavement degradation. The standard deviation values indicate a moderate degree of polarization in the responses.

The **lack of funding for maintenance and preservation** emerged as the most critical determinant of pavement deterioration. The mean score for this factor was 5.63, underscoring its perceived importance in contributing to the degradation of road surface quality. In percentage terms, 83.7% of respondents stated that financial shortages significantly affect pavement condition, with 34% identifying it as the single most important factor. This high rating highlights the essential role of adequate funding in road infrastructure management, particularly in ensuring long-term durability through both routine and structural maintenance efforts.

**Heavy vehicle traffic (overloaded vehicles)** was identified as the second most significant factor contributing to poor pavement condition, with a mean rating of 5.57. According to the data, 87.4% of respondents believe that heavy vehicles considerably worsen pavement condition, with 19.2% rating this factor as the most critical. The high rating emphasizes the importance of monitoring and regulating heavy vehicle traffic to mitigate its negative effects on road conditions. Overloaded vehicles exert excessive pressure on the pavement, leading to rutting, cracking, and other forms of damage that significantly reduce road lifespan.

The next two critical barriers were rated at very similar levels: **traffic volumes exceeding the designated road category** and **insufficient drainage infrastructure**, with mean ratings of 4.85 and 4.83, respectively. Both issues warrant special attention, as their combined impact can lead to accelerated pavement wear and increased maintenance and repair costs. Overloading the traffic capacity of a road results in rutting, cracking, and other mechanical damage, severely compromising pavement dura-

które wahają się od 2,94 przy wypadkach drogowych do 5,63 w przypadku braku środków na konserwację i utrzymanie dróg. Tak szeroki zakres wskazuje na różny poziom istotności poszczególnych czynników wpływających na degradację nawierzchni drogowych. Wyniki odchylenia standardowego wskazują na umiarkowany stopień polaryzacji udzielonych odpowiedzi.

**Brak środków na konserwację i utrzymanie dróg**, to główna determinanta odpowiadająca za zły stan nawierzchni dróg. Średnia ocena w przypadku tego czynnika wynosi 5,63, co wskazuje na jego istotność w kontekście wpływu na pogorszenie jakości nawierzchni. W ujęciu procentowym 83,7% respondentów deklaruje, że brak środków finansowych w istotny sposób wpływa na zły stan nawierzchni, z czego 34% uznaje ten czynnik za najistotniejszy. Tak wysoka ocena podkreśla znaczenie odpowiedniego finansowania działań związanych z zarządzaniem infrastrukturą drogową w kontekście zapewnienia jej odpowiedniej trwałości w ramach bieżącego i strukturalnego utrzymania.

**Ruch pojazdów ciężkich (przeciążonych)** został zidentyfikowany jako druga najistotniejsza determinanta złego stanu technicznego nawierzchni dróg. Średnia ocena tego czynnika wynosi 5,57. W ujęciu procentowym 87,4% respondentów uważa, że ruch pojazdów ciężkich przyczynia się w znacznym stopniu do pogorszenia stanu nawierzchni, z czego 19,2% uznaje ten czynnik za najistotniejszy. Wysoka ocena tego czynnika podkreśla znaczenie kontroli i regulacji ruchu pojazdów ciężkich w celu ograniczenia ich negatywnego wpływu na stan dróg. Przeciążone pojazdy wywierają nadmierny nacisk na nawierzchnię, co prowadzi do powstawania kolein, pęknięć i innych uszkodzeń zmniejszających trwałość dróg.

**Kolejne dwie bariery zostały ocenione na bardzo zbliżonym poziomie. Dotyczą one natężenia ruchu drogowego przekraczającego ustaloną kategorię ruchu oraz niewystarczającej in-**

bility. Meanwhile, **standing water on the road surface** accelerates erosion processes and degrades the mechanical properties of structural layers, especially during freeze–thaw cycles.

**Extreme temperatures (heat and frost) and excessive rain-fall and snowmelt** were also identified by respondents as major contributors to pavement degradation. The average ratings for these factors were 4.79 and 4.70, respectively – slightly below the “rather important” threshold. Extreme temperatures may lead to softening of asphalt layers, resulting in surface deformations such as rutting, as well as cyclical freezing and thawing of water in cracks, which causes the formation of potholes and structural fractures. In turn, excessive precipitation and snowmelt can overload drainage systems, leading to water accumulation on road surfaces and thereby accelerating pavement degradation.

Other factors considered meaningful by respondents included **chemical corrosion and damage** (e.g., due to road salt), **biological corrosion** (e.g., tree roots), and **inadequate recognition of geotechnical and hydrogeological conditions at the design stage**. The average scores for these factors ranged from 4.04 to 4.13, indicating that they are perceived as moderately important contributors to pavement deterioration. However, a significant proportion of respondents assigned higher importance to these issues: 44.4% emphasized the role of chemical corrosion, 44.3% highlighted biological factors, and 42.4% pointed to insufficient recognition of subsurface conditions. This suggests that nearly half of the respondents view these factors as relevant, underscoring the need for better integration of these considerations in both the design and maintenance phases of road infrastructure management.

**Execution errors** (i.e., poor pavement construction) and **design errors** were rated less important compared to other factors, with mean scores of 3.64 and 3.48, respectively. Nevertheless, 31.6% of respondents indicated that execution errors play a significant role in pavement degradation, while 29% noted the same for design flaws. These findings suggest that, while these factors are generally perceived as less critical, they may have substantial impact in specific cases – leading to accelerated pavement aging, reduced durability, increased maintenance costs, and a heightened risk of structural failure.

**Infiltration of pollutants and road accidents** received the lowest importance ratings, with mean values close to the “rather unimportant” level. This indicates that these factors are perceived as having a marginal influence on pavement condition relative to others. Nonetheless, under specific circumstances – such as heavy chemical contamination or major traffic accidents – their impact may become more pronounced. This view was supported by 15.5% and 10.5% of respondents, respectively, who considered these factors to be important. Thus, while generally regarded as minor, these elements may play a more significant role under exceptional conditions.

A non-parametric analysis (Table 4) revealed significant differences in how selected factors were rated, depending on the type of road manager (mean values and medians are shown in parentheses in the final column). Differences were particularly evident in the evaluation of extreme temperatures, heavy vehicle loads, chemical and biological corrosion, and execution errors. The greatest variation in assessments was observed between mu-

**frastruktury odwadniającej**. W obu przypadkach średnie oceny plasowały się nieznacznie poniżej poziomu „raczej istotny” – odpowiednio 4,85 oraz 4,83. Oba problemy wymagają szczególnej uwagi, ponieważ ich skumulowany wpływ może prowadzić do szybkiego zużycia nawierzchni oraz zwiększenia kosztów jej utrzymania i napraw. Przeciążenie dróg powoduje powstawanie kolein, pęknięć oraz innych uszkodzeń mechanicznych, które znacznie zmniejszają trwałość nawierzchni. Z kolei zaleganie wody na powierzchni dróg przyspiesza procesy erozji i pogarsza właściwości mechaniczne warstw konstrukcyjnych, szczególnie w okresach cyklicznego zamarzania i rozmarzania wody.

**Ekstremalna temperatura (upały, mroź) oraz ponadnormowe opady deszczu i topnienie śniegu**, to kolejne czynniki, które w opinii respondentów mają duży wpływ na degradację stanu nawierzchni dróg. Wyniki badań wskazują, że średnie oceny w przypadku tych czynników wynosiły odpowiednio 4,79 oraz 4,70, co plasuje je nieznacznie poniżej poziomu „raczej istotny”. W przypadku ekstremalnej temperatury może dochodzić zarówno do mięknięcia warstw asfaltowych, co prowadzi do deformacji nawierzchni, takich jak koleiny, jak i do cyklicznego zamarzania i rozmarzania wody w szczelinach, co powoduje powstawanie pęknięć i dziur. Z kolei ponadnormowe opady deszczu i topnienie śniegu mogą przeciążać systemy odwodnieniowe, co prowadzi do zalegania wody na powierzchni dróg, przyspieszając tym samym degradację nawierzchni.

Nie bez znaczenia dla respondentów były również takie czynniki, jak **korozja i uszkodzenia chemiczne** spowodowane np. solą drogową, oraz korozja biologiczna (korzenie drzew), a także niewystarczające rozpoznanie uwarunkowań gruntowo-wodnych na etapie projektu. Średnie oceny tych zmiennych wahały się w przedziale od 4,04 do 4,13, co wskazuje, że są one postrzegane jako umiarkowanie istotne bariery wpływające na zły stan nawierzchni dróg. Warto jednak zauważyć, że duża część respondentów przypisuje tym czynnikom większe znaczenie: 44,4% badanych zwraca uwagę na istotność korozji chemicznej, 44,3% wskazuje na korozję biologiczną, a 42,4% na niedostateczne rozpoznanie uwarunkowań gruntowo-wodnych. Oznacza to, że te kwestie są uznawane za ważne w kontekście degradacji nawierzchni przez niemal połowę uczestników badania. Istnieje wciąż potrzeba dokładniejszego uwzględniania tych aspektów zarówno w procesie projektowania, jak i w późniejszym utrzymaniu infrastruktury drogowej.

**Błędy wykonawcze**, polegające na niewłaściwym wykonaniu nawierzchni oraz **błędy projektowe**, wynikające z ich niewłaściwego zaprojektowania, uzyskały średnie oceny odpowiednio 3,64 i 3,48. Oznacza to, że są one postrzegane jako mniej istotne czynniki wpływające na zły stan nawierzchni dróg w porównaniu z innymi. O tym, że wymienione czynniki odgrywają istotną rolę, przekonanych jest odpowiednio 31,6% oraz 29% ankietowanych. Oznacza to, że w przypadku części respondentów dochodziło do sytuacji, w których błędy wykonawcze i projektowe negatywnie wpływały na stan nawierzchni dróg. Wyniki te wskazują, że choć ogólnie czynniki te są oceniane jako mniej istotne, ich znaczenie jest zauważalne w konkretnych przypadkach, gdzie mogą prowadzić do szybkiego starzenia się nawierzchni, obniżonej trwałości, wysokich kosztów utrzymania i napraw, czy zwiększenia ryzyka awarii.

municipal road managers and managers of public roads in cities with county rights, likely reflecting differing technical, environmental, and organizational conditions. For instance, biological corrosion was more frequently reported as a significant issue by managers of lower-category roads, whereas urban road managers emphasized the impact of execution errors and environmental factors. In contrast, county and national road managers more often highlighted excessive traffic intensity and overloaded axles as key concerns. These findings suggest that the perception of pavement degradation causes is strongly influenced by the type of road network managed and the operational scale of the organization. The results provide a useful basis for differentiating maintenance strategies and funding allocations across administrative levels.

## Dimensionality Reduction

The results concerning the factors responsible for the poor condition of road pavements were subjected to factor analysis, which enabled the grouping of thirteen determinants into three key factor groups (Table 5). The analysis was conducted using the Principal Component Analysis method, which aims to maximize the number of factor loadings close to zero or one, thereby reducing the risk of variable duplication across components.

The factor analysis revealed that three principal components best describe the variability in the data, jointly explaining 60.85% of the total variance. Component 1, accounting for 28.76% of the variance, includes variables related to design and construction errors, as well as physical damage resulting from collisions and pollution. This component is most strongly associated with improper pavement design, poor construction quality, road accidents, pollutant infiltration, subsoil and groundwater conditions, and chemical corrosion. These variables can be interpreted as structural and environmental factors. The strongest correlation within this group was observed for biological corrosion, while the weakest was noted for chemical damage.

W opinii respondentów **infiltracja zanieczyszczeń oraz wypadki drogowe** zostały uznane za najmniej istotne czynniki wpływające na pogorszenie stanu nawierzchni drogowej. W obu przypadkach średnie oceny plasują się wokół poziomu „raczej mało istotny”. Sugeruje to, że ich wpływ jest postrzegany jako marginalny w porównaniu z innymi czynnikami degradacji nawierzchni. Niemniej, w specyficznych warunkach, np. w przypadku intensywnego zanieczyszczenia chemicznego lub poważnych wypadków, ich znaczenie może być bardziej zauważalne. Potwierdza to odpowiednio 15,5% oraz 10,5% respondentów, którzy przypisują im istotne znaczenie. Wyniki wskazują, że choć czynniki te są ogólnie uznawane za mało ważne, mogą odgrywać większą rolę w szczególnych okolicznościach.

Analiza nieparametryczna (tabela 4) wykazała istotne różnice w ocenie znaczenia wybranych czynników wpływających na zły stan nawierzchni drogowych w zależności od typu zarządcy (w ostatniej kolumnie w nawiasach podano średnie arytmetyczne oraz mediany). Różnice dotyczyły m.in. ekstremalnej temperatury, przeciążenia ruchem ciężkim, korozji chemicznej i biologicznej oraz błędów wykonawczych. Największe różnice obserwowano pomiędzy zarządcami dróg gminnych i publicznych w miastach na prawach powiatu, co może odzwierciedlać odmienne uwarunkowania techniczne, środowiskowe i organizacyjne. Przykładowo, korozja biologiczna była znacznie częściej

wskazywana jako istotna przez zarządców dróg niższych kategorii, natomiast zarządcy miejscy silniej akcentowali wpływ błędów wykonawczych i czynników środowiskowych. Z kolei zarządcy dróg powiatowych i krajowych częściej podkreślali znaczenie nadmiernego natężenia ruchu oraz przeciążenie osi pojazdów. Wyniki sugerują, że percepcja przyczyn degradacji nawierzchni jest silnie zróżnicowana w zależności od rodzaju zarządzanej sieci drogowej i skali działalności jednostki. Ustalenia te mogą stanowić podstawę do różnicowania strategii utrzymaniowych i finansowania dróg w zależności od szczebla administracyjnego zarządcy.

**Table 4. Results of the Kruskal-Wallis test with post hoc analysis (pairwise comparisons)**  
*Tabela 4. Wyniki testu Kruskala-Wallisa z analizą post hoc (porównania parami)*

| Factor                                                  | Kruskal-Wallis H | p-value | Statistically Significant Pairwise Comparisons                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------|------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Extreme temperatures                                    | 18.588           | 0.010   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Municipal Road Managers (4.60; 5.0) vs. Public Road Managers in Cities with County Rights (5.58; 6.0)</li> <li>• County Road Managers (4.94; 5.0) vs. Public Road Managers in Cities with County Rights (5.58; 6.0)</li> </ul>                                                              |
| Heavy vehicle traffic                                   | 15.400           | 0.031   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Municipal Road Managers (5.45; 6.0) vs. County Road Managers (5.84; 6.0)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                         |
| Traffic volume exceeding designated road classification | 28.658           | <0.001  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Municipal Road Managers (4.59; 5.0) vs. National Road Managers (5.47; 6.0)</li> <li>• Municipal Road Managers (4.59; 5.0) vs. County Road Managers (5.47; 6.0)</li> </ul>                                                                                                                   |
| Chemical corrosion and damage                           | 16.068           | 0.025   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Municipal Road Managers (3.96; 4.0) vs. County Road Managers (4.51; 5.0)</li> <li>• National Road Managers (3.47; 4.0) vs. Voivodeship Road Managers (4.70; 4.5)</li> <li>• National Road Managers (3.47; 4.0) vs. Public Road Managers in Cities with County Rights (4.67; 5.0)</li> </ul> |
| Tree roots and other biological corrosion factors       | 29.356           | <0.001  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• National Road Managers (2.58; 2.0) vs. Municipal Road Managers (4.00; 5.0)</li> <li>• National Road Managers (2.58; 2.0) vs. County Road Managers (4.46; 5.0)</li> <li>• National Road Managers (2.58; 2.0) vs. Public Road Managers in Cities with County Rights (4.58; 5.0)</li> </ul>    |
| Poor pavement construction (execution errors)           | 15.026           | 0.036   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Municipal Road Managers (3.47; 3.0) vs. Public Road Managers in Cities with County Rights (4.29; 5.0)</li> </ul>                                                                                                                                                                            |

Component 2, explaining 18.41% of the variance, comprises four variables mainly related to weather conditions and economic constraints: extreme temperatures, excessive rainfall and snowmelt, insufficient drainage infrastructure, and lack of funding for road maintenance. The analysis suggests that this component represents climatic and financial factors contributing to pavement deterioration. The strongest correlation in this group was found for precipitation and snowmelt, while extreme temperature had the weakest loading on the component.

Component 3, which accounts for 13.68% of the variance, is primarily associated with traffic intensity and overloading, specifically: heavy (overloaded) vehicle traffic and traffic volume exceeding the designated road category. Both variables showed strong correlations with this component. The results clearly indicate that this component captures the influence of traffic-related factors on pavement condition.

**Table 5. Factor analysis – results of the rotated factor matrix**  
*Tabela 5. Analiza czynnikowa – wyniki macierzy czynników rotowanych*

| Factor                                            | Component |       |        |
|---------------------------------------------------|-----------|-------|--------|
|                                                   | 1         | 2     | 3      |
| Extreme temperatures                              | 0.239     | 0.508 | 0.207  |
| Excessive rainfall and snowmelt                   | 0.169     | 0.800 | -0.017 |
| Heavy vehicle traffic                             | 0.139     | 0.200 | 0.869  |
| Traffic volume exceeding designated road class    | 0.296     | 0.194 | 0.774  |
| Insufficient drainage infrastructure              | 0.230     | 0.746 | 0.120  |
| Lack of funding for road maintenance              | 0.052     | 0.571 | 0.278  |
| Chemical corrosion and damage                     | 0.576     | 0.457 | 0.155  |
| Subsoil and groundwater conditions                | 0.663     | 0.330 | 0.200  |
| Infiltration of pollutants                        | 0.810     | 0.241 | 0.022  |
| Tree roots and other biological corrosion factors | 0.581     | 0.365 | 0.056  |
| Road accidents                                    | 0.763     | 0.138 | 0.076  |
| Poor design                                       | 0.787     | 0.081 | 0.304  |
| Poor construction                                 | 0.725     | 0.039 | 0.351  |

## Summary

This article presents the findings of a study aimed at identifying the key factors contributing to the poor condition of road pavements, as assessed from the perspective of road infrastructure managers. The results indicate the multidimensional nature of pavement degradation, stemming from structural and environmental factors, weather and economic conditions, as well as traffic intensity. The analysis underscores the need for a holistic approach to the problem – one that incorporates technical, organizational, and financial aspects – to support more effective road infrastructure management and improve its durability.

The variation in the perceived importance of degradation determinants shows that not all factors contribute equally to

## Redukcja wymiarów

Wyniki badań dotyczących czynników odpowiedzialnych za zły stan nawierzchni dróg poddano analizie czynnikowej, co umożliwiło pogrupowanie trzynastu determinant w trzy kluczowe grupy czynników (tabela 5). Analiza została przeprowadzona z wykorzystaniem metody głównych składowych, której celem jest wyodrębnienie jak największej liczby ładunków czynnikowych bliskich zeru lub jedynki, co pozwala uniknąć dublowania zmiennych w różnych czynnikach.

**Analiza czynnikowa** wykazała, że trzy główne składowe najlepiej opisują zmienność danych i łącznie wyjaśniają 60,85% wariancji. Składowa 1, która wyjaśnia 28,76% wariancji, obejmuje zmienne związane z błędami projektowania i wykonania, a także uszkodzeniami fizycznymi wynikającymi z kolizji i zanieczyszczeń. Oznacza to, że czynniki takie jak niewłaściwe projektowanie nawierzchni, niewłaściwe wykonanie nawierzchni, wypadki drogowe, infiltracja zanieczyszczeń, uwarunkowania gruntowo-wodne oraz korozja i uszkodzenia chemiczne są najmocniej związane z tym komponentem. Można je interpretować jako czynniki strukturalne i środowiskowe. Najsilniejszą korelację w tej grupie wykazano dla korozji biologicznej, natomiast najsłabszą w przypadku korozji i uszkodzeń chemicznych.

Składowa 2, wyjaśniająca 18,41% wariancji, obejmuje cztery czynniki związane głównie z warunkami atmosferycznymi oraz problemami ekonomicznymi, tj. ekstremalną temperaturę, ponadnormatywne opady deszczu i topnienie śniegu, niewystarczającą infrastrukturę odwadniającą oraz brak środków na konserwację i utrzymanie dróg. Wyniki analizy sugerują, że ta składowa reprezentuje czynniki pogodowe i ekonomiczne, które wpływają na pogarszanie się stanu nawierzchni dróg. Najsilniejszą korelację w tej grupie wykazano w przypadku opadów deszczu i topnienia śniegu, natomiast ekstremalna temperatura miała najsłabszy wpływ na tę składową.

Składowa 3, wyjaśniająca 13,68% wariancji, jest związana głównie z intensywnością ruchu drogowego i jego obciążeniami, tj. ruchem pojazdów przeciążonych oraz natężeniem ruchu przekraczającym ustaloną kategorię drogi. W obu przypadkach odnotowano silną korelację determinant ze składową. Wyniki badań wyraźnie wskazują, że trzecia składowa odpowiada czynnikom związanym z intensywnością ruchu.

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki badania, którego głównym celem była identyfikacja kluczowych czynników wpływających na zły stan nawierzchni dróg, analizowanych z perspektywy zarządców infrastruktury drogowej. Wyniki badań wskazują na wielowymiarowy charakter procesu degradacji nawierzchni, wynikający z czynników strukturalnych i środowiskowych, warunków pogodowych i ekonomicznych, a także intensywności ruchu drogowego. Analiza wskazuje na potrzebę holistycznego podejścia do problemu, uwzględniającego zarówno aspekty techniczne, jak i organizacyjne oraz finansowe, co pozwoli na skuteczniejsze zarządzanie infrastrukturą drogową i zwiększenie jej trwałości.

Rozpiętość ocen determinant złego stanu nawierzchni dróg wskazuje, że nie wszystkie czynniki w równym stopniu przyczyniają się do degradacji nawierzchni. Wyniki badań wskazują, że

pavement deterioration. The findings point to insufficient funding and heavy traffic loads as the greatest challenges in road maintenance. A lack of maintenance resources leads to delayed repairs, fostering conditions for severe damage that necessitates costly capital reconstruction. Overloaded vehicles exert excessive stress on structural layers, resulting in rutting, cracking, and surface settlement, which significantly shortens pavement lifespan and increases maintenance costs. These issues ultimately contribute to accelerated road degradation, rising operational costs, and diminished user safety.

The study also highlights that the perception of pavement deterioration causes varies significantly by road authority type. Certain factors, such as traffic volume, temperature effects, and biological corrosion, have context-dependent importance, influenced by the road's technical classification, usage environment, and maintenance regime.

Based on the findings, the study emphasizes the need to implement effective road management strategies, prioritize modernization efforts, and improve vehicle load control systems. Proper planning of road infrastructure investments and efficient maintenance mechanisms can enhance pavement durability and reduce long-term operational costs.

największymi wyzwaniami w utrzymaniu infrastruktury drogowej jest niedostateczne finansowanie związanych z tym zadań oraz nadmierne obciążenie ruchem ciężkim. Brak środków na konserwację prowadzi do opóźnień w naprawach, co sprzyja powstawaniu uszkodzeń wymagających kosztownych remontów kapitalnych. Z kolei przeciążone pojazdy wywierają nadmierny nacisk na warstwy konstrukcyjne, powodując koleiny, pęknięcia i osiadanie nawierzchni, co znacznie skraca jej żywotność i zwiększa wydatki na utrzymanie. Konsekwencją tych problemów jest przyspieszona degradacja dróg, wzrost kosztów eksploatacyjnych oraz pogorszenie bezpieczeństwa użytkowników.

Wyniki badań wskazują, że percepcja przyczyn złego stanu nawierzchni różni się istotnie w zależności od kategorii zarządcy dróg. Część czynników, np. natężenie ruchu, wpływ temperatury, korozja biologiczna ma znaczenie kontekstowe, zależne od klasy technicznej drogi, środowiska użytkowania i charakterystyki utrzymaniowej.

Na podstawie uzyskanych wyników wskazano na konieczność wdrażania efektywnych strategii zarządzania drogami, priorytetyzacji działań modernizacyjnych oraz poprawy systemów kontroli obciążeń pojazdów. Prawidłowe planowanie inwestycji w infrastrukturę drogową oraz skuteczne mechanizmy utrzymania dróg mogą przyczynić się do zwiększenia trwałości nawierzchni i zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych w perspektywie długoterminowej.

Received: 09.12.2024  
Revised: 03.02.2025  
Published: 22.05.2025

Artykuł wpłynął do redakcji: 09.12.2024 r.  
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 03.02.2025 r.  
Opublikowano: 22.05.2025 r.

## Literature

- [1] Ustawa z 21 marca 1985 r. o drogach publicznych, Dz.U. 2023 poz. 645.
- [2] Radzikowski M, Forys G, Kustra H. Raport o stanie technicznych nawierzchni sieci dróg krajowych na koniec 2023 roku. Warszawa: GDDKiA; 2024.
- [3] Heggie IG. Management and financing of roads: an agenda for reform. World Bank Technical Paper. 1995; 275.
- [4] Świtała M, Łukasiewicz A. Mobilność mieszkańców miast w obliczu pandemii COVID-19. Warszawa: Instytut Badawczy Dróg i Mostów; 2021.
- [5] Pais JC, Amorim SIR, Minhoto MJC. Impact of traffic overload on road pavement performance. J Transp Eng. 2013; DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000571.
- [6] Zofka A. Proaktywna strategia zarządzania elementami infrastruktury drogowej. Warszawa: Instytut Badawczy Dróg i Mostów; 2019.
- [7] Maliszewski M, Zofka A, Maliszewska D, Sybilski D. Asphalt Mixture Sensitivity to Water and Frost. RILEM Bookseries. 2016; DOI: 10.1007/978-94-017-7342-3\_15.
- [8] Bańkowski W. Analiza trwałości zmęczeniowej betonów asfaltowych z uwzględnieniem typu mieszanki i rodzaju lepiszcza. Roads and Bridges – Drogi i Mosty. 2018; DOI: 10.7409/rabdim.018.016.
- [9] Li L, Huang X, Han D, Dong M, Zhu D. Investigation of rutting behavior of asphalt pavement in long and steep section of mountainous highway with overloading. Constr Build Mater. 2015; DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.06.016.
- [10] Ali HA, Haddadi F, Mohammadafzali M, Sholar G, Moseley H. Effect of rejuvenated binder on the pavement rutting performance at different aging levels. Advances in Materials Science and Engineering. 2020; DOI: 10.1155/2020/9693821.
- [11] Karkowski M. The Problem of Overloaded Vehicles in Poland. Journal of Civil Engineering and Architecture. 2022; DOI: 10.17265/1934-7359/2022.12.004.
- [12] Han W, Wu J, Cai CS, Chen S. Characteristics and Dynamic Impact of Overloaded Extra Heavy Trucks on Typical Highway Bridges. Journal of Bridge Engineering. 2015; DOI: 10.1061/(asce)be.1943-5592.0000666.
- [13] Le ATH, Domingo N, Rasheed E, Park KS. Building maintenance cost planning and estimating: A literature review. in Proceeding of the 34th Annual ARCOM Conference. ARCOM 2018. 2018; 697–706.
- [14] Chen L. Network-level pavement maintenance and rehabilitation decision-making with the optimized annual budget. PLoS One. 2023; DOI: 10.1371/journal.pone.0287426.
- [15] Zofka A, Maciejewski A. Implementation Of Road Asset Management In Poland. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021; 1202, 1: 012003.
- [16] Zofka A, Maciejewski A. (2021). Tools for Asset Management: TEM Recommendations for Road Operators. 2021; ECE/TRANS/309.
- [17] Świtała M. Road infrastructure management – the perspective of the local roads authority. Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska. 2023; DOI: 10.20858/sjsutst.2023.120.17.
- [18] Świtała M, Ledwolorz A. Identifying and assessing the functionality of IT systems for the maintenance and development of the road network. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 2023; DOI: 10.7250/bjr-be.2023-18.616.
- [19] GUS. Transport – wyniki działalności w 2023 r. Warszawa: GUS; 2024.