

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 494–503
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 494–503
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.43

**Magdalena KOWACKA, Dariusz SKORUPKA, Artur DUCHACZEK,
Dominika DUDZIAK-GAJOWIAK, Agnieszka WANIEWSKA**

Akademia Wojsk Lądowych im. gen. Tadeusza Kościuszki, Wydział Zarządzania
General Tadeusz Kościuszko Military University of Land Forces, Faculty of Management

Określenie charakteru i wartości ryzyka prac geodezyjnych z zastosowaniem logiki rozmytej Determining the nature and value of the risk of geodetic works using fuzzy logic

Słowa kluczowe: budownictwo, ryzyko, geodezja, drogi
Key words: construction, risk, geodesy, roads

Wprowadzenie

Planowanie inwestycji (w tym inwestycji budowlanych) dotyczy przyszłości, więc obarczone jest błędem predykcji. Nie można na wstępnym etapie przewidzieć wszystkich potencjalnych zakłóceń, dlatego aby lepiej odzwierciedlić rzeczywistość *a priori*, zakłada się możliwość wystąpienia czynników ryzyka. Czynniki te występują nie tylko na etapie planowania, ale także na etapie realizacji przedsięwzięć budowlanych. Problem ten dotyczy różnych przedsięwzięć budowlanych (Leśniak i Janowiec, 2019; Leśniak, Juszczuk

i Piskorz, 2019), w tym realizacji przedsięwzięć budowy dróg. Można w nich zidentyfikować wiele czynników ryzyka występujących na różnych poziomach zaawansowania poszczególnych zadań. Poprawna realizacja robót ziemnych, które w tego typu przedsięwzięciach występują już na etapie początkowym, może mieć ogromny wpływ nie tylko na koszt realizacji inwestycji, ale również na czas trwania poszczególnych prac czy konieczność wystąpienia robót naprawczych (Sobotka, Radziszewska-Zielina, Plebankiewicz, Zima i Kowalik, 2014).

Wystąpienie określonych czynników ryzyka może spowodować konsekwencje czasowe, kosztowe lub jakościowe. Podczas analizy literatury można również wyselekcjonować konsekwencje społeczne związane np. z utrudnieniami w przemieszczaniu się ludności lub wy-

padkowością na placach budowy (Hoła, 2010; Hoła i Szóstak, 2014).

Prace geodezyjne są niezbędnym elementem podczas trwania całego przedsięwzięcia budowy drogi. Obecność geodety na placu budowy związana jest z pomiarami wstępnymi, domiarami, pomiarami kontrolnymi bieżących elementów czy elementów do rozbiórki. Zatem, jak łatwo wywnioskować, ich błędna realizacja ma bardzo duży wpływ na wykonywane prace budowlane, co było jednym z głównych powodów zbadania tego tematu.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie praktycznego zastosowania logiki rozmytej jako elementu autorskiej metody MORAG (ang. *Method of Risk Analysis for Geodesy*) z wykorzystaniem danych pozyskanych z faktycznych przedsięwzięć budowlanych.

Logika rozmyta

Autorska metoda MORAG, czyli metoda analizy czynników ryzyka prac geodezyjnych w przedsięwzięciach budowy dróg (Kowacka, 2019), polega na jednoczesnym zastosowaniu metody analitycznej i logiki rozmytej. Logikę rozmytą przedstawiono przy użyciu programu MATLAB do określenia charakteru i wartości ryzyka na podstawie bazy reguł oraz funkcji przynależności podanych przez ekspertów. Ekspert podaje swoje oceny, które są obarczone pewnym błędem i pewną niepewnością tym mniejszymi, im większe są jego wiedza i doświadczenie. Charakterystyczne jest również to, że problem występowania geodezyjnych czynników ryzyka w pracach budowy dróg nie jest deter-

ministyczny, występują tu niepewności w określaniu wartości w dłuższym czasie. Zaobserwować można, że czynniki ryzyka, a przede wszystkim ich wpływ na przedsięwzięcie nie są zamkniętą listą. Zarówno ich liczba, jak i poziom wyliczonego ryzyka może ulec zmianie, np. przy wystąpieniu mniej awaryjnego sprzętu zwiększy się poziom ufności, a co za tym idzie zmniejszy się możliwość popełnienia błędu (Pedrycz, 1993; Kacprzyk, 1997). Uwzględnić należy to, że przy ocenie zarówno ryzyka, jak i samych jego czynnikach kluczowy jest czynnik ludzki, co w sposób istotny wpływa na oceny ekspertów.

Na rysunku 1 przedstawiono klasyczny system typu MISO (ang. *Multiple Input Single Output*) jako model wyznaczania ryzyka dla pojedynczego czynnika ryzyka, na którym znajdują się trzy wejścia wygenerowane dzięki pozyskanej wiedzy ekspertów, określające hierarchię możliwości występowania danego czynnika oraz konsekwencje czasowe i kosztowe. W wyniku analizy otrzymujemy jedno wyjście będące odpowiednio wartością ryzyka. Zastosowano metodę wyostrzania (defuzyfikacji) na podstawie parametru środka ciężkości obszaru występującego pod krzywą funkcji przynależności (Sivanandam, Sumathi i Deepa, 2007).

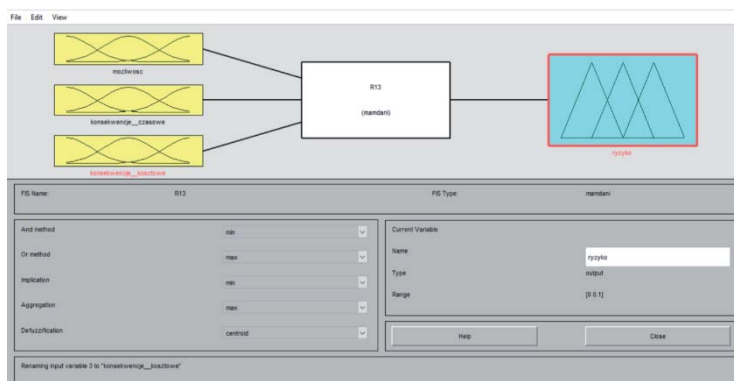
Zastosowano tutaj regulator rozmyty, tzw. sterownik Mamdaniego, wyliczając funkcję przynależności. Dla dwuwejściowego modelu reguła będzie miała postać (Ficoń, 2013)

$$IF \frac{(x1 \text{ IS } A1) \text{ AND } (x2 \text{ IS } A2)}{OR} \text{ THEN } (y \text{ IS } C)$$

NOT

gdzie:
 x_1, x_2, y – zmienne lingwistyczne,
 A_1, A_2, C – zbiory rozmyte, które określają wartości zmiennych lingwistycznych x_1, x_2, y .

wykazały większą zbieżność wyników uzyskanych przy użyciu sterownika Mamdaniego od wyników uzyskanych przy użyciu sterownika Takagiego–Sugena, w którym na wyjściu modelu



RYSUNEK 1. Schemat z programu MATLAB dla czynnika R13 (badania własne)
 FIGURE 1. Diagram from MATLAB for R13 (own studies)

Dla omawianego modelu reguła sprowadzi się do postaci (Ficoń, 2013)

$$\frac{IF \frac{(x_1 IS A_1) AND \frac{OR}{NOT} (x_2 IS A_2) AND \frac{OR}{NOT} (x_3 IS A_3) THEN (y IS C)}$$

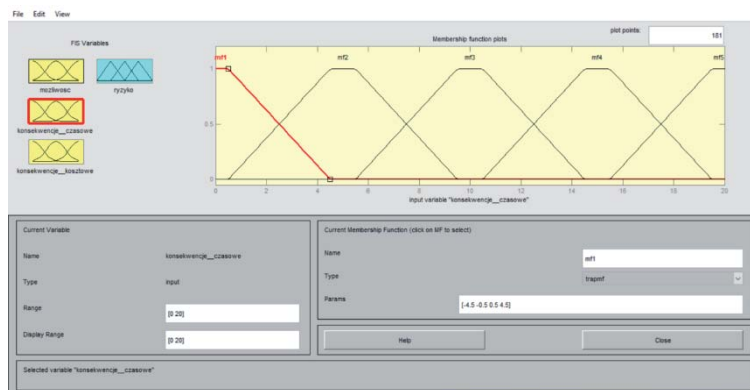
gdzie:
 x_1, x_2, x_3, y – zmienne lingwistyczne,
 A_1, A_2, A_3, C – zbiory rozmyte, które określają wartości zmiennych lingwistycznych x_1, x_2, x_3, y .

Sterownik Mamdaniego zastosowano w modelu z dwóch powodów. Po pierwsze wartość wyjściowa jest w postaci zbioru rozmytego. Po drugie model Mamdaniego dobrze się sprawdza, gdy system ma stosunkowo mało wejść. Liczba reguł bowiem rośnie wykładniczo wraz z liczbą wejść modelu. Dodatkowo badania własne na kilku czynnikach

zamiast zbiorów rozmytych otrzymywane są funkcje najczęściej liniowe. Autorzy planują kontynuację tego wątku w przyszłych publikacjach.

Model systemu rozmytego został odpowiednio przeskalowany tak, aby korelował z modelem analitycznym. Zakresy odpowiednich wartości wejściowych i wyjściowej muszą być zgodne z otrzymanymi za pomocą metody analitycznej, gdyż trudno byłoby w innym przypadku porównać obie metody.

Na rysunku 2 przedstawiono funkcje przynależności przykładowej wartości wejściowej – zmiennej *konsekwencje czasowe*, w której określono dziedzinę funkcji w skali 0–20. Podobnie jak w przypadku zmiennej *możliwość*, założenie dziedziny jest słuszne dla tego konkretnego przykładu, w każdym innym przypadku stosowana jest dziedzina do n . Górna granica skali określa bowiem



RYSUNEK 2. Przykładowy model wartości wejściowej – zmienna *konsekwencje czasowe* (badania własne)

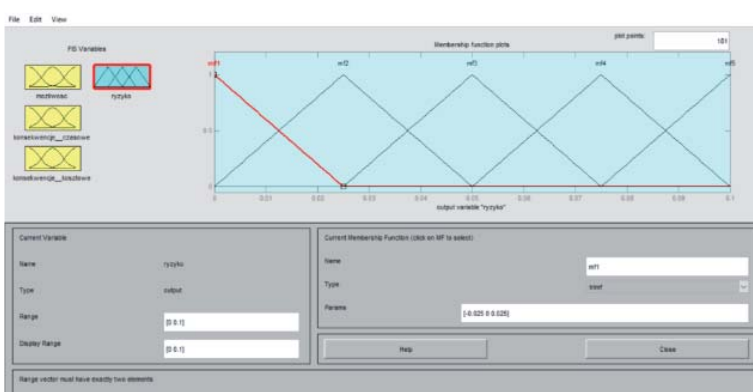
FIGURE 2. Sample input value model – variable *time consequences* (own studies)

liczebność zbioru czynników ryzyka, a w tym przypadku autorzy wspomagając się informacjami otrzymanymi od ekspertów, sprecyzowali 20 czynników ryzyka geodezyjnego w przedsięwzięciach budowy dróg. Przedstawiona funkcja przynależności wizualizuje kształt funkcji jako trapezowy.

Analogicznie przedstawione są pozostałe wartości wejściowe modelu, tj. zmienna *możliwość* oraz zmienna *konsekwencje kosztowe*. W wyniku przeglądu

literatury dokonano wyboru określonych kształtów funkcji przynależności, których zastosowanie zaowocowało otrzymaniem przedstawionych wyników. Po przetestowaniu różnych możliwości autorzy dokonali takiego wyboru funkcji przynależności, ponieważ najlepiej korelowały z wynikami otrzymanymi wprost z metody analitycznej.

Na rysunku 3 przedstawiono ryzyko za pomocą funkcji trójkątnych oraz dziedziny 0–0,1. Wartość ryzyka zawarta jest



RYSUNEK 3. Model wartości wyjściowej ryzyka (badania własne)

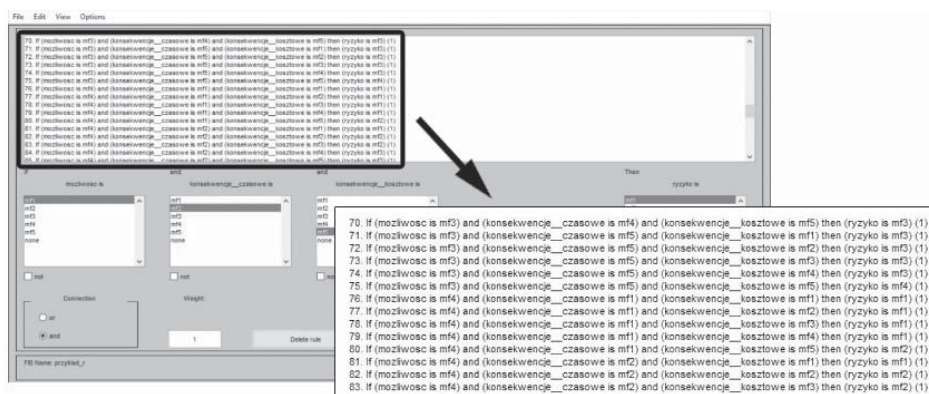
FIGURE 3. Risk baseline model (own studies)

w przedziale $[0, 0, 1]$, co pokazano na rysunku 1. Zakres przedstawiania ryzyka został przeskalowany w celu zwiększenia przejrzystości wyników oraz ułatwienia porównania wartości uzyskanych za pomocą zmiennych rozmytych z wartościami wyznaczonymi wprost przy użyciu metody analitycznej.

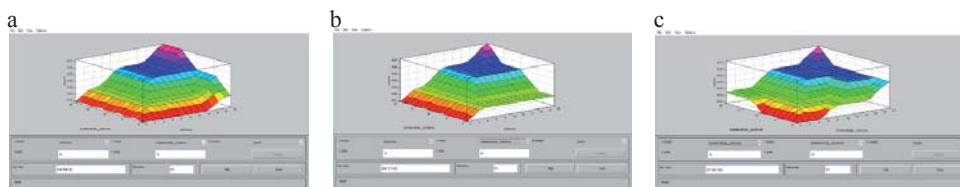
Na rysunku 4 przedstawiono bazę reguł zamodelowaną w przeznaczonym do tego edytorze. Każdy czynnik ryzyka zdefiniowano osobno jako system z trzema wejściami i jednym wyjściem. Zgodnie z danymi od eksperta każda ze zmiennych wyjściowych jest zamodelowana z użyciem pięciu funkcji przynależności, dlatego liczba reguł dla każdego czynnika wynosi $125 = 5^3$. Wartość ryzyka jest obliczana na podstawie możliwości wystą-

pienia czynnika, konsekwencji czasowej oraz kosztowej (Klir i Folger, 1988).

Ostatecznie otrzymano schematy, które wskazują na zmienność ryzyka i wizualizują określone wyniki (rys. 5). System jest zamodelowany w przestrzeni czterowymiarowej (trzy wejścia oraz jedno wyjście), zatem możliwość wizualizacji wyników wymaga wizualizacji częściowych. Na płaszczyźnie w sposób czytelny można przedstawić przestrzeń maksymalnie trójwymiarową. Z tego powodu na rysunku 5 przedstawiono wykresy ukazujące zależności wartości wyjściowej (ryzyka) umiejscowionej zawsze na osi Z (pionowej) od wartości wejściowych podanych parami odpowiednio na osiach X i Y (Kacprzyk, 1986; Bubnicki, 2005).



RYSUNEK 4. Edytor reguł (badania własne)
FIGURE 4. Rules editor (own studies)



RYSUNEK 5. Zależność ryzyka od konsekwencji: czasowych i prawdopodobieństwa (a), kosztowych i prawdopodobieństwa (b) oraz czasowych i kosztowych (c) (badania własne)
FIGURE 5. Risk dependence on consequences of: time and probability (a), cost and probability (b), and time and cost (c) (own studies)

Dane do obliczeń

Obliczenia sporządzono dla 20 czynników ryzyka prac geodezyjnych, opisanych szczegółowo w innej publikacji autorów (Kowacka, Skorupka, Duchaczek, Waniewska i Dudziak-Gajowiak, 2019), które wyspecyfikowano na podstawie analizy literatury przedmiotu, doświadczenia, wiedzy eksperckiej, dostępnej dokumentacji oraz analizy studium przypadku.

Określenie hierarchii prawdopodobieństwa oraz konsekwencji przy uwzględnieniu kryteriów czasu i kosztu dały wyniki określone w tabeli 1.

Analizy z wykorzystaniem logiki rozmytej

Podstawowym uzasadnieniem zastosowania logiki rozmytej w autorskiej metodzie analizy ryzyka prac geodezyjnych MORAG jest konieczność uwzględnienia niepewności w wiedzy eksperta. Przeprowadzenie analizy dostępnej literatury przedmiotu wykazało, że zastosowanie zmiennych losowych i rozkładów prawdopodobieństwa nie spełnia wymagań dla metody analizy ryzyka prac geodezyjnych w przedsięwzięciach budowy dróg, założonych przez autorów. Istotnym elementem jest więc zastosowanie logiki rozmytej. Otrzymane wyniki wartości ryzyka oraz ryzyka z uwzględnieniem wpływu na koszt i czas realizacji harmonogramu przedstawiono w tabeli 2.

Analiza wyników

W wyniku zastosowania logiki rozmytej otrzymano konkretne wartości zarówno całkowitego ryzyka (tj. przy

uwzględnieniu wpływu na czas i koszt przedsięwzięcia), jak i ryzyka dla poszczególnych czynników przy uwzględnieniu tylko jednej z tych konsekwencji (tylko czasowych lub tylko kosztowych). Otrzymane wyniki wyraźnie nie przekraczają dla poszczególnych czynników 10% wartości całości.

Ideą zastosowania rozmytej reprezentacji wiedzy było uwzględnienie niepewności zarówno eksperta, jak i tej wynikającej z samego charakteru ryzyka.

Autorzy planują w kolejnych badaniach skupić się na analizie zastosowania innych parametrów modelu rozmytego, a także na pozyskaniu większej liczby ekspertów w celu uzyskania jeszcze bardziej precyzyjnych wyników.

Podsumowanie

Warto zwrócić uwagę, jak znaczące jest, aby prace geodezyjne podczas realizacji przedsięwzięć budowlanych były w jak najmniejszym stopniu obciążone występowaniem czynników ryzyka. Wykonanie błędnych pomiarów, które zostaną wdrożone do realizacji bez wychwycenia ich niepoprawności, może nieść za sobą znaczące koszty, a także opóźnienia w realizacji przedsięwzięcia oraz może spowodować konieczność rozbiórki elementów gotowych. Z tego powodu podjęto prace nad opracowaniem metody analizy ryzyka prac geodezyjnych w przedsięwzięciach budowy dróg, czego element przedstawiono w artykule. W pracy przedstawiono również zastosowanie logiki rozmytej do określenia charakteru i wartości ryzyka prac geodezyjnych na podstawie bazy reguł oraz funkcji przynależności

TABELA 1. Określenie hierarchii prawdopodobieństwa i konsekwencji wystąpienia zidentyfikowanych czynników ryzyka (Kowacka, 2019)

TABLE 1. Determining the hierarchy of probability and consequences of occurrence of identified risk factors (Kowacka, 2019)

Czynnik ryzyka Risk factor	Hierarchia prawdopodobieństwa Hierarchy of probability	Hierarchia konsekwencji – kryterium czas Consequence hierarchy – time criterion	Hierarchia konsekwencji – kryterium koszt Consequence hierarchy – cost criterion
R1 – błędnie przyjęty układ poziomy	2	11	13
R2 – błędnie przyjęty układ wysokościowy do opracowania danych i wyniesienia w teren	3	13	14
R3 – brak opracowania planu generalnego, a później jego aktualizacji	1	11	7
R4 – brak pozyskania z zasobu PODGiK informacji GESUT	2	12	12
R5 – błędne opracowanie numerycznego modelu terenu	5	11	11
R6 – brak odpowiedniego transportowania instrumentów geodezyjnych	9	6	8
R7 – brak bieżącej kontroli sprzętu	9	10	11
R8 – brak odpowiedniego doboru sprzętu	7	12	11
R9 – błędne nawiązanie wysokościowe	7	13	11
R10 – błędne nawiązanie sytuacyjne	5	14	12
R11 – brak kontroli wykonanego tyczenia	7	9	11
R12 – błędnie wykonane tyczenie poprzez opisywanie na paliku przewyższenia do poziomu projektowego	5	9	10
R13 – nieodpowiednie dobranie sposobu markowania tyczonych	4	9	9
R14 – brak tyczenia obiektów kubaturowych na ławicach	3	7	8
R15 – brak inwentaryzacji istniejących elementów przeznaczonych do rozbiórki	0	8	7
R16 – nieprawidłowa lokalizacja punktów kontrolnych, punktów osnowy	11	13	9
R17 – nieprawidłowa lokalizacja punktów osnowy realizacyjnej – punkty powodujące kolizje z elementami projektowymi	11	12	10
R18 – brak kontroli danych z zasobu PODGiK	4	9	9
R19 – brak komunikacji z wykonawcami poszczególnych asortymentów	12	15	14
R20 – brak odpowiedniej generalizacji pomiarów	7	6	5

TABELA 2. Wartość ryzyka dla i -tego czynnika (Kowacka, 2019)TABLE 2. Risk value for the i -th factor (Kowacka, 2019)

Czynnik ryzyka Risk factor	Wartość ryzyka Risk value	Wartość ryzyka kosztowego Value of cost risk	Wartość ryzyka czasowego Value of time risk
1	0,0369	0,0466	0,0343
2	0,0471	0,0482	0,0449
3	0,0262	0,0214	0,0324
4	0,0369	0,0423	0,0386
5	0,0472	0,0495	0,0471
6	0,0415	0,0495	0,0385
7	0,0616	0,0664	0,0570
8	0,0612	0,0558	0,0689
9	0,0618	0,0558	0,0705
10	0,0547	0,0522	0,0597
11	0,0498	0,0558	0,0501
12	0,0453	0,0452	0,0420
13	0,0368	0,0359	0,0378
14	0,0283	0,0319	0,0263
15	0,0192	0,0161	0,0185
16	0,0785	0,0650	0,0828
17	0,0781	0,0750	0,0815
18	0,0368	0,0359	0,0378
19	0,0939	0,0900	0,0917
20	0,0313	0,0265	0,0294

podanych przez ekspertów, co pozwala na porównanie uzyskanych wyników z tymi otrzymanymi przy użyciu tradycyjnych metod (analitycznych).

Literatura

- Bubnicki, Z. (2005). *Teoria i algorytmy sterowania*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Ficoń, K. (2013). Zastosowanie rozmytych sterowników Mamdaniego do określania ryzyka

wieloczynnikowego. *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*, 54(3), 65-88.

- Hoła, B. (2010). Methodology of hazards identification in construction work course. *Journal of Civil Engineering and Management*, 16(4), 577-585.
- Hoła, B. i Szóstak, M. (2014). Analysis of the development of accident situations in the construction industry. *Procedia Engineering*, 91, 429-434.
- Kacprzyk, J. (1986). *Zbiory rozmyte w analizie systemowej*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.

- Kacprzyk, J. (1997). *Multistage fuzzy control: a model-based approach to fuzzy control and decision making*. Chichester: Wiley.
- Klir, G.J. i Folger, T.A. (1988). *Fuzzy sets, uncertainty, and information*. Englewood Cliff: Prentice Hall.
- Kowacka, M. (2019). *Metoda analizy ryzyka prac geodezyjnych w przedsięwzięciach budowy dróg* (rozprawa doktorska). Politechnika Wrocławska, Wrocław.
- Kowacka, M., Skorupka, D., Duchaczek, A., Waniewska, A. i Dudziak-Gajowiak, D. (2019). Risk analysis in surveying works related to roads construction. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 28(3), 377-382.
- Leśniak, A. i Janowiec, F. (2019). Risk assessment of additional works in railway construction investments using the Bayes Network. *Sustainability*, 11(19), 5388. <https://www.doi.org/10.3390/su11195388>
- Leśniak, A., Juszczyk, M. i Piskorz, G. (2019). Modelling delays in bridge construction projects based on the logit and probit regression. *Archives of Civil Engineering*, 65(2), 107-120.
- Pedrycz, W. (1993). *Fuzzy control and fuzzy systems*. Taunton: Research Studies Press.
- Sivanandam, S.N., Sumathi, S. i Deepa, S.N. (2007). *Introduction to fuzzy logic using MATLAB*. Berlin: Springer.
- Sobotka, A., Radziszewska-Zielina, E., Plebaniewicz, E., Zima, K. i Kowalik, M. (2014). Realizacja robót ziemnych w opinii wykonawców budowlanych. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 23(1), 3-13.

Streszczenie

Określenie charakteru i wartości ryzyka prac geodezyjnych z zastosowaniem logiki rozmytej. Artykuł jest kontynuacją cyklu prac nad metodą analizy ryzyka prac geodezyjnych w przedsięwzięciach budowy dróg. W pracy przedstawiono zastosowanie

logiki rozmytej do określenia charakteru i wartości ryzyka prac geodezyjnych na podstawie bazy reguł oraz funkcji przynależności podanych przez ekspertów. Uzasadnione jest to tym, iż problem występowania geodezyjnych czynników ryzyka w pracach budowy dróg nie jest deterministyczny. W pracach tego typu występuje wiele niepewności w określaniu wartości czasu ich trwania w dłuższym okresie. Metodę przedstawiono w postaci teoretycznej wraz z przykładem jej zastosowania. Zaprezentowano również zestawienie wyników badań w formie porównawczej w odniesieniu do wcześniejszych publikacji wykorzystujących inne narzędzia badawcze.

Summary

Determining the nature and value of the risk of geodetic works using fuzzy logic.

The article is a continuation of the series of works on the method for risk analysis in surveying works in road construction projects. The paper presents the application of fuzzy logic to determine the nature and value of the risk of surveying works based on a database of rules and affiliation functions provided by experts. The fact that the issue of occurrence of risk factors in road construction works is not deterministic justifies the above. In such works, there are many uncertainties in establishing the value of their duration in the long term. The theoretical framework of the method is presented together with an example of its application. Moreover, research results are compared with previous publications using other research tools.

Authors' address:

Magdalena Kowacka – corresponding author
(<https://orcid.org/0000-0002-3553-9853>)
Dariusz Skorupka
(<https://orcid.org/0000-0002-6347-6562>)

Artur Duchaczek
(<https://orcid.org/0000-0002-6263-5322>)
Dominika Dudziak-Gajowiak
(<https://orcid.org/0000-0001-6898-7241>)
Agnieszka Waniewska
(<https://orcid.org/0000-0002-6386-6579>)
Akademia Wojsk Lądowych im. gen. Tadeusza
Kościuszki
ul. Dubrownicka 1b/7, 51-208 Wrocław
Poland
e-mail: magdalena.kowacka@awl.edu.pl