

dr inż. Piotr Ochab¹⁾

ORCID: 0000-0003-2946-7838

dr hab. inż. Izabela Skrzypczak, prof. PRz^{1)*}

ORCID: 0000-0003-0978-3040

dr inż. Aleksander Duda¹⁾

ORCID: 0000-0002-5549-3098

dr inż. arch. Anna Sikora, prof. PRz¹⁾

ORCID: 0000-0002-3646-6924

prof. dr hab. inż. Ewa Błazik-Borowa²⁾

ORCID: 0000-0001-8200-3827

dr inż. Krzysztof Nepelski²⁾

ORCID: 0000-0001-9495-6457

mgr inż. Agnieszka Lal²⁾

ORCID: 0000-0002-3557-6064

prof. dr hab. inż. Maria Sulewska³⁾

ORCID: 0000-0002-7405-8710

Zastosowanie indeksowej metody statystycznej do analizy podatności osuwiskowej wybranego obszaru z terenu województwa podkarpackiego

Application of the index statistical method to analyze the landslide susceptibility of a selected area in the Podkarpackie Voivodeship

DOI: 10.15199/33.2023.12.12

Streszczenie. Osuwiska należą do najniebezpieczniejszych i najczęściej występujących geozagrożeń na terenie Polski. Bardzo ważną rolę w minimalizowaniu strat ma odpowiednie planowanie przestrzenne bazujące na dokładnych mapach podatności osuwiskowej terenu, które stanowią podstawę procesu określania zagrożenia, a następnie szacowania ryzyka. Celem artykułu jest pokazanie metody opracowania mapy podatności osuwiskowej wybranego obszaru Pogórza Dynowskiego pod kątem oceny zagrożenia osuwiskowego. Finalna mapa podatności na osuwanie obszaru badań została opracowana w skali lokalnej z wykorzystaniem indeksowej metody statystycznej. Poszczególne mapy czynników mających wpływ na osuwanie terenu uwzględniają: nachylenie zbocza; ekspozycję; bliskość cieków wodnych; geologię.

Słowa kluczowe: osuwiska; indeksowa metoda statystyczna; mapa podatności; Pogórze Dynowskie; ocena niezawodności.

Abstract. Landslides are among the most dangerous and common geohazards in Poland. A very important role in minimizing losses has a proper spatial planning based on accurate landslide susceptibility maps of the area, which are the basis of the process of determining the threat and then estimating the risk. The purpose of this article is to develop a landslide susceptibility map of a selected area of the Dynowskie Foothills in terms of landslide hazard assessment. The final landslide susceptibility map of the study area was developed on a local scale using the Index Statistical Method. The individual maps of factors affecting landslides were based on several thematic sections: slope slope, exposure, proximity to watercourses, geology.

Keywords: landslides; index statistical method; susceptibility map; Dynowskie Foothills; reliability assessment.

Obecnie w celu właściwego zagospodarowania przestrzennego oraz zarządzania ryzykiem osuwiskowym stosowane są różne metody prewencji, w tym metody kartograficzne. W Polsce regulacje prawne, wprowadzone po „katastrofach osuwiskowych” w 1997, 2000 oraz 2010 r., zobligowały organy administracji samorządowej do obserwacji terenów zagrożonych ruchami masowymi oraz gromadzenia tych informacji w formie bazy danych. Mapy osuwisk oraz karty dokumentacyjne osuwisk i terenów zagrożonych są opracowywane od 2008 r. w ramach realizacji ogólnopolskiego projektu System Osłony Przeciwosuwiskowej – SOPO. Jednym z produktów wynikowych tego projektu jest „Mapa osuwisk i terenów zagrożonych (MOTZ) w skali 1 : 10000. Połączenie informacji zawartych na MOTZ z in-

nymi komplementarnymi danymi cyfrowymi, będącymi czynnikami determinującymi aktywność osuwiskową, umożliwia wykonanie precyzyjnych analiz wielokryterialnych GIS, pozwalających na ocenę podatności na osuwanie oraz zagrożenia i oceny ryzyka osuwiskowego badanych obszarów. Szacowanie podatności osuwiskowej, czy ryzyka osuwiskowego jest omawiane w licznych publikacjach w literaturze światowej, np. [1 – 6]. W Polsce analizy geoinformacyjne dotyczą głównie południowej części kraju [7 – 13].

W badaniach podatności osuwiskowej stosuje się wiele technik i metod obliczeniowych obejmujących m.in. podejście empiryczne, statystyczne czy deterministyczne, stosowane przy dużych skalach w geologii inżynierskiej [1 – 3]. Metody map podatności lub ryzyka opisują rozważane zjawisko tylko jakościowo, dlatego uzupełnienie takich analiz o weryfikację metodami niezawodnościowymi umożliwia przedstawienie stanu zagrożeń w sposób ilościowy, bardziej przystępny dla inżynierów budownictwa zajmujących się posadowieniem obiektów. Należy podkreślić, że badania jakościowe pozwa-

¹⁾ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury

²⁾ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury

³⁾ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

* Adres do korespondencji: izas@prz.edu.pl

lają zrozumieć rozważany problem, natomiast badania ilościowe pomagają opisywać zjawisko z użyciem danych statystycznych. Najlepszym rozwiązaniem jest synergia tych metod. Do analizy podatności osuwiskowej wybranego obszaru z województwa podkarpackiego zastosowano dwie metody: jakościową – indeksową metodę statystyczną (WoE – *Weights of Evidence*), opracowaną przez Van Westena, oraz ilościową metodę w pełni probabilistyczną, stosowaną do analiz niezawodności konstrukcji budowlanych.

Zastosowanie statystycznej metody indeksowej

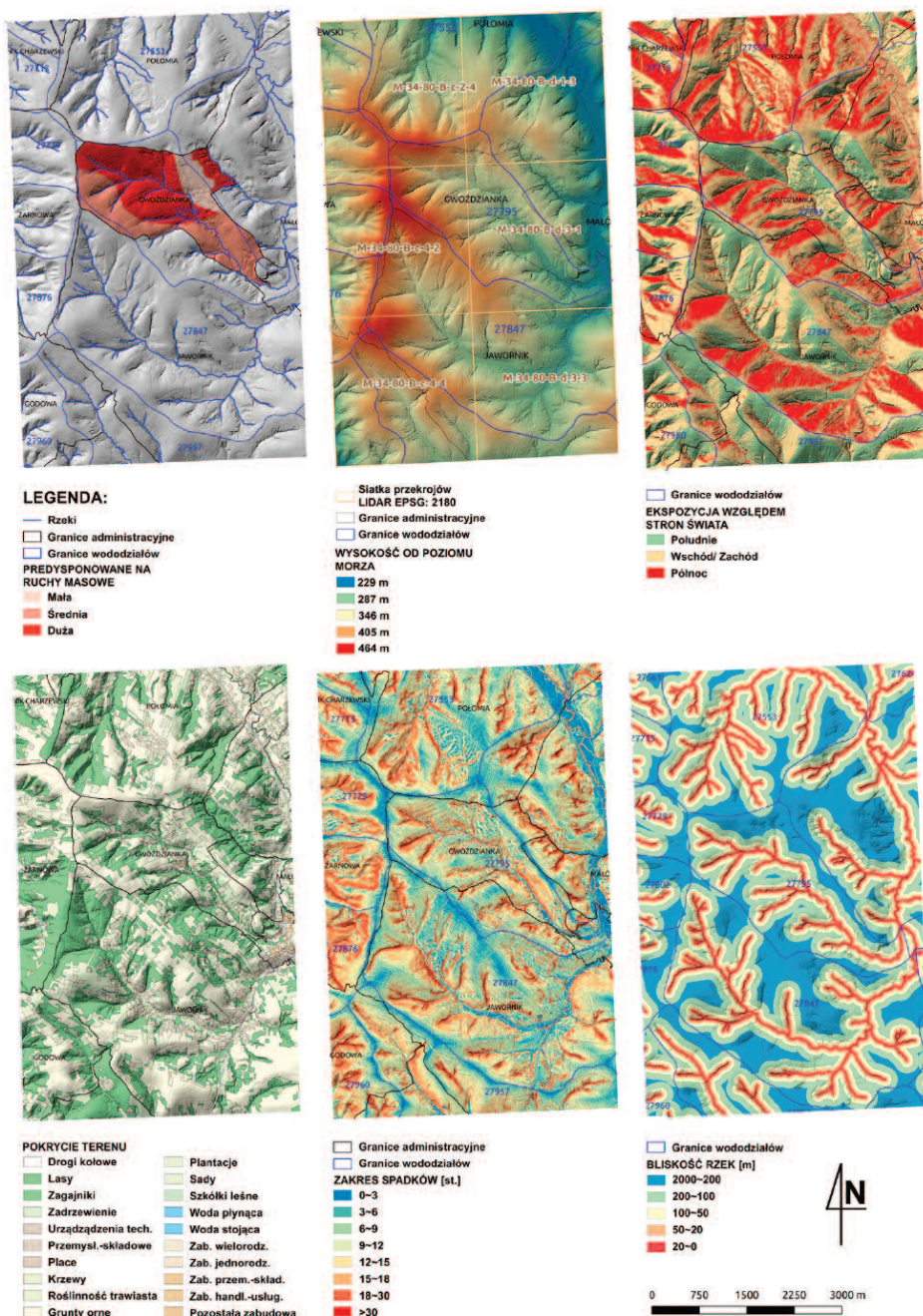
Analizę przestrzenną przeprowadzono za pomocą oprogramowania ArcGIS v.10.2. Obszar badań to wieś Gwoździanka w gminie Niebylec, położona na Pogórzu Dynowskim, w południowo-wschodniej części Polski. Teren ma charakter pagórkowato-górzysty, charakterystyczny dla rzeźby pogórza karpaccich. Występują tu osuwiska, które stanowią istotne zagrożenie dla lokalnej sieci dróg, gazociągów oraz zabudowań. Obszar badań znajduje się całkowicie w obrębie płaszczowiny skolskiej, która jest tu najbardziej zewnętrznym elementem tektonicznym Karpat. W obrazie kartograficznym jest to wiele elementów łuskowo-łańdowych o przebiegu głównie NW-SE. Istotną rolę na obszarze badań odgrywają strefy uskokowe, mające odzwierciedlenie w morfologii. Pod względem litologicznym jest to obszar bardzo zróżnicowany. Oprócz utworów czwartorzędowych na jego budowę składają się liczne kompleksy litologiczne fliszu płaszczowiny skolskiej.

Na badanym terenie zinventaryzowano trzy osuwiska, w tym dwa aktywne i jedno okresowo aktywne, o łącznej powierzchni 16,23 km². Obliczony wskaźnik osuwiskowości wyniósł 9,49%, a współczynnik gęstości osuwisk 1,316. Koluwia osuwiskowa są wykształcone jako ropy, gliny piaszczyste i piaszczysto-pylaste, niekiedy gliny z rumoszem skalnym piaskowców i głazami skalnymi, a niekiedy także z pakietami utworów fliszowych. Miąższość koluwiów zmienia się od kilku do kilkunastu metrów [13].

Bazowe źródło informacji w przeprowadzonej analizie i następnie w walidacji danych stanowi MOTZ w skali 1 : 10000. W rozważanym przypadku, analizą geoinformacyjną objęto wszystkie osuwiska. W pierwszym etapie badań zebrano i poddano selekcji mapy tematyczne czynników mających wpływ na osuwanie. Ostatecznie w analizach wykorzystano 6 czynników pa-

sywnych zwizualizowanych w postaci map (rysunek 1). Są to: budowa geologiczna; nachylenie; wysokość n.p.m.; ekspozycja; ciekii wodne oraz pokrycie terenu. Bezpośrednio z cyfrowego modelu wysokościowego obliczono takie atrybuty topograficzne, jak nachylenie i ekspozycja.

Atrybuty topograficzne obliczone bezpośrednio z cyfrowego modelu wysokościowego przedstawiają zmienne ciągłe, dlatego dokonano ich konwersji do postaci interwałowej (skategoryzowanej). W celu określenia prawidłowości powstawania osuwisk zgeneralizowano wybrane warstwy wektorowe. Mapa geologiczna została opracowana na podstawie reinterpretacji wcześniejszych map geologicznych tego rejonu. Przedstawiono



Rys. 1. Mapy tematyczne sześciu czynników pasywnych
Fig. 1. Thematic maps for 6 passive factors

na niej przede wszystkim kompleksy tworzące flisz karpacki, z wyodrębnieniem trzech jednostek litostratygraficznych. **Pozyskane podczas prac terenowych dane (MOTZ) oraz 6 map wizualizujących czynniki środowiskowo-geologiczne posłużyły do wykonania mapy podatności osuwiskowej w skali 1 : 10000 za pomocą indeksowej metody statystycznej (WoE – Weights of Evidence) [1–2] z wykorzystaniem formuły (1):**

$$W_i = \ln \left(\frac{\text{Dens clas}}{\text{Dens map}} \right) = \ln \left(\frac{\text{Npix}(S_i)}{\text{Npix}(N_i)} \cdot \frac{\sum \text{Npix}(N_i)}{\sum \text{Npix}(S_i)} \right) \quad (1)$$

gdzie:

W_i – współczynnik podatności na osuwanie przypisany do danej klasy mapy tematycznej;

Dens clas – gęstość osuwiskowa w danej klasie mapy tematycznej;

Dens map – gęstość osuwiskowa objęta mapą;

$\text{Npix}(S_i)$ – liczba komórek rastra z osuwiskami w obrębie danej klasy mapy tematycznej;

$\text{Npix}(N_i)$ – liczba komórek rastra w danej klasie mapy tematycznej.

Po zsumowaniu obliczonych indeksów dotyczących wszystkich czynników biernych, otrzymano mapę podatności na osuwanie obszaru wsi Gwoździanka (rysunek 2), przy czym przedziały interwałowe dobrano, analizując histogram przedstawiający gęstość wartości indeksów [11]. Otrzymane współczynniki podatności na osuwanie umożliwiają zbudowanie mapy zagrożeń, która ma charakter jakościowy, ułatwiający klasyfikację rozważanego obszaru na podobszary pod względem ich podatności na zagrożenie osuwiskowe. Indeksową metodą statystyczną możemy zaliczyć do metod jakościowych tzw. miękkich. Niestety ich zastosowanie nie pozwala w sposób ilościowy określić prawdopodobieństwa uszkodzenia konstrukcji zlokalizowanej na obszarze podatnym osuwiskowo. Zaproponowaliśmy więc zastosowanie w kolejnym kroku analizę wg metody w pełni probabilistycznej, która umożliwia taką ocenę. Obliczenie wskaźnika niezawodności wykonano, stosując

oprogramowanie FREeT. Na podstawie obliczeń niezawodności dokonano weryfikacji uzyskanej mapy zagrożeń osuwiskowych, którą uzupełniono o obliczone wartości wskaźnika niezawodności.

Wyniki badań

Analizy przeprowadzone metodą WoE upoważniły do podziału morfodynamicznego obszaru badań na pięć kategorii podatności: **niepodatny; bardzo mało podatny; średnio podatny; podatny i bardzo podatny** (rysunek 2). W celu zweryfikowania poprawności opracowanej mapy podatności osuwiskowej zastosowano metody bazujące na niezawodności konstrukcji budowlanych oraz zaproponowano geotechniczne poziomy niezawodności. Stosując podejście probabilistyczne (metodę analizy niezawodności konstrukcji poziomu IV), można zweryfikować bezpieczeństwo konstrukcji budowlanych, w tym fundamentów. Zgodnie z [14], wartości wskaźników niezawodności w przypadku większości konstrukcji i obiektów geotechnicznych wynoszą 1,0 – 5,0 (tabela 1), co odpowiada prawdopodobieństwu awarii od ok. 0,16 do 3×10^{-7} .

Tabela 1. Zakres geotechnicznego wskaźnika niezawodności β [14]
Table 1. The range of geotechnical reliability index β [14]

Wskaźnik niezawodności β	Prawdopodobieństwo awarii P_f	Oczekiwany poziom niezawodności	Zaproponowany przez autorów poziom niezawodności/zakres podatności
1,0	0,16	bardzo podatny	bardzo podatny
1,5	0,07	podatny	podatny
2,0	0,023	umiarkowanie podatny	średnio podatny
2,5	0,006	poniżej średniej	średnio podatny
3,0	0,001	bardzo mało podatny	bardzo mało podatny
4,0	0,00003		
5,0 lub więcej	0,0000003 lub mniej	niewrażliwy	niepodatny

Analizy niezawodności przeprowadzono w przypadku nośności podłoża gruntowego pod stopą fundamentową. Warunek stanu granicznego nośności przyjęto w postaci (2):

$$Z = R - E = c \cdot N_c + p_0 \cdot N_q + (B/2) \cdot \gamma \cdot N_\gamma - q \quad (2)$$

gdzie:

q – przyłożone obciążenie zewnętrzne;

c – spójność gruntu;

p_0 – efektywne naprężenie od nakładu w poziomie podstawy fundamentu;

B – szerokość fundamentu;

γ – efektywny ciężar objętościowy gruntu poniżej poziomu posadowienia.

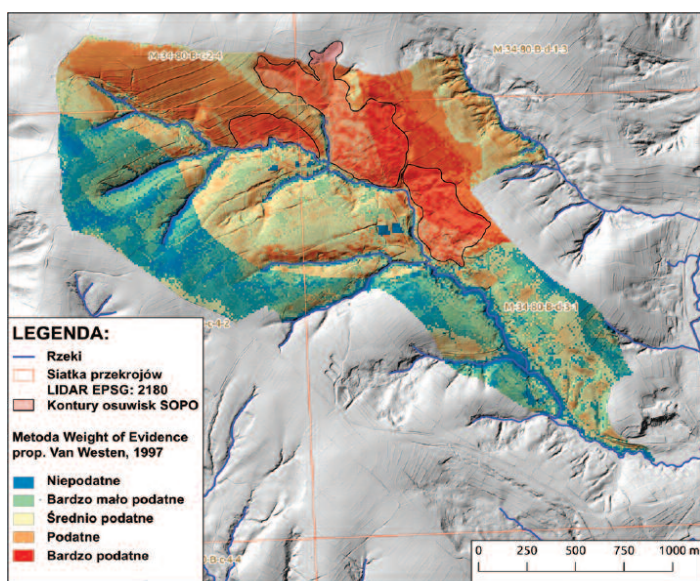
N_c , N_q oraz N_γ to bezwymiarowe współczynniki w przypadku nośności, które są ustalonymi funkcjami kąta tarcia ϕ gruntu (wzory 3 – 5):

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2 (45 + \phi/2) \quad (3)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\phi) \quad (4)$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \cdot \tan(\phi) \quad (5)$$

W literaturze stosowanych jest kilka formuł dotyczących N_γ . W tym przypadku zastosowano formułę zaproponowaną przez Vesica. Analizy probabilistyczne przeprowadzono w oprogramowaniu FREeT. Parametry do analiz przyjęto na podstawie przeprowadzonej kwerendy dostępnych opinii geotechnicz-



Rys. 2. Mapa podatności osuwiskowej dotyczącej wsi Gwoździanka
Fig. 2. Landslide susceptibility map for the village of Gwoździanka

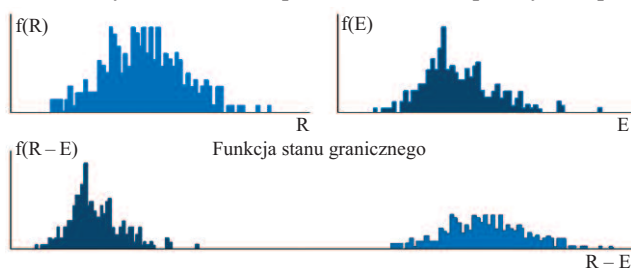
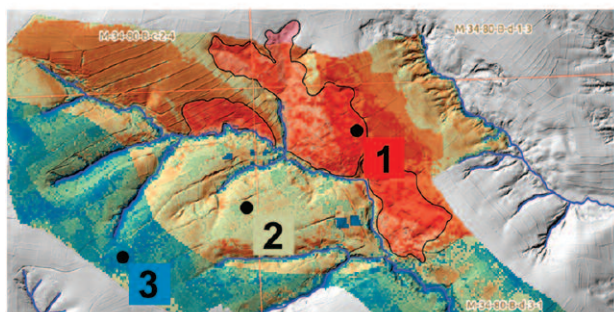
Tabela 2. Podstawowe zmienne przyjęte do analiz probabilistycznych
Table 2. Basic variables for probabilistic analysis

Zmienna	Rozkład	Wartość średnia	Odchylenie standardowe
c [°]	N	13	5
ϕ [kPa]	LN	14	2
N_q [m ²]	zdet	3,804	–
N_c [m]	zdet	10,74	–
N_γ [m]	zdet	2,507	–
Q_v [MNm]	zdet	200	–
q [MNm]	zdet $q = Q_v/B$	166,7	–
B [m]	zdet	1,2	–
γ [kN/m ³]	zdet	20	–
p_0 [m]	zdet	18	–

nych oraz dokumentacji geotechnicznych i geologiczno-inżynierskich badanego obszaru. Zdefiniowano parametry jako zmienne losowe oraz wielkości zdeterminowane, a ich wartości przedstawiono w tabeli 2. Korelację c i ϕ przyjęto na poziomie 0,5. Przykładowy wykres częstości w przypadku funkcji stanu granicznego, uzyskany z analiz przeprowadzonych w oprogramowaniu FREET, pokazano na rysunku 3.

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że przyjęte kategorie podatności osuwiskowej analizowanego obszaru są poprawne. Otrzymane wartości prawdopodobieństwa awarii (wskaźnika niezawodności) w przypadku przeprowadzonych analiz wykazały spójność ze zdefiniowanymi kategoriami podatności osuwiskowej badanego obszaru. Dużą i bardzo dużą podatnością osuwiskową charakteryzuje się jego północno-wschodnia część (rysunek 4).

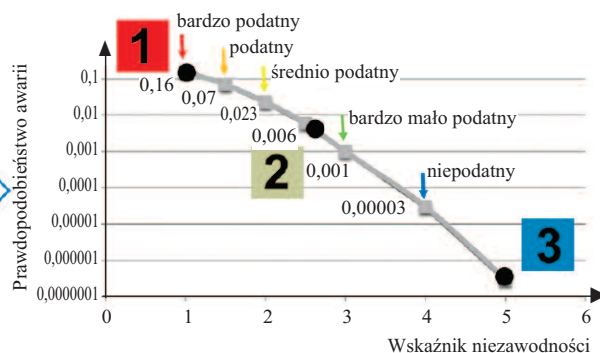
Zastosowanie indeksowej metody statystycznej pozwala na określenie znaczenia poszczególnych czynników geosrodowiskowych. W tabeli 3 przedstawiono współczynnik po-


Rys. 3. Histogram funkcji stanu granicznego
Fig. 3. Histogram for limit state function

Rys. 4. Weryfikacja mapy podatności metodami probabilistycznymi
Fig. 4. Verification of vulnerability map by probabilistic methods
Tabela 3. Zestawienie podatności na osuwanie w przypadku poszczególnych map tematycznych
Table 3. Landslide susceptibility weights for defined classes for individual thematic maps

Kategoria	[A] Obszary osuwisk w kategorii i podkategorii [m ²]	[B] Łączne powierzchnie w kategorii i podkategorii [m ²]	Iloraz [A]/[B]	W_i
Spadki				
0 – 3	20385	136608	0,149	-0,172
3 – 6	81196	491200	0,165	-0,070
6 – 9	119824	764827	0,157	-0,123
9 – 12	120743	711508	0,170	-0,044
12 – 15	95241	504258	0,189	0,064
15 – 18	64935	307985	0,211	0,174
18 – 30	92003	404223	0,228	0,250
> 30	17223	127906	0,135	-0,275
Ekspozycja				
Północ	73826	670474	0,110	-0,476
Południe	294986	1049197	0,281	0,461
Wschód/Zachód	242723	1728795	0,140	-0,233
Odległość od cieków [m]				
0 – 20	30899	345683	0,089	-0,685
20 – 50	90396	479529	0,189	0,062
50 – 100	147596	711111	0,208	0,158
100 – 200	196198	1128987	0,174	-0,020
200 – 1000	146704	783988	0,187	0,054
Pokrycie terenu				
las	700188	1044500	0,670	1,330
urządzenia techniczne	0	1179	0,0008	-5,342
trawiste	828581	1157714	0,716	1,396
ziemia rolna	613493	1014413	0,605	1,227
plantacje	1785	1785	1,000	1,730
sady	20908	44349	0,471	0,978
woda stojąca	0	393	0,0025	-4,244
zabudowa jednorodzinna	77388	172460	0,449	0,929
zabudowa pozostała	0	7224	0,0001	-7,155
Geologia/Predysponowanie na ruchy masowe				
G1	335999	1703814	0,197	0,107
G2	125592	1418012	0,089	-0,694
G3	148410	347180	0,427	0,880
Całkowita powierzchnia [m ²]	3444009,305			
Powierzchnia osuwisk [m ²]	610438			
Osuwiskowość	0,177246327			

datności osuwiskowej badanego obszaru, oszacowany na poziomie 0,18 oraz wartości wag w przypadku poszczególnych map tematycznych uwzględnionych w końcowej analizie.

Analizując cyfrowy model wysokościowy, stwierdzono, że największy udział mają powierzchnie o spadku 3 – 12° oraz 12 – 30°. W miarę zwiększania nachylenia stoków wzrastają wartości współczynnika podatności osuwisko-



wej. Otrzymane wyniki są zbieżne z rezultatami podobnych analiz GIS wykonanych w Beskidzie Niskim w Karpatach, gdzie największą podatność obserwowano na stokach o nachyleniu 9 – 14°.

Istotnym czynnikiem warunkującym powstawanie ruchów masowych jest budowa geologiczna, a przede wszystkim zróżnicowanie litologiczne warstw. Największą podatność na osuwanie mają ility (0,88) oraz gliny pylaste ulegające łatwo rozmyciu (0,11). Kolejnym czynnikiem kontrolującym ruchy masowe są warunki hydrologiczne i hydrogeologiczne. Szczególnie zagrożone są stoki w pobliżu (do 20 m) cieków i zbiorników wodnych ($W_i = 0,68$). Wynika to przede wszystkim z dużej roli, jaką w ruchach masowych odgrywa erozja rzeczna oraz funkcja drenażu. Ekspozycję N i NW należy również wiązać z warunkami hydro-meteorologicznymi. Na stokach północnych dłużej zalega śnieg i dochodzi do zwiększonej infiltracji wód opadowych i roztopowych, stąd większe wartości współczynnika podatności osuwiskowej są w przypadku ekspozycji północnej (0,48 wygenerowane w systemie GIS). Należałoby również przetestować wpływ innych czynników biernych na podatność osuwiskową, np. pierwszego poziomu wodonośnego. Modelowanie podatności należy przeprowadzić jeszcze innymi metodami statystycznymi, np. sieci neuronowych, w celu weryfikacji wyników otrzymanych metodą WoE.

Podsumowanie

Opracowana mapa podatności osuwiskowej przedstawia przestrzenne rozmieszczenie obszarów o różnym stopniu podatności na osuwanie. W zasięgu bardzo dużego zagrożenia znalazły się drogi, budynki mieszkalne oraz lasy. Przeprowadzona analiza podatności osuwiskowej wykazała związek pomiędzy występowaniem osuwisk a czynnikami pasywnymi, takimi jak budowa geologiczna, nachylenie, ekspozycja stoków, odległość od cieków i zbiorników wodnych oraz użytkowaniem terenu. Wykazano, że potencjalnym obszarem występowania osuwisk jest północno-wschodnia i wschodnia część obszaru badań. Największy wpływ na powstawanie osuwisk mają czynniki geomorfologiczne.

Na podstawie wykonanych map stwierdzono, że istnieje wyraźna korelacja pomiędzy mapą podatności a mapą geologii oraz mapą spadków i cieków wodnych. Te czynniki pasywne charakteryzują się największymi współczynnikami podatności osuwiskowej (W_i). Przeprowadzone badania wykazały dużą podatność na osuwanie stoków o nachyleniu 6 – 18° oraz ekspozycji N, NW i NE, zbudowanych z osadów wykazujących zróżnicowanie litologiczne oraz cechujących się obecnością iłłów i gliny oraz przewarstwień skalnych.

Czynnikami silnie determinującymi procesy osuwiskowe są uwarunkowania hydrologiczne, m.in. bliskie położenie wód powierzchniowych (0 – 20 m). Obszary predysponowane do wystąpienia ruchów masowych są związane także z zagospodarowaniem terenu. W efekcie przeprowadzonych analiz ilościowych dotyczących oceny niezawodności nośności podłoża gruntowego stwierdzono poprawność przyjętych kategorii podatności osuwiskowej w przypadku rozważanego obszaru.

Jakościowa metoda Weights of Evidence (WoE), zastosowana do modelowania obszarów podatnych na osuwanie w gminie Niebylec, otwiera dalsze możliwości badań, m.in. uwzględnienie innych czynników biernych do modelowania, takich jak np. pierwszy poziom wodonośny. Otrzymana mapa podatności osuwiskowej jest podstawą do oceny ryzyka osuwiskowego oraz opracowania stopnia wrażliwości na osuwanie. Stopień strat (*vulnerability*) odnosi się do zniszczeń spowodowanych osuwiskowością. Przy ocenianiu wrażliwości należy uwzględniać zarówno elementy potencjalnie podlegające procesowi destrukcyjnemu, jak również dane ekonomiczne. Opracowana mapa podatności osuwiskowej wsi Gwoździanka może być użyteczna do celów zagospodarowania przestrzennego czy planistycznego.

Literatura

- [1] Van Westen, C.J. GIS in landslide hazard zonation: a review with examples from the Andes Colombia. Mountain environments. Geographical Information System. 1994, 132 – 165.
- [2] Van Westen CJ, Rengers N, Soeters R. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. Natural Hazards. 2003, DOI: 10.1023/B: NHAZ. 0000007097.42735.9e
- [3] Van Westen CJ, Van Asch TWJ, Soeters R. Landslide hazard and risk zonation – why is it still so difficult?. Bull. Eng. Geol. Environ. 2006, DOI: 10.1007/s10064-005-0023-0.
- [4] Huabin W, Gangjun L, Weiya X, Gonghui W. GIS-based landslide hazard assessment: an overview. Progress in Physical Geography Earth and Environment. 2005, DOI: 10.1191/0309133305pp462ra.
- [5] Remondo J, Gonzales A, de Teran JRD, Fabbri A, Chung CJ. Validation of Landslide Susceptibility Maps; Examples and Applications from a Case Study in Northern. Natural Hazards. 2003, DOI: 10.1023/B: NHAZ.0000007201.80743. fc.
- [6] Sarkar S, Kanungo DP, Patra AK, Pushpendra K. GIS Based Spatial Data Analysis for Landslide Susceptibility Mapping. J. Mt. Sci. 2008, DOI 10.1007/s11629-008-0052-9.
- [7] Mrozek T, Poli S, Sterlacchini S, Zabuski L. Landslide Susceptibility Assessment: A Case Study from the Beskid Niski Mts., Carpathians, Poland. Polish Geol. Inst. Sp. Pap. 2004, 15: 13-18.
- [8] Kamiński M. Analiza GIS osuwisk dla wybranego obszaru Pogórza Dynowskiego. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. 2006, 16: 279-87.
- [9] Kamiński M, Piotrowska K. Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1: 50 000. ark. Kańczuga wraz z objaśnieniami. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB. Warszawa.
- [10] Kamiński M. Mapa podatności osuwiskowej w skali regionalnej – przykłady z Doliny Sanu na Pogórzu Dynowskim. Biul. Państw. Inst. Geol. 2012, 452: 109-118.
- [11] Wojciechowski T, Borkowski A, Perski Z, Wojcik A. Dane lotniczego skaningu laserowego w badaniu osuwisk – przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty zewnętrzne). Przegląd Geologiczny. 2012, 60: 95-102.
- [12] Świątek A, Indelak K, Mikołajczyk D. Wykorzystanie Indeksowej Metody Statystycznej w wyznaczaniu obszarów zagrożonych ruchami masowymi. Prace Studentckiego Koła Naukowego Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie 2012-2018. 2014: 111-26.
- [13] Skrzypczak I, Kokoszka W, Zientek D, Tang Y, Kogut J. Landslide hazard assessment map as an element supporting spatial planning: The flysch Carpathians region study. Remote Sensing. 2021, DOI: 10.3390/rs13020317
- [14] US ACE, Engineering and design: Introduction to probability and reliability methods for use in geotechnical engineering, U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Technical Letter 1110-2-547, Dept. of the Army, Washington, D.C., 1997.

Badania zostały przeprowadzone w ramach zadania zleconego pn. „Politechniczna Sieć VIA CARPATIA im. Prezydenta RP Lecha Kaczyńskiego” finansowanego z dotacji celowej Ministra Edukacji i Nauki nr umowy MEiN/2022/DPI/2578 działania „ISKRA – budowanie międzyuczelnianych zespołów badawczych.

Przyjęto do druku: 22.11.2023 r.