

Elżbieta PILECKA, Magdalena BIAŁEK, Tomasz MANTERYS

WYNIKI PRÓBNYCH PRZEJAZDÓW AUTA CIĘŻAROWEGO NA SZTUCZNEJ NIERÓWNOŚCI USYTUOWANEJ NA ODCINKU OSUWISKOWYM DROGI KRAJOWEJ NR 75

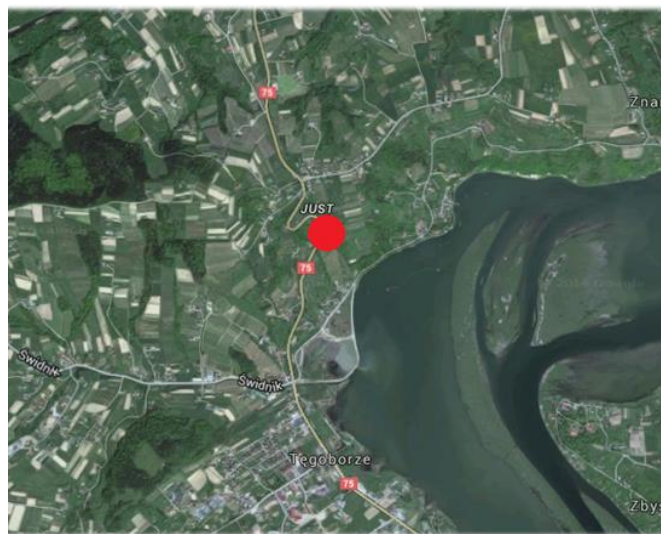
Przedmiotem rozważań w artykule jest wpływ nierówności jezdni asfaltowej powstałych w wyniku ruchów osuwiskowych na bezpieczeństwo poruszających się po niej pojazdów.

WSTĘP

Na osuwisku Tęgoborze – Just w listopadzie 2015r zostały wykonane badania drgań podłoża przy użyciu trójskładowego sejsmometru cyfrowego. Pomiaru wykonano w trzech różnych punktach pomiarowych zlokalizowanych w obrębie drogi krajowej nr 75, która w ostatnich latach uległa poważnym uszkodzeniom wynikającym z ruchów osuwiskowych. Źródłem drgań był przejeżdżający po jezdni asfaltowej samochód ciężarowy. Otrzymane wyniki zinterpretowano i przetworzono w środowisku Matlab. Przeprowadzono transformatę Fouriera przez co zarejestrowane sygnały zostały przedstawione w dziedzinie częstotliwości (widmo amplitudowe). Dla każdego pomiaru określono częstotliwości dominujące, dla których wyznaczono energie fal.

1. OSUWISKO TĘGOBORZE-JUST (DK NR 75)

Teren objęty opracowaniem zlokalizowany jest w województwie małopolskim, w powiecie nowosądeckim, gminie Łososina Dolna. Wieś Tęgoborze składa się z m.in. z przysiółka Just, w którym wystąpiły ruchy osuwiskowe.



Rys. 1.1. Lokalizacja osuwiska Tęgoborze-Just [7]

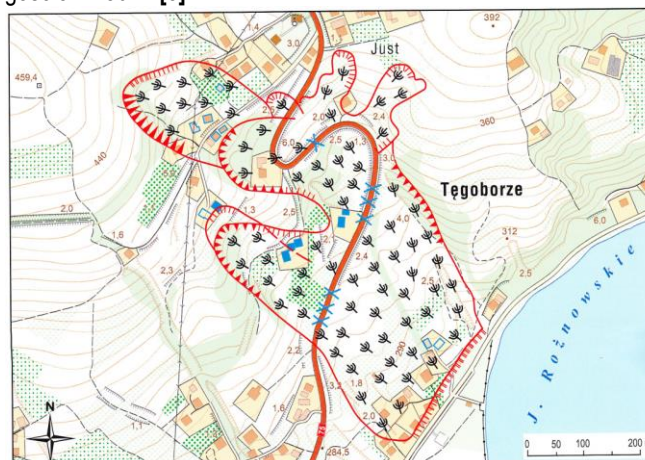
Droga krajowa nr 75, jednojezdniowa, dwupasmowa przebiega przez Przełęcz Świętego Justa, która łączy wzniesienie Jodłowiec z innymi wzniesieniami. Przedmiotowe osuwisko wystąpiło po południowej stronie przełęczy.

Teren objęty opracowaniem pod względem fizyczno-geograficznym położony jest w obrębie:

- Prowincji: Karpaty i Podkarpacie;
- Podprowincji: Zewnętrzne Karpaty Zachodnie;
- Makroregionu: Beskidy Zachodnie;
- Mezoregionu: Beskid Wyspowy.

Powierzchnia terenu objętego opracowaniem jest mocno urozmaicona. Rzędne terenu znajdują się w przedziale od ok. 430 m n.p.m do ok. 267,5 m n.p.m w części dolnej, bezpośrednio nad Jeziorem Rożnowskim. [3]

Osuwisko Tęgoborze-Just można zaliczyć do osuwisk starych, jest to jednak osuwisko aktywne i może zostać w całości określone jako czynne od ponad 50 lat. Osuwisko w ostatnich latach rozwinęło się w glinach o różnej genezie oraz na wychodniach brzeżnej części płaszczowiny magurskiej. Skarpy główne i wtórne charakteryzują się kolistym zarysem (rys.1.2). Powierzchnia osuwiska wg karty dokumentacyjnej wynosi ok. 21,33 ha, szerokość ok. 330 m, długość ok. 780 m [3].



Rys. 1.2. Lokalizacja osuwiska Tęgoborze-Just [2]

Na przełomie maja i czerwca 2010 roku w wyniku silnych opadów burzowych i deszczowych doszło do zasadniczych ruchów grawitacyjnych. W różnych częściach osuwiska doszło do deformacji nieciągłych (rys.1.3). Główna, południowo-zachodnia skarpa

uległa odmłodzeniu oraz przesunęła się w górną część stoku, w kierunku zabudowań. Znaczemu uszkodzeniu w wielu miejscach uległa droga krajowa nr 75 oraz budynki mieszkalne, gospodarcze i letniskowe. Przyczyny osuwających się mas ziemnych w obrębie drogi krajowej mogą zostać również częściowo powiązane z natężonym ruchem ciężkich samochodów.

Zatrzymanie wody opadowej w rowach oraz powyżej i poniżej korpusu drogi powoduje nasączenie i uplastycznianie podłoża korpusu drogi oraz materiału koluwalnego. Okresowe roboty naprawcze częściowo wzmacniają jezdnię natomiast całkowicie jej nie zabezpieczają przed dalszą propagacją uszkodzeń. Jezdnia asfaltowa jest widocznie pofalowana i zdeformowana. Dostrzec można oderwane powierzchnie, w których odsłaniają się fragmenty skały piaskowcowej, prawdopodobnie przemieszanej z materiałem koluwalnym. Z uzyskanych informacji od kierownictwa Rejonu Dróg Nowy Sącz z siedzibą w Podegrodziu (GDDKiA oddział w Krakowie), wynika, iż w ostatnich latach droga na tym odcinku była intensywnie niszczone i deformowana przez ruchy osuwiskowe. Sprzyjało to powstawaniu znacznych szczelin oraz pęknięć podłużnych, których głębokość dochodziła do 5m. Doszło również do częściowej zmiany geometrii drogi, gdzie w wyniku ruchów osuwiskowych powstał dodatkowy łuk, a oś drogi została przesunięta w stronę jeziora nawet do 12m.



Rys. 1.3. Uszkodzenia DK nr 75 [8]



Rys. 1.4. Uszkodzenia DK nr 75 [9]

Na badanym obszarze najprawdopodobniej występuje kilka różnowiekowych płaszczyn poślizgu, które świadczą o wielokrotnym odnawianiu się osuwiska. W różnych częściach osuwiska można zaobserwować świeże szczeliny i powierzchnie oderwania gruntu oraz wały i spiętrzenia materiału koluwalnego. W zagłębieniach terenu gromadzi się woda opadowa i roztopowa tworząca okresowe podmokłości.

Wpływ na aktywność i propagację osuwiska mają infiltrujące wody opadowe. Aktywność osuwisk może zmieniać się w zależności od warunków atmosferycznych oraz zawodnienia gruntów. [3]

2. POMIARY DRGAŃ GRUNTU

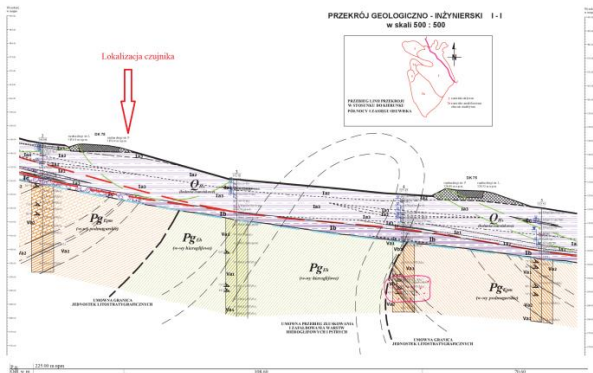
W listopadzie 2015 wykonano pomiary drgań gruntu w obrębie osuwiska Tęgoborze-Just w celu określenia oddziaływania przemieszczających się pojazdów ciężkich na stateczność tego osuwiska. Pomiary sejsmometryczne zostały wykonane przy pomocy cyfrowego sejsmometru Güralp CMG-6TD (rys.2.1). Jest to sejsmometr trójosiowy, składający się z trzech czujników w szczelnej oprawie. Charakteryzuje go wrażliwość na drgania w zakresie częstotliwości 0,033-50Hz. Czułość zapisu amplitudy prędkości drgań sejsmicznych wynosi 2x1200 V/m/s.

Czujniki drgań zostały umieszczone w obrębie opracowanego przekroju geologiczno-inżynierskiego dla dokumentacji osuwiska (rys.2.2). Pomiary przeprowadzono w trzech punktach pomiarowych rozmieszczonych wzdłuż drogi krajowej nr 75. Pierwszy punkt pomiarowy znajdował się w odległości 2m od punktu zgodnego z przekrojem z dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, drugi punkt pomiarowy dokładnie w miejscu przekroju a trzeci w odległości 2m za analizowanym przekrojem. Sejsmometry zainstalowano w odległości 1m od krawędzi jezdni asfaltowej. Szczegółowa lokalizacja sejsmometrów została przedstawiona na rys. 2.3.

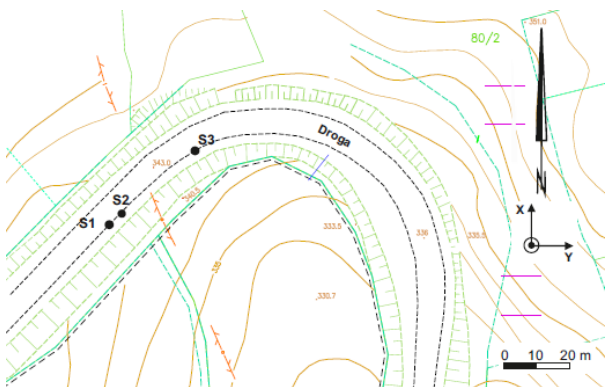


Rys. 2.1. Geofon CMG-6TD firmy Güralp Systems Ltd [10]

Przedmiotem obserwacji były swobodne przejazdy z różną prędkością (rys.2.4) oraz przejazdy samochodu ciężarowego przez przeszkodę zlokalizowaną na jezdni asfaltowej (rys.2.5). Przeszkodę stanowiła deska wywołująca dodatkowe obciążenie dynamiczne na badanym obszarze symulującą nieciągłą deformację wywołaną osuwiskiem.



Rys. 2.2. Lokalizacja miejsca badań – Fragment przekroju geologicznego [3]



Rys. 2.3. Lokalizacja sejsmometrów (S1, S2, S3) oraz ich orientacja pozioma.



Rys. 2.4. Źródło drgań – samochód ciężarowy MAN.



Rys. 2.5. Lokalizacja przeszkody na jezdni asfaltowej.

Rejestracja drgań gruntu została przeprowadzona w systemie ciągłym. Z zarejestrowanych danych wydzielono te fragmenty, które związane były z rozpatrywanymi przejazdami samochodów ciężarowych (tab.2.1).

Tab. 2.1. Zapis przejazdów w zależności od prędkości przejazdu oraz rodzaju nawierzchni dla trzech punktów pomiarowych.

Nr przejazdu	Prędkość	Rodzaj nawierzchni
1	20 km/h	płaska
2	30 km/h	płaska
3	40 km/h	płaska
4	50 km/h	płaska
5	20 km/h	nierówna
6	30 km/h	nierówna
7	40 km/h	nierówna
8	50 km/h	nierówna

3. ANALIZA ZAREJSTROWANYCH SYGNAŁÓW

3.1. Analiza częstotliwościowa sygnałów

Analiza częstotliwościowa znajduje obecnie zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i techniki. Doskonale sprawdza się również przy przetwarzaniu sygnałów cyfrowych. Umożliwia ona określenie częstotliwości składowych sygnału zawartych w przebiegu czasowym tego sygnału. Przedstawienie funkcji w dziedzinie czasu określa wartość tej funkcji w każdej chwili czasu. Przedstawienie funkcji w dziedzinie częstotliwości (widmo sygnału) określa zależność amplitud składowych harmonicznych tej funkcji od częstotliwości tych składowych.

Transformatę Fouriera w nieskończonym przedziale funkcji $x(t)$ o wartościach rzeczywistych lub zespolonych możemy określić wielkością zespoloną:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt$$

Ponieważ transformata $X(f)$ nie istnieje dla granic nieskończonych, można ją zastosować do wartości skończonego przedziału czasu trwania funkcji $x(t)$. Otrzymujemy wówczas transformatę Fouriera w skończonym przedziale czasu $(0, T)$ określoną wzorem:

$$X(f, T) = \int_0^T x(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt$$

Przy przetwarzaniu sygnałów cyfrowych wykorzystuje się procedurę dyskretnej transformaty Fouriera (ang. DFT – Discrete Fourier Transform), której definicję dla ciągu N – próbek $x(k\Delta t)$, $0 \leq k \leq N-1$ możemy zapisać w następujący sposób:

$$X(n\Delta f) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(n\Delta f) \cdot e^{-j2\pi \Delta f \cdot k\Delta t \cdot n}, \quad k \in 0, 1, \dots, N-1$$

gdzie:

Δt – interwał próbkowania w dziedzinie czasu,

$\Delta f = \frac{1}{N\Delta t}$ – interwał próbkowania w dziedzinie częstotliwości,

k – kolejny numer próbek w dziedzinie czasu,

n – kolejny numer próbek w dziedzinie częstotliwości.

Zarówno $x(n\Delta f)$ jak i $X(n\Delta f)$ mogą być liczbami zespolonymi:

$$X(n\Delta f) = a(n\Delta f) + jb(n\Delta f)$$

gdzie:

$a(n\Delta f)$ – składowa cosinusoidalna,

$b(n\Delta f)$ – składowa sinusoidalna.

Dyskretna transformata Fouriera, choć jest aproksymacją transformaty ciągłej, zachowuje jej właściwości.

Dzięki szybkiej transformacie Fouriera (ang. FFT – Fast Fourier Transform), znacznie przyspieszającej obliczenia można przy użyciu inżynierskich programów komputerowych dokładnie i szybko ocenić z jakich składowych częstotliwościowych dany sygnał się składa. FFT umożliwia realizację DFT rzeczywistych sygnałów w

czasie realnym, na bieżąco. Należy przy tym pamiętać, że FFT nie jest przybliżeniem DFT i jest mu równoważny. Metody FFT polegają na rozłożeniu wartości N na czynniki składowe, które są różne od jedności i przeprowadzeniu transformaty Fouriera nad zmniejszoną liczną wyrazów w każdym z czynników składowych. [1]

Analizę częstotliwościową badanych sygnałów zinterpretowano i przetworzono przy pomocy środowiska Matlab. W programie tym szybka transformata Fouriera realizowana jest przez polecenie *fft*:

$$X = \text{fft}(x)$$

gdzie:

x – sygnał cyfrowy w dziedzinie czasu;

X – sygnał w dziedzinie częstotliwości (widmo sygnału).

3.2. Energia fali

Aby dokonać obliczeń, zarejestrowany sygnał został podzielony na sygnał punktowy o małym kroku czasowym. Po uzyskaniu maksymalnej amplitudy dla danego sygnału, w jej obrębie wydzielono pięćdziesiąt odczytów prędkości. Uzyskane w ten sposób próbki prędkości zostały podniesione do kwadratu i pomnożone przez krok czasowy danego sygnału. Otrzymane wyniki zostały zsumowane i uzyskano energię fali danego sygnału. Czynność ta została powtórzona dla wszystkich zarejestrowanych sygnałów.

Poniżej przedstawiono wzór na energię fali wykorzystywany przy obliczeniach:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} v^2 dt$$

gdzie:

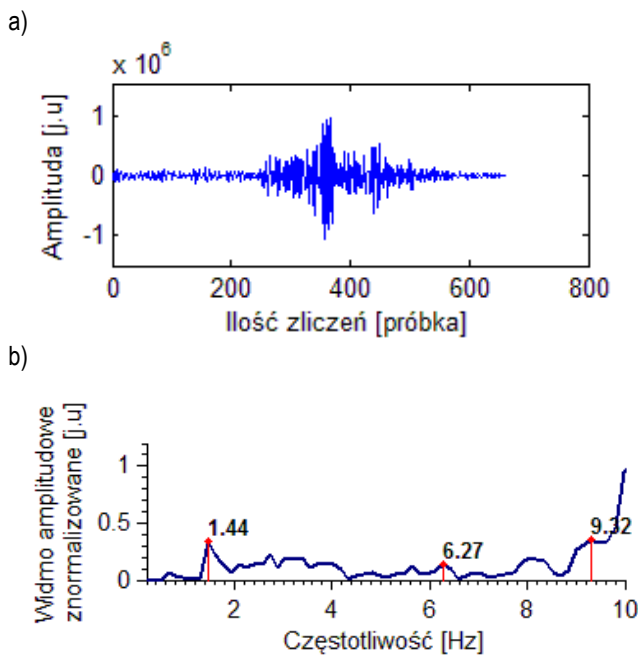
$V(t)$ - prędkość drgań [m/s],

t_1 – początek fragmentu sygnału zawierającego energię użyteczną,

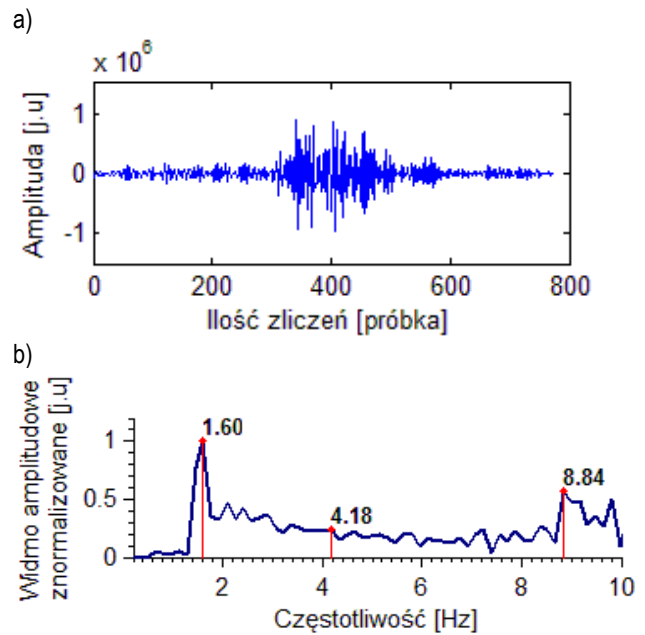
t_2 – koniec fragmentu sygnału zawierającego energię użyteczną.

3.3. Wyniki badań

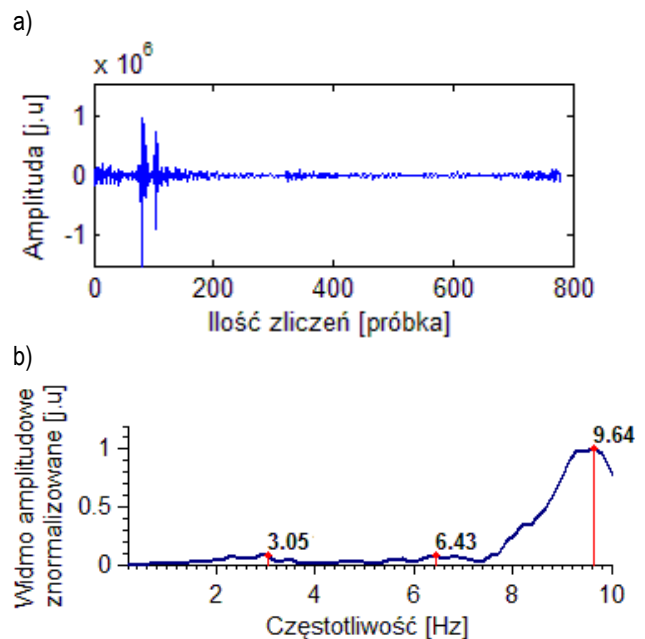
Przeprowadzone pomiary dały miarodajne wyniki wyłącznie w drugim punkcie pomiarowym przy prędkości samochodu ciężarowego wynoszącej 20km/h.



Rys. 4.1. Zarejestrowany szum sejsmiczny (a) wraz z jego widmem amplitudowym (b) w punkcie pomiarowym nr 2 dla prędkości samochodu ciężarowego 20km/h – przejazd pierwszy, rodzaj nawierzchni-płaska.



Rys. 4.2. Zarejestrowany użyteczny szum sejsmiczny (a) wraz z jego widmem amplitudowym (b) w punkcie pomiarowym nr 2 dla prędkości samochodu ciężarowego 20km/h – przejazd drugi, rodzaj nawierzchni - płaska.



Rys. 4.3. Zarejestrowany użyteczny szum sejsmiczny (a) wraz z jego widmem amplitudowym (b) w punkcie pomiarowym nr 2 dla prędkości samochodu ciężarowego 20km/h – przejazd trzeci, rodzaj nawierzchni – nierówna (z przeszkodą).

Tab. 4.1. Zestawienie poszczególnych wyników w zależności od przejazdu oraz rodzaju nawierzchni.

	Częstotliwość dominująca [Hz]	Amplituda [m/s]	Energia fali [J]
Punkt pomiarowy nr 2, przejazd pierwszy, nawierzchnia płaska	1,44	2,1453E-08	2,79E-09
	6,27	8,2977E-09	1,21E-09
	9,32	6,3639E-08	1,25E-08
Punkt pomiarowy nr 2, przejazd drugi, nawierzchnia płaska	1,60	7,0281E-08	3,96E-09
	4,18	2,5549E-08	2,30E-09
	8,84	4,0478e-08	1,28E-08
Punkt pomiarowy nr 2, przejazd trzeci, nawierzchnia płaska	3,05	1,3773e-08	1,18E-08
	6,43	1,2962e-08	1,13E-08
	9,64	1,6901E-07	7,19E-07

Otrzymane wyniki pokazują, że przy przejeździe samochodu ciężarowego po nawierzchni płaskiej uzyskujemy stosunkowo niską częstotliwość dominującą - 1,44 lub 1,60 Hz (rys. 4.1(b), 4.2(b)). Jeżeli natomiast weźmiemy pod uwagę przejazd ciężarówki po nawierzchni nierównej, częstotliwość dominująca znacząco wzrasta – do 9,64 Hz (rys. 4.3(b)). Podobną tendencję wykazuje również energia fali wyznaczona dla każdego z trzech przejazdów samochodu ciężarowego. Niewątpliwie wraz ze wzrostem amplitudy wzrasta wartość energii fali. Największa wartość energii została wyznaczona dla przejazdu nr 3, po nierównej nawierzchni i wynosi - 7,19E-07 J.

PODSUMOWANIE

W wyniku procesów osuwiskowych w sąsiedztwie jakichkolwiek ciągów komunikacyjnych należy liczyć się z ich uszkodzeniami. W omawianym wyżej przypadku uszkodzenia drogi krajowej nr 75 w miejscowości Tęgoborze – Just okazały się dość rozległe, gdyż przebiega ona w centralnej części osuwiska. Celem artykułu było zbadanie jaki wpływ na drogę wywierają nierówności nawierzchni asfaltowej powstałe w wyniku osuwających się mas ziemnych. Wykonane badania pokazują, że wraz z pojawieniem się przeszkody na jezdni przy przejeździe samochodu dochodzi do powstawania fal o większej energii niż w przypadku przejazdu po nawierzchni

płaskiej (bez przeszkody). Zwiększona energia niewątpliwie może przyczynić się do dalszej destrukcji drogi.

BIBLIOGRAFIA

1. Bendat J. S., Piersol A. G. *Metody analizy i pomiary sygnałów losowych*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1976;
2. Chowaniec J., Wójcik A., *Osuwiska w województwie małopolskim. Atlas – przewodnik* Wydawnictwo Kartograficzne Compass, s. 89-91, Kraków 2012;D
3. *Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla opracowania systemu zabezpieczenia strefy osuwiskowej nr MPL0051, w ciągu drogi krajowej nr 75 od 51+900 do 52+700 w miejscowości Tęgoborze-Just*, Zakład Usług Geologicznych i Projektowych Budownictwa i Ochrony Środowiska – GEOTECH, Kraków 2011;
4. Pilecki Z., Harba P., *Wstępne wyniki badania budowy i właściwości osuwiska metodą interferometrii sejsmicznej z wykorzystaniem wysokoczęstotliwościowego szumu sejsmicznego*, Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, nr 89, Kraków 2015;
5. Sobkowski J. *Częstotliwościowa analiza sygnałów*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa 175;
6. Wójcik A., Nowicka D., *Karta dokumentacyjna osuwiska numer ewidencyjny 12-10-102, numer roboczy osuwiska 14*, Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, 2010;
7. <https://www.google.pl/maps>
8. <http://nowysacz.naszemiasto.pl/artukul/zagrozona-droga-z-nowego-sacza-do-krakowa,434398,art,t,id,tm.html>;
9. <https://www.gddkia.pl>
10. <https://www.guralp.com>

The results of test runs of the truck on artificial inequalities situated on landslide section of national road No. 75

On landslide Tęgoborze - Just in November 2015 they were made vibration test substrate using three-component digital seismometer. Measurements were taken at three different measuring points located within the national road No. 75, which in recent years has been serious damage resulting from the movements of landslide. The source of the vibration was passing on the road truck. The results were interpreted and processed in Matlab. Fourier transform performed by the registered signals which are presented in the frequency domain (spectrum). For each measurement specified dominant frequency, with a scheduled waves power. The subject of discussion in the article is the impact of uneven road caused by movements of landslide on the safety of traveling in the vehicle.

Autorzy:

dr hab. inż. **Elżbieta Pilecka**, prof. PK – Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Mechaniki Budowli, Katedra Współdziałania Budowli z Podłożem
mgr inż. **Magdalena Białek** – Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Mechaniki Budowli, Katedra Współdziałania Budowli z Podłożem
mgr inż. **Tomasz Manterys** – Zarząd Dróg Wojewódzkich w Krakowie