

## Bezpieczeństwo ekologiczne oraz niezawodność eksploatacyjna obiektów budowlanych na terenach poddanych wpływom osuwisk

Walery Wysoczański<sup>1</sup>, Stanisław Fic<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Wyższa Szkoła Bezpieczeństwa i Organizacji Pracy w Radomiu  
13/19, ul. Mokra, Radom, 26-600

[wyswal@wp.pl](mailto:wyswal@wp.pl), [orcid.org/0000-1008-1955-1962](https://orcid.org/0000-1008-1955-1962)

<sup>2</sup>Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury  
40, st., Lublin, 20-618, [s.fic@pollub.pl](mailto:s.fic@pollub.pl), [orcid.org/0000-1410-1917-2017](https://orcid.org/0000-1410-1917-2017)

**Adnotacja.** We współczesnym świecie występuje intensywna ingerencja antropogeniczna w środowisko naturalne i wywołuje ona zjawisko aktywizacji procesów egzogenicznych. Ogromne straty można zaobserwować na różnego typu budowlach, jak na rysunku 1. Przy tym zniszczeniu ulegają domy, budowle przemysłowe, różnego typu drogi, trasy kolejowe, linie elektryczne, rurociągi itp.

Osuwiska, lawiny, zaktywizowane trzęsienia ziemi powodują coraz poważniejsze zniszczenia w/w obiektów. Sposobem na zapobieganie efektem tych oddziaływań jest przewidywanie ich przebiegu i zawiadomienie o niebezpieczeństwie: zniszczeń, awarii katastrofy globalnej, etc. Jedną z metod badania dynamiki osuwisk, jak i zjawisk tego typu, mogą być badania akustoreologiczne.

**Słowa kluczowe:** akustoreologia, osuwisko, naprężenia, procesy egzogeniczne, bezpieczeństwo ekologiczne.

Nagle przemieszczenie się mas ziemnych, powierzchniowej zwietrzliny i mas skalnych podłoża spowodowane jest najczęściej siłami przyrody lub działalnością człowieka (podkopanie stoku lub jego znaczne obciążenie).

Zjawisko to zwane jest osuwiskiem, czyli ruchami masowymi, polegającymi na przesuwaniu się materiału skalnego, lub



**Walery Wysoczański**  
Wykładowca akademicki  
Instytutu Budownictwa  
Dr inż.



**Stanisław Fic**  
Kierownik katedry Budownictwa  
Ogólnego  
Dr hab, Prof.

zwietrzelinowego, wzdłuż powierzchni poślizgu, (na której nastąpiło ścięcie), połączone z obrotem.

Ruch ogromnych mas gruntu zachodzi pod wpływem siły grawitacyjnej. Osuwiska są szczególnie częste w obszarach o sprzyjającej im budowie geomorfologicznej, gdzie w warstwach gruntów przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych występują naparzenia zmienne.

Miejsca występowania osuwisk, to naturalne stoki, zbocza dolin i zbiorników wodnych oraz obszary źródłowe rzek (gdzie erozja wsteczna zwiększa spadek terenu), skarpy wykopów, nasypów oraz wyrobisk.

Ostatnie są zaktywizowane ingerencją w naturę człowieka, czyli wpływami antropogenicznymi.

### PRZYCZYNY POWSTAWANIA OSUWISK I ICH ZAPOBIEGANIE

- Wzrost wilgotności gruntu spowodowany długotrwałymi opadami lub roztopami;
- Podcięcie stoku przez erozję, np. w dolinie rzecznej lub w wyniku działalności człowieka, np. przy budowie drogi;
- Nadmierne obciążenie stoku, np. przez zabudowę;
- Wibracje związane np. z robotami ziemnymi, ruchem samochodowym, eksplozjami, trzęsieniem ziemi.

Stateczność zboczy jest jednym z podstawowych zagadnień geotechniki. Zbocze jest stateczne, gdy nie występują w nim ruchy masowe, takie jak osuwiska czy zsuwy. Miarą stateczności jest stosunek sił lub momentów sił dążących do zachowania równowagi, do sił lub momentów sił, dążących do osunięcia.

Ocena stateczności skarp i zboczy polega na wyznaczeniu minimalnego wskaźnika stateczności  $F$  i porównania go ze wskaźnikiem dopuszczalnym dla danej konstrukcji ziemnej, np. nasypu drogowego.

Zbocze jest uważane za stabilne, gdy  $F > 1$ , czyli siły stawiające opór przemieszczeniu są większe niż siły dążące do przemieszczenia mas gruntu, jednak wymagane wskaźniki dla różnych budowli wahają się zazwyczaj w granicach 1,2...1,5.

Zagadnienie oceny stateczności skarp i zboczy obejmuje analizę statyczną i dynamiczną stabilności zboczy: zapór, nasypów, wykopów itd. W przypadku zboczy zbudowanych z gruntów luźnych mogą rozwijać się sferyczne strefy charakteryzujące się osłabioną wytrzymałością.

Prawdopodobieństwo tego zdarzenia można przewidzieć posługując się prostymi pakietami do analizy dwuwymiarowej. Podstawową trudnością w analizie stateczności zboczy jest ustalenie miejsca najbardziej prawdopodobnych przemieszczeń oraz znajomość warunków wodnogruntowych.

Wiele osuwisk może być analizowanych jedynie po wypadkach, które następują, gdy siły prowadzące do przemieszczenia przekraczają stabilizujące siły tarcia w gruncie.

### Skutki osuwisk

Skutkami osuwisk często są zniszczenia w infrastrukturze, domach, nieraz w całym ekosystemie. Osuwiska powodują rozległe w skutkach zniszczenia, wynikające z ogromnej, niszczącej siły, której budowie nie są w stanie przetrwać. Zjawisko to można porównać do działania buldożera uderzającego z dużą prędkością i masą w nieruchomy obiekt.

### Osuwiska w Polsce

Osuwiska w Polsce występują najczęściej w Beskidach. Rzadziej w Sudetach czy na skarpie wiślanej. Tak w roku 2010 tylko w Małopolsce wystąpiło ponad 1300 osuwisk. Głównie: w gminie Lanckorona – powiat wadowicki. Więcej niż 100 przypadków!

W powiecie limanowskim, gmina Laskowa około 30 przypadków, a w powiecie nowosądeckim około 200 przypadków. Głównie w gminie Łososina Dolna, aż około 111. W gminie Gródek nad Dunajcem zostało zniszczonych około 65 domów i uszkodzonych i zagrożonych uszkodzeniem zostało ponad 1000 domów. Około 500 osób przesiedlono.

Osuwiska uszkodziły również budynki i infrastrukturę w powiecie myślenickim (prawie 90 osuwisk), wielickim, nowosądeckim (ponad 50), nowotarskim, oświęcimskim, suskim (głównie w Zembrzycach), tarnowskim, bocheńskim, brzeskim, miechowskim oraz w Krakowie i Nowym Sączu.

Z powodu ulewnych opadów droga 975 całkowicie osunęła się do Jeziora Rożnowskiego w Kurowie i osunęło się również zbocze krakowskiego kopca Piłsudskiego.

W czerwcu uaktywniły się następne osuwiska. W Kłodnem zniszczonych zostało 30 budynków, a kolejne zostały zagrożone. Z wioski ewakuowano 434 osoby.



**Rys.1.** Osuwisko w Kolonii Prusów koło Milówki (Śląskie) 6 września 2010 r. [20]

**Fig.1.** Landslide in Colony Prusów near Milówki (province śląskie) 6 september 2010 [20]

Uaktywniły się także osuwiska w miejscowości Łapszanka i Szczawnica w powiecie nowotarskim, w Mniszku nad Popradem oraz w gminie Tuchów, gdzie doszło przez to, do wykolejenia pociągu osobowego.

W Krzeczowie osuwisko na kilka godzin zatarasowało drogę krajową nr 7, podobnie w Tenczynie. Osuwiska nastąpiły również na wielu innych drogach, które zostały czasowo zamknięte (m.in. na drogach krajowych: w Radoczy, Czchowcie, Wytrzyśczech, czy w Muszynie). Na Podkarpaciu zagrożonych nimi pozostało ponad 240 budynków i kilkanaście mostów. Najbardziej zagrożone tereny to powiaty: jasielski, strzyżowski (145 budynków), dębicki (52 budynki), rzeszowski (23 budynki). W 2001 roku osuwisko w Lachowicach zniszczyło 15 zabudowań mieszkalnych, osuwisko w Jachówce zagraziło osiedlu Starczówka natomiast osuwisko w Nowym Sączu zniszczyło kilka zabudowań mieszkalnych i gospodarczych. Zagrożenie osuwiskami rośnie niestety gwałtownie.

### Metody zapobiegania osuwisk

Osuwiskom, jak wiadomo, można zapobiegać poprzez odwodnienie mało stabilnego terenu, zagęszczanie gruntu, poprzez wbijanie pali, zagęszczenie stabilnym kruszywem.

Naturalnym sposobem zwiększania stateczności zboczy jest sadzenie drzew, które mają bardzo dobrze rozwinięty system korzeniowy zwiększający stateczność gruntu. Osuwisko w Kolonii Prusów, koło Milówki (6 września 2010), pokazano zostało na Rys.1, a osuwisko w 2001 r. w San Salvador, pokazano na Rys.2.

### OPRACOWANIE PODSTAW TEORETYCZNYCH AKUSTYCZNEJ METODY BADANIA DYNAMIKI OSUWISK

O możliwościach stosowania fal UZ do badań procesów reologicznych, mówiono już od połowy lat 60-tych ubiegłego stulecia [1 – 3, 11]. Jeden z autorów zaproponował już w latach 70-tych badać dynamikę naprężeń tą





**Rys.2.** Osuwisko w San Salvador 2001 r. [21]

**Fig.2.** Landslide in San Salvador 2001 [21]

metodą w rurociągu, w ciele osuwiska [7, 8, 14].

Niebawem, wspólnie z A. N. Bielonienco, doszedł on do wniosku o możliwości badania dynamiki osuwiska za pomocą fal akustycznych, stosując model Naviera-Stokesa [2, 14].

W latach 60-tych XX w. w nauce zostało stwierdzono, że zmiany właściwości fizycznych warstw na powierzchni płynącego masywu błotnego, można zbadać za pomocą metod akustycznych, stosując fale Rayleigh'a. Badania, tego typu falami UZ, jak i niektórymi innymi, stosowano w technice dużo wcześniej.

Wiadomo jednak, że natura osuwisk skalnych oraz zachodzące w nich procesy reologiczne są nieco odmienne od osuwisk piaszczystych i błotnych [4...6, 10]. Do badania jednorodnych mas osuwiskowych o dużej lepkości metody akustyczne stosować jest łatwiej. Stwierdzono, że wykorzystanie metod akustycznych fizycznych, ich wzmocnienie poprzez modelowanie matematyczne oraz symulację komputerową,

może być też stosowane np. do badania niezawodności eksploatacji obiektów liniowych, m.in. rurociągów zagrożonych osuwiskiem [7...9].

Ważny jest przy tym zarówno sposób wytwarzania i wprowadzania fal, wybór ich typu [12], jak i poprzedzające badanie podstaw teoretycznych procesu sondowania ciała osuwiska [15...17, 19]. Bardzo ważnym jest ustalenie odpowiedniego modelu matematycznego itp.

Zbadanie naprężeń w osuwającym się gruncie, mechanizmu oddziaływania gruntu oraz współpraca z rurą w ciele osuwiska lub wyprowadzonego na jego powierzchnię, jest bardzo ważne dla bezpieczeństwa eksploatacji. Do diagnozowania naprężeń w ścianie samej rury, pracującej w ciele osuwiska, jak również i wyprowadzonym na powierzchnię osuwiska, można stosować różne podejścia naukowo-praktyczne. Zastosowanie aktualnych fal akustycznych, realizacja teorii akustospężystości, w tworzeniu modeli fenomenologicznych, wybór prawidłowych

równań deterministycznych, jest przy tym zadaniem arcyważnym.

W ramach badań kompleksowych osuwisk, ten że współautor zajmował się i badaniem naprężeń w osuwisku na podstawie zmian potencjału elektrycznego na powierzchni (początek lat 80. ubiegłego wieku). Wiele zgromadzonych wówczas materiałów potwierdziło dobrą korelację między potencjałem elektrycznym i naprężeniami w osuwisku.

Metoda ta została zaakceptowana przez UAN. Z powodu ograniczonych środków na badania, teoretyczno-praktyczne, metody tej nie wdrożono w przemyśle. Podkreślić jednak należy jej wysoką przydatność do badań w ekstremalnych warunkach polowych.

Podobne badania symulacyjne procesów reologii materiałów, sprężysto-plastycznych, plastycznych i hiperplastycznych deformacji materiałów prowadził, w latach 90-tych Stanisław Jemiolo (PW). Dyssypację energii podczas deformacji plastycznych z wykorzystaniem termowizji badała w latach 90-tych ubiegłego stulecia także i Wiera Oliferuk (IPPT, PAN), a wcześniej, tam, że badania anizotropii materiałów, z zastosowaniem fal ultradźwiękowych, prowadził akustyk-praktyk prof. Julian Deputat.

Jeden z autorów niniejszego opracowania wykazał, że otrzymane dane pozwoliły uznać metodę akustyczną jako priorytetową w badaniach dyssypacji energii, w tym i w procesach reologicznych, zachodzących w osuwiskach.

Badanie dynamiki osuwiska poprzez poznanie podstaw teoretycznych procesu dyssypacji energii można przeprowadzać, stosując znane równanie Naviera - Stokesa.

Ciało osuwiska rozpatrywane jest, jako wszechstronnie ściśnięte-rozszerzone gęste środowisko, uwzględniając jego ruch z prędkościami bardzo zróżnicowanymi w ciągu roku nawet do jednej minuty. Jako parametry wystarczająco informatywne wybrane zostały lepkości poślizgowa oraz objętościowa.

Stosując jako parametr informacyjny, bazową lepkość objętościową i współczynnik wzięty z równania Naviera-Stokesa, można

badać ruch masy osuwającej się z prędkością od jednego mikrometra na godzinę.

Ponieważ lepkość objętościowa może być nie tylko porównywalna z lepkością poślizgową, ale i być większa od niej o kilka rzędów wielkości, to nawet przy niewielkich zmianach gęstości masywu izotropowego czy quasi-izotropowego (lub odrębnych części obsuniętego masywu), naprężenia we wszystkich kierunkach (3D) mogą być bardzo wielkie.

Z tego względu, charakteryzując ruch osuwiska jako prąd gęstej o bardzo wysokiej lepkości masy, wspomniane wyżej równanie Naviera-Stokesa, w wypadku ogólnym, wygląda następująco:

$$\rho \frac{dv^i}{dt} = g^{ij} \left\{ -\nabla_i P \nabla_j \left[ \left( \eta_v - \frac{2}{3} \eta_s \right) \nabla_n v^n \right] + \right. \\ \left. \eta_s \nabla_j \nabla_n v^n \right\} + g^{ij} \nabla_n \eta_s \nabla_j v^n + g^{mn} \nabla_n \left( \eta_s \nabla_m v^i \right), \quad (1)$$

gdzie:

$\rho$  – gęstość masywu gruntu osuwiska;

$v^i$  – prędkość płynięcia gruntu;

$\eta_v, \eta_s$  – współczynniki lepkości objętościowej oraz poślizgowej;

$g_{ij}$  – tensor metryczny.

Zmienne człony równania charakteryzujące ściskanie:

$$\nabla_n v^n = -\frac{1}{\rho} \times \frac{d\rho}{dt} \quad (2)$$

zaczynają mieć znaczenie w ostatnim równaniu pod warunkiem, że entropia:

$$S = \frac{\left| \text{grad} \left[ \left( \eta_v - \frac{2}{3} \eta_s \right) \nabla_n v^n \right] + \eta_s \text{grad} \left( \nabla_n v^n \right) \right|}{|\text{grad } P|} \quad (3)$$

będzie bliska 1.

Rozpatrując dynamiczny proces osuwiskowy, jako ustalony ruch jednowymiarowy:

$$(v^i) = (U(X), 0, 0) \quad (4)$$

oraz współczynniki lepkości o wartościach stałych, mamy:

$$\left| \text{grad} \left[ \left( \eta_v - \frac{2}{3} \eta_s \right) \nabla v_n \right] + \eta_s \text{grad} (\nabla_n v^n) \right| = \left( \eta_v + \frac{1}{3} \eta_s \right) \left| \omega \left( 2 \frac{\rho x^2}{\rho^2} - \frac{\rho_{xx}}{\rho} \right) \right|. \quad (5)$$

Jeżeli pominąć  $\rho_{xx}$  i uwzględnić, że:

$$\frac{\rho_{1x}}{\rho P_x} = \frac{1}{\rho} \frac{dP}{d\rho} = \frac{1}{\rho c^2} = \beta, \quad (6)$$

gdzie:

$c$  – prędkość rozchodzenia się fali w środowisku sprężystym (ciele osuwiska);

$\beta$  – jego uciskalność, to otrzymamy:

$$\begin{aligned} S &= 2 \left( \eta_v + \frac{1}{3} \eta_s \right) \frac{|P_{1x}''|}{\rho^2 c^4} = \\ &= 2 \left( \eta_v + \frac{1}{3} \eta_s \right) \frac{1}{\rho^2 c^4} \left| \frac{\Delta P}{\Delta L} U \right| = \\ &= 2 \left( \eta_v + \frac{1}{3} \eta_s \right) \beta^2 \left| \frac{\Delta P}{\Delta L} U \right|. \end{aligned} \quad (7)$$

Dla ustalonego płynięcia gruntu, przy jednostajnym ruchu ( $\eta_v$  i  $\eta_s$  – są zmiennymi), parametr  $S$  zmienia się istotnie.

Na przykład, jeżeli:

$$\eta_s = \eta_{s_0} e^{\alpha P} (\alpha > 0); \eta_v = \eta_{v_0} e^{\alpha P},$$

$$\text{to } |S_1 - S_2| \leq S \leq S_1 + S_2, \quad (8)$$

gdzie:

$$S_1 = 2 \left( \eta_v + \frac{1}{3} \eta_s \right) \beta^2 \left| \frac{\Delta P}{\Delta L} U \right|, \quad (9)$$

$$S_2 = \left( \eta_v + \frac{2}{3} \eta_s \right) \alpha \beta \left| \frac{\Delta P}{\Delta L} U \right|. \quad (10)$$

Scharakteryzujemy proces obsunięcia poprzez entropię:

$$\begin{aligned} \rho T \frac{dS}{dT} &= \eta_v (\nabla v^n)^2 + 2 \eta_s e^{S_{ij}} + e_{ij}^S + \\ &+ g^{ij} \nabla_j (k \nabla_j T) + \varepsilon = \eta_v (\nabla v^n)^2 + \Phi, \end{aligned} \quad (11)$$

gdzie:

$T$  – temperatura absolutna;

$S$  – entropia;

$e_{ij}^s$  – część bezśladowa tensora prędkości

deformacji;

$k$  – współczynnik przewodnictwa ciepła;

$\varepsilon$  – dopływ ciepła niezwiązany z lepkością i przewodnictwem ciepła.

Wprowadźmy parametr charakteryzujący wydzielenie ciepła kosztem deformacji wszechstronnej:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{k S_1}{\left| 2 \rho T \frac{dS}{dT} \text{sign}(U_1 \rho_{1x}) - k S_1 \right|} = \\ &= \frac{k S_1}{\left| 2 \rho \left( \frac{dU}{d\rho} - \frac{P}{\rho} \beta \right) \text{sign}(U_1 \rho_{1x}) - k S_1 \right|}, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{gdzie: } k = \frac{\eta_v}{\left( \eta_v + \frac{1}{3} \eta_s \right)}. \quad (13)$$

Przy dyssypacji energii, czyli wydzieleniu ciepła, rolę lepkości objętościowej wyznacza się, zatem parametrem  $S$ . Jeżeli entropia jest mniejsza od 1, to wydzielenie ciepła też jest mniejsze od 1, a jeżeli entropia jest większa od 1, to wydzielenie ciepła zbliża się do 1.

Przy niektórych reżimach ruchu osuwiska:

$$\left( \left| 2 \rho \left( \frac{dU}{d\rho} - \frac{P}{\rho} \beta \right) \text{sign}(U_1 \rho_{1x}) - k S_1 \right| \sim 0 \right) \quad (14)$$

procesy wydzielenia ciepła wskutek zmiany objętości stają się decydujące.

Wracając do parametru  $S$ , zaznaczyć należy, że gdy grunt osuwiska charakteryzuje się wysoką lepkością ( $\eta_v \approx 10^{16} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ), wpływ lepkości objętościowej będzie się objawiał już przy skokach ciśnienia:

$$\frac{\Delta P}{\Delta L} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ MPa/m} \quad (15)$$

i prędkościach spęłzania gruntu  $L > 20$  cm/rok.  
Równanie:

$$S = 2 \left( \eta_v + \frac{1}{3} \eta_s \right) \frac{U}{\rho^2 c^4} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta L} \quad (16)$$

jest przydatne do oceny jakościowej procesów dynamicznych zachodzących w osuwiskach.

Metodą sondowania falowego ciała osuwiska czy masywu gruntu, można badać w zakresie znacznych gradientów ciśnienia. Dobierając częstotliwość nadajnika, można je uzyskać na jednej długości fali.

W tym przypadku można zbadać wpływ zmiany lepkości objętościowej na absorpcję amplitudy oscylacyjnego sygnału akustycznego sondującego ciało osuwiska. To znaczy, że parametry osuwisk można badać opornościowymi metodami akustycznymi.

Istota tej metody akustycznej polega na rejestrowaniu zmiany rezonansowej częstotliwości podłużnych, zginających i skręcających fal akustycznych, przy wprowadzeniu ich do masywu osuwiska. Zależność zmian częstotliwości rezonansowych od charakterystyk fizycznych ciała osuwiska można określić wzorem:

$$\Delta f_{in} = \varphi(A_i, f_{in}, E, \nu, S), \quad (17)$$

gdzie:

$\Delta f_{in}$  – zmiana częstotliwości rezonansowej;

$f_{in}$  – częstotliwość nadajnika na kontakcie z ciałem osuwiska;

$i = I, II, III$  – indeks odpowiedni do typu fal nadajnika;

$n = 1, 2, \dots$  – liczba całkowita odpowiadająca liczbie porządkowej częstotliwości rezonansowej;

$A_i$  – wielkości charakteryzujące nadajnik;

$E, \nu$  – współczynniki Younga oraz Poissona charakteryzujące osuwisko;

$\varphi_i$  – charakterystyka zmiany częstotliwości fal;

$S$  – pole kontaktu nadajnika z masywem osuwiska.

Na zakończenie artykułu, powiedzieć należy, że realizacja tej metody badań dynamiki osuwisk pozwoliłaby uprzedzić niebezpieczne dla rurociągów oraz innych obiektów liniowych, zagrożenia awariami i katastrofami.

Metody sondowania różnego typu falami biernymi służą, już od wielu lat, skutecznie i rezultatywnie w geofizyce. Opracowane poprzez autorów urządzenia oraz metodyki, pozwalają na uzyskanie cennej informacji geotechnicznej dotyczącej osuwisk itp.

Opracowanie nowych metod w omawianym kierunku zasługują na uwagę naukowców i praktyków. Pomogą one w rozwiązaniu, bardzo ważnych dla gospodarki krajowej i zagranicznej, problemów bezpieczeństwa eksploatacyjnego obiektów energetycznych i wielu innych budowli, na terenach zagrożonych osuwiskami i nie tylko.

## WNIOSKI

Analiza naukowo-teoretyczna oraz przeprowadzone eksperymenty w warunkach laboratoryjnych, ich sprawdzenie w warunkach terenowych, weryfikacja i walidacja, wykazały, że w celu badania zjawisk spęłzania gruntu i dynamiki osuwisk należy stosować podejście trybologiczne.

Z analizy zjawiska dyssypacji energii przy ściskaniu ciała osuwiska oraz opracowań uczonych rozwijających technicznie państw wynika, że przydatnym może być równanie Naviera-Stocesa.

Na podstawie wzorów, badając znaczenia wyżej wymienionych współczynników, można dokonać klasyfikacji zmian zachodzących w cieple osuwiska.

Stosując doświadczenie zawodowe, naukowo-badawcze oraz opracowaną przez autorów aparaturę oraz inną, dostępną na rynku krajowym, i zagranicą, stosowaną do badań geofizycznych, tworzyć należy praktyczną metodykę do oceny dynamiki osuwisk oraz ilościowego jej oszacowania.



## REFERENCES

1. **Bergman L., 1956.** Ultrazvuk i jeho primienjenje w naukie i tiehnikie, IL, 11-12.
2. **Biguard P., 1955.** Sur l'absorbition des ondes ultrasonores par les liguides, Ann. D. phys., (11) 6/7, 31-33.
3. **Bielonienko W., Dinarijew O., 1984.** O kriterijach ucziota szymajemosti zydkich sried. DAN SSSR, 21-23.
4. **Iwanik O., 2015.** Modelirowanie wlijanija opasnyc geologiczeskich procesow na funkcionirowanie tpransportnych, prirodnotiechniczeskich sistem w uslowijach morskoj sriedy. Underwater Technologies, Vol.01, 13-22.
5. **Horbatenko E., Bratasiuk I., Szarow W., 2015.** Mobilnyje sooruzenija w Bieriegowoj gidrotiechnike. Underwater Technologies, Vol.01, 23-32.
6. **Hriszyn W., Hembarskij L., Snisarenko W., 2015.** Suszczestwujuszczije i proektirujemyje iskustwiennyje ostrowa i ich priednaznachenije. Underwater Technologies, Vol.02, 32-39.
7. **Litwin I., Wysoczanski W., Borodawkin W., 1988.** Razrabotka sistiemy tiechdiagnostyki gazonieftieprawodow dla obespieczenia nadioznosti i efektiwnosti ich rabot. Moskwa. Rabota wydwinutaja na Gosudarstwiennuju Premij, 215.
8. **Perun J., Trocenko W., Wysoczanski W., 1981.** Kontrol napriazonnoho sostojanija mietalla trub pri stroitielstwie magistralnych gazoprowodow. Konf. Kijew, 21-22.
9. **Perun W., Wysoczanski W., 1982.** Razrabotka mietodow kontrola napriazonnowo sostojanija magistralnych truboprowodow w gornyc uslowijach. Iwano-Frankowsk, otcziot IFING, 191.
10. **Petrenko E., Gharakhanlon M., 2015.** Analiz sostojanija skłona pri uwieliczenii staticzeskoj nagruzki. Underwater Technologies, Vol.02, 40-45.
11. **Wehr J., 1972.** Pomiary prędkości i tłumienia fal ultradźwiękowych. PWN, Warszawa, 34-41.
12. **Wysoczański W., 2011.** Akustotensometria rurociągów, Telecotron International. Monografia, Warszawa, 106.
13. **Wysoczanski W., 1982.** Pribor URENGOJ-2 dla kontrola napriazonnowo sostojanija mietalla. Konf. Moskwa, WNIIGaz, 111-112.
14. **Wysoczanski W., 1978.** Razrabotka pribora kontrola napriazonnowo sostojanija mietalla i konstrukcji. Iwano-Frankowsk, konf. asp. i st. IFING, 10-11.
15. **Wysoczański W., i in., 1996.** Inspection of the technical state for gas pipelines with the ultrasonic metod. XVII symp. Vibracions in physical systems, Poznań, 77-88.
16. **Wysoczanski W. i in., 1999.** Doświadczenie i perspektywy innowacji we współpracy międzynarodowej przy diagnostyce niezawodności konstrukcyjnej systemów przesyłu energii. Konf. Iwano-Frankiowsk, 114-118.
17. **Wysoczański W., 2012** Awarii megarurociągów. Rurociągi, Nr.1/65. Warszawa, Portale Geopolityka oraz Newsweek, 12-22.
18. **Wysoczański W., Fic St., 2012.** Bezpieczeństwo ekologiczne i niezawodność eksploatacyjna rurociągów przesyłowych dalekosiężnych VI Interational Research and Technical Conference. Simferopol, 17-21.
19. **Wysoczański W., red., 2016.** Diagnostyka przy poszukiwaniu, wydobyciu, transporcie ropy i gazu. Telecotron International Warszawa, Monografia, 146.
20. <http://wiadomosci.onet.pl/kraj/powstaje-system-oslony-przeciwosuwiskowej/4wzey>, 01.03.2017 r.
21. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Osuwisko>, 01.03.2017 r.

#### Ecological safety and operational reliability of buildings in landslide affected areas

*Walery Wysoczański, Stanisław Fic*

**Summary.** Scientific-theoretical analysis and laboratory experiments, field testing, and validation have shown that tribological approaches should be used to investigate landforming and landslide dynamics. From the analysis of the phenomenon of energy dissipation in the compression of the body of the landslide and the study of developed countries, it can be useful to use the Navier-Stokes equation.

Based on the models, we can classify changes in the body of the landslide at the level of dislocation by studying the significance of the above mentioned coefficients. Applying professional, scientific and research experience, developed by the authors of the apparatus and other, available on the domestic market for geophysical research, practical methodology should be developed to assess landslide dynamics and quantify its lag.

**Key words:** Landslide, stress, exogenous processes, ecological safety, slope stability.