

Zbigniew Bednarczyk*

OCENA PRZYDATNOŚCI WYBRANYCH TESTÓW *IN SITU* I BADAŃ LABORATORYJNYCH DLA IDENTYFIKACJI I PRZECIWDZIAŁANIA PROCESOM GEODYNAMICZNYM

1. Wstęp

Najbardziej powszechnymi, a zarazem najgroźniejszymi procesami geodynamicznymi są różnego rodzaju zjawiska osuwiskowe, których wybrane metody badań przedstawiono w artykule. Planowany zakres każdego projektu powinien zależeć od rozmiaru osuwiska, stopnia jego skomplikowania i zagrożeń, jakie ono stwarza. Małe i proste w interpretacji zjawiska, niepowodujące poważnych szkód, mogą wymagać jedynie wykonania prostych kartowań terenowych lub kilku wierceń badawczych. Zupełnie innego podejścia wymagają rozległe i skomplikowane osuwiska, stwarzające zagrożenie dla obiektów i infrastruktury. Poznanie mechanizmów powodujących procesy geodynamiczne, zależności pomiędzy czynnikami je aktywującymi oraz sposobów przeciwdziałania wymaga wykonania badań geologicznych, testów *in situ* i badań laboratoryjnych. Powinny one uwzględniać analizę genezy osuwiska, morfologii terenu, głębokości i charakteru powierzchni poślizgu, intensywności występujących przemieszczeń, własności charakterystycznych gruntów i skał oraz zależności pomiędzy czynnikami powodującymi procesy geodynamiczne. Problematyka ta obejmuje interdyscyplinarne zagadnienia z zakresu geologii inżynierskiej, geotechniki, mechaniki gruntów, hydrogeologii, geofizyki oraz geodezji. W ostatnich latach dzięki rozwojowi techniki znacznie unowocześnił się sprzęt badawczy i jego możliwości. Osuwiska stwarzają w wielu miejscach poważne zagrożenie dla infrastruktury i obiektów przemysłowych i wymagają kosztownych metod technicznych przy projektowaniu zabezpieczeń. Właściwa ocena zachodzących zjawisk może wydatnie te koszty ograniczyć. W Polsce osuwiska szczególnie intensywnie występują w obszarach górskich i na Pogórzu Karpackim. Od lipca

* Instytut Górnictwa Odkrywkowego Poltegor-Instytut, Wrocław

1997 roku w wyniku katastrofalnych opadów atmosferycznych odnowiły się stare i uruchomiły nowe osuwiska na skalę dotychczas nie notowaną w Karpatach, głównie na obszarze Pogórza [15–17]. Ze względu na swoją naturę i szybkość są one zazwyczaj trudne do przewidywania i powodują znaczne straty materialne, a nawet zagrożenie dla życia ludzkiego. Zjawiska osuwiskowe stwarzają także szereg problemów w odkrywkowych zakładach górniczych, co najczęściej związane jest z udostępnianiem nowych, głębszych fragmentów złóż i składowaniem nadkładu. W artykule przedstawiono wybrane projekty realizowane przez autora w rejonach osuwiskowych, w tym badania karpackich osuwisk fliszowych finansowane przez Europejski Bank Inwestycyjny, badania gruntów ilastych podatnych na procesy osuwiskowe w Norwegii oraz badania w odkrywkowych zakładach górniczych.

2. Metody badań procesów geodynamicznych

Dla rozpoznania procesów geodynamicznych wykorzystuje się szereg metod i technik badawczych, z których najczęściej stosowane zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Techniki badań procesów osuwiskowych wraz z uwagami

Rodzaj badań	Rodzaj osuwisk	Uwagi
Wizja lokalna terenu, kartowania geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne	wszystkie	Początkowy etap badań
Wiercenia wraz z opisem makroskopowym i pobieraniem próbek	wszystkie	Lepsze są wiercenia rdzeniowe, system wiercenia musi być dostosowany do osuwiska
Badania podstawowych cech fizycznych gruntów	gruntowe, gruntowo-skalne	Próbki NNS muszą spełniać kryteria jakościowe, preferowane próbki od $\varnothing$ 70 mm w górę
Badania wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie	skalne	Głównie wykorzystywane do badania parametrów skał
Badania edometryczne	gruntowe	Ważna jakość i orientacja próbek, długi czas wykonywania badania
Badania w aparacie bezpośredniego ścinania	gruntowe	Ważna jakość i orientacja próbek, otrzymane parametry nie są wielkościami efektywnymi
Badania w aparacie trójosiowym	gruntowe	Próbki muszą być wysokiej jakości, najbardziej wiarygodne wyniki w warunkach efektywnych przy niskich prędkościach ścinania, testy CID i CIU, długi czas
Sondowania dynamiczne, SPT, sondowania obrotowe VT i statyczne (CPT i CPTU)	gruntowe	Ograniczone możliwości w gruntach fliszowych, sondowania dynamiczne tylko w gruntach niespoistych

TABELA 1 cd.

Rodzaj badań	Rodzaj osuwisk	Uwagi
Badania dylatometryczne	gruntowe	Wykonywane w otworze wiertniczym, nie dla gruntów skalistych, ustalenie historii naprężeń w gruncie, parametry są szacowane z zależności empirycznych
Badania presjometryczne	wszystkie	Do obliczeń granicznej nośności gruntu, analizy osiadań, nośności pali. Lepsze wyniki dają czujniki umieszczone bezpośrednio w gruncie, niż w otworze wiertniczym
Badania geofizyczne — metodą elektrooporową, sejsmiczną, georadarową	wszystkie	Metody wymagają doświadczenia przy interpretacji wyników i kalibracji wierceniami
Zdjęcia satelitarne, SAR, zdjęcia lotnicze i analizy fotogrametryczne	wszystkie	Wymagają specjalnego oprogramowania i doświadczenia w interpretacji wyników, przydatne w modelowaniu przemieszczeń powierzchniowych
Monitoring przemieszczeń powierzchniowych	wszystkie	Repery muszą być regularnie geodezyjnie mierzone z milimetrową dokładnością
Monitoring osiadań i pomiary ekstensometryczne (rys. 1)	wszystkie	Wymagają instalacji sprzętu pomiarowego, w otworze wiertniczym + ewidencja pomiarów w otworze lub geodezyjnych
Monitoring poziomu zw. wód gruntowych	wszystkie	Wymagają regularnych pomiarów
Monitoring ciśnienia wód gruntowych (rys. 2)	wszystkie	Regularne pomiary za pomocą czujników pneumatycznych lub automatycznych rejestratorów
Analizy stateczności	wszystkie	Metodami MES pozwalają określić zachowanie osuwiska w czasie. Metodami klasycznymi z określeniem relatywnego współczynnika stateczności F_s . Ważne są reprezentatywne, efektywne parametry przyjęte do obliczeń na podstawie badań laboratoryjnych



Rys. 1. Wiercenia rdzeniowe $\varnothing$ 132 mm, Beskid Niski



Rys. 2. Monitoring przemieszczeń wglębnych i ciśnienia porowego wód gruntowych

3. Dobór metod i interpretacja wyników

Procesy osuwiskowe są jednym z najtrudniejszych zagadnień geotechnicznych występujących w przyrodzie. Jest to najczęściej spowodowane trudnościami w dokładnym określeniu cech fizycznych i mechanicznych gruntów, dokładnym rozpoznaniu budowy geologicznej i powierzchni poślizgu, właściwym zastosowaniu metod obliczeniowych, analiz stateczności zboczy oraz odpowiednio dobranymi i wystarczająco długimi metodami monitoringu. W pierwszej kolejności bardzo ważne jest wykonanie szczegółowych badań geologicznych, które powinny ustalić układ i kierunek zapadania warstw, a także przeszłość geologiczną terenu, w tym budowę tektoniczną podłoża, powierzchnie zlustrowania lub osłabień powstałych w wyniku ruchów tektonicznych, glaciekonicznych lub procesów paleosuwiskowych oraz warunki hydrogeologiczne. Każde z osuwisk jest najczęściej niepowtarzalną formą przestrzenną, wywołaną przez różnorodne nakładające się na siebie czynniki wewnętrzne i zewnętrzne, na które dodatkowo mogą wpływać skutki działalności człowieka. Właściwy dobór metod badawczych ma kluczowe znaczenie dla poprawnej interpretacji zachodzących procesów.

Przed podjęciem prac należy określić pytania, na które powinniśmy znaleźć odpowiedź:

- 1) Jaka jest geneza, budowa geologiczna osuwiska i jakie ono stwarza zagrożenia?
- 2) Jakie są warunki geotechniczne *in situ*?
- 3) Jakie są wielkości ruchów osuwiskowych i na jakiej głębokości one występują?
- 4) Jakie są wielkości parametrów geotechnicznych w strefie powierzchni poślizgu?
- 5) Na ile warunki wodne wpływają na strefę powierzchni poślizgu?
- 6) Jakie są obserwowane przemieszczenia, ich kierunek, zależności pomiędzy nimi a wielkościami opadów, ciśnieniami porowymi i poziomami wód gruntowych?
- 7) Czy będzie możliwa efektywna poprawa warunków gruntowych i w jaki sposób?

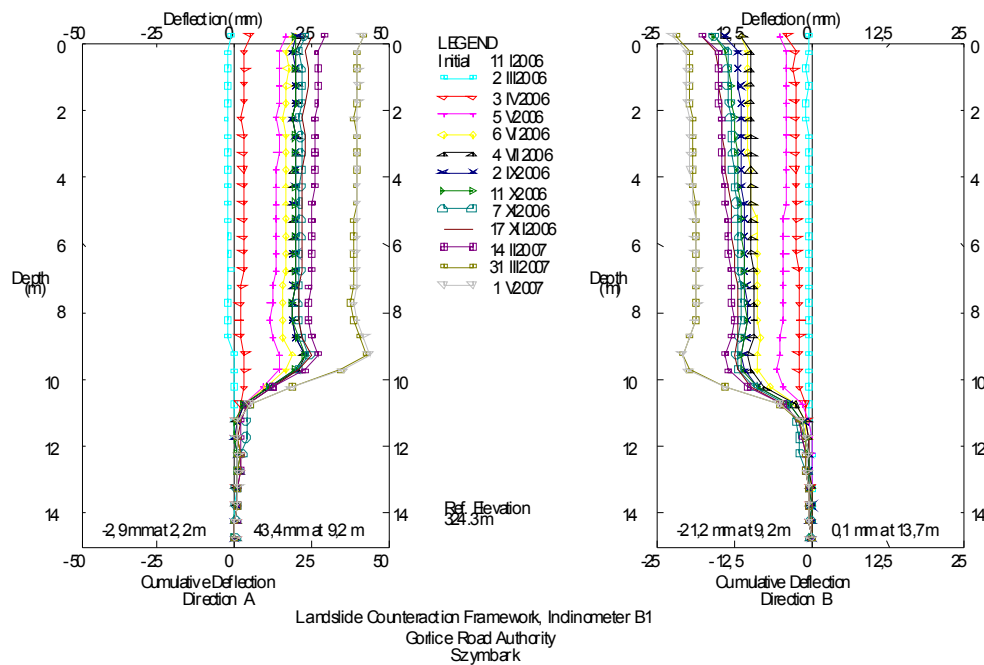
W zależności od rodzaju osuwiska, jego rozmiarów i zagrożeń należy zawsze odpowiednio zaprojektować planowany do wykonania zakres badań. Zazwyczaj badania wykonuje się w miejscach, gdzie zagrażają one drogom publicznym, budynkom, różnego rodzaju infrastrukturze czy też prowadzeniu bezpiecznej eksploatacji kopalni. Zakres powinien uwzględniać powyższe uwarunkowania. Złożony charakter osuwisk warunkuje możliwość wykonania wymienionych w tabeli 1 badań. Osuwiska fliszowe są szczególnie trudnymi do wykonywania badań ośrodkami gruntowo-skalnymi, miejscami wykazującymi charakter miękkoplastycznych gruntów spoistych. Tego typu osuwiska ograniczają możliwość zastosowania testów *in situ* oraz stwarzają problemy przy pobieraniu próbek do badań laboratoryjnych. W szeregu krajów europejskich, Japonii, USA i innych w ostatnich latach zaobserwowano nasilenie procesów osuwiskowych, chociaż badania tych zjawisk prowadzone są od wielu lat [12–14, 19]. Zjawiska osuwiskowe w obszarach górskich występują powszechnie na terenie całej Europy między innymi w Norwegii, szczególnie w osadach ilastych. Problemy związane z osuwiskami są od lat przedmiotem badań, szczególnie doświadczo-

nych w tym zakresie jednostek: Norwegian Geotechnical Institute (NGI) i Instytutu Geotechniki Uniwersytetu w Trondheim (NTNU), które otrzymują na ten cel znaczące środki finansowe, uczestniczą w NORSTAR CENTRE FOR GEOHAZARDS i od lat zajmują się tematyką osuwiskową z zastosowaniem najnowocześniejszych metod badawczych. W Polsce ze względu na ograniczone środki problem monitoringu i modelowania zjawisk geodynamicznych jest często niedoceniany, chociaż należy wymienić szereg wykonanych prac [15–18, 20]. W latach 2001–2006 osuwiska corocznie przyczyniały się do zniszczeń i zagrożeń dla infrastruktury, czego wynikiem jest m.in. projekt, w ramach którego autor wykonał dokumentację geologiczno-inżynierskie osuwisk stwarzających zagrożenie dla dróg publicznych i infrastruktury w Beskidzie Niskim, Średnim i na Pogórzu Karpackim [4–8]. Niewłaściwa interpretacja zachodzących procesów i rezygnacja z monitoringu może wydatnie zwiększać koszty stabilizacji osuwisk oraz utrudniać możliwość podjęcia racjonalnych decyzji o możliwościach, zakresie i technologii prac zabezpieczających. Osuwiska często powstają także na skutek działalności człowieka. Ma to miejsce często w trakcie budowy dróg i innych obiektów oraz poprzez podcięcie stoków osuwiskowych. W odkrywkowych zakładach górniczych osuwiska stwarzają zagrożenia dla prowadzenia efektywnej eksploatacji. Założony okres istnienia skarp roboczych i stałych oraz warunki bezpiecznego zwałowania nadkładu stwarzają konieczność analizy warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych w oparciu o odpowiednio dobrane badania parametrów wytrzymałościowych *in situ* i testy laboratoryjne oraz modelowanie stateczności wybranych rejonów. Często zdarza się, że wielkości parametrów z badań laboratoryjnych znacząco odbiegają od wyników otrzymanych z badań terenowych. Wpływ na to ma szereg czynników, między innymi brak wystarczającej liczby testów, zła jakość próbek gruntów, nieuwzględnienie w badaniach laboratoryjnych parametrów wytrzymałościowych głębokości pobrania próbek oraz najczęściej braku pełnej saturacji próbek gruntów spoistych. Do błędnych interpretacji przyczyn procesów geodynamicznych przyczynia się także niewystarczający sposób rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich oraz hydrogeologicznych, a także błędów popełnionych w trakcie formowania i odwadniania skarp i zwałowisk.

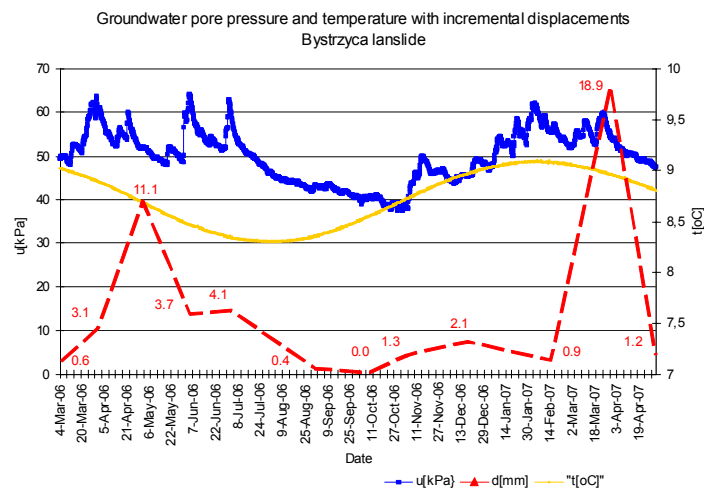
4. Wybrane projekty osuwiskowe

4.1. Osuwiska w Karpatach fliszowych (Beskid Niski, Średni i Pogórze Karpackie)

Badania geotechniczne (rys. 3) osuwisk w Beskidach wykonywane były przez autora na 19 osuwiskach w Karpatach [8] w rejonie Gorlic, Suchej Beskidzkiej i Dukli. Badania finansowane były przez Europejski Bank Inwestycyjny. W ramach projektu wykonano dokumentację geologiczno-inżynierską oraz zainstalowano system monitoringu składający się z 19 punktów pomiarów przemieszczeń wgłębnych, osiadań, ciśnienia porowego i temperatury wód gruntowych na głębokości powierzchni poślizgu (za pomocą pneumatycznych i elektrycznych mierników oraz piezometrycznego poziomu wód gruntowych (rys. 3 i 4).



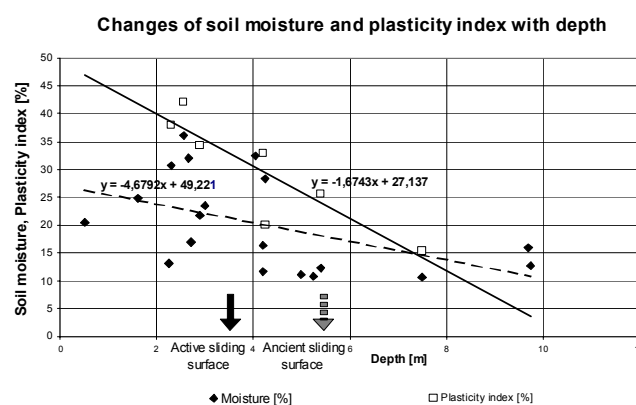
Rys. 3. Pomiary przemieszczeń wgłębnych



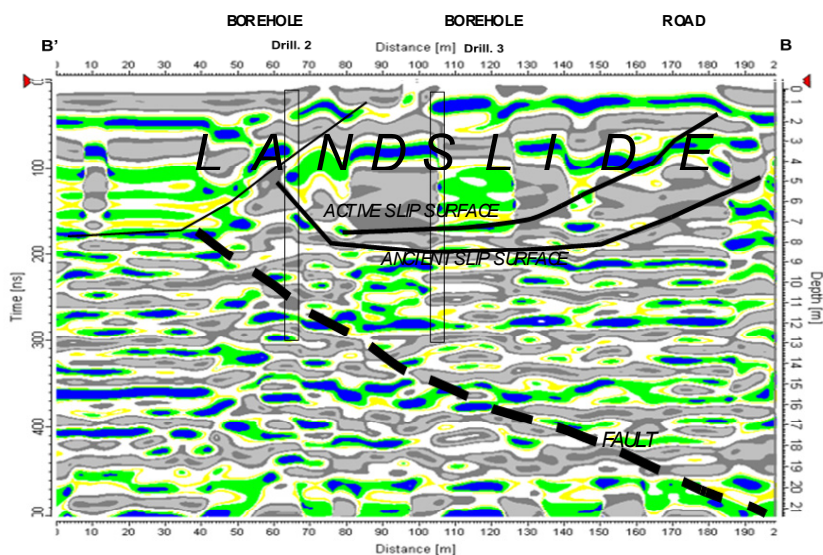
Rys. 4. Pomiary inklinometryczne, ciśnienia porowego i temperatury wód gruntowych

Wybór rodzajów badań zawierał techniki dostosowane do osuwisk fliszowych, które cechują się występowaniem zarówno miękkoplastycznych gruntów ilastych i bardzo zwęzłych skał piaskowcowych, jak również rumoszy i różnego typu wymieszanych gruntów

koluwalnych zawierających fragmenty skał. Badania tego typu ośrodków gruntowo-skalnych uniemożliwiają zastosowanie szeregu metod badawczych, szczególnie testów *in situ*, oraz utrudniają testy laboratoryjne (rys. 5). Istotną rolę na etapie dokumentowania w tym przypadku przypisano dobrej jakości wierceniom rdzeniowym, profilowaniom georadarowym GPR [9], które z nimi korelowano (rys. 6) oraz uzyskaniu wysokiej jakości próbek NNS do celów laboratoryjnych. Jako uzupełnienie tych badań wykonywano sondowania SLVT i ścinania VT w otworze wiertniczym, jednak możliwości ich zastosowania były ograniczone ze względu na charakter litologiczny badanych koluwiów.

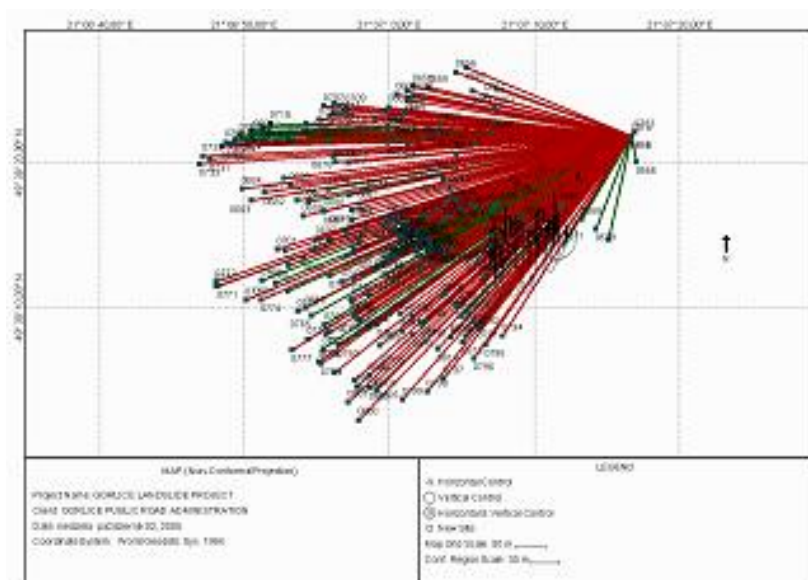


Rys. 5. Wyniki badań laboratoryjnych, osuwisko Sękowa (wilgotność naturalna, wskaźnik plastyczności)

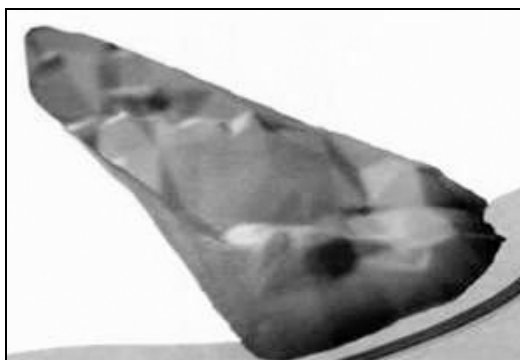


Rys. 6. Profil georadarowy, osuwisko Sękowa

W celu efektywnego określenia morfologii osuwisk zastosowano pomiary GPS-RTK o dokładności do $0,5 \div 1,0$ cm w pionie i poziomie (dwa odbiorniki, jeden ustawiony na reperze o znanych współrzędnych (rys. 7 i 8) [5, 6].



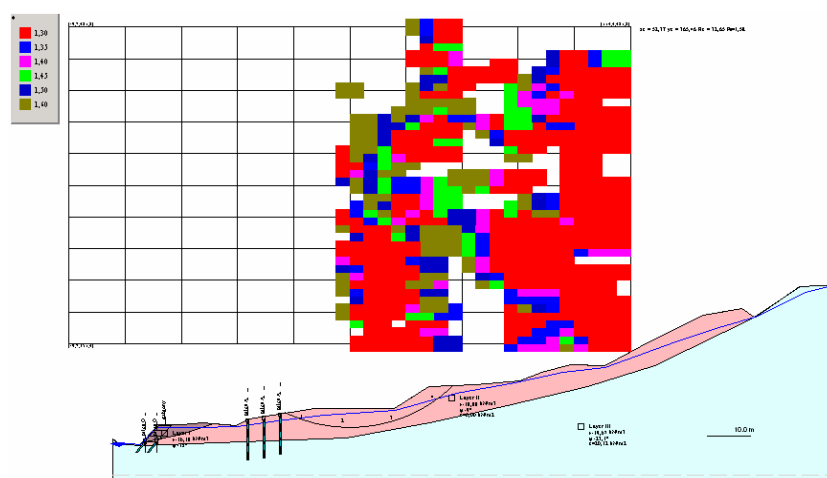
Rys. 7. Pomiary GPS-RTK, osuwiska Bystrzyca



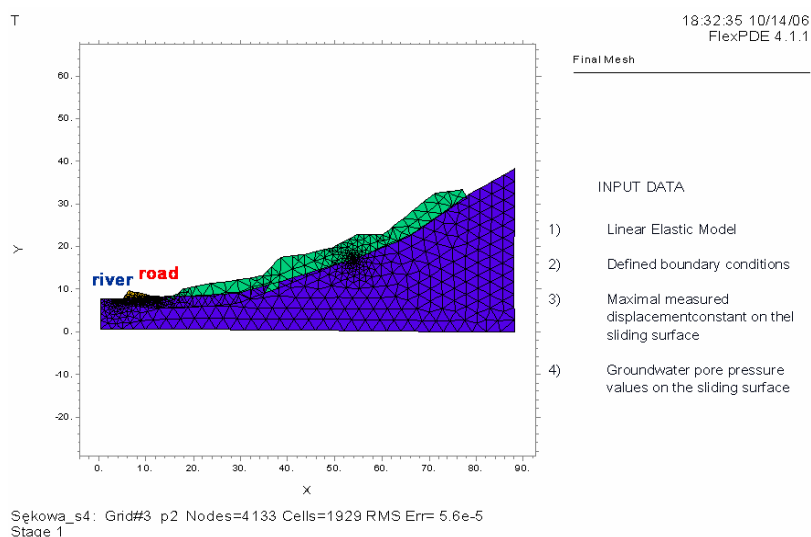
Rys. 8. Model 3D osuwiska w Lachowicach wykonany na podstawie pomiarów GPS-RTK

Aby określić możliwość stabilizacji osuwisk i wykonać analizy stateczności możliwe jak najdokładniej odzwierciedlające warunki *in situ*, zbudowano system monitoringu, instalując ponad 250 m rur inklinometrycznych wyposażonych w specjalne przeguby zwiększające ich wytrzymałość oraz umożliwiających pomiar osiadań. System zawiera także 19 standardowych piezometrów z filtrami typu „Poltegor”, 10 pneumatycznych mierników ciśnienia porowego na głębokości powierzchni poślizgu, w których pomiary wykonuje się

dwoma metodami co 30 dni, oraz dwa komputerowe rejestratory ciśnienia porowego i temperatury wody zlokalizowane na głębokości 10 m, które wykonują 4 pomiary dziennie. Badania osuwisk zawierały wykonanie dokumentacji geologiczno-inżynierskich, w których przedstawiono lokalizację osuwisk, interpretację ich wielkości, litologii, mechanizmów powstania, warunków i parametrów geotechnicznych, zainstalowano system monitoringu oraz wykonano pomiary zerowe. Dla dwóch wytypowanych do stabilizacji osuwisk wykonano analizy stateczności (rys. 9 i 10). Monitoring jest prowadzony co miesiąc od stycznia 2006.



Rys. 9. Obliczenia stateczności osuwiska Sękowa wraz z przyjętą metodą stabilizacji



Rys. 10. Obliczenia MES stateczności osuwiska Sękowa

4.2. Badania osuwisk w Norwegii

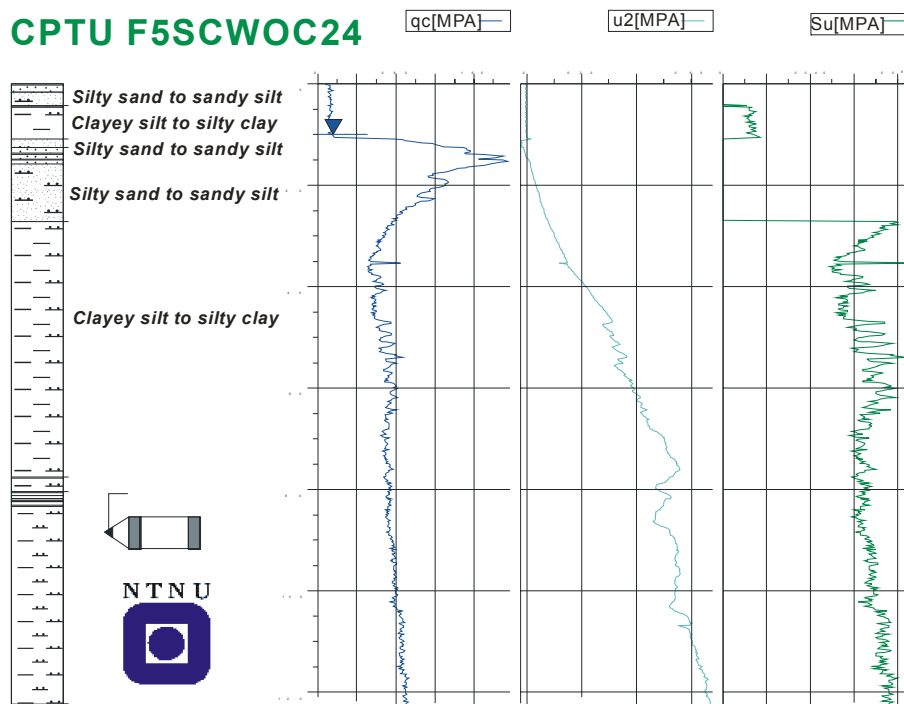
W Norwegii osuwiska występują głównie w gruntach ilastych. Badania wykonuje się najczęściej *in situ*, a następnie koreluje z wynikami testów laboratoryjnych. Tego typu testy były wykonywane przez autora dla polskich i norweskich ilów w ramach rocznego stypendium NATO w Instytucie Geotechniki Uniwersytetu Trondheim (NTNU), co było przedmiotem polsko-norweskiego artykułu [2] na konferencji ISSMGE ISC-2 w 2004 roku w Porto. Osuwiska często występują w osadach ilastych typu *quick-clay*, które deponowane były w środowisku morskim, gdzie jony soli scalały grunt podczas sedymentacji. Na skutek różnorodnych procesów geologicznych cząsteczki soli zostały usunięte, co wpłynęło na bardzo dużą podatność tych gruntów na procesy upłynnienia. Charakteryzuje je duża dynamika przemieszczeń. Największe z osuwisk w rejonie Trondheim posiadało objętość 55 mln m³, długość ponad 6 km i spowodowało śmierć 111 osób (Follodallen, Verdal). W samym mieście Trondheim ok. 40 tys. mieszkańców posiada domy usytuowane na bardzo niebezpiecznych i podatnych na procesy osuwiskowe gruntach, natomiast w całej Norwegii każdego roku notuje się przypadki śmiertelne spowodowane przez nie. Bardzo niebezpieczne są także podmorskie osuwiska, które angażują tereny przybrzeżne i stwarzają zagrożenie dla przebiegających wzdłuż wybrzeża tras komunikacyjnych.

Na rysunku 11 przedstawiono osuwisko w rejonie Stjorda, które powstało po intensywnych opadach deszczu w 2002 roku i zagroziło drodze międzynarodowej E-6 Trondheim — Narvik. Badania laboratoryjne (m.in. testy trójosiowe CID i CIU) próbek gruntów ilastych pobranych z tego rejonu były porównywane przez autora z wynikami sondowań CPTU (rys. 12 i 13) w ramach rocznego stypendium NATO w Instytucie Geotechniki NTNU (analogiczne badania wykonywano dla próbek ilów pobranych z rejonu osuwiskowego w KWB „Bełchatów” w laboratorium norweskim). Badania wykazały, że testy CPTU w powiązaniu z testami laboratoryjnymi są efektywną metodą badań osuwisk powstałych w gruntach ilastych [1].

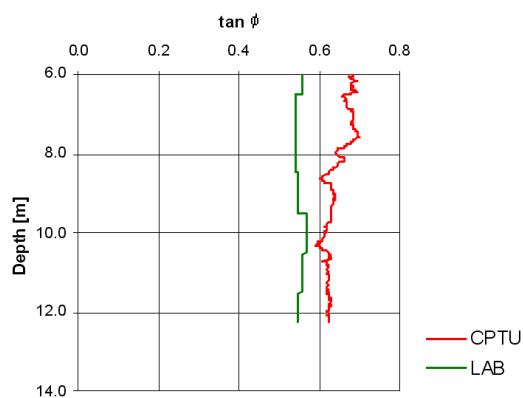


Rys. 11. Osuwisko w rejonie Stjorda — Norwegia

CPTU F5SCWOC24

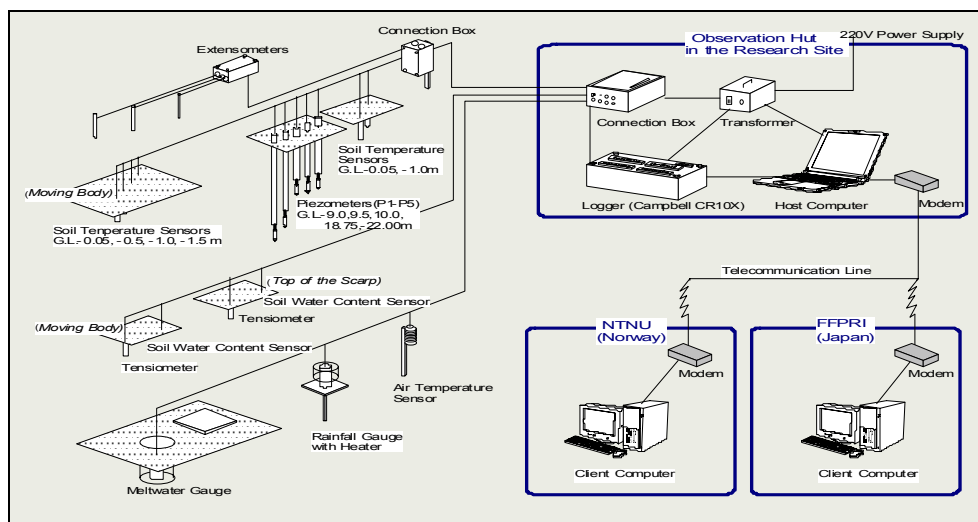


Rys. 12. Wynik sondowań CPTU *Glava-clay* Stjoldal



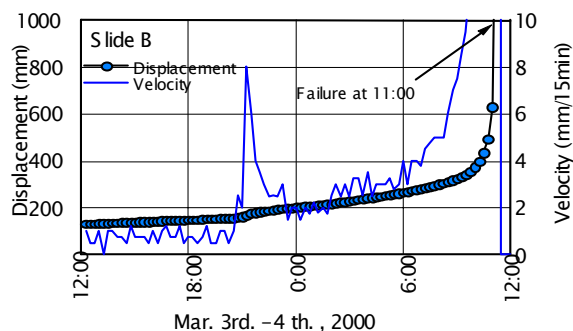
Rys. 13. Porównanie interpretacji wyników badań laboratoryjnych i CPTU *Glava-clay* Stjoldal

W Norwegii monitoring osuwiska jest bardzo zaawansowany technicznie. Na osuwisku w Roesgrenda japońsko-norweskie konsorcjum zainstalowało automatyczny system pomiarowy składający się z inklinometrów, ekstensometrów, czujników temperatury gruntu, naprężeń ścinających, wilgotności gruntu i automatycznej stacji meteorologicznej (rys. 14).



Rys. 14. Schemat automatycznego systemu monitoringu osuwiska Roesgrenda [13]

Badania te uzupełniały sondowania dynamiczne, sondowania CPTU, miniaturę CPTU, sondowania obrotowe oraz pomiary geofizyczne metodą elektrooporową. Otrzymane wyniki wskazują, że główne przemieszczenia na osuwisku Roesgrenda były poprzedzane przez przemieszczenia wstępne o mniejszej wielkości (rys. 5) i wzrost ciśnienia porowego wód gruntowych.



Rys. 15. Wyniki pomiarów przemieszczeń na osuwisku Roesgrenda — Norwegia [13]

4.3. Badania osuwisk w odkrywkowych zakładach górniczych

Przeciwdziałanie procesom geodynamicznym ma szczególne znaczenie dla prowadzenia bezpiecznej eksploatacji. Występowanie zjawisk osuwiskowych w strefie bezpośrednio ponad pokładami węgla jest poważnym utrudnieniem dla wydobycia kopalin. Na przykład

w KWB „Bełchatów” procesy osuwiskowe najczęściej występowały w obrębie ilów warstwowych na północnym zboczu odkrywki oraz na zboczu południowym, w rejonie tzw. „rowu drugiego rzędu”, gdzie w 1997 roku w rejonie linii 20S (rys. 16) powstało osuwisko o długości ok. 600 m i szerokości ok. 400 m [1]. Przykładem może być także osuwisko we wschodniej części zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów” w 1994 r. o długości ok. 1300 m, szerokości 750 m o objętości 6 mln m³ (rys. 17).

W KWB „Bełchatów” i „Turów” w celu przeciwdziałania procesom geodynamicznym wykorzystywano nowoczesne metody badań, takie jak sondowania CPT i CPTU (rys. 18, 19) [3, 4] oraz systemy kontrolno-pomiarowe umożliwiające pomiary przemieszczeń, pomiary presjometryczne [18], pomiary inklinometryczne, a także pomiary ciśnienia porowego w gruncie, umożliwiające monitoring osuwisk i ostrzeganie o potencjalnych zagrożeniach.



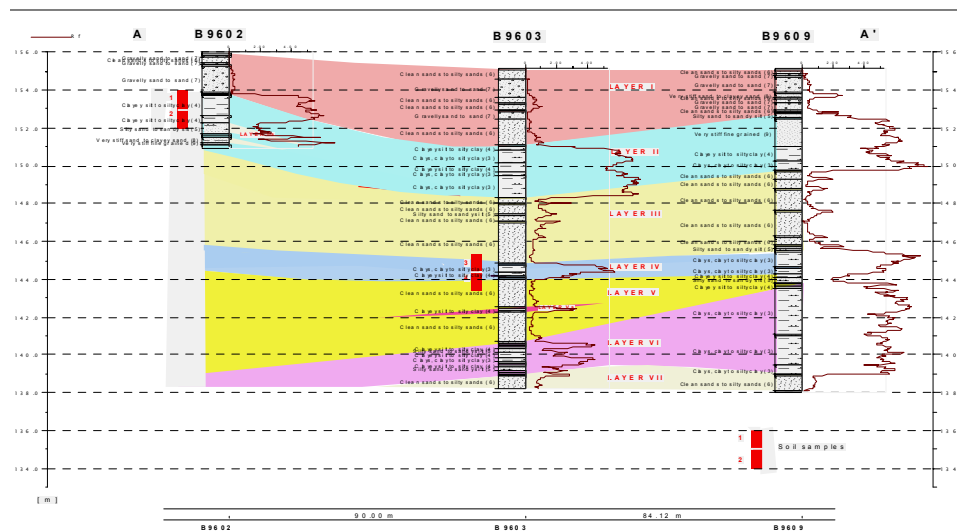
Rys. 16. Osuwisko 20S na południowym zboczu KWB „Bełchatów”



Rys. 17. Osuwisko na zwałowisku zewnętrznym KWB „Turów”



Rys. 18. Sondowania CPTU w KWB „Turów”



Rys. 19. Interpretacja wyników sondowań CPTU wykres oporu na pobocznicę R_f [MPa]

Stosowane w dotychczasowej praktyce metody interpretacji sondowań CPTU dotyczą testów wykonywanych z powierzchni terenu. W przypadku przekonsolidowanych, częściowo saturowanych gruntów ilastych podatnych na procesy osuwiskowe konieczne jest ich powiązanie ze specjalnego typu badaniami laboratoryjnymi oraz zastosowanie zależności korelacyjnych. Tego typu badania były wykonywane dla gruntów ilastych z południowego zbocza KWB „Bełchatów” położonych w rejonie osuwiska 20S w 2002 roku w laboratorium geotechnicznym Uniwersytetu Trondheim [1, 2].

5. Podsumowanie i wnioski

Właściwy dobór metod badań osuwisk oraz interpretacja ich przyczyn pozwala na ocenę zachodzących procesów i określenie możliwości ich przeciwdziałania. Przedstawione powyżej wybrane przykładowe techniki badań obejmują standardowe techniki i różnego rodzaju testy polowe oraz laboratoryjne i umożliwiają kompleksową analizę procesów geodynamicznych. Przy projektowaniu badań należy zwracać uwagę na dokładne rozpoznanie budowy geologicznej i genezy zachodzących procesów, dobór odpowiednich technik, dobrą jakość próbek oraz wystarczająco długi okres monitoringu.

LITERATURA

- [1] Bednarczyk Z., Sandven R.: Comparison of CPTU and laboratory tests interpretation for Polish and Norwegian clays. International Site Characterization Conference ISC-2, International Society For Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE), International Society of Rock Mechanics (ISRM), International Association Engineering Geology (IAEG), Geo-Institute of the American Society of Civil Engineers (ASCE), Rotterdam, Millpress, 2, 2004

- [2] *Bednarczyk Z.*: Research use of CPTU as a method for estimating soil design parameters compare to laboratory testing — study report. NATO Advanced Fellowship Programme, Geotechnical Engineering Department Report Editions, Trondheim, NTNU 2002
- [3] *Bednarczyk Z.*: Identyfikacja struktur geologicznej i parametrów wytrzymałościowych gruntów trudnourabialnych z wykorzystaniem sondowań CPTU Hysson 200 wytrzymałościowych w rejonie występowania gruntów trudnourabialnych w KWB „Bełchatów”. *Górnictwo Odkrywkowe*, 3, 1997, 3–31
- [4] *Bednarczyk Z.*: Wybrane aspekty badań procesów osuwiskowych. Materiały 62 konferencji Polskiej Akademii Nauk „Warsztaty Górnicze” — Zagrożenia Naturalne w Górnictwie, Bełchatów 2004
- [5] *Bednarczyk Z.*: Landslide investigations by static sounding with pore pressure measurements (CPTU), ground penetration radar techniques (GPR) and other chosen methods. Proceedings of the Conference Risks Caused by the Geodynamic Phenomena in Europe, Centre of Excellence Research on Abiotic Environment (REA) under the guidance of European Community, PGI Spec. Papers, 15, 2005, 19–29
- [6] *Bednarczyk Z.*: Geotechnical and geophysical methods for soil and rock design parameters characterization in mass movements areas, Proceedings of the Conference Mass Movement Hazard in Various Environments. Centre of Excellence Research on Abiotic Environment (REA) under the guidance of European Community, Kraków, PGI Spec. Papers, 20, 2005, 27–35
- [7] *Bednarczyk Z.*: Landslide monitoring and instrumentation for Sękowa Landslide Stabilization Project (Carpathian mountains) Proceedings of the Conference on Abiotic Environment. Centre of Excellence Research on Abiotic Environment (REA) under the guidance of European Community, Warszawa, PGI Spec. Papers 2006
- [8] *Bednarczyk Z.*: Badania geologiczno-inżynierskie karpaccich osuwisk fliszowych w rejonie Gorlic (Beskid Niski). III Ogólnopolskie Sympozjum „Współczesne Problemy Geologii Inżynierskiej w Polsce, Polski Komitet Geologii Inżynierskiej i Środowiska IAEG, Poznań, Wydawnictwo Uniwersytetu Adama Mickiewicza Geologos 2007
- [9] *Noon D.A., Stickley G.F.*: Landslides investigations and monitoring by a high performance ground penetrating Radar System. International Conference on Ground Penetrating Radar Dennis Longstaff Editors SPIE vol. 4084 O277–786X/00/ USA, 2005
- [10] *Finlay P.J., Fell R., Maguire P.K.*: The relationship between the probability of landslide occurrence and rainfall. *Canadian Geotechnical Journal*, 34, 1997, 811–824
- [11] *Janbu N.*: Slope stability evaluations in engineering practice. NTNU Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for Geoteknikk, Trondheim, Bulletin 34, 1998
- [12] Landslides investigations and monitoring by a high performance ground penetrating Radar System. International Conference on Ground Penetrating Radar, David A. Noon, Glen F. Stickley
- [13] *Larsen J.O.*: Some aspects of physical weather related slope processes PhD thesis 2002:19 NTNU, Trondheim, Department of geotechnical engineering 2002
- [14] *Rybar J., Stemberk J., Wagner P. (eds)*: Landslides — Proceedings of the First European Conference on Landslides, Prague 2002, 24–26
- [15] *Rączkowski W., Mrozek T.*: Activating of landsliding in the Polish Flysch Carpathians by the end of the 20th century. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 36, 2002, 91–111
- [16] *Rączkowski W.*: Landslide investigation and monitoring methods in Poland, Czech Republic and Slovakia .CEI Plan of Action 2002–2003. Section A-Geology. Geohazards in Central Europe 2005
- [17] *Rybicki S., Margielewski W., Domagała A.*: Osuwisko na stoku Palenica w Szczawnicy i jego związek z ekstremalnymi opadami w lipcu 1997. *Przegląd Geologiczny*, 46, 11, 1998
- [18] *Szymański J., Czarnecki L., Dynowska M.*: Zastosowanie metod obserwacyjnych do projektowania głębokich wyrobisk odkrywkowych na przykładzie KWB „Bełchatów”. XXVII Zim. Szkoła. Mechaniki Górotworu, 2004
- [19] *Senneset K.*: Natural and Man-Hade Hazards: Landslides, Stability analysis, control, case histories. Trondheim, General report Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, Bulletin 34, 1998
- [20] *Zabuski L., Thiel K., Bober L.*: Osuwiska we fliszu Karpat Polskich. Gdańsk, Wydawnictwo IBW PAN 1999

