

dr Stanisław Łukasik¹⁾

Monitorowanie geozagrożeń na terenach zurbanizowanych

Urban areas geohazard monitoring

DOI: 10.15199/33.2015.11.06

Streszczenie. Skarpy nadrzeczne ze względu na walory przyrodnicze i kulturowe są atrakcyjnymi obszarami, na których obserwuje się nasiloną ekspansję inwestorów nowych obiektów. W celu ochrony terenów przed antropogeniczną dewastacją i naturalnymi procesami geodynamicznymi konieczne jest prognozowanie zachowania się skarp. Pierwszym obszarem, w przypadku którego prowadzono nowoczesny monitoring, była Skarpa Płocka (1982 – 2002). Korzystając z nabytych doświadczeń, w 2009 r. Zakład Geotechniki i Fundamentowania ITB opracował i zrealizował monitoring trzech obszarów Skarpy Warszawskiej na zlecenie Miasta Stołecznego Warszawy. W ramach projektu określono szczegółowe założenia do pomiarów przemieszczeń pionowych i poziomych systemu reperów ściennych, wgłębnych i inklinometrów w ilości ok. 500 szt. Wykonano 5 cykli pomiarowych, których wyniki zostały zgromadzone w specjalnie opracowanej bazie danych współpracującej z oprogramowaniem Oracle i ArcGis. System monitoringu stanowi ważny element zarządzania zasobami miejskimi, gwarantuje nadzór i kontrolę istniejących obiektów. Sukcesywne gromadzenie danych o przemieszczeniach skarpy jest istotnym elementem w pracach projektowych prowadzonych na rzecz zabezpieczenia zagrożonych odcinków.

Słowa kluczowe: geozagrożenia, monitoring skarp, inklinometry, repery, ArcGis.

Abstract. Riverside slopes zone are attractive new investment areas due to natural and cultural values. Intensified expansion of new building developers is currently observed. The slope behavior forecast is necessary to properly protect these areas from anthropogenic devastation and natural geodynamic processes. The first area covered with modern monitoring was Skarpa Płocka in 1982 – 2002. Using gained experience the Department of Geotechnics and Foundation in 2009, on City of Warsaw behalf, designed and executed the monitoring system for three areas of SkarpaWarszawska. The detailed guide lines for vertical and horizontal measurements of approx. 500 fix points were developed during the project. There were wall and earth plunge benchmarks installed as well as inclinometers. There were 5 measurement cycles to this day. The results were collected in special developed, cooperating with Oracle and ArcGis software database. The monitoring system is an important part of urban resources management. It guarantees land use planning supervision as well as existing facilities control. Successive collecting data on the slope movements is important element for design work undertaken for the protection of endangered areas.

Keywords: geohazards monitoring of slopes, inclinometers, fix points, ArcGis.

Warszawa, Płock, Sandomierz i Grudziądz w podstawowym założeniu urbanistycznym wykorzystują wysokie i strome skarpy rzeki Wisły zbudowane w przeważającej części z osadów czwartorzędowych, które łatwo ulegają destrukcyjnej działalności rzek, np. w wyniku erozji bocznej. Te typowe geozagrożenia powodowane przez naturalne procesy geodynamiczne należy uwzględnić w działaniach planistycznych. Znajomość historii zmiany ukształtowania skarp pomaga rozwiązać wiele obecnych problemów dotyczących rewitalizacji starej zabudowy lub budowy nowych obiektów.

Przemieszczenia podłoża w strefach skarp stanowią ich nieodłączny element i jak wykazują obserwacje, są

zmiennie w czasie, co wynika z natury procesów, które je wywołują. Ich stopień oddziaływania na obiekty posadowione w strefie skarp również jest zróżnicowany, co z kolei wymusza systematyczne monitorowanie tych zjawisk i okresowe pomiary przemieszczeń punktów uznanych za charakterystyczne. Potwierdził to autor prac [2, 3], który opracował sposób wyznaczania prędkości przemieszczeń podłoża metodami geodezyjnymi, porównując pomiar sieci niwelacji I klasy z lat 1974 – 1979 z poprzednim pomiarem sieci niwelacji I i II klasy z lat 1953 – 1957. W efekcie powstała mapa całego obszaru Polski opublikowana przez IGIK w 1987 r. [3], która wykazuje osiadanie np. w rejonie Warszawy ze średnią prędkością 3 mm/rok. Jeśli dotyczy to dużych obszarów i postsedymencyjnych ruchów, np. wynikających z zalania terenów na skutek budowy zbiorników wodnych, to takie uogólnienie można

uznać za uprawnione. W rzeczywistości mamy do czynienia z deformacjami o charakterze regionalnym i lokalnym. Znacznie trudniejsze w diagnostyce są przemieszczenia poziome. Na obszarach zurbanizowanych z wysokimi skarpami stanowią realne zagrożenie dla istniejącej infrastruktury budowlanej. Zjawisko systematycznego osiadania obszaru, na którym znajduje się Warszawa, zostało potwierdzone w badaniach [4, 5] przeprowadzonych na podstawie danych z kampanii niwelacyjnych. Praca [5] jako główną przyczynę ruchów podaje obciążenie terenu jego zabudową, przez obniżanie poziomu wód gruntowych i powstanie lejów depresyjnych towarzyszących głębokim wykopom wykonywanym w trakcie inwestycji oraz osuszenie niecki mazowieckiej w wyniku nadmiernej eksploatacji wód artezyjskich.

W analizie przemieszczeń obszarów obejmujących różne jednostki geolo-

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Geotechniki i Fundamentowania; e-mail: s.lukasik@itb.pl

giczne powinny być uwzględnione ruchy neotektoniczne. Charakteryzują się one dużym zasięgiem, a jednocześnie niewielkimi przemieszczeniami i z tego powodu nie są zauważane. Geodynamiczne skutki ruchów neotektonicznych objawiają się w postaci anomalii rzeźby terenu oraz strefowej intensyfikacji lokalnych procesów geodynamicznych [6].

Monitoring Skarpy Płockiej

Pierwszym w Polsce poligonem badawczym był **obszar Skarpy Płockiej**, która znalazła się w zasięgu tzw. cofki [1] po uruchomieniu zapory we Włocławku. Wzrost poziomu wody w Wiśle spowodował intensywne oddziaływanie na niemal pionową, wysoką na ok. 40 m skarpe. Zlokalizowane na koronie skarpy bezcenne zabytki Starego Miasta w Płocku znalazły się w niebezpieczeństwie. W latach 1961 – 1985 wykonano zdjęcia fotogrametryczne skarpy, które dawały pogląd na rozmiar zjawisk osuwiskowych i pozwalały na wytypowanie obszarów, na których występowały duże przemieszczenia mas ziemnych i tworzyły się nowe osuwiska. Metoda ta jest mało precyzyjna i nie pozwala dokładnie ocenić stateczności skarpy oraz podjąć decyzji o działaniach zapobiegających zagrożeniu.

Po wdrożeniu rządowego programu [7] zainstalowano w charakterystycznych miejscach Skarpy Płockiej specjalną sieć pomiarowo-kontrolną w postaci trwałych, tzw. wiekowych, punktów geodezyjnych w celu określenia przemieszczeń w czasie. Pomiarów prowadzono w latach 1982 – 2002 z przerwą w latach 1989 – 1992. W ostatnich latach zarządzający systemem sieci (miasto Płock) zainstalował 30 inklinometrów, których przemieszczenia są kontrolowane dwa razy w roku. W przypadku braku pomiarów z wszystkich elementów sieci, ocena przemieszczeń w inklinometrach ma ograniczone walory użytkowe.

Monitoring Skarpy Warszawskiej

Skarpa Wiślana determinuje zabudowę i ma istotny wpływ na infrastrukturę. Przedmiotem pomiarów wykonywanych w ramach monitoringu [8] są trzy odrębne siatki pomiarowe założone na terenie wyodrębnionych odcinków wg projektu monitoringu Skarpy

Warszawskiej: „1. Stare Miasto”, „2. Myśliwiecka” i „3. kościół św. Katarzyny”. Każda siatka pomiarowa składa się z reperów ziemnych i inklinometrów do wyznaczania przemieszczeń poziomych górotworu skarpy metodą pomiarów kątowno-liniowych (poligonizacja precyzyjna) i zintegrowanej sieci do wyznaczania przemieszczeń pionowych metodą niwelacji precyzyjnej obejmującej repery ziemne i inklinometry (wykorzystywane do pomiaru przemieszczeń poziomych) oraz repery ściennie osadzone na obiektach stałych zlokalizowanych na skarpie.

Ze względu na bardzo nierównoważony układ punktów w sieci pomiarowej, co wynikało z konieczności lokalizacji reperów w charakterystycznych punktach przekrojów geologicznych skarpy oraz ze skomplikowanego ukształtowania i zabudowy terenu, obok tradycyjnej metody pomiaru kierunków pomiędzy reperami o zrównoważonej i większej odległości między nimi, zastosowano wielokrotną metodę kątowną w przypadku reperów położonych blisko siebie lub między reperami o nierównoważonej długości boków między nimi. Takie podejście pozwoliło na utrzymanie jednakowej dokładności pomiarów kątowych w całej sieci pomiarowej, a tym samym, przy stabilnej dokładności pomiarów liniowych, na uzyskanie jednakowego rzędu dokładności wyznaczenia położenia reperów w sieci poziomej (X, Y).

Wyniki ze ścisłego wyrównania obserwacji kątowno-liniowych wykazały, że dokładność poziomego wyznaczenia położenia punktów sieci kontrolno-pomiarowej mieści się w przyjętych założeniach projektowych, tj. w granicy błędu średniego dla jednego cyklu obserwacji ± 5 mm. W celu potwierdzenia wyników pomiaru obserwacji wyjściowej sieci (która jest wartością referencyjną dla wszystkich następnym pomiarów cyklicznych), powtórnie wykonywano pomiar każdej sieci w niezależnych od siebie warunkach, co potwierdziło wiarygodność otrzymanych wyników. Przyjęcie reżimu dokładnościowego ± 5 mm gwarantuje docelowe uzyskanie wymaganej dokładności wyznaczenia poziomego przemieszczenia reperu kontrolowanego w granicach ± 10 mm uzyskiwanego przy jednoczesnym wyrównaniu obserwacji geodezyjnych z dwóch

epok pomiarowych: zerowej i aktualnej z danego roku.

Pomiary wysokościowe niwelacją precyzyjną wykonywano dwukrotnie – niezależnie w kierunkach „tam” i „z powrotem”. Wyniki ze ścisłego wyrównania pomiarów wysokościowych metodą warunkową wykazały, że dokładność wysokościowego wyznaczenia położenia punktów sieci kontrolno-pomiarowej mieści się w granicach błędu średniego ± 1 mm, co gwarantuje docelowe uzyskanie wymaganej dokładności wyznaczenia pionowego przemieszczenia reperu kontrolowanego w granicach ± 2 mm.

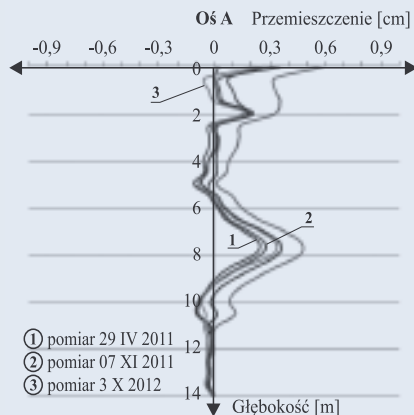
Na badanych odcinkach zainstalowano 7 inklinometrów (kolejne są projektowane) z rury z tworzywa ABS odpornego na warunki środowiskowe i dość podatnego na deformację. Pomiar przemieszczeń poziomych w inklinometrach pozwalają na określenie stref oraz wielkości deformacji w przedziale głębokości objętej pomiarami, które polegają na określeniu przebiegu osi pomiarowych A i B. Wyniki uzyskane w kolejnych pomiarach, w odniesieniu do pomiaru bazowego, pozwalają określić deformacje kolumny w czasie. W trakcie instalacji rury inklinometrycznej jeden kierunek pomiarowy (oś A) ustawiano zgodnie z największym spadkiem skarpy, a drugi (oś B) jest prostopadły. W celu dokładnej identyfikacji osi w przestrzeni pomierzono ich azymuty. Pomiarów prowadzono w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach (osie A i B) wyznaczonych przez wyprofilowane rowki w rurach inklinometrycznych. Wyniki pomiarów odczytywane są co 0,5 m i zapisywane w pamięci typu miernika firmy GLOTZL.

W celu porównania wyników w czasie wykonywania kolejnych pomiarów powinien być zachowany kierunek bazowy (położenie kierunku A). Na rysunku 1 przedstawiono przebieg odkształceń inklinometru zainstalowanego przy kościele św. Anny. Stwierdzono stałe przemieszczenia w kierunku Trasy WZ. Po pięciu latach od instalacji inklinometry wykazują przemieszczenia wielkości 3,8 mm oraz 4,8 mm. Na głębokości ok. 8 m p.p.t. występuje strefa przemieszczeń mimo zabezpieczeń, jakie wykonano w 1949 r. po powstaniu osuwiska. W związku z tym, że wzgórze kościoła zostało zabezpie-

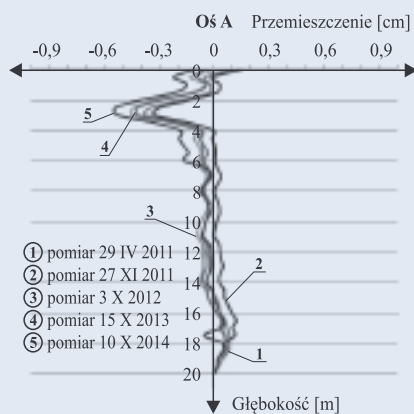
czone „mikropalami” oraz dwoma murami oporowymi, konieczne jest podjęcie działań nad oceną stanu murów i innych zabezpieczeń przeciwoświ-skowych przy wschodniej pierzei tunelu Trasy WZ.

Podobny charakter mają przemieszczenia inklinometrów przy ul. Steinkellera (rysunek 2), które wykazują wyraźną tendencję do przemieszczeń na głębokości 3 m p.p.t., co odpowiada najmłodszym osadom antropogenicznym. W podłożu w rejonie inklinometru występują różnowiekowe nasypy dużej miąższości, ale są one podparte przez północną część Arkad Kubickiego i pogrzebaną zabudowę.

W obrębie Skarpy Warszawskiej zaprojektowano ciągi pomiarowe odpowiadające znanym przekrojom geologicznym. Baza danych umożliwia wizualizację wyników w postaci wektorów przemieszczeń.



Rys. 1. Przemieszczenia inklinometru przy kościele św. Anny
Fig. 1. Displacements of the inclinometer near the St. Anna's church



Rys. 2. Przemieszczenia inklinometru przy ul. Steinkellera
Fig. 2. Displacements of the inclinometer near Steinkeller Street

Interpretacja wyników

Odpowiednio dokładne i wiarygodne pomiary są punktem wyjścia do oceny przemieszczeń podłoża gruntowego. W tabeli przedstawiono klasyfikację przemieszczeń reperów/ruchów podłoża na przykładzie przekroju w północnej części Arkad Kubickiego.

Przemieszczenia poziome i pionowe

Horizontal and vertical displacements summary

Numer	Typ	Przemieszczenia pionowe		Klasa dH	Przemieszczenia poziome		Klasa dR	
		dH-całk. [mm]	mdH-całk. [mm]		dR-całk. [mm]	mdR-całk. [mm]		
ISM5	inklinometr	-7,6	0,4	ruchomy	5,4	5,3	tendencja	
10541	ziemny XYH	-0,2	0,4	stabilny	24,1	4,4	ruchomy	
10542	ziemny XYH	-0,5	0,4	tendencja	37,1	4,8	ruchomy	
10543	ziemny XYH	-17,7	0,4	ruchomy	1,8	5,3	stabilny	
10544	ziemny XYH	-1,0	0,5	ruchomy	8,9	5,5	tendencja	
10545	ziemny XYH	zniszczony (epoka 5: 2014 r.)						

dH max = -17,7 mm, dR max = 37,1 mm, dH średnia = -5,4 mm, dR średnia = 15,5 mm

Ocena procesu przemieszczeń może być wykonana na trzy różne sposoby:

- **ocena jakościowa** – sprowadza się do potwierdzenia lub odrzucenia hipotezy o deformacji podłoża;
- **ocena ilościowa** – powinna obejmować wyznaczenie wektorów przemieszczeń wraz z oszacowaniem dokładności wyników;
- **ocena szczególnych przypadków** – należy wyjaśnić przyczyny obserwowanych deformacji.

Dotychczasowe wyniki prac pozwoliły na opracowanie zależności między wartością przemieszczeń a dokładnością pomiarów.

W przypadku systemu monitoringu Skarpy Warszawskiej przyjęto następujące **kryterium klasyfikowania przemieszczeń** całkowitych pionowych dH i poziomych dR ze względu na wartość średniego błędu pomiaru (mdH i mdR) wyznaczoną na podstawie tzw. krotności błędu:

- **ruchomy:** przemieszczenie/błąd ≥ 2 (mdH; mdR);
- **tendencja:** przemieszczenie/błąd ≥ 1 (mdH; mdR);
- **stabilny:** przemieszczenie/błąd < 1 (mdH; mdR).

Pozwala ono klasyfikować pomierzone przemieszczenia na potrzeby prognozy i planowania działań budowlanych w rejonie obserwowanych odcinków skarpy.

Podsumowanie

Moje doświadczenia zawodowe wyraźnie wskazują na zasadność prowadzenia monitoringu wybranych obszarów skarp na terenach zurbanizowanych. Pozwala to na sterowanie procesami rewitalizacji istniejących obiektów. Informacje o ruchach podłoża są bardzo

ważne w procesie projektowania zabezpieczeń skarp.

Literatura

- [1] Łabuz J., Problematyka przestrzennego zagospodarowania Skarpy Płockiej i terenów przyskarpowych w powiązaniu z rewitalizacją Starego Miasta. Konferencja nauk. – techn. Przemieszczenia Skarpy Płockiej, Płock 22.05.1998, 49 – 72.
- [2] Wyrzykowski T., Mapa prędkości współczesnych pionowych ruchów powierzchni skorupy ziemskiej na obszarze Polski. Skala 1: 2 500 000. Instytut Geodezji i Kartografii, Warszawa, 1985.
- [3] Wyrzykowski T., Nowe wyznaczenie prędkości współczesnych pionowych ruchów powierzchni skorupy ziemskiej na obszarze Polski, Prace IGiK, t. XXXIV, z. 1., str. 41 – 64, 1987.
- [4] Kowalczyk, K., Cały kraj się obsuwa, Geodeta, nr 8 (135), str. 45-48, sierpień 2006.
- [5] Margański S., Wierzbicki E., Olszak T., Badanie ruchów pionowych obszarów Warszawy i okolic. Acta Sci. Pol., Geodesiaet Descriptio Terrarium 10 (4) 2011, 5 – 20.
- [6] Baraniecka M. D., Quaternary dislocation zones along main structural tectonic borders of Polish Lowlands, Quatern. St. in Poland 1. Warszawa-Poznań, 5 – 14, 1979.
- [7] Program zabezpieczenia Skarpy Wiślanej w Płocku. Warsz. Wyd. Geologii i Biuro Proj.-Badawcze Budown. Komunalnego i Specjalnego METROPROJEKT w Warszawie. Płock, 1979.
- [8] Łukasik S. i in., Monitoring przemieszczeń górotworu, budynków i budowli na obszarze trzech fragmentów Skarpy Warszawskiej w latach 2012-2014, Instytut Techniki Budowlanej, 2014.

Przyjęto do druku: 28.09.2015 r.