

RAPORT WYNIKOWY NR 2
z II serii pomiarów
wgłębnych przemieszczeń
Skarpy Wiślanej w Górze Kalwarii
gm. Góra Kalwaria, pow. Piaseczyński,
woj. mazowieckie

ZAMAWIAJĄCY:

POWIAT PIASECZYŃSKI
UL. CHYLICKOWSKA 14
05-500 PIASECZNO

Opracował zespół:

mgr Rafał Kuszyk
upr. V-1553, VII-1362

mgr inż. Witold Domaradzki

mgr Aneta Cała

Warszawa – grudzień 2011 r.

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	3
2. CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKA	3
3. ZAKRES PRAC POMIAROWYCH	5
3.1. Opis przekrojów pomiarowych	6
3.2. Stabilizacja punktów i sprzęt pomiarowy	7
3.3. Technologia wykonania inklinometrów	8
4. ANALIZA PRZEMIESZCZEŃ SKARPY	11
5. WNIOSKI KOŃCOWE	11

ZAŁĄCZNIKI

Zał. 1.0	Mapa lokalizacyjna, skala 1:10 000
Zał. 1.1	Mapa inwentaryzacji, skala 1:10 000
Zał. 2.0	Mapy dokumentacyjne, skala 1:1000
Zał. 3.0	Odległości pomiędzy głowicami kolumn inklinometrycznych w poszczególnych przekrojach pomiarowych [m]
Zał. 4.0	Zestawienie wyników pomiarów przemieszczeń pionowych i poziomych głowic kolumn inklinometrycznych
Zał. 5.0	Wyniki II serii pomiarów wgłębnych przemieszczeń Skarpy Wiślanej

1. WSTĘP

Niniejszy raport sporządzono na zamówienie Powiatu Piaseczyńskiego z siedzibą przy ul. Chyliczkowskiej 14 w Piasecznie. Opracowanie zawiera wyniki drugiej serii pomiarów wgłębnych przemieszczeń Skarpy Wiślanej w miejscowości Góra Kalwaria, na odcinku od zbiegu ulic Wojska Polskiego i Batalionu Czwartaków do Moczydłowa. Lokalizacja wg Zał. 1.0, Zał. 1.0 i Zał. 1.1.

Dla potrzeb opracowania niniejszego raportu wykorzystano:

- [1] Projekt prac geologicznych na wykonanie inklinometrów do pomiarów wgłębnych przemieszczeń Skarpy Wiślanej w Górze Kalwarii, gm. Góra Kalwaria, pow. Piaseczyński, woj. mazowieckie. HydroGeoStudio 08.2011.
- [2] Dokumentacja geologiczna z wykonania inklinometrów do pomiarów wgłębnych przemieszczeń Skarpy Wiślanej w Górze Kalwarii gm. Góra Kalwaria, pow. Piaseczyński, woj. mazowieckie. HydroGeoStudio 10.2011.
- [3] Raport wynikowy nr 1 z I serii (zerowej) pomiarów wgłębnych przemieszczeń Skarpy Wiślanej w Górze Kalwarii, gm. Góra Kalwaria, pow. Piaseczyński, woj. mazowieckie. HydroGeoStudio 10.2011.
- [4] Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Piaseczno 560, wraz z objaśnieniami. Instytut Geologiczny 1976.
- [5] Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Góra Kalwaria (M 34-7A), wraz z objaśnieniami. Instytut Geologiczny 1966.
- [6] Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Góra Kalwaria 597, wraz z objaśnieniami. Państwowy Instytut Geologiczny 1997.
- [7] Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Piaseczno 560, wraz z objaśnieniami. Państwowy Instytut Geologiczny 1997.
- [8] System Oslony Przeciw Osuwiskowej SOPO. Państwowy Instytut Geologiczny.
- [9] PN-B-02481:1998. Geotechnika. Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar.
- [10] PN-EN ISO 14688. Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów.
- [11] PN-B-02479:1998. Geotechnika. Dokumentowanie geotechniczne. Zasady ogólne.
- [12] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2006 r. nr 129, poz. 902 z późn. zm.)
- [13] Ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. z 2005 r. nr 228, poz. 1947 z późn. zm.)
- [14] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi (Dz. U. z 2007 r. nr 121, poz. 840)

2. CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKA

Teren badań obejmuje wschodni skraj wysoczyzny lodowcowej, Skarpę Wiślaną oraz obszar tarasu zalewowego niższego i tarasu zalewowego wyższego Wisły znajdujący się w bezpośrednim sąsiedztwie podnóża skarpy. W rejonie badań skarpa ma około 15

÷ 30 m wysokości oraz nachylenie powyżej 30%. W Górze Kalwarii krawędź skarpy układa się na rzędnej 115,0 ÷ 117,5 m npm i obniża się w kierunku Moczydłowa do rzędnej 100,0 m npm.

W obrębie Skarpy Wiślanej w rejonie Góry Kalwarii występują osuwiska oraz tereny zagrożone ruchami masowymi opisane szczegółowo w Systemie Osłony Przeciw Osuwiskowej SOPO Państwowego Instytutu Geologicznego [8]. W większości występują tu osuwiska aktywne okresowo lub aktualnie nieaktywne. Przekroje pomiarowe zostały zlokalizowane w najbardziej newralgicznych rejonach (przekroje I ÷ V), gdzie w okresie ostatniego pół roku doszło do ruchów mas ziemnych skutkujących miejscami naruszeniem konstrukcji budynków bądź infrastruktury technicznej. Dodatkowo przekroje VI ÷ VIII zlokalizowano w rejonach potencjalnie narażonych na takie ruchy, w rejonie intensywnej zabudowy.

Na badanym terenie bezpośrednio pod powierzchnią terenu występują (wg [2], [3], [4] i [5]):

- na wysoczyźnie lodowcowej:

- do głębokości 1,0 m ppt gleba i nasypy głównie niebudowlane;
- do głębokości 2,5 ÷ 16,0 m ppt utwory niespoiste w postaci piasków drobnych – piaski zastoiskowe miejscami przykryte utworami lodowcowymi w postaci glin piaszczystych i pylastych oraz utworami wodnolodowcowymi w postaci piasków drobnych zalegających na bruku morenowym o łącznej miąższości 2,7 ÷ 7,5 m (otwory: INK3/1, INK4/1);
- do głębokości rozpoznania utwory spoiste w postaci ilów – utwory zastoiskowe miejscami podścielone utworami lodowcowymi w postaci glin piaszczystych (otwór: INK1/1);

- na tarasie zalewowym niższym i tarasie zalewowym wyższym:

- do głębokości 0,8 m ppt gleba
- do głębokości rozpoznania a miejscami do głębokości 1,5 ÷ 2,4 m ppt (otwory nr INK3/4, INK6/3) utwory spoiste głównie w postaci glin pylastych i piasków gliniastych
- utwory rzeczne facji powodziowej – mady;
- poniżej ww. utworów a miejscami poniżej gleby (otwory: INK7/3, INK8/3) do głębokości rozpoznania utwory niespoiste głównie w postaci piasków drobnych i pylastych – utwory rzeczne.

Na wysoczyźnie lodowcowej nie nawiercono ciągłego poziomu wodonośnego. W obrębie skarpy stwierdza się występowanie wielu, nieregularnie rozmieszczonych sączeń

śródoglinowych. Miejscami występują również okresowe wysięki wód na zboczu skarpy. Wody podziemne spływają z wysoczyzny ku dolinie w sposób nieregularny po stropie utworów spoistych. Natężenie spływu zależne jest od intensywności opadów.

U podnóża skarpy – na obszarze tarasu zalewowego niższego i tarasu zalewowego wyższego Wisły nawiercono zwierciadło wód podziemnych, miejscami napięte przez wyżej zalegające mady. Zwierciadło swobodne nawiercono na głębokości 0,8 m ppt. Zwierciadło napięte nawiercono na głębokości 1,5 ÷ 2,4 m ppt.

3. ZAKRES PRAC POMIAROWYCH

W ramach prowadzonych pomiarów przemieszczeń Skarpy Wiślanej w Górze Kalwarii, na odcinku od zbiegu ulic Wojska Polskiego i Batalionu Czwartaków do Moczydłowa wyznaczono metodami geodezyjnymi:

- a) przemieszczenia pionowe badanych punktów;
- b) przemieszczenia poziome badanych punktów (składowej prostopadłej do badanej skarpy);
- c) ruchy górotworu na podstawie pomiarów inklinometrycznych.

Sesje pomiarowe przeprowadzono w dwóch seriach:

- I seria (pomiaru zerowe) w okresie 04 ÷ 13.10.2011 - wyniki pomiarów zamieszczono w raporcie wynikowym nr 1 (wg [3]);
- II seria w okresie 23 ÷ 29.11.2011.

Pomiary przeprowadzono na 24 pionach inklinometrycznych w 8 przekrojach pomiarowych (zlokalizowanych prostopadle do badanej skarpy) oraz 32 reperach odniesienia zlokalizowanych poza zasięgiem wpływu skarpy. Lokalizację przekrojów pomiarowych na tle zinwentaryzowanych wg SOPO osuwisk i terenów zagrożonych przedstawiono w Zał. 1.0. Lokalizacja poszczególnych punktów pomiarowych i reperów odniesienia została przedstawiona w Zał. 1.1.

Dla każdego przekroju przewidziano minimum dwa punkty kontrolne (odniesienia) na górze skarpy oraz minimum dwa punkty kontrolne na dole skarpy. Punkty kontrolowane stanowią wloty (górne części) rur inklinometrycznych zainstalowanych w przekroju pomiarowym skarpy. Przemieszczenia poziome, pionowe, oraz ruchy górotworu badane inklinometrycznie wykonano dla każdej z rur inklinometrycznych.

Pomiary geodezyjne i inklinometryczne wraz z opracowaniem wyników zostały wykonane przy udziale firmy DWG Witold Domaradzki.

3.1. Opis przekrojów pomiarowych

Przekroje pomiarowe obejmujące rejony gdzie w okresie ostatniego pół roku i więcej doszło do ruchów mas ziemnych skutkujących miejscami naruszeniem konstrukcji budynków bądź infrastruktury technicznej zostały zlokalizowane w następujących miejscach:

Przekrój I - rejon ul. Batalionu Czwartaków 5

- repery kontrolne: reper na budynku stacji paliw przy ul. Wojska Polskiego, reper kontrolny na budynku przy stadionie przy ul. Wojska Polskiego, dwa ziemne repery kontrolne na końcu (na dole) przekroju;
- repery kontrolowane: trzy repery stabilizowane na wlotach rur inklinometrycznych na górze, środku i na dole skarpy INK1/1, INK1/2, INK1/3.

Przekrój II - rejon ul. Wojska Polskiego 25

- repery kontrolne: reper na budynku nr 40 przy ul. Wojska Polskiego, reper na murze ogrodzeniowym na posesji nr 3 przy ul. Okulickiego, dwa ziemne repery kontrolne na końcu (na dole) przekroju;
- repery kontrolowane: trzy repery stabilizowane na wlotach rur inklinometrycznych na górze, środku i na dole skarpy INK2/1, INK2/2, INK2/3.

Przekrój III - rejon ul. Wojska Polskiego 17

- repery kontrolne: repery na budynku nr 20 i 22 przy ul. Wojska Polskiego, dwa ziemne repery kontrolne na końcu (na dole) przekroju;
- repery kontrolowane: cztery repery stabilizowane na wlotach rur inklinometrycznych na górze, środku (2 rury) i na dole skarpy INK3/1, INK3/2, INK3/3, INK3/4.

Przekrój IV - rejon ul. Wojska Polskiego (działka nr ew. 7 i 34 obręb 08-03)

- repery kontrolne: reper na budynku gospodarczym na posesji nr 40 przy ul. Wojska Polskiego, reper na budynku gospodarczym na posesji nr 18 przy ul. Wojska Polskiego, dwa ziemne repery kontrolne na końcu (na dole) przekroju, dwa repery na moście na kanale Czarna – Cedroń. Dolne repery przekroju IV są wspólne również dla przekroju V;
- repery kontrolowane: trzy repery stabilizowane na wlotach rur inklinometrycznych na górze, środku i na dole skarpy INK4/1, INK4/2, INK4/3. Dolny inklinometr przekroju IV INK4/3 jest wspólny dla przekroju V.

Przekrój V - rejon ul. Wojska Polskiego 5 B

- repery kontrolne: reper na garażach przy ul. Wojska Polskiego, reper na budynku nr 44 przy ul. Dominikańskiej. Dolne repery kontrolne są identyczne jak dla przekroju IV;

– repery kontrolowane: trzy repery stabilizowane na wlotach rur inklinometrycznych na górze, środku i na dole skarpy INK5/1, INK5/2, INK5/3, oraz wspólny dolny inklinometr dla przekroju IV i V INK4/3.

Przekroje pomiarowe obejmujące rejony potencjalnie narażone na ruchy mas ziemnych, w rejonie intensywnej zabudowy:

Przekrój VI - rejon ul. Ks. Zygmunta Sajny 14

– repery kontrolne: reper na budynku nr 14 przy ul. Sajny, reper na budynku przy Zespole Szkół przy ul. Sajny nr 16, dwa repery kontrolne na końcu (na dole) przekroju zastabilizowane na budowach hydrotechnicznych na kanale Czarna – Cedroń;

– repery kontrolowane: trzy repery stabilizowane na wlotach rur inklinometrycznych na górze, środku i na dole skarpy INK6/1, INK6/2, INK6/3.

Przekrój VII - rejon ul. Lipkowskiej 14A

– repery kontrolne: repery na murze ogrodzeniowym wzdłuż ul. Lipkowskiej położonym przy posesji nr 1 przy ul. Szpitalnej (Dom Pomocy Społecznej), dwa ziemne repery kontrolne na końcu (na dole) przekroju;

– repery kontrolowane: trzy repery stabilizowane na wlotach rur inklinometrycznych na górze, środku i na dole skarpy INK7/1, INK7/2, INK7/3.

Przekrój VIII - rejon Moczydłowa (działka nr ew. 120/1 i 120/4 obręb Moczydłów)

– repery kontrolne: repery na budynku gospodarczym na posesji nr 41 i 33 w Moczydłowie, reper na schodach budynku na posesji nr 34 w Moczydłowie, reper na murze ogrodzeniowym na posesji nr 35 w Moczydłowie;

– repery kontrolowane: trzy repery stabilizowane na wlotach rur inklinometrycznych na górze, środku i na dole skarpy INK8/1, INK8/2, INK8/3.

3.2. Stabilizacja punktów i sprzęt pomiarowy

Punkty odniesienia na budynkach lub innych obiektach budowlanych zastabilizowane zostały za pomocą prętów stalowych z osadzoną kulką. Punkt odniesienia na moście na kanale Czarna – Cedron oraz punkt na budynku nr 14 przy ul. Sajny to istniejące repery państwowe. Punkty odniesienia (część) u podstawy skarpy wykonane zostały jako punkty ziemne zabetonowane na głębokości około 2 metrów, poza strefą przemieszczeń.

Pomiary przemieszczeń pionowych wykonano niwelacją precyzyjną geometryczną, a dla odcinków o najwyższym nachyleniu niwelacją precyzyjną trygonometryczną. Użyto sprzętu:

- Niwelator Leica DNA 03 (dokładność 0,3 mm/km podwójnej niwelacji), łąty

inwarowe ze stojakami, żabki niwelacyjne;

- Tachimetr Leica TS30 (dokładność dalmierza $0,6 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$, dokładność kątowa $0,5''$) wraz z osprzętem.

Przemieszczenia poziome w kierunku składowej prostopadłej do badanej skarpy wykonano poprzez pomiar wzajemny odległości pomiędzy badanymi punktami. Użyto sprzętu:

- Tachimetr Leica TS30.

Ruchy górotworu wyznaczono poprzez pomiary inklinometryczne wgłębne w rurach zlokalizowanych w badanych punktach. Użyto sprzętu:

- Inklinometr SISGEO (S242HV3000).

Warunki pogodowe w czasie pomiarów:

I seria pomiarowa - temp. od 5 do 10°C , dni słoneczne z przelotnym zachmurzeniem, umiarkowany wiatr nie przekraczający 20 km/h .

II seria pomiarowa - niska temp. od 0 do 8°C , w ciągu dnia duże zachmurzenie i przelotne zamglenia, umiarkowany wiatr.

Uzyskane dokładności pomiarowe:

- średni błąd pomiaru wysokości reperów $m_H = \pm 1 \text{ mm}$;
- średni błąd pomiaru odległości $m_D = \pm 1 \text{ mm}$.

3.3. Technologia wykonania inklinometrów

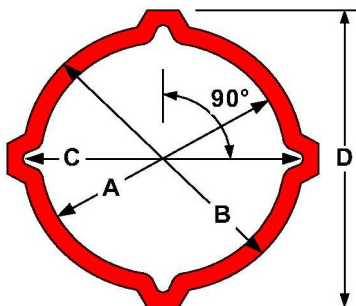
Kolumny inklinometryczne, wykonane z łączonych odcinków rur typu ABS (długości $3,0 \text{ m}$) zostały zainstalowane w otworach wiertniczych. Szczegóły konstrukcyjne wg Rys. 1 i Tab. 1.

Instalacja kolumny inklinometrycznej odbyła się w następujący sposób:

- wiercenie otworu
- montaż rur o długości odcinków $3,0 \text{ m}$;
- iniekcja wypełniająca;
 - instalacja osłony metalowej w górnej części kolumny przystosowanej do pomiarów geodezyjnych.

Przestrzeń między gruntem a kolumną rur inklinometrycznych została wypełniona zaczynem cementowym niskociśnieniowo w celu uzyskania właściwej współpracy kolumny z otaczającym gruntem. Spód kolumny zabezpieczony został korkiem a w części górnej zamontowana została żeliwna osłona z zamknięciem systemowym.

Pomiary przemieszczeń poziomych, realizowane w terenie, wyznaczają położenie, wzajemnie prostopadłych, osi pomiarowych A i B. Umownie przyjęto, że oś skierowana prostopadle do skarpy oznaczona została jako oś A+. Przyjęte oznaczenie osi A+ należy zachować w kolejnych cyklach pomiarowych. Pozostałe kierunki oznaczone są zgodnie z ruchem wskazówek zegara tzn. rozpoczynając od $A+ \rightarrow B+ \rightarrow A- \rightarrow B-$.



Rys. 1 Przekrój poprzeczny przez kolumnę inklinometryczną typu ABS 50

Tab. 1 Parametry charakterystyczne rury inklinometrycznej

Wymiary Typ	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]
2"	47	55	54	60

Wyniki pomiarów określające położenie osi pomiarowych A i B w kolejnych sesjach pomiarowych stanowią bazę dla dalszych obliczeń i pozwalają na określenie:

- przemieszczeń sumarycznych – są to wartości przemieszczeń stwierdzone w okresie pomiędzy pomiarem w danej sesji a pomiarem bazowym;
- przemieszczeń okresowych – są to wartości przemieszczeń w okresie pomiędzy kolejnymi pomiarami;
- przemieszczeń sumarycznych wypadkowych P_w , które wskazują wartość i kierunek wektora przemieszczeń wyznaczonego ze składowych $P(A)$ i $P(B)$ w danej sesji pomiarowej.

Wyniki pomiarów określające przebieg osi pomiarowych A i B zestawiono na wykresach w Zał. 5.0. W poszczególnych przekrojach pomiarowych pomierzono odległości pomiędzy głowicami kolumn inklinometrycznych zaznaczając kierunki ich przemieszczenia w odniesieniu do I serii pomiarowej. Wyniki pomiarów przedstawiono w Zał. 6.0 zaś zestawienie przemieszczeń pionowych i poziomych głowic kolumn inklinometrycznych w Zał. 4.0. Zał. 4.0. Dokładna lokalizacja kolumn inklinometrycznych przedstawiona została na mapach dokumentacyjnych w Zał. 2.0. Zał. 2.0. Współrzędne geodezyjne i geograficzne w Państwowym Układzie Współrzędnych Geodezyjnych 2000 (układ odniesienia - Kronsztad 1960) zamieszczono w Tab.2

Tab. 2.

Tab. 2 Współrzędne geodezyjne i geograficzne kolumn inklinometrycznych

Numer kolumny inklinometrycznej	Współrzędne:				
	geodezyjne (układ 2000)			geograficzne (WSG'84)	
	X	Y	H	B	L
INK1/1	5759530,84	7514754,54	143,18	51°58'10,287"	21°12'52,946"
INK1/2	5759552,65	7514789,69	136,03	51°58'10,989"	21°12'54,791"
INK1/3	5759553,53	7514891,77	123,52	51°58'11,008"	21°13'00,139"
INK2/1	5759842,04	7514744,85	145,93	51°58'20,357"	21°12'52,487"
INK2/2	5759829,91	7514814,13	133,18	51°58'19,958"	21°12'56,114"
INK2/3	5759812,62	7514882,38	123,87	51°58'19,392"	21°12'59,687"
INK3/1	5759924,68	7514750,71	65,88	51°58'23,031"	21°12'52,807"
INK3/2	5759920,15	7514777,49	140,81	51°58'22,881"	21°12'54,209"
INK3/3	5759896,01	7514841,97	131,40	51°58'22,094"	21°12'57,583"
INK3/4	5759863,29	7514958,82	122,68	51°58'21,024"	21°13'03,700"
INK4/1	5760101,71	7514774,63	69,41	51°58'28,757"	21°12'54,088"
INK4/2	5760094,75	7514808,44	143,44	51°58'28,528"	21°12'55,857"
INK4/3	5760034,59	7515026,02	122,68	51°58'26,560"	21°13'07,247"
INK5/1	5760235,37	7514837,79	146,58	51°58'33,075"	21°12'57,417"
INK5/2	5760213,33	7514824,65	144,19	51°58'32,363"	21°12'56,725"
INK6/1	5761142,29	7515152,72	151,36	51°59'02,390"	21°13'14,062"
INK6/2	5761178,51	7515172,62	138,26	51°59'03,560"	21°13'15,110"
INK6/3	5761203,25	7515263,21	62,46	51°59'04,352"	21°13'19,862"
INK7/1	5761764,16	7514896,58	149,24	51°59'22,536"	21°13'00,736"
INK7/2	5761786,07	7514967,03	55,07	51°59'23,239"	21°13'04,433"
INK7/3	5761768,65	7515039,66	42,37	51°59'22,668"	21°13'08,236"
INK8/1	5762894,84	7513700,17	142,56	51°59'59,232"	21°11'58,195"
INK8/2	5762944,28	7513755,97	134,50	52°00'00,827"	21°12'01,127"
INK8/3	5763046,53	7513923,39	122,84	52°00'04,121"	21°12'09,919"

4. ANALIZA PRZEMIESZCZEŃ SKARPY

W obliczeniach przemieszczeń wykorzystano wyrównanie ściśle przewyższeń z warunkiem stałości na wyselekcjonowane repery odniesienia oraz obliczenie wartości przemieszczeń na podstawie wyników wyrównania (przy wykorzystaniu programu WYR1). Wyznaczenie zmian odległości poziomych między reperami kontrolowanymi (wloty kolumn inklinometrycznych) wykonano w odniesieniu do kolumny inklinometrycznej położonej najniżej.

Analizę przemieszczeń należy rozpatrywać dwutorowo:

1. Jako analizę przemieszczeń punktów powierzchniowych w płaszczyźnie $x(N)$, $y(E)$, z - wyniki przemieszczeń poszczególnych punktów w płaszczyźnie $x(N)$ przedstawia Zał. 3.0 i 4.2 zaś w płaszczyźnie z przedstawia Zał. 4.1. Składowe przemieszczeń $x(N)$ i z są dodatkowo zobrazowane na mapach w Zał. 2.0.
2. Jako analizę przemieszczeń wgłębnych w profilach inklinometrycznych w płaszczyźnie $x(N)$, $y(E)$ - wyniki wychylenia (przemieszczenia) poszczególnych inklinometrów przedstawia Zał. 5.0.

Taki układ pomiarowy pozwala uzyskać pełen obraz przemieszczenia powierzchni terenu wzdłuż przekrojów pomiarowych oraz ruchu wgłębego mas ziemnych.

Analizując przemieszczenia powierzchniowe punktów widać, iż przemieszczenia na kierunku $x(N)$, prostopadłe do skarpy mieszczą się w przedziale $1 \div 50$ mm. Przemieszczenia pionowe wahają się w niższym przedziale $0 \div 8,5$ mm. Przemieszczenia wgłębne odzwierciedlają ruchy powierzchniowe tzn. wielkość przemieszczeń maleje wraz z głębokością co wskazuje na kształtowanie się w obrębie skarpy typowych powierzchni poślizgu dla materiału drobnoziarnistego.

Na całym badanym odcinku uwidaczniają się powierzchniowe przemieszczenia mas ziemnych w granicach $4 \div 14$ mm w przeciągu ok. 1,5 miesiąca. Największe przemieszczenia występują w przekroju I, II, III, IV, V i VII. Za stabilne należy uznać przekroje VI i VIII (zmiana odległości między INK6/3 i INK6/2 w przekroju VI jest spowodowana zerwaniem osłony kolumny inklinometrycznej przez osoby postronne). Pomiary inklinometryczne wykazały iż największe przesunięcia wgłębne mas ziemnych (maksymalnie do 25 mm) wystąpiły w przekroju I (INK1/1) i III (IN3/3).

5. WNIOSKI KOŃCOWE

1. Znaczącego uaktywnienia się ruchów mas ziemnych na przedmiotowym terenie upatruje się przede wszystkim w zawodnieniu skarpy. Skarpa Wiślana jest naturalną

drogą przepływu wód gruntowych z obszaru wysoczyzny do doliny rzecznej Wisły – dolina ma charakter drenujący. Z uwagi na brak, na tym terenie jednorodnej i ciągłej warstwy wodonośnej, przepływ wody odbywa się w sposób nieregularny przez warstwę koluwiów po stropie osadów morenowych budujących skarpe w Górze Kalwarii i okolicy (obrazem tego są też liczne, nieregularne sączenia wód na skłonie skarpy). Zaznacza się, iż ostatnie dwa lata 2010 i 2011 był okresami mokrymi skutkującymi podniesieniem się zwierciadła wody na terenie praktycznie całego kraju do poziomu sprzed dziesięciolecia. W przypadku przedmiotowej skarpy miało to również kluczowe znaczenie – uruchomiło bowiem ruchy mas ziemnych, które dotychczas pozostawały w chwilowej równowadze. Poprzez wzrost wilgotności (sukcesywne namakanie koluwiów, bez dostatecznie szybkiego drenażu ku rzece) został przekroczony w wielu miejscach stan równowagi granicznej i doszło do spełznięć, w tym uszkodzeń budynków zlokalizowanych bezpośrednio na koronie skarpy. Czynnikiem wtórnym, oddziałującym dodatkowo niekorzystnie w tej sytuacji, jest obciążenie ruchem drogi nr 79 – w przypadku nawodnienia drobnoziarnistego materiału koluwium może w skrajnym przypadku dochodzić do jego upłynnienia i zsuwu.

2. W celu zatrzymania dalszego procesu spełznięcia konieczne jest prawidłowe zdrenowanie skarpy na dokumentowanym odcinku tak, aby wyeliminować dodatkowe siły destabilizujące – obciążenie wodą. W tym celu konieczne jest wykonanie pełnego rozpoznania geologiczno-inżynierskiego i hydrogeologicznego warstw budujących koronę skarpy, zbocze i podstawę tak, by określić uprzywilejowane drogi przepływu wód z wysoczyzny. Woda jest czynnikiem głównym i podstawowym, który powoduje destabilizację skarpy i bez jej prawidłowego odprowadzenia wszelkie zabiegi powierzchniowej (gwoździowanie) czy wgłębnej (mikropale) stabilizacji osuwisk będą doraźne i krótkoterminowe. Bez prawidłowego drenażu należy spodziewać się dalszych ruchów skarpy – ich tempo zależne będzie od intensywności opadów i związanej z tym filtracji ku dolinie.
3. Z uwagi na zabudowę korony skarpy oraz fakt, iż pomierzone przemieszczenia są znaczące (skarpa jest aktualnie w ruchu) zaleca się zwiększyć ilość sesji pomiarowych na obecnie zainstalowanej sieci pomiarowej do 4 w ciągu roku (raz na kwartał). Dodatkowo należy przewidzieć sesje po ulewnych i długotrwałych opadach.
4. Z uwagi na trudne warunki terenowe: duże różnice wysokości między kolumnami inklinometrycznymi, podmokły teren, duże zadrzewienie i zakrzaczenie terenu uzyskano niską dokładność pomiarów w zakresie przemieszczeń pionowych. W związku z tym zaleca się zainstalowanie reperów na budynkach w bezpośrednim sąsiedztwie

skarpy oraz wykonanie pomiarów ich przemieszczeń metodą niwelacji precyzyjnej z dokładnością do 0,3 mm z jednoczesnym nawiązaniem do reperów odniesienia zlokalizowanych powyżej skarpy, poza strefą jej oddziaływania.

5. W związku z istotnym wpływem przepływu wody na stateczność skarpy zaleca się rozszerzyć monitoring przemieszczeń o punkty piezometryczne pomiaru poziomu wody gruntowej – na koronie, zboczu i u podnóża skarpy. Warunki wodne mają tu decydujący wpływ na postęp przemieszczeń.
6. Z analizy przemieszczeń punktów wynika, iż na całej długości badanego odcinka występują ruchy skarpy (w różnym natężeniu). W związku z tym zaleca się sukcesywnie rozszerzać monitoring skarpy o dodatkowe przekroje pomiarowe. Proponowane lokalizacje dodatkowych przekroi – skarpa w kierunku Czerska i Czersk (4 przekroje), skarpa od ronda w kierunku starego miasta w Górze Kalwarii (3 przekroje), skarpa od starego miasta w kierunku Moczydłowa (3 przekroje).