



plytko pod powierzchnią terenu u podnóża i w środkowej części skarpy ilów należących do V warstwy geotechnicznej. Warstwa ta na przekroju archiwalnych (Zał. nr 5b) ma niewielką i stałą miąższość, podczas gdy według aktualnie przeprowadzonych wierceń penetracyjnych występuje ona w formie klina, o miąższości zmniejszającej się w kierunku północnym (Zał. nr 6). W przekroju przez osuwisko (Zał. nr 6) stwierdzono też występowanie dużo mniejszej pokrywy koluwiów niż wg materiałów archiwalnych [1].

Szczegółowa budowa geologiczna badanego terenu przedstawiona została na profilach geotechnicznych i przekrojach geologiczno-inżynierskich (Zał. nr 3, 5 i 6).

#### **4.3. Warunki geologiczno - inżynierskie**

Zgodnie z przyjętą metodyką (p.3.4), **wydzielono 8 warstw geotechnicznych: 6 dla gruntów spoistych – IVa, IVb, V, VIa, VIb, VIb' oraz 1 dla gruntów niespoistych – IVc, a także jedną warstwę piaszczysto-gliniastych utworów koluwalnych – I.** Ich średnie wartości parametrów geotechnicznych, wyznaczone na podstawie PN-81/B-0320, przedstawiono w tabeli na zał. nr 9. Parametry te wykorzystano w wielowariantowych obliczeniach stateczności skarpy.

Poniżej w sposób syntetyczny scharakteryzowano każdą z wydzielonych warstw geotechnicznych.

**Warstwa I** – czwartorzędowe (holoceńskie) utwory zboczowe. Są to piaski drobne i średnie, piaski gliniaste oraz glina piaszczysta i pylasta. Występują one na skarpach w formie pokryw o zmiennej miąższości.

Parametry geotechniczne przyjęte wg materiałów archiwalnych [1]: gęstość objętościowa 1,75 - 2,0 g/cm<sup>3</sup>, gęstość właściwa 2,63 g/cm<sup>3</sup>, wilgotność naturalna 2,7%, kąt tarcia wewnętrznego 15°, spójność 5 - 20 kPa, moduł odkształcenia pierwotnego 150 MPa, moduł ściśliwości pierwotnej 170 MPa.

Parametry geotechniczne na podstawie badań laboratoryjnych: stopień plastyczności dla glin piaszczystych  $I_L < 0$ ; dla glin pylastych  $I_L = 0,04$ , stopień zagęszczenia dla piasków drobnych  $I_D = 25$ ; dla piasków średnich  $I_D = 20$ , gęstość objętościowa 1,62 - 1,82 g/cm<sup>3</sup>, gęstość właściwa 2,64 - 2,67 g/cm<sup>3</sup>, wilgotność naturalna 3,6 - 11,1%, kąt tarcia wewnętrznego 32 - 21°, spójność <40 kPa, moduł odkształcenia pierwotnego 58 - 44 MPa, moduł ściśliwości pierwotnej 70 - 55 MPa.





**Warstwa IVa** – czwartorzędowe (plejstocenijskie) gliny zwarte, gliny piaszczyste, gliny piaszczyste zwarte oraz piaski gliniaste w stanie plastycznym ( $I_L=0,30$ ). Występują od powierzchni terenu do głębokości przeciętnie 5,0 m ppt.

Parametry geotechniczne wg materiałów archiwalnych [1]: gęstość objętościowa  $2,16 \text{ g/cm}^3$ , gęstość właściwa  $2,64 \text{ g/cm}^3$ , wilgotność naturalna 14,3%, kąt tarcia wewnętrznego  $15,1^\circ$ , spójność 38,2 kPa, moduł odkształcenia pierwotnego 190 MPa, moduł ściśliwości pierwotnej 210 MPa.

**Warstwa IVb** – czwartorzędowe (plejstocenijskie) gliny zwarte, gliny piaszczyste, gliny piaszczyste zwarte oraz piaski gliniaste w stanie twardoplastycznym ( $I_L=0,10$ ). Występują w formie warstwy o miąższości około 4,0 m pod warstwą IVa.

Parametry geotechniczne wg materiałów archiwalnych [1]: gęstość objętościowa  $2,16 \text{ g/cm}^3$ , gęstość właściwa  $2,65 \text{ g/cm}^3$ , wilgotność naturalna 14,2%, kąt tarcia wewnętrznego  $20,4^\circ$ , spójność 40,2 kPa, moduł odkształcenia pierwotnego 120 MPa, moduł ściśliwości pierwotnej 140 MPa.

**Warstwa IVc** – czwartorzędowe (plejstocenijskie) piaski drobne i średnie w stanie średnio zagęszczonym ( $I_D=0,60$ ). Występują w formie soczewek o miąższości 0,5-1,5 m w strefie przypowierzchniowej.

Parametry geotechniczne wg materiałów archiwalnych [1]: gęstość objętościowa  $1,80 \text{ g/cm}^3$ , gęstość właściwa  $2,65 \text{ g/cm}^3$ , wilgotność naturalna 15,0%, kąt tarcia wewnętrznego  $31^\circ$ , moduł odkształcenia pierwotnego 35 MPa, moduł ściśliwości pierwotnej 45 MPa.

**Warstwa V** – czwartorzędowe (plejstocenijskie) osady zastoiskowe - ropy, ropy pylaste oraz gliny pylaste i gliny pylaste zwarte. Występują w formie ciągłej warstwy o miąższości 0,5-1,0 m pod warstwą IVb.

Parametry geotechniczne wg materiałów archiwalnych [1]: stopień plastyczności  $I_L=0,20$ , gęstość objętościowa  $1,91 \text{ g/cm}^3$ , gęstość właściwa  $2,65 \text{ g/cm}^3$ , wilgotność naturalna 27,3%, kąt tarcia wewnętrznego  $13,8^\circ$ , spójność 59,8 kPa, moduł odkształcenia pierwotnego 55 MPa, moduł ściśliwości pierwotnej 70 MPa.





Parametry geotechniczne na podstawie badań laboratoryjnych: stopień plastyczności  $I_L=0,07$ , gęstość objętościowa  $1,96 \text{ g/cm}^3$ , gęstość właściwa  $2,71 \text{ g/cm}^3$ , wilgotność naturalna  $21,2\%$ , kąt tarcia wewnętrznego  $12^\circ$ , spójność  $55 \text{ kPa}$ , moduł odkształcenia pierwotnego  $20 \text{ MPa}$ , moduł ściśliwości pierwotnej  $32 \text{ MPa}$ .

**Warstwa VIa** – czwartorzędowe (plejstoceny) gliny piaszczyste i piaski gliniaste w stanie twardoplastycznym ( $I_L=0,15$ ). Występuje w formie warstwy pod osadami zastoiskowymi (warstwa geotechniczna V).

Parametry geotechniczne wg materiałów archiwalnych [1]: gęstość objętościowa  $2,12 \text{ g/cm}^3$ , gęstość właściwa  $2,65 \text{ g/cm}^3$ , wilgotność naturalna  $12,5\%$ , kąt tarcia wewnętrznego  $23,2^\circ$ , spójność  $35,7 \text{ kPa}$ , moduł odkształcenia pierwotnego  $70 \text{ MPa}$ , moduł ściśliwości pierwotnej  $95 \text{ MPa}$ .

**Warstwa VIb** – czwartorzędowe (plejstoceny) gliny piaszczyste i piaski gliniaste w stanie twardoplastycznym ( $I_L=0,00$ ). Podścielają warstwę geotechniczną VIa.

Parametry geotechniczne wg materiałów archiwalnych [1]: gęstość objętościowa  $2,25 \text{ g/cm}^3$ , gęstość właściwa  $2,68 \text{ g/cm}^3$ , wilgotność naturalna  $8,5\%$ , kąt tarcia wewnętrznego  $25^\circ$ , spójność gruntu  $50 \text{ kPa}$ , moduł odkształcenia pierwotnego  $18 \text{ MPa}$ , moduł ściśliwości pierwotnej  $33 \text{ MPa}$ .

**Warstwa VIb'** – grunty jak w warstwie geotechnicznej VIb. Ich spójność jest jednak osłabiona płaszczyznami odspojień i spękań w bryle prawdopodobnego starego osuwiska. Występują pod ul. Kazimierza Wielkiego (od dolnej krawędzi górnej skarpy do powierzchni obrywu z 1982 r. – zał. nr 5) [1].

Porównanie parametrów geotechnicznych z aktualnych badań laboratoryjnych z parametrami wg materiałów archiwalnych [1].

**Warstwa geotechniczna I** – aktualnie mniejsza gęstość objętościowa, nieznacznie większa gęstość właściwa, większa wilgotność naturalna, większy kąt tarcia wewnętrznego, większa spójność, mniejszy moduł odkształcenia pierwotnego oraz moduł ściśliwości pierwotnej.



**Warstwa geotechniczna V** – aktualnie nieznacznie mniejszy stopień plastyczności (w dalszym ciągu stan gruntu twardoplastyczny), zbliżone wartości gęstości objętościowej oraz gęstości właściwej, nieznacznie mniejsza wilgotność naturalna, zbliżony kąt tarcia wewnętrznego i spójność, mniejszy moduł odkształcenia pierwotnego oraz moduł ściśliwości pierwotnej.

## 5.0. OBLICZENIA ORAZ OCENA STATECZNOŚCI

Obliczenie stateczności skarpy, na której rozwinęło się badane osuwisko jest stosunkowo trudne, ze względu na niejednorodność gruntów spoistych, zmienność cech wytrzymałościowych gruntów z upływem czasu, a także duży wpływ infiltrujących wód opadowych na warunki stateczności.

### 5.1. Metoda obliczeniowa

Obliczenia numeryczne przeprowadzono za pomocą programu SMB v 1.1 autorstwa mgr inż. A. Batoga. Do obliczeń wybrano klasyczną metodę blokową - tzw. szwedzką (Felleniusa). Zgodnie z założeniami teoretycznymi [4], na podstawie metody szwedzkiej można otrzymać najniższe (najbezpieczniejsze) oceny nośności granicznej. Wskaźnik stateczności „F” w tej metodzie dany jest poniższą formułą:

$$F = \frac{\sum [W_i(\gamma) + W_i(\gamma')] \cos \alpha_i \tan \varphi'_i + \sum c'_i l_i}{\sum [W_i(\gamma) + W_i(\gamma_{sr})] \sin \alpha_i},$$

gdzie:

- $W_i(\gamma)$  - ciężar części i-tego bloku gruntu powyżej zwierciadła wody,
- $W_i(\gamma')$  - ciężar części i-tego bloku gruntu poniżej zwierciadła wody, obliczony przy przyjęciu  $\gamma'$ ,
- $W_i(\gamma_{sr})$  - ciężar części i-tego bloku gruntu poniżej zwierciadła wody, obliczony przy przyjęciu  $\gamma_{sr}$
- $\varphi'_i, c'_i$  - efektywne parametry wytrzymałości,
- $l_i, \alpha_i$  - długość i nachylenie powierzchni poślizgu w i-tym bloku.

Wyniki obliczeń przeprowadzonych programem SMB przedstawione są w postaci wykresu warstwicowego izolinii stałych wartości wskaźnika stateczności



określonych wewnątrz zadanego obszaru położenia środków obrotu kołowo-cylindrycznej powierzchni poślizgu, wraz z położeniem powierzchni poślizgu dla minimalnej wartości wskaźnika stateczności.

## 5.2. Schematy obliczeniowe

Obliczenia stateczności przeprowadzono dla dwóch przekrojów obliczeniowych:

- **przekrój archiwalny** (Zał. nr 5b), dla skarpy o nachyleniu ok.  $35^\circ$ , zbudowanej w większości z gruntów średnio spoistych w stanie półzwardym/ twardoplastycznym,
- **przekrój II-II'** (Zał. nr 6), dla skarpy o nachyleniu ok.  $50^\circ$ , zbudowanej z gruntów średnio spoistych i bardzo spoistych (iły), głównie w stanie twardoplastycznym.

Obliczenia stateczności dla obu przekrojów przeprowadzono dla czterech wariantów:

- Wariant I** - odtworzony stan geometrii skarpy przed powstaniem osuwiska, parametry geotechniczne wg danych archiwalnych [1] – zał. nr 9;
- Wariant II** - odtworzony stan geometrii skarpy przed powstaniem osuwiska, obniżone wartości parametrów wytrzymałościowych gruntów formujących skarpe (przyjęto zmniejszone parametry wytrzymałości o 30, 40, 50 i 60%), obliczenia wykonywane w celu określenia wytrzymałości gruntów w momencie utraty stateczności skarpy, czyli dla  $F \approx 1,0$ ;
- Wariant III** - stan geometrii po wystąpieniu osuwiska, parametry gruntu klina odłamu przyjęto wg materiałów archiwalnych  $\varphi = 15^\circ$ ,  $c = 5 \div 20$  kPa; obliczenia wykonano dla spójności  $c = 5, 10, 15$  i  $20$  kPa;
- Wariant IV** - poszukiwanie bezpiecznego nachylenia skarpy w obrębie osuwiska, sprawdzenie stateczności przy niższym nachyleniu skarpy dla różnych wartości parametrów wytrzymałości gruntów klina odłamu.

## 5.3. Wyniki obliczeń

Wyniki numerycznej analizy stateczności obu przekrojów prezentowane są w zał. nr 14 (na kolejnych rysunkach rys. 1 - rys. 11). Ilustrują one ocenę stateczności dla czterech analizowanych wariantów obliczeniowych (p.5.2).

### A. Przekrój archiwalny

- **Wariant I**

Dla przekroju o zrekonstruowanej geometrii i parametrach obliczeniowych wg danych archiwalnych wskaźnik stateczności wynosi:  $F = 2,34$ . Obliczenia ilustruje rys. 1 (Zał. nr 14).

- **Wariant II**

Obliczenia wykonano przyjmując parametry wytrzymałości gruntów skarpy osłabione kolejno o 30, 40, 50 i 60%. Parametry oraz wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 1. Oznaczenia gruntów są zgodne z rys 2 (Zał. nr 14).

Tab. 1. Zestawienie wyników obliczeń stateczności dla przekroju archiwalnego - wariant II.

Osłabienie wytrzymałości o	IV a (warstwa 5)		IV b (warstwa 4)		Wskaźnik stateczności „F”
	$\varphi$ [°]	c [kPa]	$\varphi$ [°]	c [kPa]	
30%	10,6	26,7	14,3	28,1	1,68
40%	9,1	22,3	12,2	24,1	1,43
50%	7,55	19,1	10,2	20,1	1,20
60%	6,0	15,3	8,2	16,1	0,96

Z interpolacji wyników obliczeń stateczności z tab. 1 wynika, iż utrata stateczności (stan dla  $F = 1,0$ ) mogła wystąpić po obniżeniu wytrzymałości gruntów budujących skarpe o 58%.





- **Wariant III**

Obliczenia przeprowadzono dla geometrii przekroju po wystąpieniu osuwiska, przyjmując archiwalne parametry gruntów (Zał. nr 9). Z uwagi, iż dla gruntów z klina odłamu spójność jest określona w przedziale  $c = 5 - 20$  kPa, obliczenia wykonano dla następujących wartości tego parametru  $c = 5, 10, 15, 20$  kPa. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2. Ilustruje je też rys. 3 (Zał. nr 14).

Tab. 2. Zestawienie wyników obliczeń stateczności dla przekroju archiwalnego - wariant III.

Parametry wytrzymałości gruntu klina odłamu	Wskaźnik stateczności „F”
$\varphi = 15^\circ, c = 20$ kPa	<b>1,840</b>
$\varphi = 15^\circ, c = 15$ kPa	<b>1,515</b>
$\varphi = 15^\circ, c = 10$ kPa	<b>1,180</b>
$\varphi = 15^\circ, c = 5$ kPa	<b>0,830</b>

Z interpolacji wyników obliczeń stateczności przedstawionych w tab. 2 wynika, iż dla wartości spójności  $c = 7,4$  kPa, przy  $\varphi = 15^\circ$  grunt klina odłamu może utracić swoją stateczność.

- **Wariant IV**

Z uwagi na fakt, że dla istniejącej geometrii skarpy przekrój może nie posiadać wystarczającego zapasu stateczności, przeprowadzono obliczenia dla mniejszego kąta nachylenia skarpy (w celu jej ewentualnej korekty). Wykonano obliczenia dla dwóch kątów nachylenia skarpy:  $30^\circ$  oraz  $25^\circ$ , przyjmując najniższe rozpatrywane wartości parametrów wytrzymałościowych gruntu klina odłamu:  $\varphi = 15^\circ, c = 5$  kPa oraz  $\varphi = 15^\circ, c = 10$  kPa ( dla wyższych wartości spójności występuje dostateczny zapas stateczności). Wyniki obliczeń stateczności zawiera tabela 3. Ilustrują je też rys. 4 i 5 (Zał. nr 14).

Tab. 3. Zestawienie wyników obliczeń stateczności dla przekroju archiwalnego - wariant IV.

Nachylenie skarpy	Wskaźnik stateczności „F”	
	parametry gruntu klina odłamu	
	$\varphi = 15^\circ, c = 5 \text{ kPa}$	$\varphi = 15^\circ, c = 10 \text{ kPa}$
35° (aktualne)	<b>0,830</b>	<b>1,180</b>
30°	<b>0,940</b>	<b>1,331</b>
25°	<b>1,180</b>	<b>1,765</b>

**B. Przekrój II-II'**

- **Wariant I**

Dla przekroju o zrekonstruowanej geometrii i parametrach obliczeniowych wg danych archiwalnych, wskaźnik stateczności wynosi: **F = 2,10**. Obliczenia ilustruje rys. 6 (Zał. nr 14).

- **Wariant II**

Obliczenia wykonano przyjmując obniżone wartości parametrów wytrzymałości gruntów skarpy o 30, 40, 50 i 60%. Parametry oraz wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 4. Oznaczenia gruntów są zgodne z rys. 7 (Zał. nr 14).

Tab. 4. Zestawienie parametrów obliczeniowych oraz wyników obliczeń stateczności dla przekroju II-II' - wariant II.

Osłabienie wytrzymałości $\sigma$	IV b (warstwa 1)		VI b (warstwa 2)		V (warstwa 4)		Wskaźnik stateczności „F”
	$\varphi$ [°]	c [kPa]	$\varphi$ [°]	c [kPa]	$\varphi$ [°]	c [kPa]	
30%	14,3	28,1	17,5	35,0	9,7	41,9	<b>1,47</b>
40%	12,2	24,1	15,0	30,0	8,1	35,9	<b>1,25</b>
50%	10,2	20,1	12,5	25,0	6,9	29,9	<b>1,05</b>
60%	8,2	16,1	10,0	20,0	5,5	24,0	<b>0,84</b>





Z interpolacji wyników obliczeń stateczności z tab. 4 wynika, że utrata stateczności (stan dla  $F = 1,0$ ) mogła wystąpić po obniżeniu się wytrzymałości gruntów budujących skarpe o 51%.

- **Wariant III**

Obliczenia przeprowadzono dla geometrii przekroju po wystąpieniu osuwiska, przyjmując archiwalne parametry gruntów (Zał. nr 9). Z uwagi, iż dla gruntu klina odłamu spójność jest określona w przedziale  $c = 5 - 20$  kPa, obliczenia wykonano przyjmując kolejne wartości spójności  $c = 5, 10, 15, 20$  kPa. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 5. Obliczenia ilustruje rys. 9 (Zał. nr 14).

Tab. 5. Zestawienie wyników obliczeń stateczności dla przekroju II-II' - wariant III.

Parametry wytrzymałości gruntu klina odłamu	Wskaźnik stateczności „F”
$\varphi = 15^\circ, c = 20$ kPa	<b>1,34</b>
$\varphi = 15^\circ, c = 15$ kPa	<b>1,10</b>
$\varphi = 15^\circ, c = 10$ kPa	<b>0,86</b>
$\varphi = 15^\circ, c = 5$ kPa	<b>0,60</b>

Z interpolacji wyników obliczeń stateczności z tab. 5 wynika, iż dla wartości spójności  $c = 13$  kPa, przy  $\varphi = 15^\circ$  grunt klina odłamu może utracić swoją stateczność.

Z uwagi na wykonane rozpoznanie aktualnej budowy geologicznej i warunków geotechnicznych gruntów w obrębie osuwiska (p.4.0) obliczono także stateczność dla wariantu **niewuwzględniającego** wystąpienie osłabienia gruntu w obrębie osuwiska - rys. 8 (Zał. nr 14). Wskaźnik stateczności wynosi wtedy  **$F = 2,57$** .

- **Wariant IV**

Zakładając osłabienie gruntu klina odłamu, zgodnie z danymi archiwalnymi (Zał. nr 9) wykonano obliczenia stateczności dla mniejszego nachylenia skarpy (w celu wykonania jej ewentualnej korekty). Obliczenia wykonano dla dwóch kątów nachylenia skarpy  $40^\circ$  oraz  $30^\circ$ , dla niższych wartości parametrów

wytrzymałościowych gruntu klina odłamu:  $\varphi = 15^\circ$  i  $c = 5, 10, 15$  kPa. Wyniki obliczeń zawiera tabela 6.

Tab. 6. Zestawienie wyników obliczeń stateczności dla przekroju II-II' - wariant IV.

Nachylenie skarpy	Wskaźnik stateczności „F”		
	parametry gruntu klina odłamu dla $\varphi = 15^\circ$		
	$c = 5$ kPa	$\varphi = 10$ kPa	$\varphi = 15$ kPa
50° (aktualne)	<b>0,60</b>	<b>0,86</b>	<b>1,10</b>
40°	<b>0,69</b>	<b>0,98</b>	<b>1,25</b>
30°	<b>0,92</b>	<b>1,39</b>	<b>1,85</b>

### C. Ocena wyników obliczeń stateczności

Zauważyć należy, że wyniki uzyskane dla obu analizowanych przekrojów obliczeniowych są dość zbliżone do siebie - przekrój archiwalny budują grunty stosunkowo słabsze, ale przy niższym nachyleniu, przekrój II-II' budują natomiast grunty mocniejsze (iły), ale przy wyższym nachyleniu skarpy.

#### 5.4. Stateczność przekrojów obliczeniowych

Oba analizowane przekroje przed powstaniem osuwiska charakteryzowały się dostatecznym zapasem stateczności ( $F > 2$ ).

Aktualnie, nie uwzględniając osłabienia wytrzymałości gruntu w obrębie klina odłamu, przekrój II-II' charakteryzuje się także znaczną statecznością:  $F = 2,57$ . Wartości tej nie można jednak przyjąć jako miarodajną, z uwagi na zaistniałą przebudowę skarpy oraz powstałe powierzchnie poślizgu osuwiska. Wykonane oznaczenia stanu gruntów pobranych w przekroju II-II' z wierceń penetracyjnych wskazują na stosunkowo dobry ich stan, głównie twaroplastyczny. Zakładając, iż parametry wytrzymałości gruntu w obrębie osuwiska mieszczą się w górnym zakresie ich zmienności ( $\varphi \approx 15^\circ$ ,  $c \approx 20$  kPa), przy pominięciu wpływu efektów dynamicznych na stateczność, istniejąca skarpa w obu analizowanych przekrojach jest stateczna, ale wymaga zabezpieczenia przed infiltracją wód opadowych. W innych przypadkach





konieczna jest korekta geometrii skarpy, zgodnie z wynikami obliczeń stateczności dla wariantu IV.

## 6.0. PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

### 6.1. *Przyczyna powstania osuwiska*

Przeprowadzone obliczenia stateczności (p.5.0.) wskazują na to, że przyczyną powstania osuwiska było znaczne (o ok. 50%) zmniejszenie wytrzymałości gruntów budujących skarpe w stosunku do wartości z materiałów archiwalnych - musiała nastąpić zmiana stanu gruntów z pzw/tpł na pl/mpł, np. w wyniku intensywnych, lipcowych opadów.

Dodatkowym, istotnym czynnikiem pogarszającym stateczność skarpy mogły być drgania pochodzące od przejeżdżających pojazdów ul. Kazimierza Wielkiego, u podstawy skarpy, które mogły inicjować wolno postępujący proces osuwiskowy.

Można także założyć, że proces ten odbywał się przy wskaźniku stateczności znacznie wyższym niż  $F = 1$  i zakończył się dopiero po polepszeniu się parametrów wytrzymałościowych (np. po przesuszeniu się górotworu). Weryfikacja tego wariantu wymagałaby wykonania pomiarów drgań (składowych poziomych i pionowych amplitudy oraz częstotści drgań) u podstawy oraz na koronie skarpy, a także laboratoryjnej oceny zdolności do uplastycznienia się gruntu pod wpływem drgań i wykonania obliczeń stateczności uwzględniających wystąpienie efektów dynamicznych.

Na powstanie osuwiska wpływ mogły mieć również ewentualnie istniejące w górotworze powierzchnie poślizgu ze starszych osuwisk (paleoosuwisk).

Osuwisko na skarpie ponad ul. Kazimierza Wielkiego ma więc **charakter poligenetyczny**. Najważniejszą przyczyną jego rozwoju było zmniejszenie się wytrzymałości górotworu na skutek intensywnych opadów. Proces deformacji odbywał się jednoetapowo, a powierzchnia poślizgu położona była powyżej ulicy.





## **6.2. Prognoza rozwoju**

Proces deformacji miał wprawdzie charakter procesu jednoetapowego i jednoskarpowego, ale bez realizacji odpowiednich prac zabezpieczających (p.6.3) może rozwijać się nadal, np. w formie erozji wstecznej. Następny wielki opad, porównywalny z lipcowym 1997 r., doprowadzić może również do ponownego, istotnego zmniejszenia się parametrów wytrzymałościowych górotworu, w wyniku czego może nastąpić II etap rozwoju procesu deformacji. Zwiększy się wtedy zasięg deformacji na górnym poziomie, a język osuwiska znaleźć się może bezpośrednio na ul. Kazimierza Wielkiego.

Budowa geologiczna górotworu i jego parametry wytrzymałościowe nie wskazują na to, aby analizowany proces deformacji objął równocześnie dolną część skarpy, poniżej ul. Kazimierza Wielkiego. W dolnej części rozwinąć się może niezależny proces deformacji, wykorzystujący płaszczyznę sugerowanego paleoosuwiska, na co wskazują materiały archiwalne [1]. Dlatego też cała skarpa powyżej i poniżej ulicy powinna zostać poddana pomiarom kontrolnym (p.6.3). Problem ten wykracza jednak poza zakres niniejszej ekspertyzy.

## **6.3. Wytyczne prac zabezpieczających**

### **A. Sieć pomiarowo-kontrolna**

Badane osuwisko powyżej ul. Kazimierza Wielkiego ma wprawdzie lokalny charakter, stanowi jednak element naturalnego, wielowiekowego procesu deformacji Skarpy Płockiej na tzw. odcinku „Sobótka” (p.2.4). Podstawowym elementem zabezpieczeń jest system kontrolno-pomiarowy. Odcinek ten włączony został do pomiaru przemieszczeń Skarpy Płockiej w 1998 r [2]. Pierwszy pomiar przemieszczeń pionowych punktów sieci wiekowej (Zał. nr 2) wykonano w 1998 r., a przemieszczeń poziomych w 1999 r. Pomiary wykonywane są co dwa lata. Po wiosennym pomiarze w 2000 r. określona zostanie dynamika i kinematyka pionowych przemieszczeń na tym odcinku [3].

Punkty sieci wiekowej 121 – 122 – 123 w sposób wystarczający charakteryzują przemieszczenia w rejonie badanego osuwiska. W razie konieczności stanowić one mogą podstawę dla lokalnych pomiarów deformacji, po zakończeniu





zasadniczych prac zabezpieczających. W chwili obecnej nie ma potrzeby zakładania lokalnej sieci pomiarowo-kontrolnej dla kontroli badanego osuwiska. Istnieje jednak konieczność wykonania wiosną 2000 r. pomiarów przemieszczeń pionowych dla wyżej wymienionych punktów.

### **B. Zasadnicze prace zabezpieczające**

Zgodnie z dotychczasowym rozpoznaniem procesu deformacji, zasadnicze prace zabezpieczające polegać powinny na:

- korekcie geometrii skarpy,
- wykonaniu rynny opaskowej.

W celu ich realizacji opracowany być powinien odpowiedni projekt budowlany.

Obliczenia stateczności dla wariantu IV (p.5.0) wykazują, że zmniejszenie kąta nachylenia skarpy do  $30^\circ$  powoduje wystarczający wzrost stateczności, nawet do  $F = 1,72$  dla przekroju archiwalnego i  $F = 1,85$  dla przekroju II-II', przy zmniejszonych parametrach wytrzymałościowych o około 50%. Zgodnie z kryterium podanym przez L. Wysokińskiego [2] oznacza to, że prawdopodobieństwo powstania osuwiska jest wtedy bardzo małe ( $F > 1,5$ ). Geometrię osuwiska po złagodzeniu nachylenia przedstawiono na 3 przekrojach geometrycznych (Zał. nr 8). Korekta geometrii, w postaci zmiany kąta nachylenia powinna jednocześnie obejmować wyrównanie powierzchni skarpy, niwelujące istniejące szczeliny, spękania i odkłucia. Ograniczy to skutecznie infiltrację wody w głąb górotworu.

Po zakończeniu korekty geometrii skarpy wykonać należy rynnę opaskową wzdłuż górnej krawędzi osuwiska, sprowadzającą wody powierzchniowe do betonowego korytka, biegnącego wzdłuż ul. Kazimierza Wielkiego. Schemat przebiegu rynny opaskowej przedstawiono na zał. nr 7. Rozważyć należy również możliwość wykonania rowu odwadniającego przebiegającego wzdłuż granicy całego paleosuwiska, który mógłby ograniczyć dopływ wody do jego kontaktu z calizną i ograniczyć penetrację koluwiów.

### **C. Roślinność stabilizująca**

Ważnym elementem ochrony skarpy jest roślinność, która spełnia rolę nie tylko ozdobną, ale podnosi też parametry wytrzymałościowe. Stabilizuje ona





wilgotność gruntów spoistych, nie pozwala na ich przesuszenie powodujące powstawanie szczelin, a w konsekwencji erozję skarpy. Zwarty i głęboki system korzeniowy zabezpiecza skarpę i może zatrzymać osypywanie gruntów oraz przeciwdziałać osuwaniu. Stworzenie warstwy gleby umocnionej właściwie dobraną roślinnością pozwala na skuteczną ochronę skarpy.

Po wykonaniu zabezpieczenia skarpy, następnym etapem powinno być więc obsadzenie jej roślinnością. Na skarpie wysiewać należy różne gatunki traw i turzyc. Jako pierwszą uprawę powinno się stosować kostrzewę czerwoną (*Festuca rubra*). Podnóże skarpy obsadzić można różnymi gatunkami róż (z rodzaju *Rosaceace*), a na samej skarpie zastosować następujące gatunki: kolcowój (*Lycium halimifolium*) – który wzmacnia Skarpę Płocką już od ponad 100 lat, oliwnik wąskolistny (*Eleagnus augustifolia*), oliwnik srebrzysty (*Eleagnus commutata*), rokitnik zwyczajny (*Hippophae rhamnoides*).

## 7.0. WNIOSKI KOŃCOWE

- 1.0. Powstałe w 1987 r. osuwisko ma charakter poligenetyczny. Główną przyczyną jego powstania było zmniejszenie o ok. 50% parametrów wytrzymałościowych górotworu na skutek infiltracji wód opadowych. Na rozwój osuwiska wpływ miała jego lokalizacja na krawędzi dużego paleosuwiska, a także drgania spowodowane ruchem ciężkich pojazdów na ul. Kazimierza Wielkiego.
- 2.0. Proces osuwiskowy miał charakter jednoskarpowy i jednoetapowy. Kołowo – cylindryczna płaszczyna poślizgu klina odłamu rozwinęła się w gruntach średnio spoistych i bardzo spoistych, wykorzystując prawdopodobnie częściowo płaszczynę odkłucia paleosuwiska.
- 3.0. Bez wykonania zasadniczych prac zabezpieczających proces osuwiskowy rozwijać się będzie nadal w formie erozji wstecznej, a sukcesywnie zwiększany stopień infiltracji wody w obrębie i na granicy zdeintegrowanego klina odłamu doprowadzić może do kolejnej fazy rozwoju osuwiska. Jęzor osuwiska może wtedy znaleźć się na ul. Kazimierza Wielkiego. W ekstremalnym przypadku, przy zaistnieniu zbiegu szeregu niekorzystnych



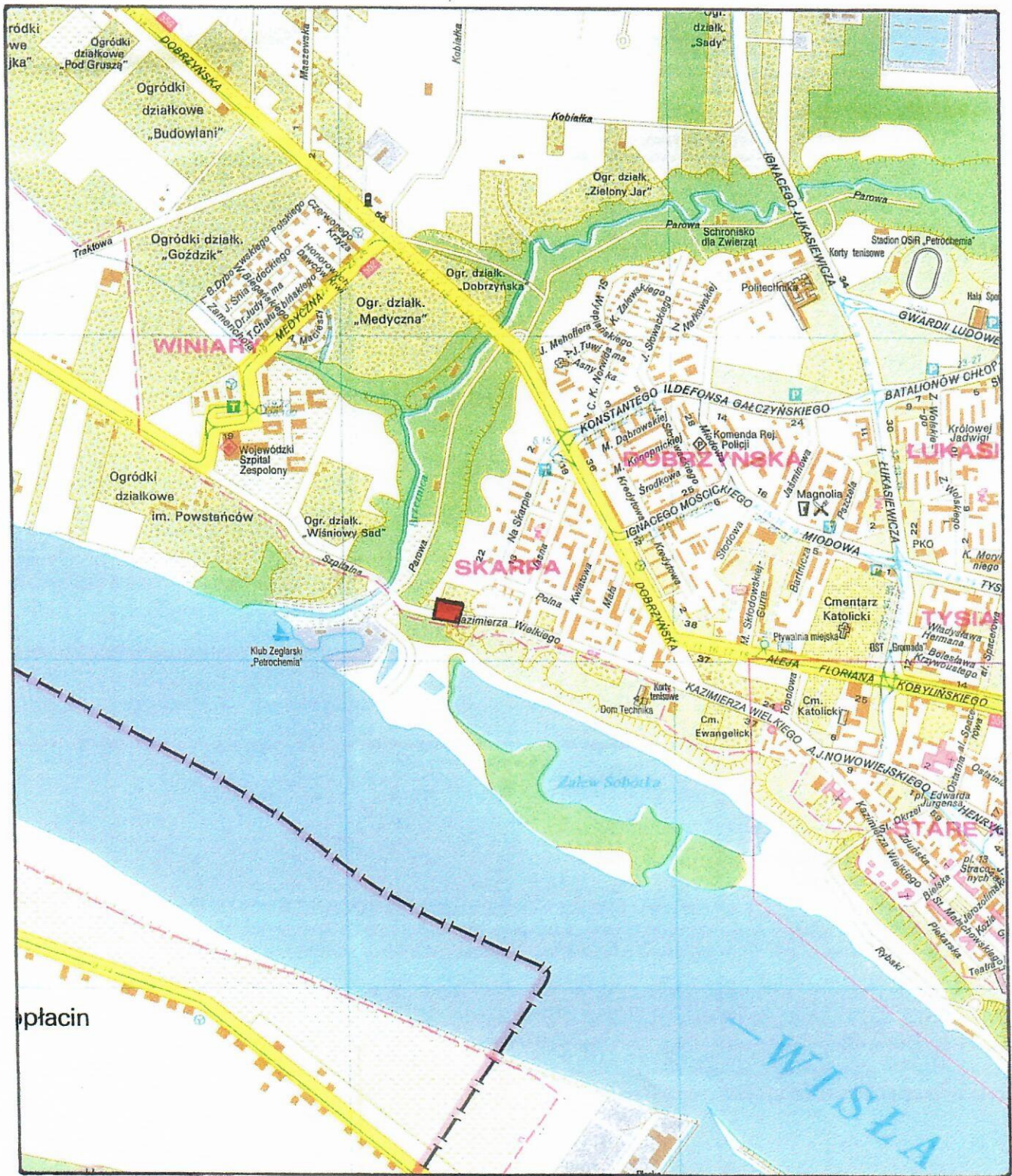


czynników (np. awaria starego kolektora deszczowego lub rurociągów tłocznych) uruchomiony może zostać proces deformacji w obrębie całego paleosuwiska, obejmujący również niżej ległą skarpe.

- 4.0. Rejon osuwiska, łącznie z całym tzw. odcinkiem „Sobótka” Skarpy Płockiej, objęty jest od 1998 r. wiekową siecią pomiarowo-kontrolną, wystarczającą zarówno do okresowej kontroli przemieszczeń całej skarpy, jak i kontroli lokalnych procesów osuwiskowych. Planowany na wiosnę 2000 r. pomiar niwelacyjny należałoby rozszerzyć o pomiar przemieszczeń poziomych, przynajmniej dla punktów nr 121, 122 i 123, położonych w sąsiedztwie osuwiska. Po wykonaniu prac zabezpieczających umożliwią one kontrolę skuteczności jego stabilizacji.
- 5.0. Zasadnicze prace zabezpieczające polegać powinny na korekcie geometrii skarpy objętej osuwiskiem, obejmującej zmniejszenie kąta nachylenia do ok.  $30^{\circ}$  i wyrównaniu jej powierzchni, a także na wykonaniu rynny opaskowej powyżej osuwiska, sprowadzającej wody powierzchniowe do rowu betonowego, biegnącego wzdłuż ul. Kazimierza Wielkiego. Dla trwałej ochrony skarpy wprowadzić należy również zielen stabilizującą. Realizacja prac zabezpieczających wymaga wcześniejszego opracowania projektu budowlanego.
- 6.0. Wykonane badania geologiczno – inżynierskie pozwoliły na uszczegółowienie stopnia rozpoznania budowy geologicznej w rejonie osuwiska oraz na aktualizację parametrów geotechnicznych budujących skarpe gruntów. W stosunku do materiałów archiwalnych znacznemu ograniczeniu uległ zasięg koluwiów w rejonie osuwiska.

# ZAŁĄCZNIKI





## MAPA LOKALIZACYJNA TERENU BADAŃ SKALA 1:17 400

Legenda:

- teren badań

Zał. nr 1