

## Wpływ gruntów nasypowych na powstanie i rozwój osuwiska

Robert Kaczmarczyk<sup>1</sup>, Bartłomiej Olek<sup>1</sup>, Jacek Stanisławski<sup>1</sup>, Henryk Woźniak<sup>1</sup>, Zenon Pilecki<sup>2</sup>



R. Kaczmarczyk



B. Olek



J. Stanisławski



H. Woźniak



Z. Pilecki

**Influence of dump soil on the initiating and development of landslide.** Prz. Geol., 62: 594–600.

*Abstract.* On the basis of research and performed numerical stability analysis of two landslides, authors present issue of mass movement activated as a result of dump soils formation. The problem discussed concern of dump soils used to build uncontrollable embankments, compensating ground surface or activate mass movement on relatively stabilized landslides according to improper liquidation by application dump soils. Significant reasons for landslides development in such conditions are instability of the soil structure, dump soil properties variability and a high sensitivity to external influences, in particular changes in moisture.

**Keywords:** landslides, dump soils, numerical stability analysis, Swoszowice landslide, Lusina landslide

Na podstawie wyników badań prowadzonych przez autorów na obszarze zagospodarowanej części Pogórza Wielickiego i Krakowa (Kaczmarczyk i in., 2011; Stanisławski i in., 2012) można stwierdzić, że w wielu przypadkach zainicjowanie lub też uaktywnienie powierzchniowych ruchów masowych spowodowane zostało wykonaniem nasypów niebudowlanych. Jest to często stosowany sposób niewłaściwej i zazwyczaj nieprzemyślanej likwidacji istniejących osuwisk, mający na celu wyrównanie zdegradowanej powierzchni terenu lub też podparcie obiektów budowlanych zagrożonych utratą stateczności.

Zasadniczymi przyczynami powstawania osuwisk w gruntach nasypowych, poza dodatkowym obciążeniem skarpy lub zbocza, jest użycie zazwyczaj przypadkowych gruntów o niekorzystnych właściwościach oraz nieprawidłowe ich wbudowanie, zwykle bez odpowiedniego ich zagęszczenia.

Grunty nasypowe w wyniku ich urabiania, transportu i składowania są terenami o zniszczonej pierwotnej strukturze. Strukturę taką charakteryzuje wysoka wrażliwość i podatność na oddziaływania zewnętrzne, szczególnie na zmiany wilgotności, a to z kolei pociąga za sobą niestabilność ich właściwości fizyczno-mechanicznych.

Istotny wpływ formowania nasypów na zboczach predisponowanych do osunięcia oraz stosowania gruntów nasypowych do likwidacji osuwisk potwierdzony został wynikami numerycznej analizy stateczności dwóch omawianych osuwisk w Swoszowicach i Lusinie (ryc. 1). Na ich przykładzie podjęto próbę przybliżenia problematyki powierzchniowych ruchów masowych powodowanych

nieprzemyślanym, niezgodnym ze sztuką inżynierską formowaniem nasypów na zboczach i obszarach osuwisk.

### PRZYCZYNY POWIERZCHNIOWYCH RUCHÓW MASOWYCH POWODOWANE FORMOWANIEM NIEBUDOWLANYCH NASYPÓW NA ZBOCZACH I OBSZARACH OSUWISK

Do podstawowych przyczyn powstawania i rozwoju osuwisk powodowanych tworzeniem niebudowlanych nasypów należy zaliczyć:

- dodatkowe obciążenie składowanym materiałem;
- likwidację „starych” względnie ustabilizowanych form osuwiskowych poprzez nadsypywanie gruntami różnego pochodzenia;
- stosowanie do nasypów, zasypów, wykopów oraz obsypki rurociągów gruntów o niekorzystnych właściwościach i niewłaściwe ich wbudowywanie (brak kontroli zagęszczenia gruntu, formowanie stromych skarpy przy braku wzmocnień);
- wykonywanie szerokich wykopów u podstawy skarpy, często w strefie powierzchni poślizgu terenów osuwiskowych;
- niekorzystną zmianę położenia zwierciadła wody w wyniku wykonywania robót ziemnych.

Przyczyn wykonywania nasypów w obrębie istniejących osuwisk lub na skarpach zagrożonych ruchami masowymi jest kilka. Na ogół nasypy te mają na celu podparcie skarpy zagrożonej utratą stateczności, szczególnie jeżeli na skarpie znajdują się obiekty budowlane. W powszechnej opinii podparcie nasypem jest jednym z podsta-

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; rkaczmar@op.pl, olek@geolog.geol.agh.edu.pl, jstanisz@agh.edu.pl, hwozniak@geol.agh.edu.pl.

<sup>2</sup> Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Polska Akademia Nauk, ul. Wybickiego 7, 30-950 Kraków; pilecki@min-pan.krakow.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja osuwisk w Swoszowicach i Lusinie. Fot. J. Stanisiz (osuwisko w Swoszowicach), R. Kaczmarczyk (osuwisko w Lusinie)

Fig. 1. Localization of landslides in Swoszowice and Lusina. Photo by J. Stanisiz (landslide in Swoszowice), R. Kaczmarczyk (landslide in Lusina)

wowych zabezpieczeń przeciwośuwiskowych. Niejednokrotnie stosowanie takiego rozwiązania podyktowane jest względami estetycznymi związanymi z zamaskowaniem nieatrakcyjnego terenu lub zamiarem zniwelowania powierzchni terenu na stromych, zróżnicowanych morfologicznie stokach. Często takie działanie ma również przyczyny ekonomiczne – udostępnienie lokalizacji do składowania wydobytych gruntów z wykopów fundamentowych lub drogowych, w tym także odpadów budowlanych szczególnie, gdy odległość miejsca wydobycia i składowania jest niewielka.

Przy formowaniu nasypów podpierających, zwłaszcza tych „przydomowych”, wykonywanych metodą gospodarczą, często stosuje się niewłaściwe grunty. Z reguły do tego celu wykorzystywane są grunty łatwo dostępne i tanie, np. pozyskiwane w trakcie prowadzenia prac budowlanych, związanych z wykonywaniem wykopów lub modernizacją i budową dróg. Dotychczasowe obserwacje autorów, poparte kartowaniem geologiczno-inżynierskim osuwisk oraz polowymi i laboratoryjnymi badaniami gruntów, wskazują na częsty brak kontroli stopnia zagęszczenia gruntów w tak wykonanych nasypach. Grunty te z reguły są luźno formowane, przeważnie bezpośrednio na istniejącej pokrywie roślinnej. Wyrównywanie i zagęszczanie zwykle dotyczy tylko warstwy przypowierzchniowej. Grunty te często sypane są bezpośrednio na kolumium w celu przywrócenia pierwotnego ukształtowania terenu (ryc. 2).

Innym problemem jest nieprawidłowo zaprojektowany system odwadniania nasypów. W praktyce odwodnienie,

o ile w ogóle istnieje, wykonane jest zazwyczaj z perforowanych rur PCW. System drenów spełnia swoją rolę tylko w fazie początkowej. W przypadku większych przemieszczeń w ośrodku rury są zrywane, a cały układ zamiast drenować osuwisko powoduje jego dodatkowe zawadnianie.

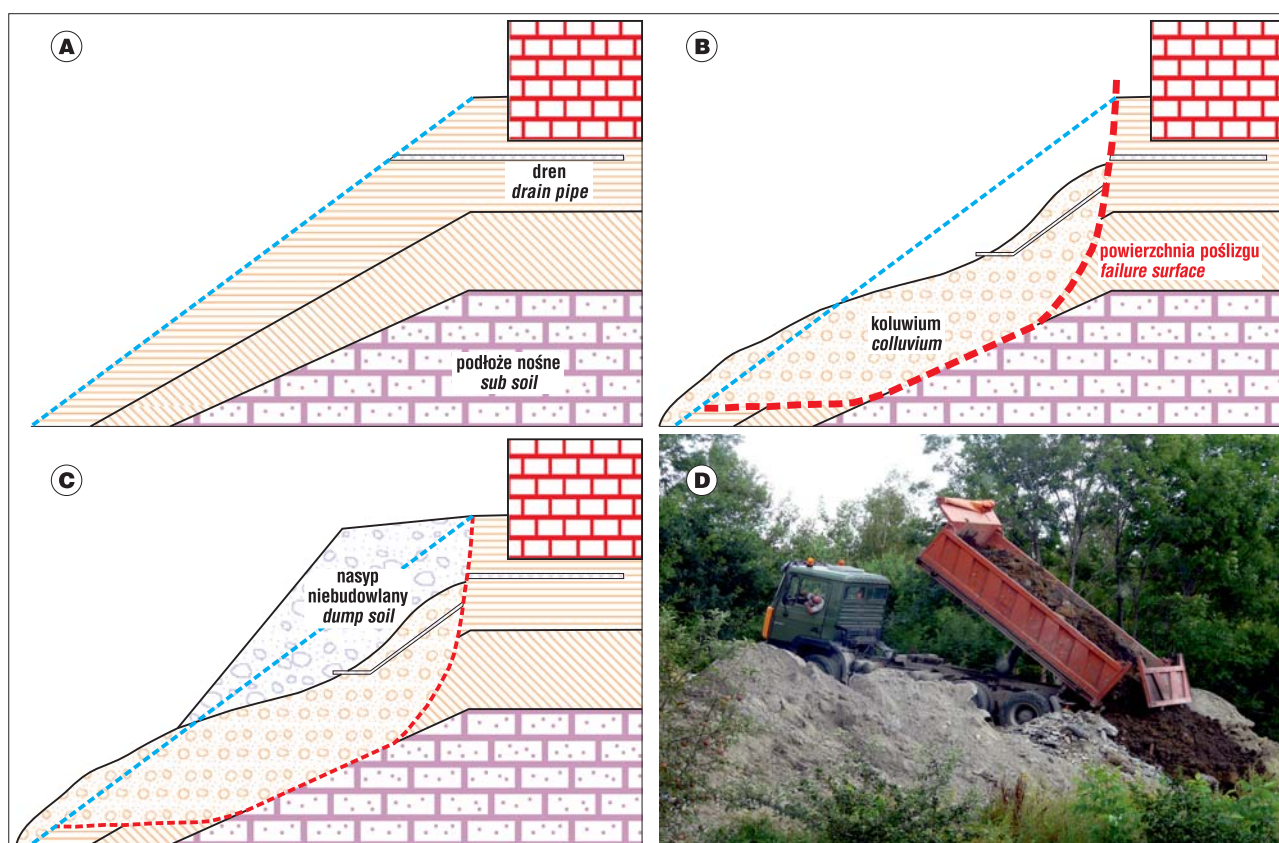
## OGÓLNY OPIS OSUWISK W SWOSZOWICACH I LUSINIE

### Osuwisko w Swoszowicach

Początkowo okresowo aktywne osuwisko rozwinęło się w obrębie nieckowatego, częściowo zawodnionego obniżenia o spadku około 13%, w którym znajdowała się kopanka gliny (Wójcik, 2010; Stanisiz i in., 2012). W latach 2001–2003 kopankę zasypano materiałem, który pochodził z modernizacji ulicy Sawiczewskich oraz budowy krakowskiego odcinka autostrady A4. Głównie były to gliny piaszczyste i pylaste, łył na granicy łożyska oraz kruszywo łamane i gruz budowlany. Nasyp o grubości około 3 m został usypany na zboczu pokrytym wysokimi trawami. Wiosną 2006 r. teren został powtórnie nadsypany. Prace te spowodowały uaktywnienie ruchów osuwiskowych, które tym razem objęły niemal wyłącznie grunty nasypowe.

Dalszy rozwój osuwiska nastąpił w 2010 r. W tym okresie pojawiły się szczeliny w jego wschodniej części oraz na powierzchni jezdni przylegającej drogi, a w obrębie kolumium utworzyły się liczne skarpy wtórne o wysokości 1–3,5 m. Według Wójcika (2010) roślinność trawiasta zalegająca pod nasypem uległa rozkładowi, a po zawodnieniu w wyniku obfitych w tym czasie opadów w strefie kontaktu utworzyła się powierzchnia poślizgu. Przemieszczanie się mas gruntu spowodowało uszkodzenie drogi oraz sieci przesyłowych. W 2011 r., w wyniku prac geologiczno-inżynierskich wykonanych przez Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A. w Krakowie wyróżniono dwie powierzchnie poślizgu. Pierwszą, na głębokości od 3,8 do 6,8 m na granicy gruntów nasypowych i rodzimego podłoża zbudowanego z łył pylastego. Drugą, mniej prawdopodobną, w obrębie łył miocenijskich na głębokości od 9 do 12,4 m.

Obecnie osuwisko ma charakter złożony i zajmuje obszar o powierzchni około 3 ha (350 × 150 m). Podłoże naturalne zalega insekwentnie do nachylenia stoku, natomiast warstwy nasypowe konsekwentnie. Deniwelacje terenu wynoszą do 39 m. W obrębie korpusu drogi powstała nisza osuwiskowa o wysokości około 2 m, w której nastąpiła częściowa rotacja przemieszczonego materiału. Zdeformowany teren pokrywają typowe formy rzeźby wewnątrzosuwiskowej: wtórne nisze, pęknięcia, szczeliny poprzeczne o



**Ryc. 2.** Schemat formowania nasypu niebudowlanego na terenie istniejącego osuwiska: **A** – pierwotne ukształtowanie zbocza; **B** – powstanie osuwiska, uszkodzony dren zawadnia ośrodek, tworzy się powierzchnia poślizgu; **C** – likwidacja osuwiska przez uformowanie nasypu niebudowlanego; **D** – fotografia ilustrująca opis schematu. Fot. R. Kaczmarczyk

**Fig. 2.** Scheme of dump soils formation within a landslide: **A** – primary slope; **B** – initiating the landslide movement, some damaged drain pipe drowned ground and formed the slip surface; **C** – disposal of landslide by dump soil formation; **D** – molding a dump using redeposit material. Photo by R. Kaczmarczyk

głębokości od 0,2 do 0,8 m i rozwarciu od 0,2 do 0,4 m, pagóry oraz stawy wewnątrzsuwiskowe (ryc. 2).

### Osuwisko w Lusinie

Obszar osuwiska obejmuje część rozległego wzniesienia, na którym zalegają nasypy o grubości do 3 m, zbudowane głównie z glin zwięzłych, glin oraz ilów z gruzem i żwirem. Rodzime podłoże wykształcone jest w postaci gruntów pylastych oraz deluwialnych utworów lessopodobnych w stanie plastycznym, a głębiej występują utwory fliszowe wieku kredowego.

Osuwisko ma charakter złożony. W części aktywnej położonej w górnej części stoku występuje charakterystyczna kołowo-cylindryczna powierzchnia poślizgu. Poniżej gruntów nasypowych przemieszczenia są mniej wyraźne i mają prawdopodobnie charakter splezywania. Maksymalna wysokość niszy osuwiskowej wynosi około 2 m, a jej nachylenie przekracza 75°. Strefa zagrożona ruchami masowymi posiada szerokość przekraczającą 170 m, długość do 270 m i sięga do dna doliny. Osuwisko spowodowało oberwanie gruntów nasypowych w rejonie budynku mieszkalnego oraz uszkodzenie drogi gminnej. Jego rozwój stwarza zagrożenie zniszczenia budynku, znajdującego się bezpośrednio powyżej krawędzi oberwania (ryc. 2).

### ANALIZA STATECZNOŚCI OSUWISK W SWOSZOWICACH I LUSINIE

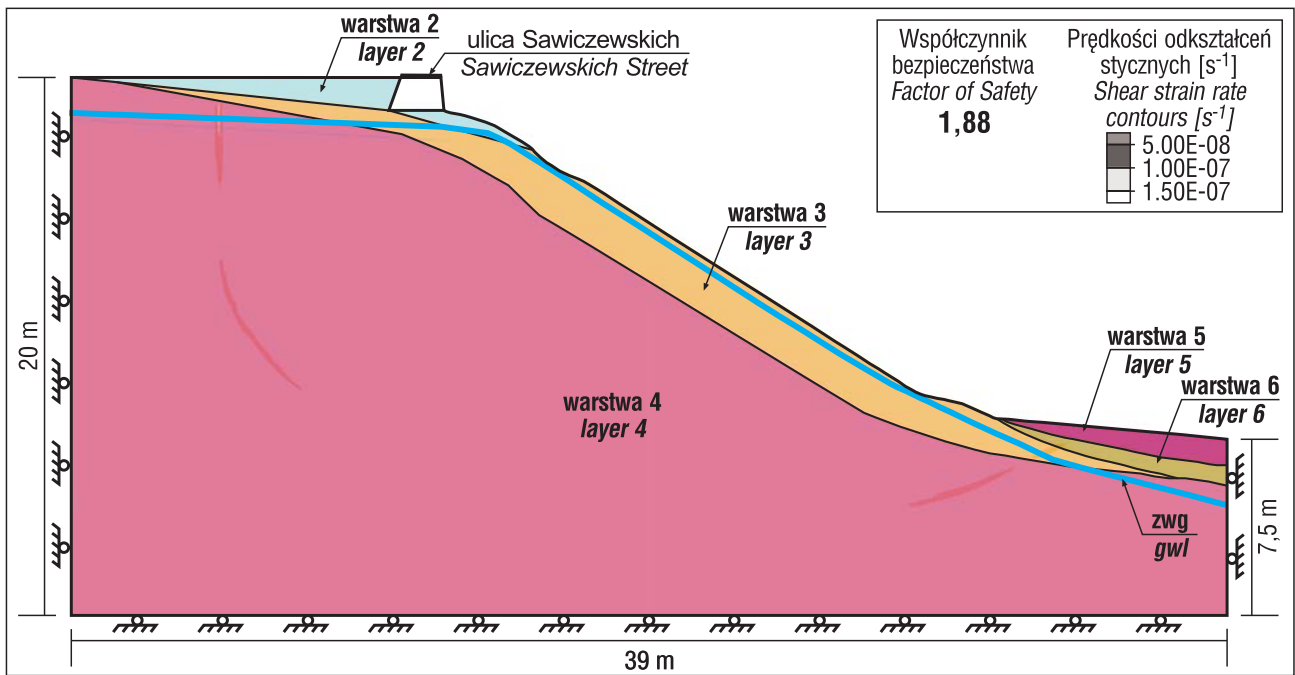
#### Metodyka przeprowadzonych obliczeń

Analizy stateczności dla osuwisk w Swoszowicach i Lusinie wykonano w celu pokazania niekorzystnego wpływu obciążenia terenu osuwiskowego gruntami nasypowymi.

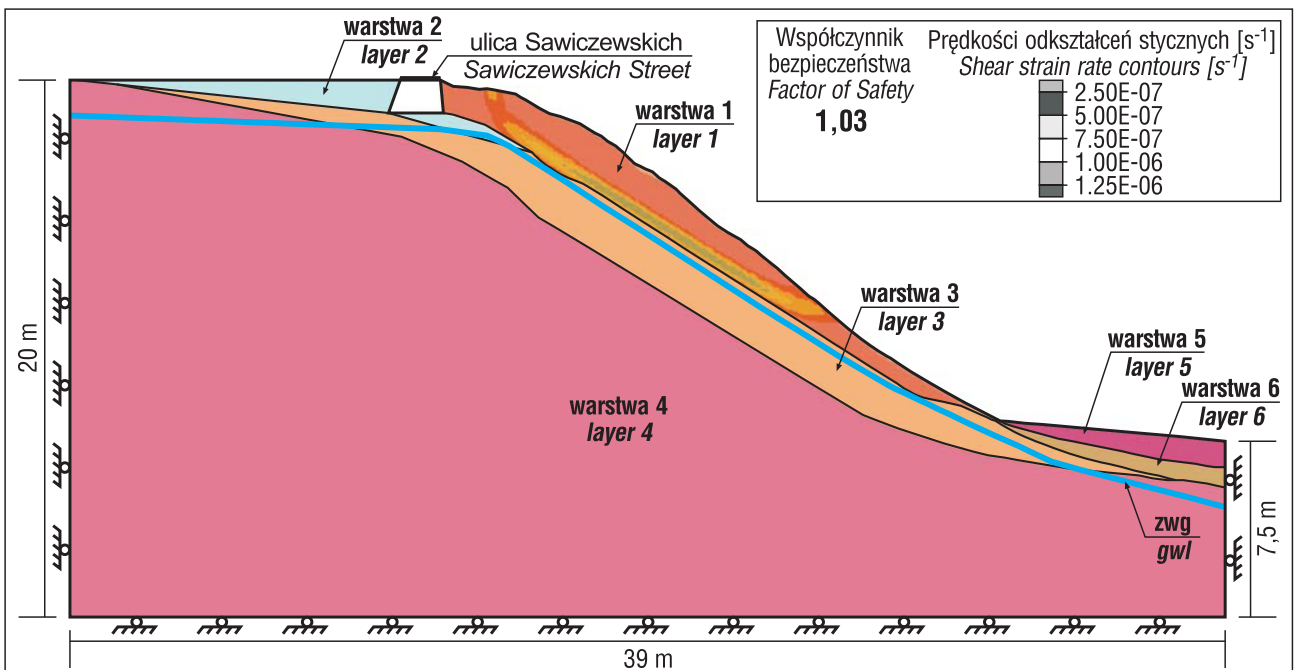
Obliczenia przeprowadzono metodą różnic skończonych (MRS) według schematu zaproponowanego przez Pileckiego (Stanisz i in., 2012). Symulacje numeryczne zostały wykonane w płaskim stanie odkształcenia. Przyjęto model sprężysto-plastyczny, z uwzględnieniem kryterium wytrzymałościowego Coulomba-Mohra, z zastosowaniem stowarzyszonego prawa płynięcia. Stan naprężenia w modelach uzyskano wprowadzając siłę grawitacji.

Obliczenia wykonano za pomocą programu FLAC/Slope v.7.0, który w najprostszym rozwiązaniu wymaga deklaracji jedynie trzech parametrów: gęstości objętościowej, spójności i kąta tarcia wewnętrznego. W obliczeniach pominięto tzw. studium parametryczne związane z analizą zmian wartości parametrów wejściowych, ze względu na niewielką liczbę danych. W związku z tym wykonane obliczenia mają charakter jakościowy.

Modele fizyczne utworzono na podstawie przekrojów geologiczno-inżynierskich, przechodzących przez oś podłużną



Ryc. 3. Rozwój strefy osłabienia osuwiska w Swoszowicach bez nasypu – wariant I  
 Fig. 3. The development of failure zone in Swoszowice landslide at no-load of dump soil – variant I



Ryc. 4. Przebieg powierzchni poślizgu osuwiska w Swoszowicach po wykonaniu nasypu – wariant II  
 Fig. 4. The development of failure surface in Swoszowice landslide after loading the dump soil – variant II

każdego osuwiska. Dla obu osuwisk rozpatrywano dwa przypadki – przed i po wykonaniu nasypu. W kolejnym etapie wykonano modele obliczeniowe. Wprowadzono warunki brzegowe w taki sposób, że na prawej i lewej ramce zablokowano możliwość przemieszczeń poziomych, a na dolnej – pionowych. Linia określająca morfologię jest powierzchnią swobodną, w której przemieszczenia są dopuszczalne w każdym kierunku. Modele poddano dyskretyzacji regularną siatką obliczeniową o rozmiarach  $20 \times 20$  cm. Rezultatem symulacji numerycznych były izoliniowe

obrazy prędkości odkształcenia stycznego (*shear strain rate*) oraz obliczenia globalnego współczynnika bezpieczeństwa (*factor of safety*).

#### Osuwisko w Swoszowicach

Model fizyczny opracowano na podstawie wyników prac geologicznych przeprowadzonych przez Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A. w Krakowie w 2010 r., uzupełnionych wynikami badań autorów. W pracy Stanisza i in.

**Tab. 1.** Zestawienie parametrów przyjętych do analizy stateczności osuwiska w Swoszowicach (Stanisz i in., 2012)  
**Table 1.** Comparison of material constants used to numerical analysis of landslide in Swoszowice (Stanisz et al., 2012)

Numer warstwy <i>Number of geotechnical layers</i>	Rodzaj gruntu <i>Geotechnical layers</i>	Gęstość objętościowa <i>Bulk density</i> [kg/m <sup>3</sup> ]	Spójność <i>Cohesion</i> [kPa]	Kąt tarcia wewnętrzznego <i>Friction angle</i> [deg]	Porowatość <i>Porosity</i> [%]
1	nasyp niekontrolowany <i>dump soils</i>	2061	10	5	70
2	glina piaszczysta <i>sandy clay</i>	2050	15	8	40
3	łupek ilasty/ił <i>shale clay/clay</i>	1950	40	6	30
4	łupek ilasty <i>shale clay</i>	2020	65	9	20
5	piasek drobny <i>fine sand</i>	1985	0	29	50
6	glina piaszczysta <i>sandy clay</i>	2250	2,2	5,7	40

(2012) zamieszczono bardziej szczegółowe dane wraz z obliczeniami numerycznymi dla górnej części osuwiska. Model opisany w pracy ma większą długość i obejmuje również dolną część osuwiska. Analizowano dwa warianty modelu:

– I wariant – przed wykonaniem nasypu (ryc. 3): zbocze zbudowane z 5 warstw geotechnicznych z przypuszczalnym poziomem wód gruntowych na niewielkiej głębokości;

– II wariant – po wykonaniu nasypu (ryc. 4): zbocze dodatkowo obciążone gruntami nasypowymi o średniej grubości około 4–5 m, zbudowane z 6 warstw geotechnicznych. Przyjęto analogiczne położenie poziomu wód gruntowych.

Wartości parametrów przyjętych do modelowania dla wyróżnionych warstw zestawiono w tabeli 1.

Wyniki symulacji numerycznych przedstawiono na rycinie 3 (dla wariantu I) oraz na rycinie 4 (dla wariantu II). Globalny współczynnik bezpieczeństwa dla stanu przed wykonaniem nasypu wyniósł 1,88. W przyjętych warunkach zbocze należy uznać za stateczne, lecz w modelu rozwija się strefa zniszczenia na granicy łupka ilastego na pograniczy iłu i utworów gliny piaszczystej. W tej strefie maksymalne prędkości cząsteczek gruntu wynoszą  $4,7 \cdot 10^{-7}$  m/s.

Zbocze obciążone nasypem niekontrolowanym wykazuje tendencje do powstania osuwiska. Globalny współczynnik bezpieczeństwa w tym przypadku wyniósł 1,03. Powierzchnia poślizgu rozwinęła się na granicy utworów łupka ilastego oraz nasypu (ryc. 4). Maksymalne prędkości cząsteczek gruntu zwiększyły się i wynoszą  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s.

### Osuwisko w Lusinie

Model fizyczny osuwiska w Lusinie skonstruowano na podstawie badań własnych jednego z autorów niniejszej pracy, Roberta Kaczmarczyka. Analogicznie jak dla osuwiska w Swoszowicach analizowano dwa warianty modelu:

– I wariant – wydzielono 5 warstw geotechnicznych, obiekt budowlany oraz przyjęto położenie zwierciadła wód gruntowych na podstawie badań polowych (ryc. 5),

– II wariant – dodatkowo uwzględniono nasyp o grubości około 3,5 m (ryc. 6), przyjęto analogiczne położenie poziomu wód gruntowych.

Wartości parametrów geotechnicznych wydzielonych warstw zestawiono w tabeli 2.

W modelu dla wariantu I strefa osłabienia rozwija się w glinach pylastych na pograniczu pyłu (warstwy 3 i 4) i obejmuje fundament obiektu budowlanego (ryc. 5). Globalny współczynnik bezpieczeństwa, równy 0,83, wskazuje na utratę równowagi granicznej. Maksymalne prędkości cząsteczek gruntu wynoszą  $9 \cdot 10^{-7}$  m/s.

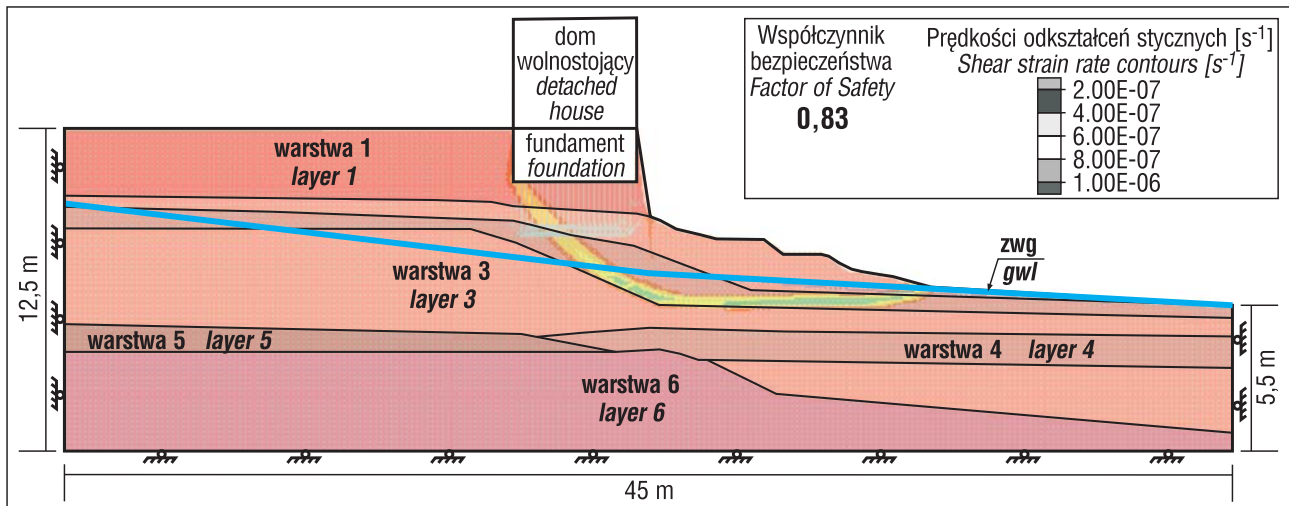
W wariantie II, po wykonaniu nasypu, dodatkowo rozwinęła się powierzchnia poślizgu w nasypie niekontrolowanym w sąsiedztwie obiektu budowlanego (ryc. 6). Globalny współczynnik bezpieczeństwa wskazuje na utratę stateczności w warstwie 2 i wynosi jedynie 0,58. Maksymalne prędkości cząsteczek gruntu zwiększyły się i wynoszą  $1,3 \cdot 10^{-5}$  m/s.

### WPLYW GRUNTÓW NASYPOWYCH NA UAKTYWNIANIE SIĘ PROCESÓW OSUWISKOWYCH

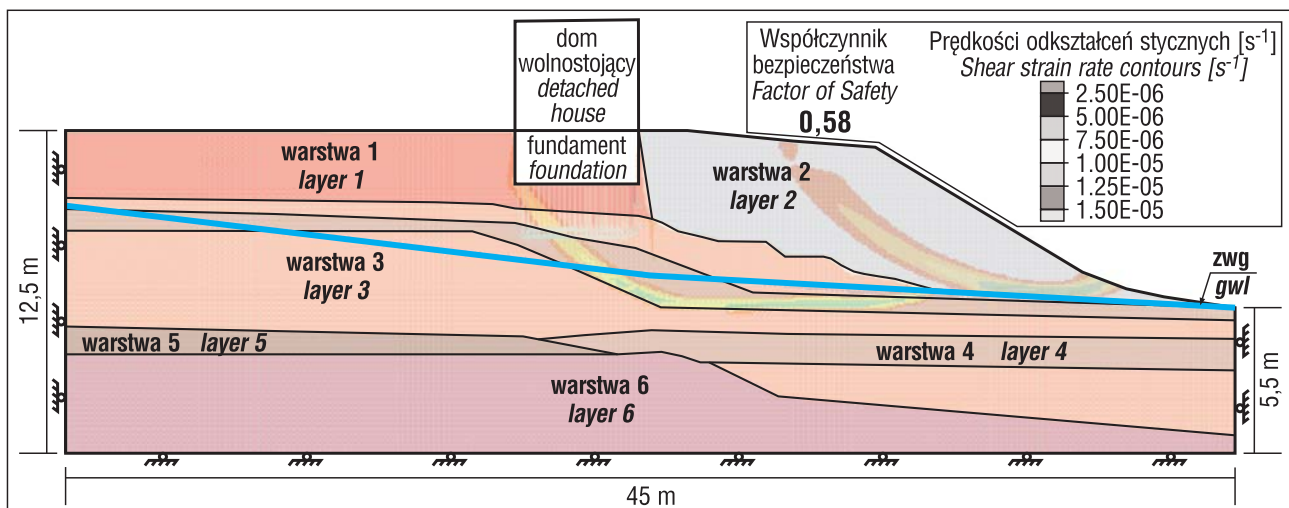
Przykłady osuwisk w Swoszowicach i Lusinie wskazują, że głównym czynnikiem powodującym ich uaktywnienie się były antropogeniczne przekształcenia morfologii terenu, na które złożyły się: niekorzystne obciążenie gruntami nasypowymi wraz ze zmianą geometrii zbocza, o niekorzystnych właściwościach, oraz niezastosowanie procedur właściwego ich formowania.

Wyniki analiz stateczności pokazały, że w wyniku obciążenia zbocza nasypem niebudowlanym, współczynniki bezpieczeństwa wyraźnie zmniejszyły się do wartości krytycznych, a prędkości cząsteczek gruntu zwiększyły swoje wartości.

Należy również zaznaczyć, że zmiana geometrii zbocza sprzyja także oddziaływaniu innego czynnika o istotnym znaczeniu dla stateczności – infiltrującej w ośrodek wody opadowej. Infiltracja wód opadowych w nasypy niekontrolowane, które najczęściej są mieszaniną gruntów spoistych, zwietrzelin, a nie tak rzadko również gruzu budowlanego i innych materiałów odpadowych, powoduje



Ryc. 5. Rozwój powierzchni poślizgu osuwiska w Lusinie dla zbocza bez nasypu – wariant I  
 Fig. 5. Development of failure surface in Swoszowice landslide. The slope without dump soil – variant I



Ryc. 6. Przebieg powierzchni poślizgu osuwiska w Lusinie po wykonaniu nasypu – wariant II. Widoczna również powierzchnia poślizgu przed wykonaniem nasypu  
 Fig. 6. Development of failure surface in Lusina landslide after loading the dump soil – variant II. Visible also the failure surface before the dump soil was loaded

Tab. 2. Zestawienie parametrów przyjętych do analizy stateczności osuwiska w Lusinie  
 Table 2. Comparison of material constants used to numerical analysis of landslide in Lusina

Numer warstwy Number of geotechnical layers	Rodzaj gruntu Geotechnical layers	Gęstość objętościowa Bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Spójność Cohesion [kPa]	Kąt tarcia wewnętrzny Friction angle [deg]	Porowatość Porosity [%]
1	Nasyp niekontrolowany 1 Dump soils 1	1900	30	18	70
2	Nasyp niekontrolowany 2 Dump soils 2	1900	10	10	70
3	Gлина pylasta/pył Silt clay/silt	2100	20	16	30
4	Gлина pylasta/pył Silt clay/silt	2000	12	10	30
5	Piasek drobny Fine sand	1850	0	31	50
6	Łupek ilasty/ił Shale clay/clay	2050	50	16	20

nie tylko pogorszenie właściwości fizyko-mechanicznych, ale również zmiany strukturalne w gruntach nasypowych. Materiał ten, składający się często z dużych, nierównomiernie uziarnionych, ostrokrawędzistych brył, posiada z reguły duży, przekraczający  $40^\circ$  kąt tarcia wewnętrznego, pozwalający formować strome skarpy. Struktura takiego nasypu jest jednak na ogół bardzo wrażliwa na oddziaływania zewnętrzne, szczególnie na zawodnienie. Względnie duże przestrzenie międzybryłowe ułatwiają infiltrację wód opadowych i w konsekwencji powodują nie tylko zmniejszenie się parametrów wytrzymałościowych, lecz także podatność na hydrokompresję – zapadowe osiadanie powierzchni terenu w wyniku zawodnienia. Wystąpienie intensywnych opadów atmosferycznych prowadzi w takich warunkach do powstania uprzywilejowanych dróg infiltracji wód opadowych, ich przepływu w obrębie skarpy i wystąpienia ciśnienia sphywowego, sprzyjającego generowaniu ruchu osuwiskowego. W omawianych przypadkach czynnikiem dodatkowo ułatwiającym infiltrację wód opadowych w nasypy była zmiana geometrii powierzchni terenu w trakcie tworzenia nasypów, co zakłóciło prędkość i kierunek sphywu wody. W efekcie wody opadowe sphywając z terenu powyżej osuwiska, również wzdłuż dróg dojazdowych, miały możliwość względnie łatwej infiltracji w grunty nasypowe.

W analizowanych przypadkach osuwisk istotny wpływ na warunki stateczności miały również specyficzne właściwości gruntów podłoża. Osady pylaste występujące głębiej od gruntów nasypowych cechują się wyjątkowo dużą wrażliwością na zmiany wilgotności. Badania laboratoryjne prowadzone przez autorów wykazały, że wzrost wilgotności gruntów pylastych o około 4% powoduje już dwukrotny spadek parametrów wytrzymałości na ścinanie, a wzrost ponad 5% może doprowadzić nawet do upłynięcia i całkowitej utraty nośności.

## PODSUMOWANIE

Likwidacja skutków osuwiska poprzez niewłaściwe uformowanie nasypu celem wyrównania powierzchni lub podparcia zagrożonego obiektu budowlanego powoduje nie tylko niekorzystną zmianę morfologii, ale również wzrost sił zsuwających, zakłócenie naturalnego sphywu powierzchniowego oraz znaczne zwiększenie infiltracji wód opadowych w podłoże. Nasypy, z uwagi na niekontrolowaną i zróżnicowaną strukturę w wyniku urabiania, transportu i składowania, są utworami wyjątkowo wrażliwymi na zmiany parametrów z powodu zawodnienia.

Nasyp o stosunkowo niewielkiej wilgotności, bezpośrednio po uformowaniu, wykazuje względnie duży kąt

tarcia wewnętrznego. W materiale złożonym ze stosunkowo dużych brył lub ostrokrawędzistego gruzu może przekraczać nawet  $40^\circ$ . Jest on zatem znacząco, przeciętnie około dwu- do trzykrotnie większy, niż pierwotny kąt nachylenia zbocza. W takich warunkach może to prowadzić do czasowej poprawy stateczności. W trakcie formowania nasypu metodą „gospodarczą” z reguły nie uwzględnia się zwiększenia ryzyka utraty stateczności w wyniku późniejszych zmian zachodzących w tym materiale. Względnie duże przestrzenie międzybryłowe ułatwiają infiltrację wód opadowych, co prowadzi do zmian strukturalnych i postępującego pogorszenia właściwości fizyko-mechanicznych. W omawianych przypadkach osuwisk w Swoszowicach i Lusinie zjawiskiem szczególnie groźnym była z reguły duża prędkość zachodzących zmian. Prędkości ruchu mas gruntowych osiągały wartość kilku centymetrów na godzinę. W przypadku osuwiska występującego w bezpośrednim otoczeniu budynków mieszkalnych musi to wywoływać uzasadnione obawy mieszkańców.

Wpływ czynnika ludzkiego na powstanie i rozwój osuwisk, w tym szczególnie związanych z gruntami nasypowymi, jest zaniebdywany w pracach badawczych. Podobnie świadomość społeczna w tym zakresie jest niewielka. Stosowany sposób likwidacji osuwiska poprzez nadsypywanie zniszczonego terenu przypadkowymi gruntami często uaktywnia proces osuwiskowy, zwiększając zazwyczaj jego rozmiary. W przedstawionych przykładach osuwisk zapoczątkowanie procesu osuwiskowego przypuszczalnie nie miałyby miejsca, gdyby przestrzegano podstawowych zasad sztuki inżynierskiej lub skonsultowano się z uprawnionym geologiem lub geotechnikiem. Podniesienie świadomości społecznej w tym zakresie ma duże znaczenie, bowiem nierozważne i nieprzemyślane działania wynikające z braku właściwej wiedzy są niejednokrotnie przyczyną nieodwracalnych strat materialnych, znaczącej degradacji terenu, a nawet jego trwałego wyłączenia z użytkowania (Bardel, 2012).

## LITERATURA

- BARDEL T. 2012 – O antropogenicznych przyczynach powstania osuwiska na zboczu byłej kopalni ilów „Kantoria” w Tarnowie. [W:] *Górnictwo i Geologia*, 7 (2): 35–47.
- KACZMARCZYK R., TCHÓRZEWSKA S. & WOŹNIAK H. 2011 – Charakterystyka wybranych osuwisk z terenu południowej Polski uaktywnionych po okresie intensywnych opadów w 2010 roku. [W:] *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 446: 65–74.
- STANISZ J., PILECKI Z. & WOŹNIAK H. 2012 – Wybrane zagadnienia numerycznej analizy stateczności osuwiska w Swoszowicach. [W:] *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 2: 77–89.
- WÓJCIK A. 2010 – Karta rejestracyjna osuwiska wraz z opinią przy ulicy Sawiczewskich w Krakowie, PIG-PIB, Oddział Karpacki, Kraków.