

Inwestycje budowlane na terenach osuwiskowych

– analiza przyczynowo-skutkowa powstawania uszkodzeń w budynkach podczas wykonywania prac związanych z modernizacją sąsiedniej inwestycji

Dr inż. Monika Gwóźdź-Lasoń, Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

Problemy naukowe, które wymagają analiz i badań coraz częściej mają komercyjne lub prawne zastosowanie. W związku z tym, że obecnie bardzo rzadko inwestycje budowlane posadowią się na dobrych terenach pod względem parametrów wytrzymałościowych, realnie powstają bardzo istotne problemy, które trzeba w odpowiednim czasie rozwiązać. Wszystkie tematy analiz związane z odpowiednim prawnym i inżynierskim zakresem dokumentowania geotechnicznego wg odpowiednich rozporządzeń [9], ustaw i norm EC [10], [11], [12] powinny na wstępie określać zakres, czas i koszt danej inwestycji jako podstawy do szacowania optymalnych metod i technologii inwestycyjnych. Wzmacnianie podłoża gruntowego i konstrukcja odpowiednich fundamentów, które przenoszą założone obciążenia z całości konstrukcji, generują pytania, na jakie w chwili obecnej nie ma jednoznacznych i zatwierdzonych, na przykład normowo, odpowiedzi. Badanie i analiza przyczyn awarii inżynierskich, a następnie publikacja niniejszych wniosków stanowi bardzo dobry naukowy, społeczny i ekonomiczny patent łączenia biznesu z nauką.

W związku z faktem, iż powierzchnia kuli ziemskiej jest constans, a dobre tereny już prawie zupełnie zostały zabudowane, inwestycje zaczynają powstawać na terenach słabych pod względem geotechnicznym i inżynierskim. Oczywiście tereny te mają bardzo dobre inne rynkowe atrybuty, jak na przykład lokalizacja, powierzchnia,

przeznaczenie w miejscowych planach zagospodarowania czy aspekt uzbrojenia, ale atrybut nośności gruntów przeznaczonych pod zabudowę jest coraz gorszy i generuje coraz większe koszty, które zaczynają wpływać na wartość rynkową nieruchomości gruntowych.

Na przykład realizacja inwestycji budowlanych na analizowanych tutaj terenach osuwiskowych lub w ich sąsiedztwie nie jest niczym nadzwyczajnym i niebezpiecznym, ale pod jednym kluczowym warunkiem, że rozpoznanie warunków geotechnicznych podłoża, projektowanie i wykonawstwo konstrukcji inżynierskich, jak i późniejsza eksploatacja obiektów są realizowane zgodnie z założeniami, jakie powinny być spełnione dla obiektów lokalizowanych w trudnych warunkach geotechnicznych – odpowiadających drugiej lub trzeciej kategorii geotechnicznej zgodnie z wytycznymi Rozporządzenia z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych. Czynniki zewnętrzne oddziałujące na obiekt, związane z działalnością człowieka, w wyniku której następuje uszkodzenie obiektu budowlanego lub bezpośrednio zagrożenie takim uszkodzeniem, powinny być przewidywane i eliminowane na etapie rozpoznawania podłoża gruntowego pod nowe inwestycje, jakie mają powstać w skomplikowanych warunkach geotechnicznych, na których budynki i budowle są już użytkowane.

Uaktywnienie czynników powodujących działanie sił natury – w tym przypadku osuwania się gruntu można wywołać dosyć łatwo, przykładowo poprzez zaburzenie



Rys. 1a, 1b. Przykładowe awarie konstrukcji inżynierskich – nasypów, ciągów komunikacyjnych na terenach osuwiskowych [5]

stosunków wodnych w podłożu podczas realizacji nowych inwestycji lub poprzez zaburzenie równowagi obciążeń i odciążeń wywołane nowymi siłami statystycznymi i dynamicznymi poszczególnych etapów realizacji, a co za tym idzie poprzez pogorszenie się parametrów geotechnicznych podłoża. Zmiany parametrów I_D – stopnia zagęszczenia lub I_C – wskaźnika konsystencji, na skutek nasycenia porów gruntowych wodą lub dociążenie skarpy o charakterze osuwiskowym powstałymi siłami ciśnienia sphywowego bardzo intensywnie wpływają na stany graniczne nośności ULS. Ponadto oddziaływania, których źródłem są prace przy nowych inwestycjach, również mogą spowodować utratę równowagi samego podłoża lub układu podłoża i konstrukcje, w szczególności gdy w sąsiedztwie budowany lub modernizowany jest obiekt, do którego realizacji używa się ciężkiego sprzętu generującego obciążenia dynamiczne.

Wyprowadzenie z równowagi statecznego w chwili t_0 układu stanowiącego zabudowane budynkami mieszkalnymi zbocze o charakterze osuwiskowym jest niespodziewanie łatwe, gdyż takie rozwiązania są bardzo wrażliwe na najmniejsze nawet zmiany w podłożu czy oddziaływania zewnętrzne, na które to oddziaływania konstrukcje z reguły nie były przeliczane w fazie projektowej. Między innymi z tej właśnie przyczyny odpowiednio rozpoznanie geotechniczne podłoża gruntowego i zaprojektowanie rozwiązań konstrukcyjnych, które eliminują skutki ewentualnych ruchów masowych, a także odpowiednie i świadome wykonawstwo z uwzględnieniem szczególnej ostrożności w najbardziej newralgicznych lokalizacjach zazwyczaj jest główną składową miary sukcesu przy realizacji inwestycji w analizowanych warunkach. Zaniedbanie któregośkolwiek z wyżej wymienionych czynników może spowodować poważne kłopoty natury technicznej i ekonomicznej oraz prawnej, a także prawdziwe tragedie właścicieli uszkodzonych budynków czy budowli.

Bezpieczeństwo konstrukcji posadawianych na terenach osuwiskowych lub w ich pobliżu, a co za tym idzie bezpieczeństwo ludzi w nich przebywających lub z nich korzystających, powinno być nieprzerwanie sprawdzane podczas całego czasu eksploatacji budynków czy budowli, a w szczególności w monecie ingerencji nowych sił związanych z modernizacją sąsiednich budowli w dany układ. Realizowanie nowych inwestycji w bezpośrednim sąsiedztwie zabudowanych terenów osuwiskowych powinno być obarczone szczegółowymi wytycznymi i ograniczeniami, które eliminowałyby do minimum wpływ wykonywanych robót na stateczność całego układu konstrukcji z podłożem. Ta właśnie problematyka zostanie szerzej omówiona w niniejszym opracowaniu, gdzie podjęto próbę przedstawienia analizy przyczynowo-skutkowej wystąpienia zniszczeń na budynkach posadawianych na terenach osuwiskowych na skutek realizacji inwestycji liniowej – trasy komunikacyjnej, w bezpośrednim ich sąsiedztwie.

2. Charakterystyka geotechniczna analizowanego podłoża gruntowego

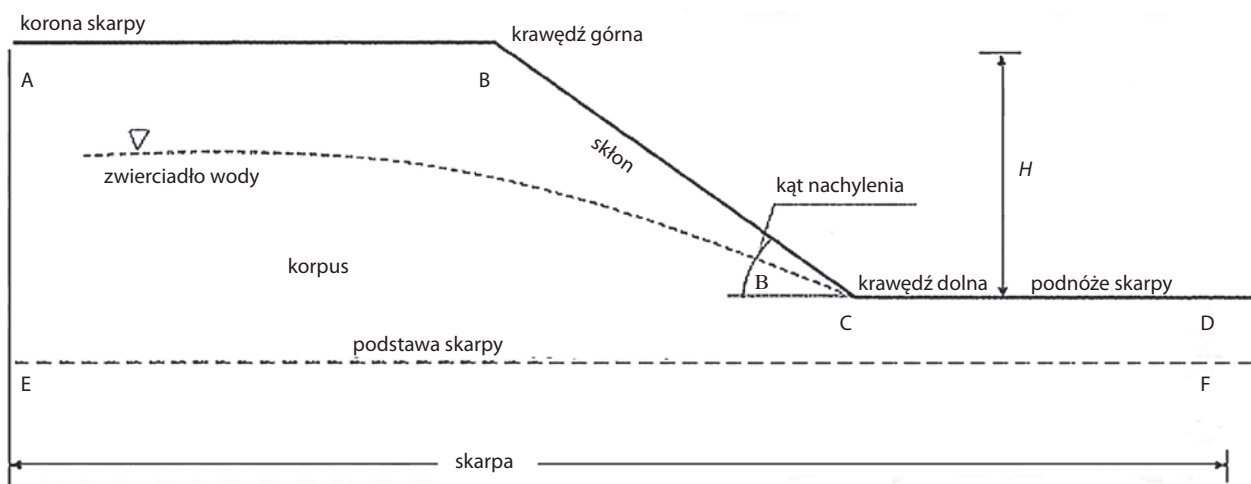
W oparciu o dane zawarte w dokumentacji geotechnicznej, w szczególności wyniki uzyskane dla otworów badawczych w analizowanych przypadkach dokonano rozpoznania gruntu do głębokości występowania twardego podłoża skalnego. W przypowierzchniowych warstwach omawiane podłoże zbudowane jest z gruntów stanowiących kolokwia osuwiskowe o zmiennej miąższości warstwy od 2,00 m w otoczeniu budynków mieszkalnych posadowionych na koronie zbocza osuwiskowego, do miąższości około 3,00 m u podnóża stoku. Górne warstwy gruntu spoczywają na stropie warstwy stanowiącej litą skałę miękką SM (flisz obejmujący kompleksy łupkowe i łupkowo-piaskowe zarówno drobno jak i średnio ławicowe) o zmiennej miąższości, która u podnóża stoku osiąga miąższość 1,40 m–1,80 m, a pod nią znajduje się strop skały twardej ST zbudowanej głównie z piaskowców.

Budynki mieszkalne, których uszkodzenia stanowią przedmiot niniejszej analizy, posadowione zostały na osadach koluwalnych o przewodzie gruntów drobnoziarnistych z frakcją główną w postaci (Cl) iłu z domieszkami gruntów gruboziarnistych (CGr i CSa) i bardzo gruboziarnistych (Bo oraz Co). Wskaźnik konsystencji I_C dla analizowanej warstwy podłoża gruntowego, na której posadowiono budynki, wskazuje na konsystencję plastyczną (przedział wartości od $I_C = 0,64$ do $I_C = 0,77$ – czyli na granicy konsystencji plastycznej oraz o konsystencji twardoplastycznej). Jak wynika z przekrojów geologicznych, w bezpośrednim sąsiedztwie budynków już na głębokości 1,40 m występują warstwy gruntów kamienistych w postaci zwietrzliny powstającej w miejscu wietrzenia skały, a głębiej znajdują się już tylko skały miękkie i twarde.

3. Charakterystyka analizowanego zadania

Wybrany ze zbioru danych reprezentatywnych analizowany przypadek dotyczy budynków mieszkalnych usytuowanych na koronie zbocza o kącie nachylenia od $33,30^\circ$ do $36,70^\circ$ i przy różnicy wysokości pomiędzy koroną a podnóżem zbocza od 10,38 do 20,02 m – do reprezentatywnego modelu numerycznego przyjęto $\beta = 35,00^\circ$; $H = 15,50$ m oraz odcinki AB i CD po 35,00 m – na rysunku nr 2 przedstawiono reprezentacyjny schemat sytuacyjny analizowanego zadania.

W bezpośrednim sąsiedztwie przedmiotowych budynków posadowionych na skarpie – w odległości od 18,00 do 30,00 m w linii prostej, u podnóża stoku, wykonywane były roboty budowlane związane z rozbudową i modernizacją drogi ekspresowej. Niniejsze prace inwestycyjne dotyczyły w szczególności wykonania podbudowy modernizowanej drogi, której niweleta została zmieniona, a także budowy nowych pasów ruchu drogi ekspresowej i lokalnej drogi zbiorczej. Ponadto w zakres prac



Rys. 2. Schemat sytuacyjny analizowanego zadania – skarpa A-D; korpus o objętości mas ziemnych ABCDFEA; korona skarpy A-B o powierzchni płaskiej lub nieznacznie nachylona do skłonu; skłon B-C czyli linia spadku; podnóże C-D, czyli stopa, tj. część powierzchni skarpy poniżej skłonu; podstawa skarpy E-F, czyli granica zasięgu technicznie istotnych wpływów stanu naprężeń i odkształceń wywołanych istnieniem stoku i jego obciążenia; również zasięg osuwiska poniżej podnóża; kąt nachylenia stoku (b), czyli kąt nachylenia linii skłonu do poziomu oraz wysokość H jako długość rzutu odcinka BC na oś pionową

inwestycyjnych wychodziły również roboty inżynierskie związane z wykonaniem odpowiednich nasypów komunikacyjnych oraz żelbetowych murów oporowych posadowionych na rzędzie pali CFA. Obciążenie zewnętrzne stałe i zmienne muru oporowego stanowiło kombinację oddziaływań stricte drogowych i obciążeń od ekranów akustycznych, które musiały być tam zainstalowane jako zabezpieczenie przed hałasem analizowanych terenów znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie modernizowanej drogi, a stanowiących tereny zabudowy mieszkaniowej o niskiej intensywności. Analizowana skarpa ma strefę, w której obserwuje się istotne ze względów technicznych zmiany wartości naprężeń i odkształceń wywołanych istnieniem uskoku naziomu o wysokości H i oddziaływaniami związanymi ze zmianą założonego na wstępie układu sił.

Głównym celem niniejszego opracowania jest przeprowadzenie w oparciu o dostępne materiały i informacje analizy przyczynowo-skutkowej, której wynikiem będzie zdiagnozowanie przyczyny powstawiania uszkodzeń na konstrukcjach budowlanych podczas i po realizacji inwestycji związanej z modernizacją i rozbudową ciągu komunikacyjnego w bezpośrednim sąsiedztwie terenów osuwiskowych, na których przedmiotowe budynki są posadowione.

4. Cause and effect diagram zagrożeń dla analizowanych budowli posadowionych na terenie osuwiskowym

Przyczyny uszkodzeń budynków i budowli zlokalizowanych na terenach osuwiskowych podczas ich eksploatacji mogą być bardzo różne – istnieje w tym temacie bardzo bogata literatura przedstawiająca najróżniejsze

kryteria klasyfikacji zarówno typów, jak i przyczyn uszkodzeń różnych elementów konstrukcji inżynierskich.

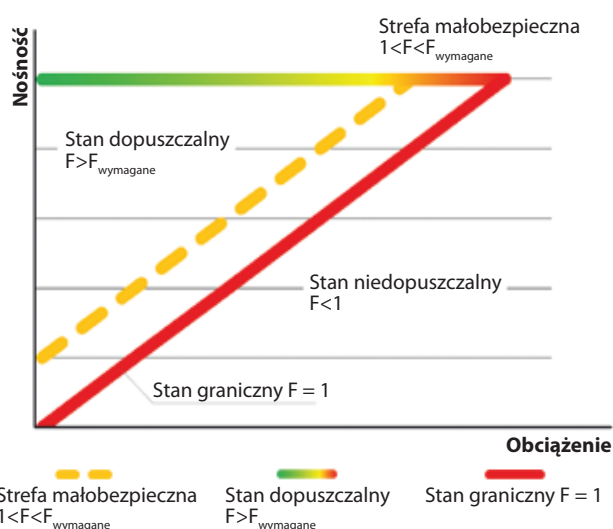
Najogólniejszą klasyfikacją jest podział przyczyn powstawiania uszkodzeń wg niniejszego schematu:

- I. uszkodzenia występujące na skutek procesów zachodzących w podłożu,
- II. uszkodzenia będące efektem procesów o charakterze naturalnym lub sztucznym zachodzących w konstrukcji,
- III. uszkodzenia wynikające z czynników technologicznych oraz z użytkowania obiektu niezgodnie z jego przeznaczeniem i z oddziaływaniem obciążeń, na które konstrukcja nie była przygotowana,
- IV. uszkodzenia spowodowane innymi przyczynami wynikającymi głównie z oddziaływania środowiska naturalnego na analizowane obiekty.

Charakter i intensywność uszkodzeń konstrukcji zależy w dużym stopniu od czynników powodujących ich powstanie, jednakże w przypadku wystąpienia kilku przyczyn wywołujących podobny typ i charakter uszkodzeń istnieją duże trudności w określeniu ich genezy oraz związków przyczynowo-skutkowych. Moment rozpoczęcia stwierdzania uszkodzeń, również jest bardzo istotny, w szczególności występującej zmiany czasowej, co do ilości i rodzaju uszkodzeń.

Przy przedmiotowej analizie dobrym elementem jest *cause and effect diagram*, który pomaga oddzielić przyczyny od skutków danej sytuacji i dostrzec złożoność problemu. Ishikawa opracował diagram przyczynowo-skutkowy, w którym analiza rozpoczyna się od stwierdzenia wystąpienia skutku (np. braku, awarii lub innego niepożądanego stanu) i prowadzona w kierunku identyfikacji wszystkich możliwych przyczyn, które go spowodowały. Diagram porządkuje logicznie i chronologicznie

Interpretacja zależności nośności (y) od obciążenia (x) z uwagi na bezpieczeństwo konstrukcji



Rys. 3. Zależność wartości współczynnika F w trzech różnych stanach: $F=1$ stan graniczny; $F>1$ stan dopuszczalny; $F<1$ stan niedopuszczalny [6]

przyczyny lub czynności ze względu na zdefiniowany problem i głównie przedstawiany jest jako wielostopniowy proces Top – Down („od ogółu do szczegółu”), w którym przyczyny bezpośrednio wyznaczone na głównej osi traktowane są jako skutki innych przyczyn. Sposób postępowania przy tworzeniu wykresu przyczynowo – skutkowego składa się z kolejno następujących po sobie kroków, których celem jest dojście do miejsca, w którym otrzyma się jednoznaczną odpowiedź na postawione pytanie. W niniejszym przypadku poszukiwana jest odpowiedź na pytanie – co jest jedynym możliwym powodem wystąpienia stanu utraty stateczności podłoża oraz wystąpienia naprężeń i odkształceń, w analizowanych konstrukcjach żelbetowych w postaci rysy i pęknięcia stropów, ścian, fundamentów oraz wsporników balkonowych, w analizowanych budynkach?

Celem omawianej metody jest również analiza wyników danego kierunku postępowania, czyli wykrycie potencjalnych niepowodzeń przedsięwzięcia i uszeregowanie przyczyn problemów. Jest to jedna z metod, którą analizuje się problemy, w celu udzielenia prawdziwej, rzetelnej i zawierającej wszystkie możliwości, odpowiedzi na pytania w sprawach spornych lub sądowych. Zastosowanie diagramu umożliwi rozpoznanie i klasyfikację wszelkich przyczyn analizowanego zagadnienia i wskazanie przyczyny niedoskonałości procesu. Analiza przyczyn i skutków przydatna jest szczególnie w pracy nad tematami interdyscyplinarnymi ze względu na złożoność problemów oraz zróżnicowanej wiedzy i doświadczeń, jakie dotyczą przyczyn niniejszego tematu. Częstym problemem występującym podczas konstruowania diagramu Ishikawy jest trudność klasyfikacji poszczególnych

przyczyn do właściwych grup lub podgrup. Wadą tej metody jest nieprzejrzystość przy analizie złożonych problemów. Analizowany problem stanowi problem interdyscyplinarny składający się z aspektów prawnych, geotechnicznych, budowlanych, materiałowych, architektonicznych, środowiskowych i ekologicznych.

Po przeanalizowaniu ogólnych i szczególnych aspektów mających wpływ na przedmiotową sprawę należałoby udzielić odpowiedzi na kluczowe pytania związane ze zmianą wartości współczynnika F , gdzie $\{F = (\text{nośność}/\text{obciążenie})\}$, analizowanych nieruchomości z przypadku, w którym konstrukcje były w stanie dopuszczalnym, tj. $F > 1$, na przypadek, w którym analizowane konstrukcje przeszły do stanu bardzo mało bezpiecznego lub do stanu granicznego, gdy $F = 1$, co jest zobrazowane na rysunku nr 3.

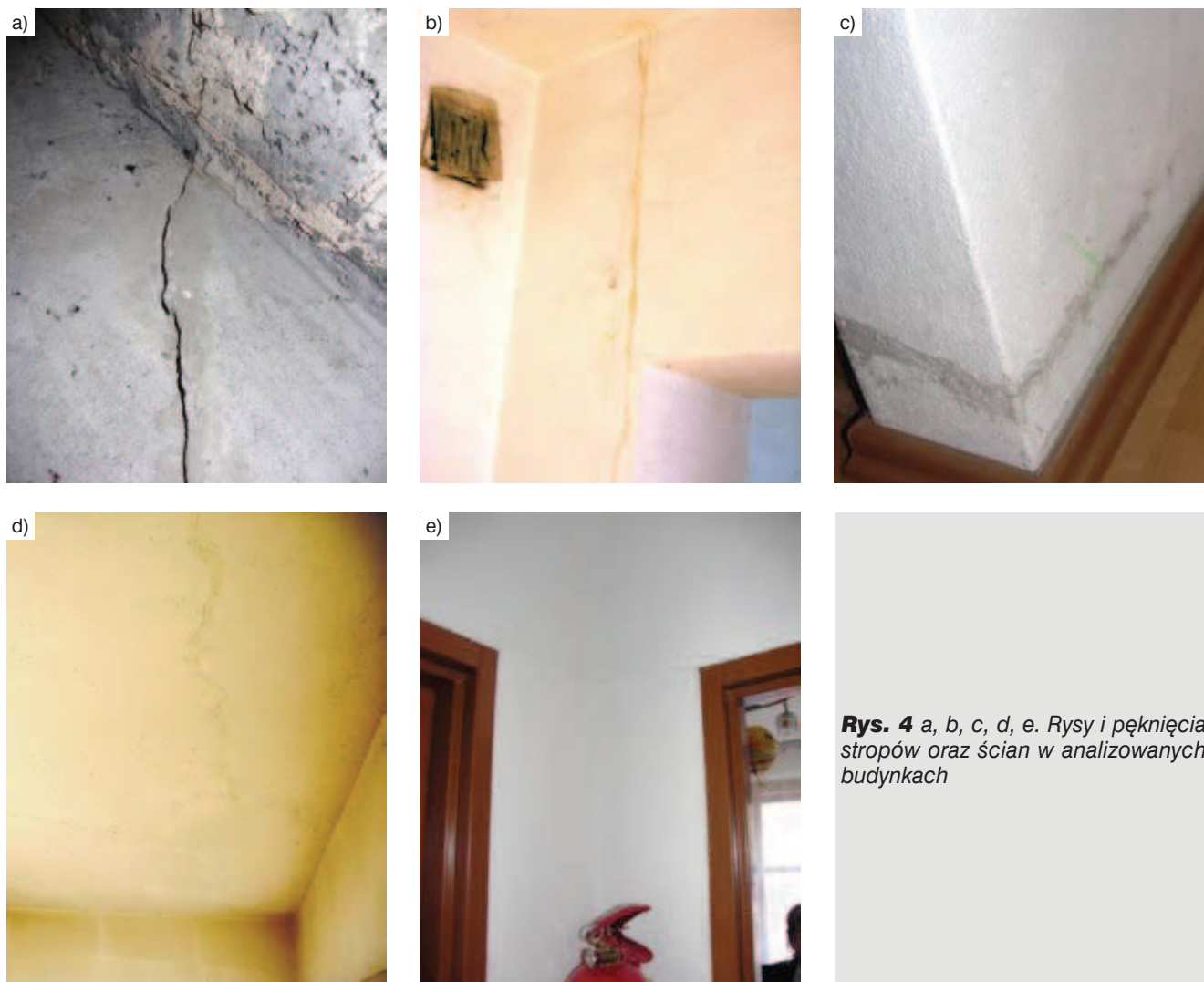
Po określeniu głównej przyczyny analizowanego zagadnienia odpowiedzi na szczegółowe pytania określające przyczyny powstania takich, a nie innych uszkodzeń jest już sprawą analizy wyników z odpowiednich modeli numerycznych i wyników z obliczeń normowych, a następnie opisanie wyników końcowych. Ponadto obliczenie wysokości kosztów naprawy konstrukcji i zabezpieczenie elementów mających wpływ na stan graniczny nośności i użytkowania obiektów również jest możliwy do oszacowania z uwagi na wiedzę, co jest przyczyną powstawania uszkodzeń konstrukcyjnych.

5. Diagnostyka przyczyn powstawania uszkodzeń dla analizowanych budowli

5.1. Stan budowli przed i po wystąpieniu uszkodzeń

Zgodnie z informacjami pozyskanymi z obszernej dokumentacji technicznej analizowanych budynków oraz mając na uwadze wyniki z przeprowadzonych wizji lokalnych mających na celu scharakteryzowanie stanu technicznego budynków przed rozpoczęciem realizacji inwestycji, we wszystkich badanych przypadkach ich stan techniczny określano jako bardzo dobry lub dobry. Ponadto w żadnym z nich nie stwierdzono występowania rys na elementach konstrukcyjnych. Podczas realizacji inwestycji, jak i po jej zakończeniu w przedmiotowych budynkach zaobserwowano pojawienie się rys i spękań na stropach poszczególnych kondygnacji – począwszy od przyziemia na poddaszach kończąc, zarówno na kondygnacjach użytkowych jak i na kondygnacjach nieużytkowych. Analizowane budowle zaczęły mieć rysy i pęknięcia na elementach ścian zewnętrznych i wewnętrznych, ponadto zauważono pęknięcia konstrukcji fundamentowych i przemieszczenia gruntowe w obrębie analizowanych nieruchomości gruntowych.

W budynkach wchodzących w zakres niniejszej analizy główne spękania i rysy powstałe na stropach miały bardzo podobny charakter – a mianowicie przebiegały równoległe do tego boku budynku, który był usytuowany prostopadle to płaszczyzny zbocza. Podobny charakter



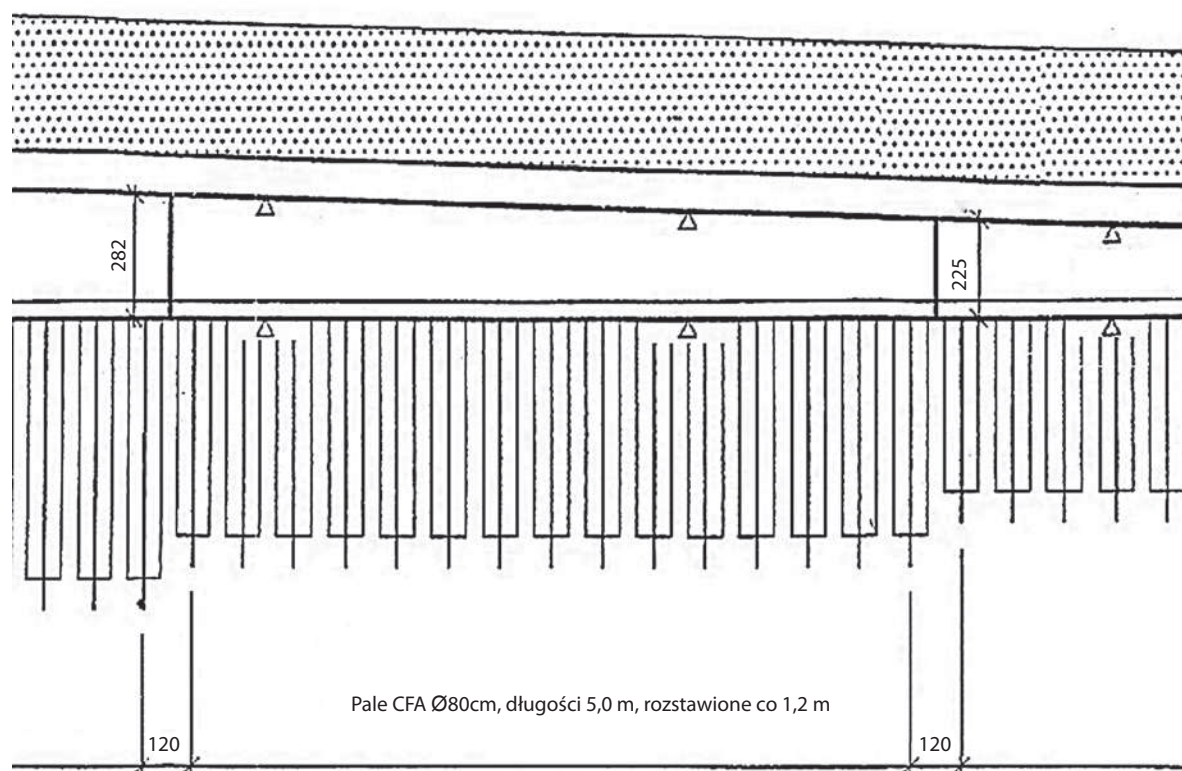
Rys. 4 a, b, c, d, e. Rysy i pęknięcia stropów oraz ścian w analizowanych budynkach

i kierunek przebiegu miały rysy na ścianach nośnych, występowały także spękania na wspornikach balkonowych, których charakter i kierunek przebiegu był taki sam jak kierunek przebiegu głównych rys i spękań powstałych na stropach budynku – rysunek 4a–e.

Na elementach konstrukcyjnych omawianych budynków występowały również pęknięcia ukośne i prostopadłe ale o zdecydowanie mniejszym zasięgu. Charakter, przebieg i kierunek tych rys wskazuje na nierównomiernie osiadanie budynku. Wyniki przemieszczeń zbocza i budynków zmierzone podczas monitoringu geodezyjnego przeprowadzonego w czasie realizacji przebudowy i modernizacji drogi wskazują na przemieszczenia, które występują w stosunkowo krótkich przedziałach czasowych, głównie $\Delta T = 14$ dni. Analiza wielkości i kierunku przemieszczeń w powiązaniu z różnymi dostępnymi informacjami, począwszy od danych z dokumentowania geotechnicznego, parametrach geotechnicznych podłoża dla założonych na wstępie przypadków w korelacji z harmonogramem wykonywanych w danym czasie prac budowlanych (wiercenie pali CFA, zagęszczanie nasypów komunikacyjnych itp.) pozwala na zamodelowanie przebiegu deformacji podłoża w odniesieniu do założonych źródeł oddziaływań.

5.2. Zakres i rodzaj oddziaływań wynikający z wykonywanych prac budowlanych

W bezpośrednim sąsiedztwie przedmiotów niniejszej analizy stanowiących budynki mieszkalne zlokalizowane na stokach o charakterze osuwiskowym, średnio oddalonych o około 25 m od zrealizowanej drogi ekspresowej, były generowane oddziaływania związane z wykonawstwem żelbetowego muru oporowego posadowionego na palach CFA $\varnothing 80$ o różnych długościach, począwszy od $L_{11} = 3,00$ m, $L_{12} = 4,00$ m, $L_{13} = 5,00$ m, a na $L_{18} = 8,0$ m kończąc, ponadto wykonywano tam prace związane z formowaniem podbudowy i nasypów komunikacyjnych – rysunek 5. Do realizacji robót remontowych i modernizacyjnych wykorzystywane były różnorodnie sprzęty, takie jak: samochody do 30 t, dźwig 10 t, koparki, wibratory wgłębne, sprzęt do palowania w technologii CFA, czyli wiertnica do pali CFA oraz ubijaki ręczne i mechaniczne. Z uwagi na geologię terenu osiągnięcie głębokości odwiertów dla zaprojektowanych długości pali tylko przy użyciu wiertnicy nie byłoby możliwe. Pale CFA (ang. Continuous Flight Auger) są to pale wiercone, wykonywane za pomocą świdra ciągłego osadzonego na rurowym rdzeniu. Wykonanie



Pale CFA $\varnothing 80\text{cm}$, długości 5,0 m, rozstawione co 1,2 m

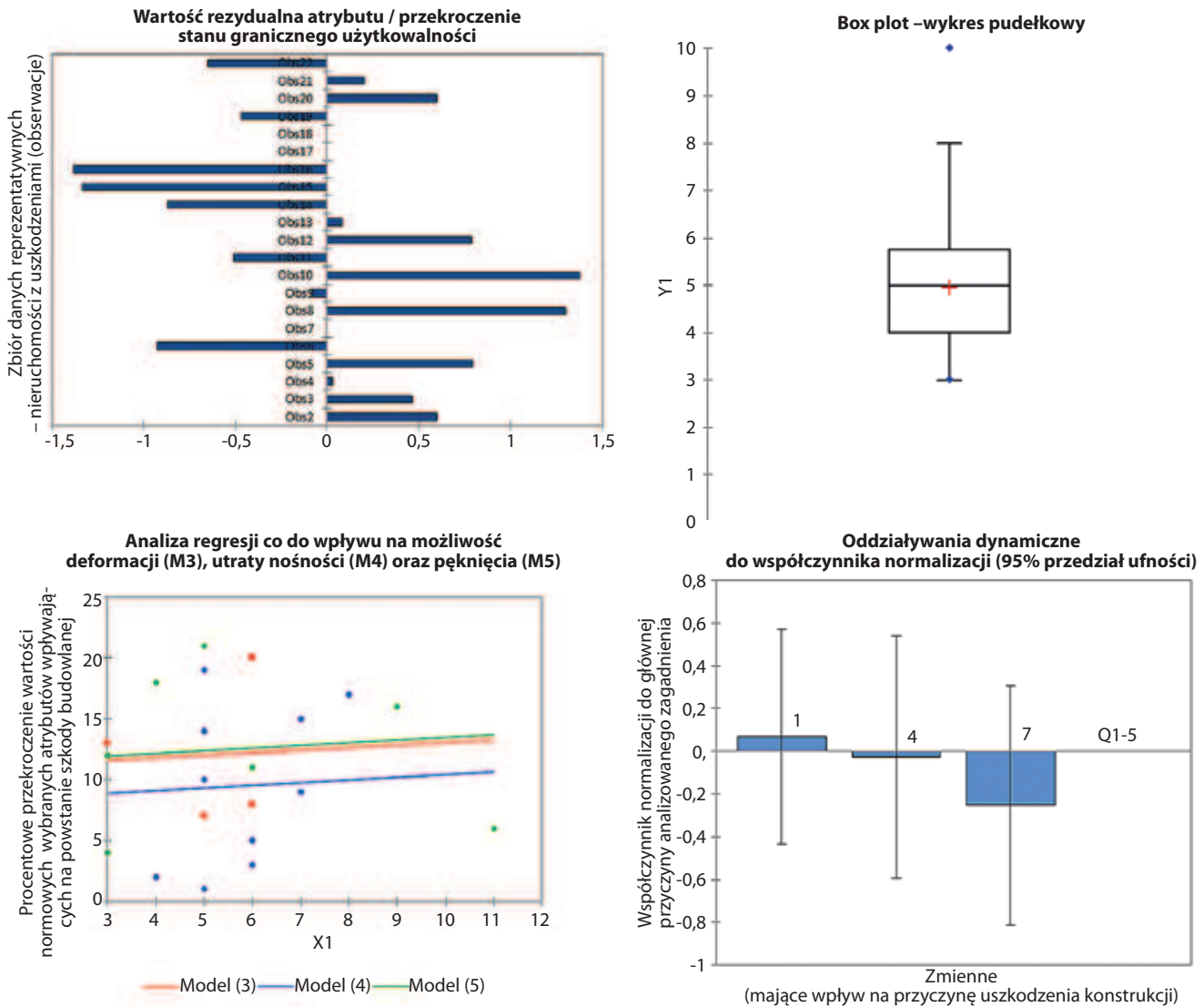
Rys. 5. Schemat przekroju podłużnego muru oporowego posadowionego na palach CFA

pali CFA polega na pograżeniu świdra ruchem obrotowym na żądaną zaprojektowaną głębokość [1]. Technologia taka pozwala zastosować pale CFA w pobliżu istniejących budynków, jednakże tylko wówczas, gdy grunty, w jakich dokonuje się wiercenia są gruntami drobnoziarnistymi lub gruboziarnistymi.

Na analizowanym terenie występowały w przekrojach wiertniczych grunty bardzo gruboziarniste w postaci rumoszy czy zwierzelin oraz w postaci skał miękkich, a nawet skał twardych. Takie dane w aspekcie analizy geotechnicznej zmuszają do zmiany technologii lub do użycia sprzętu odpowiedniego do wiercenia w skałę, w szczególności z uwagi na bliskie sąsiedztwo zabudowań budynkami i budowlami, na które oddziaływania związane z palowaniem mogą mieć duże znaczenie przy zmianie sił wchodzących w układ stanów granicznych nośności i użytkowania. Z analiz wszystkich istotnych aspektów mających wpływ na badane zagadnienie, najpopularniejszym urządzeniem mogącym optymalnie współpracować jest młotek wgłębny lub młotek dolny. Technologia odwiertu w skałach miękkich lub twardych generuje oddziaływania dynamiczne, które w analizowanym przypadku mogły mieć duży wpływ na inicjację ruchów osuwiskowych na danym terenie, a co za tym idzie na zmianę wszystkich założonych na wstępie sił zewnętrznych mających wpływ na konstrukcje posadowione na tym terenie. Z całej dokumentacji niniejszego przedsięwzięcia, dogłębnie przestudiowanego, wynika, że wykonane pale CFA wykonywane były z platformy wiertniczej w systemie co drugi – czyli początkowo

w odległości co 2,40 m, natomiast pale pośrednie realizowano w drugiej kolejności. Przeanalizowany przedział czasowy, w którym przedmiotowe budynki były narażone na oddziaływanie spowodowane realizacją pali pod murem oporowym jak i formowaniem i zagęszczaniem nasypów komunikacyjnych w bezpośrednim ich sąsiedztwie był dość długi, ze zmienną intensywnością oddziaływania, a także występował w zmiennych warunkach pogodowych.

W celu zobrazowania przebiegu inwestycji oraz sprawdzenia wielkości i jakości oddziaływań stworzono reprezentatywny model numeryczny podłoża gruntowego jako podstawa do analizy wszystkich najgorszych oddziaływań, jakie mogły wpływać na analizowane obiekty i na uszkodzenia, jakie na nich powstały. Mając informacje o podłożu, budowlach i planach modernizacji drogi ekspresowej, jako dane przed inwestycją oraz zbiór informacji dotyczących zmiany parametrów geotechnicznych podłoża gruntowego, ponadto dane o formie i wielkości uszkodzeń konstrukcji budynków i budowli oraz pełną dokumentację budowy, podjęto próbę przeanalizowania sił, oddziaływań i stanów granicznych zbudowanego modelu numerycznego. Wyniki różnych możliwych obciążeń, mających swoje podstawy w dokumentacji inwestycyjnej badano metodą analizy wstecznej. Obliczenia wykonywano w programem MES Z_Soil oraz PLAXIS. Na przykładzie wybranego budynku, zlokalizowanego najbliżej modernizowanego głównego ciągu komunikacyjnego przeanalizowano siły mogące wywołać przemieszczenia, jakie wystąpiły



Rys. 6. Analiza statystyczna parametrów badanych grup reprezentacyjnych – wyniki przeprowadzonych analiz (model ANCOVA) a). zbiór 22 elementowy wybranych danych reprezentatywnych najbardziej zbliżonych do przedmiotu analizy pod kątem poszczególnych analizowanych atrybutów; b). wykres pudełkowy stanowiący graficzną interpretację danych statystycznych w przyjętej skali 0-10 tj. max. 10; min. 3; średnia 4,93; mediana 4,88; odchylenie standardowe 0,865; c). regresja Y1, gdzie Y jest zmienną zależną dot. uszkodzenia konstrukcji w trzech modelach; d). przykładowy rozkład dla zmiennej – oddziaływania dynamiczne przy modernizacji inwestycji drogowej

na elementach konstrukcyjnych budynku oraz w gruncie od korony do podłoża skarpy. Obliczenia statyczne programem Plaxis i Z_Soil przeprowadzono w fazie po realizacji – analiza wsteczna. Bardzo pomocne były informacje z pomiarów geodezyjnych w postaci przemieszczeń poziomych oraz pionowych gruntu i budynków wokół realizowanej inwestycji. Uzyskane wyniki obliczeń porównano z danymi wstępnymi. Przeanalizowano różne oddziaływania, jakie miały miejsce, zbadano również zmianę parametrów geotechnicznych podłoża w wyniku zmian pogodowych, ale oddziaływania od palowania na projektową głębokość i w rzeczywistych warunkach i parametrach podłoża okazały się kluczowe i najbardziej istotne, pomimo bardzo dużej kombinacji możliwości generacji przemieszczeń na analizowane obiekty sąsiednie. [2], [3], [4], [7].

6. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych analiz przyczynowo-skutkowych, w oparciu o dostępne dane i przeprowadzone wariantowe symulacje pozwalają na sformułowanie kilku wniosków końcowych. Po pierwsze, sam fakt istnienia ruchu na drodze ekspresowej z dużym prawdopodobieństwem nie mógł być przyczyną zaistniałych uszkodzeń w analizowanych budynkach, nawet po modernizacji tej drogi i dróg lokalnych, co głównie zwiększyło powierzchnię i częstotliwość oddziaływań komunikacyjnych. Po drugie, żadna z zaprezentowanych metod analizy nie potwierdziła przesłanek, iż przyczyną analizowanych uszkodzeń jest nieodpowiednia jakość materiałów użytych do budowy przedmiotowych budynków czy budowli lub nieprawidłowe wykonawstwo przedmiotowych budynków, mimo ich

wieku, który zawiera się w przedziale od lat 90. ubiegłego wieku do pierwszej dekady obecnego XXI wieku. W analizowanych dokumentach stan techniczny badanych obiektów określony na datę poprzedzającą rozpoczęcie prac budowlanych związanych z omawianą inwestycją – określony był jako dobry i bardzo dobry. Nie znaleziono żadnych przesłanek do szacowania wielkości prawdopodobieństwa wpływu powyższych przyczyn na wielkość i formę powstałych uszkodzeń w omawianych budynkach.

Po trzecie, fakt lokalizacji budynków na terenach osuwiskowych – w szczególności ukształtowanie analizowanego terenu, charakter stoku, jego geologia oraz parametry geotechniczne poszczególnych warstw podłoża gruntowego wskazują, iż analizowane przypadki obrazują schematy obliczeniowe, które łatwo wyprowadzić ze stanu równowagi granicznej i doprowadzić do utraty stateczności. Wiele czynników jest w stanie zmienić rozkład sił i naprężeń w podłożu, a tym samym spowodować zmiany, które skutkują osiadaniami oraz przemieszczeniami budynków. Przeprowadzone analizy wsteczne potwierdziły te wstępne założenia w bardzo dużym stopniu. Po czwarte, porządkując dane i wyniki z przeprowadzonych analiz faktem jest, że przed rozpoczęciem prac związanych z przebudową drogi uszkodzeń na przedmiotowych budynkach nie było, natomiast po zrealizowaniu odcinka drogi uszkodzenia wystąpiły. Faktem jest również, że w przedziale czasowym, w którym sygnalizowano powstawanie uszkodzeń, realizowana była inwestycja polegająca na wykonaniu pali CFA i nowych nasypów komunikacyjnych oraz muru oporowego. Przedział czasowy, w jakim miały miejsce analizowane oddziaływania, jest również bardzo istotny w kompleksowej analizie wszystkich czynników. Jednoznaczne jest również to, że podłożo gruntowe wzdłuż realizowanej inwestycji drogowej, w szczelności w bezpośrednim sąsiedztwie analizowanych budynków wykazuje na głębokości około 3,00 m p.p.t. charakter skalisty – występują tam skały miękkie i twarde. W takich warunkach trudno jest wykonywać pale świdrem ciągłym. Istnieje duże prawdopodobieństwo, iż z uwagi na problemy w realizacji odwiertów na założoną w projekcie głębokość zmieniono technologie na odpowiednią do wiercenia w skałe. Niezaprzeczalnym faktem jest również, iż stwierdzono przemieszczania zamontowanych reperów. Na podstawie powyższych informacji, można wnioskować, iż prace przy realizacji drogi miały wpływ na skutki pęknięć stropów i ścian w przedmiotowych budynkach. Niniejsze wnioski potwierdza również charakter powstałych uszkodzeń – lokalizacja i kierunek przebiegu pęknięć i rys w odniesieniu do ukształtowania terenu i układu warstw geotechnicznych, potwierdza wcześniejsze wnioski.

Wyniki obliczeń statystycznych wszystkich zbadanych aspektów analizy przyczynowo-skutkowej wystąpienia uszkodzeń elementów konstrukcyjnych budynków posadowionych na zboczach o charakterze osuwiskowym, w kontekście prac budowlanych polegających na modernizacji pobliskiej drogi ekspresowej zostały przedstawione na rysunku 6.

Najprawdopodobniej przyczyny możliwości deformacji, nachylenia, pęknięcia oraz utraty stabilności lub nośności przebadano kilkoma metodami. Zmienność wyników analizowanych w każdej wybranej zbiorowości danych jest nieodłącznym atrybutem każdego badania, w którym poszukuje się przyczyn lub skutków przedmiotowego zagadnienia. Przedstawione wykresy przedstawiają wartości statystyczne wybranych modeli analiz. Parametry oznaczone jak $Y_1, Y_2 \dots Y_N$ oznaczają różne możliwe hipotezy, a jednoczynnikowa analiza wariancji jest statystyczną metodą do weryfikacji tych hipotez.

Reasumując, przedstawione analizy przyczynowo-skutkowe potwierdzają wpływ oddziaływań wywołanych pracami związanymi z realizacją modernizacji i przebudowy drogi ekspresowej na wystąpienie uszkodzeń w budynkach posadowionych na terenach osuwiskowych w bezpośrednim sąsiedztwie drogi ekspresowej. Największym wpływem na generację uszkodzeń, zgodnie z założonymi modelami numerycznymi i statystycznymi miały prace związane z palowaniem. Technologia palowania, sprzętem oraz wytyczne projektowe nie uwzględniały prawdziwych wytycznych geotechnicznych dla terenu, na którym były wykonywane przedmiotowe prace, w związku z tym nie uwzględniały wytycznych dla trzeciej kategorii geotechnicznej, która jest zawsze na terenach osuwiskowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Cała M., Flisak J., Analiza stateczności skarp i zbroczy w świetle obliczeń analitycznych i numerycznych
- [2] Gaszyński J., Gwóźdź-Lasoń M., Analiza numeryczna wzmocnionego podłoża gruntowego po nasypem drogowym – LII Konferencja Naukowej KILiW PAN i KN PZITB Krynica, 2006 r., ISSN 0373-8671 Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej nr 603 Budownictwo Ładowe nr 60, str. 23-30
- [3] Gaszyński J., Gwóźdź-Lasoń M., Model Numeryczny Ośrodka Gruntowego z Palisadą Kolumn XIV Krajowej KMGiG i III Ogólnopolskiej KMG, Białystok, 2006 r. Tom 2, Zeszyt Naukowy Budownictwo ISSN 1730-6752, 2006 tom 28, str. 93-101
- [4] Gaszyński J., Gwóźdź-Lasoń M., Numerical Models of Reinforced Soil – Proceeding of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (16ICSMGE), Osaka, Japonia, wrzesień 12-16, 2005, str. 709-802
- [5] Gwóźdź-Lasoń M., Rzykosne Budowy, Architektura & Biznes: A & B: 2011, ISSN 1230-1817 str. 28-29
- [6] Gwóźdź-Lasoń M., (2013) Projektowanie geotechniczne/W: Wprowadzenie do projektowania geotechnicznego: podstawy fizyczne, badania i algorytmy obliczeniowe/Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, 2013, str. 150-180: ISBN 978-83-7242-752-6
- [7] Gwóźdź-Lasoń M., How to calculate the impact of geotechnical condition plots of land with commercial use on market value this type of real estate/Geotechnical Challenges in Megacities: Proceedings of the International Geotechnical Conference by V. P. Petrukhin [et al.] – Moskwa 2010, str. 1186-1190: ISBN 978-5-9902005-2-4
- [8] Jaremski J., The influence of changes of the weathering water content on formation of landslides in the Carpathian Flysch, 2004
- [9] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. z 2012 r. poz. 463 z późniejszymi zmianami)
- [10] PN-EN 1991 Eurokod 1 Oddziaływania na konstrukcje
- [11] PN-EN 1990:2002 Eurokod Podstawy projektowania konstrukcji
- [12] PN-EN 1997-1 i -2 Eurokod 7 Projektowanie geotechniczne, Część 1. Zasady ogólne. Część 2. Badanie podłoża gruntowego