

Geologiczno-inżynierskie uwarunkowania deformacji terenu i szkód budowlanych w staromiejskiej dzielnicy Sandomierza

Stanisław Mularz*, Stanisław Rybicki**

W starej, zabytkowej dzielnicy Sandomierza — już od czasów historycznych — występują uszkodzenia budowli, niewielkie zapadliska lub osiadania powierzchni terenu, osuwiska skarp wzgórza, na którym ta dzielnica jest zlokalizowana. Przyczyn tych destrukcyjnych dla miasta procesów upatruje się głównie w charakterze podłoża budowli, które na terenie wzgórza staromiejskiego jest zbudowane z lessów, gruntu mało odpornego na działanie wody. W lessach na głębokości od kilku do kilkunastu metrów są wydrążone ponadto podziemne korytarze i piwnice często na kilku poziomach, których lokalizacja nie do końca jest rozpoznana. Niestabilność stropu tych podziemnych wyrobisk i związane z tym zapadliska terenowe stwarzają szczególne zagrożenie dla zabytkowych budowli. W pracy przedstawiono wyniki rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich na terenie wzgórza, a w szczególności rozpoznanie jego budowy geologiczno-strukturalnej oraz właściwości fizyczno-mechanicznych warstwy lessów. W tym ostatnim przypadku podano też wyniki badań zmiany cech wytrzymałościowo-deformacyjnych lessu pod wpływem wzrostu jego zawilgocenia. Na tle sezonowych i wieloletnich zmian zawilgocenia warstwy lessów, przedstawiono deformacje powierzchni terenu uzyskane z obserwacji geodezyjnych, stwierdzając ich wzajemne powiązanie.

Słowa kluczowe: właściwości geotechniczne lessów, awarie budowli posadowionych na lessach, stateczność skarp

Stanisław Mularz & Stanisław Rybicki — **Engineering-geological reasons for ground deformations and building damages within the old town of Sandomierz.** Prz. Geol., 47: 1117–1124.

On the area of the Old Town of Sandomierz the building damages, sink-holes and subsidence of the terrain surface as well as the landslides of the hill slopes are observed since a long time. The direct subgrade of the city structures is build up by the loess layer, which is very sensitive for moisture changes and being conductive to ground deformations development. In the loess layer a numerous man-made corridors, cellars, chambers etc. are situated on the several levels anywhere from a dozen or so meter below the ground surface. The deformations of the loess subgrade and local subsidence of underground corridors and hollows cause the building failures. The results of recognition of the engineering-geological conditions on a hill area as well as the physical and mechanical properties of the loesses are presented in this paper. Also the investigations of loess resistance and deformation influenced by the increasing of the soil moisture content are described. The seasonal and long term changes of the loess layer moisture and the deformations of the terrain surface, based on the surveying measurements have been found to be well-correlated.

Key words: geotechnical properties of loess, damages of buildings founded on loess, slopes stability

Na terenie starej części Sandomierza, położonej na wzgórzu stanowiącym cypel Wyżyny Sandomierskiej i otoczonym od wschodu, południa i zachodu stromymi skarpami, często notuje się wystąpienia zapadlisk powierzchni terenu, spękań i uszkodzeń budynków, awarii sieci wodociągowo-kanalizacyjnej, obsuwy skarp. Te destrukcyjne dla miasta procesy a zwłaszcza obsuwy skarp podmywanych dawniej przez wody Wisły wzmiankowane już były w przekazach historycznych (Wójcik, 1982). Ich przyczyn słusznie upatruje się obecnie w niekorzystnych warunkach bezpośredniego podłoża, zbudowanego z utworów lessowych, mało odpornych na zmiany zawilgocenia i działanie wód. Drugim niekorzystnym czynnikiem jest obecność w podłożu podziemnych lochów, korytarzy i piwnic wykonanych przez człowieka, których lokalizacja nie zawsze jest znana. Oprócz tych form antropogenicznych wydrążonych w miękkim materiale lessowym, w podłożu występują słabiej rozpoznane kawerny i kanały powstałe wskutek przecieków wody z sieci wodociągowo-kanalizacyjnej oraz z wadliwego odprowadzania wód opadowych (Bielecka, 1967). Lokalne zapadanie się tych podziemnych wyrobisk i pustek prowadzi do szczególnie groźnych awarii budowlanych. Począwszy od lat

sześdziiesiątych dokonuje się kompleksowej rewaloryzacji obiektów budowlanych starego miasta w Sandomierzu, która objęła także położony na południowym cyplu wzgórza Zamek Kazimierzowski. Zabezpieczono też część wschodniego zbocza wzgórza, na którym w marcu 1967 r. powstało osuwisko o znacznych rozmiarach. Dokonano także częściowego remontu sieci wodociągowo-kanalizacyjnej i wzmocniono podłoże fundamentów wielu budynków według specjalnych wytycznych (Strzelecki, 1965) oraz podjęto geodezyjne obserwacje osiadań specjalnych reperów. Mimo tych zabiegów w dalszym ciągu obserwuje się zarysowania i uszkodzenia murów niektórych odnowionych obiektów, w tym zamku oraz wciąż liczne awarie sieci wodociągowo-kanalizacyjnej. Charakter uszkodzeń murów zamku, położonego na lokalnej elewacji morfologicznej, układ rys i spękań na murach, sugerował występowanie poziomych rozciągań jego podłoża. To zrodziło przypuszczenie, że być może całe wzgórze, na którym zlokalizowana jest stara część miasta, podlega nie tylko stwierdzanym pomiarom deformacji pionowym, ale i poziomym, których metodami pomiarów niwelacyjnych nie można było dotychczas uchwycić. Celem więc lepszego poznania przyczyn deformacji podłoża i wypracowania skuteczniejszych metod zabezpieczeń obiektów przed awariami, zdecydowano się przeprowadzić dokładniejsze badania warunków geologiczno-inżynierskich wzgórza i jego otoczenia, co zrealizowano w ramach grantu celowego KBN i Urzędu Miasta Sandomierza 99155 92/758 nt. *Rewaloryzacja i zabezpieczenie obiektów w rejonie wzgórza zamkowego i skarpy zachodniej w Sandomierzu przed*

*Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

**Katedra Geologii Inżynierskiej i Geotechniki Środowiska AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

skutkami naturalnych i antropogenicznych procesów geomechanicznych.

Metody badań

Zebrano i przeanalizowano dotychczasowe rozproszone wyniki badań o charakterze niepublikowanych dokumentacji geotechnicznych podłoża niektórych obiektów budowlanych a zwłaszcza dokumentacji Geoprojektu (Klich & Orłowski, 1968). Dało to podstawę do wybrania lokalizacji, a następnie wykonania na terenie wzgórza i w jego otoczeniu 9. dodatkowych otworów geologiczno-inżynierskich o głębokości 23–51 m (ryc. 1). W otworach oprócz rozpoznania profilu geologicznego i warunków wodnych podłoża, pobrano próbki gruntów o nienaruszonej strukturze i określono ich cechy fizyczno-mechaniczne. Wykonano też, w różnych okresach, kilkanaście płytkich otworów penetracyjnych do głębokości 4–5 m, głównie w celu określenia okresowych zmian wilgotności w przypowierzchniowej strefie podłoża.

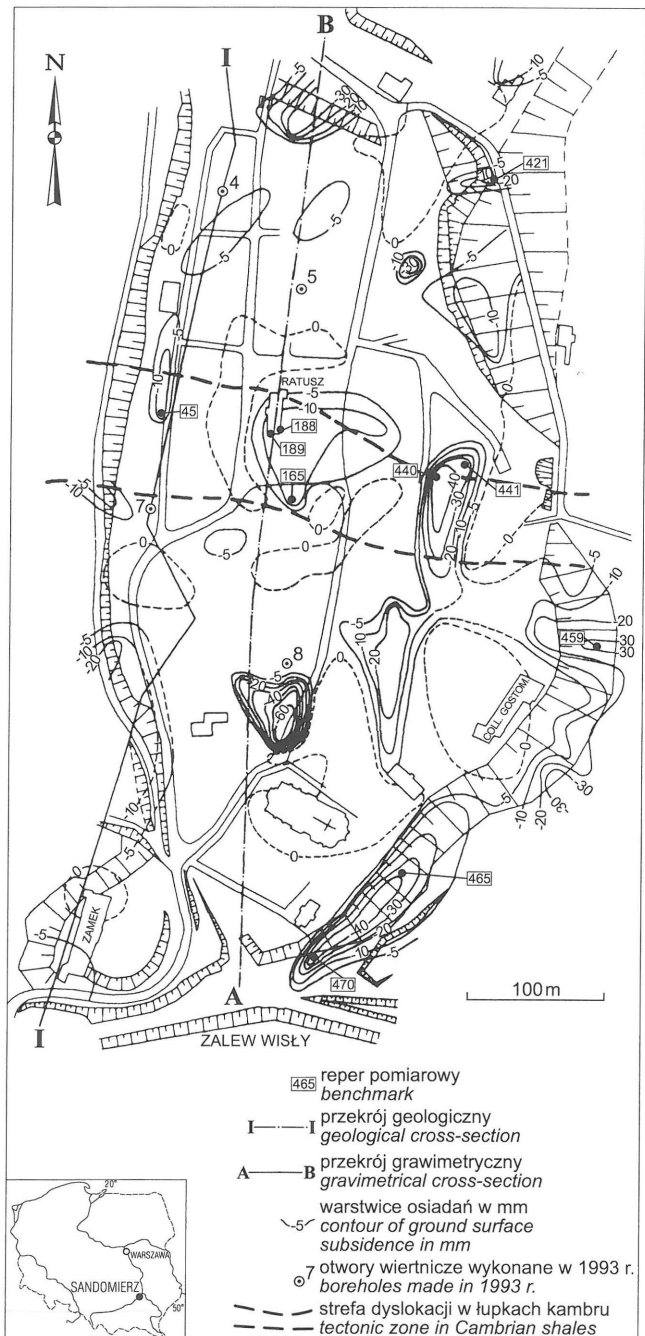
Rozpoznanie geologiczno-inżynierskie za pomocą otworów uzupełniono badaniami grawimetrycznymi i sejsmicznymi. Miały one głównie na celu rozpoznanie głębokości położenia oraz ukształtowania powierzchni starszego podłoża kambryjskiego pod utworami młodszymi na terenie wzgórza i w jego otoczeniu, a także wykrycie ewentualnych pustek i rozluźnień w obrębie utworów lessowych nadkładu czwartorzędowego.

Elementem analizy były też wyniki archiwalnych pomiarów osiadań sieci reperów ziemnych i zlokalizowanych na budynkach, odniesione zarówno do rozpoznanej budowy geologicznej podłoża, jak i morfologii wzgórza oraz wieloletnich zmian wysokości opadów atmosferycznych, a także zarejestrowanych miejsc wystąpień awarii sieci wodociągowo-kanalizacyjnej i rejonów uszkodzeń budynków.

Wyniki badań

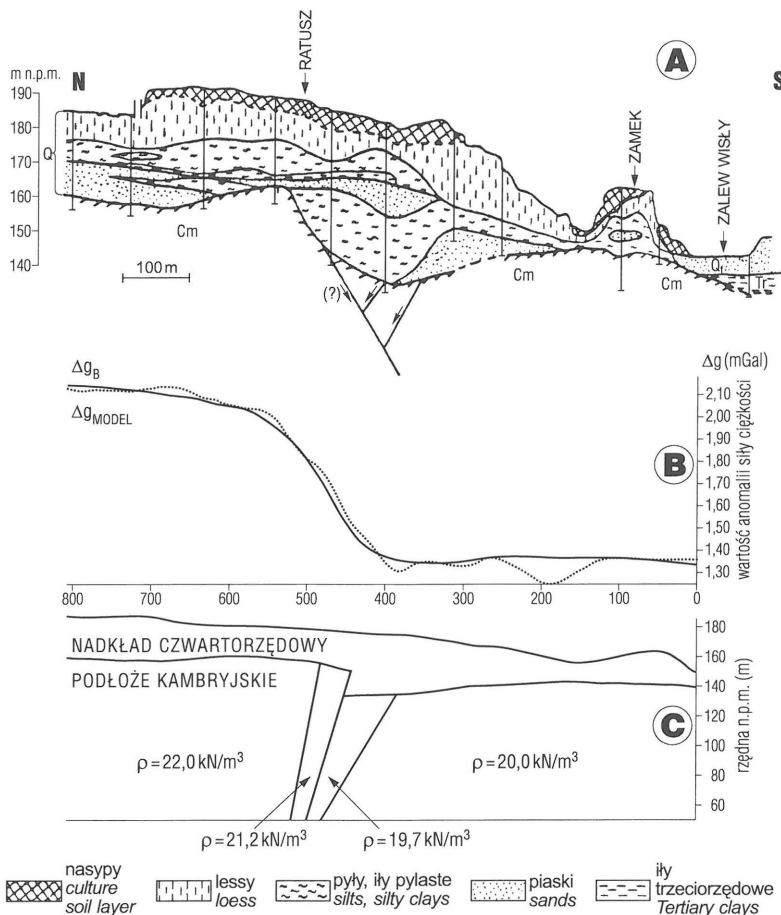
Warunki geologiczno-inżynierskie podłoża w obrębie wzgórza sandomierskiego i w jego otoczeniu. Starsze podłożo w rejonie wzgórza sandomierskiego (ryc. 2) zbudowane jest z utworów kambru środkowego, stanowiące tu wschodnie, peryferyczne wyniesienie Gór Świętokrzyskich (Bielecka, 1967). Wykształcone są one jako ławice łupków ilastych i kwarcytowych, nachylonych ku wschodowi pod kątem 23–38°. W łupkach kambryjskich występują liczne spękania i przemieszczenia wzdłuż powierzchni nieciągłości. Wierzchnia warstwa łupków jest zwietrzała na głębokość co najmniej kilku metrów. Zasięg zwietrzenia łupków, jak się wydaje, jest większy w południowej części wzgórza, gdzie zwietrzelinę napotykało jeszcze na głębokości około 9,5 m od obecnej powierzchni stropowej kambru i nie została ona przewiercona, podczas gdy w części północnej jej grubość w niektórych otworach wynosiła tylko 1–3 m. Ukształtowanie powierzchni utworów kambryjskich jest urozmaicone. Jest ona położona wyżej, w części północnej wzgórza (na rzędnej ok. +165 m n.p.m.), w części środkowej zaś dość gwałtownie się obniża do rzędnej ok. +135 m n.p.m., tworząc przegłębienie otwarte ku zachodowi, a następnie nieco się podnosi, by ponownie obniżyć się na południe do doliny Wisły, gdzie schodzi aż do rzędnej ok. +120 m n.p.m. Utwory kambru znajdują się już tutaj pod przykryciem iłów mioceńskich (krakowieckich). Obniżenie

powierzchni stropowej kambru, interpretowane przez Bielecką (1967) i w dotychczasowych dokumentacjach geologicznych (Klich & Orłowski, 1968) jako erozyjne, w wyniku nowych badań zostało zinterpretowane jako tektoniczne, a być może utworzone w rezultacie powstania paleoosuwiska na założeniach tektonicznych, na co mogą wskazywać wyniki przeprowadzonych badań geofizycznych. Z badań grawimetrycznych wynika bowiem (Fajkiewicz & Madej, 1994), że w podłożu kambryjskim w środkowej części wzgórza sandomierskiego występuje strefa wyraźnie mniejszej gęstości skał (strefa rozluźnienia) zinterpretowana jako uskok lub grupa uskoków (ryc. 2). Rejon Sandomierza znajduje się bowiem w pobliżu regionalnej dyslokacji świętokrzyskiej i tektonika



Ryc. 1. Plan wzgórza sandomierskiego z lokalizacją nowych otworów badawczych i warstwicami osiadań terenu

Fig. 1. Plan of the studied hill with localization of new boreholes and contours of ground surface subsidences



Ryc. 2. Uproszczony przekrój geologiczny (A) oraz przekrój grawimetryczny (B) wraz z interpretacją geologiczną (C) przez wzgórze sandomierskie
Fig. 2. Simplified geological (A) gravimetric (B) with geological interpretation (C) cross-sections across the studied hill

podłoża widoczna również w rejonie sąsiednich Gór Pieprzowych jest tu stosunkowo intensywna (Pożaryski & Tomczyk, 1993). W okresie trzeciorzędu obecne wzgórze sandomierskie znajdowało się przypuszczalnie w granicach stromego brzegu klifowego, utworzonego przez wyniesienie Gór Świętokrzyskich na samym brzegu morza mioceńskiego (Mycielska-Dowgiałło, 1978). Jego abrazyjna działalność w powiązaniu z tektoniką mogła sprzyjać powstaniu osuwiska po powierzchni jednego z uskoków, równoległych do brzegu klifowego. Mniejsza gęstość skał kambru po stronie południowej wzgórza może bowiem wynikać z faktu, że w części zrzuconej paleosuwiska nastąpiło ich większe spękanie i rozluźnienie, co potwierdzają tu nie tylko badania grawimetryczne, lecz i sejsmiczne (Ślusarczyk & Dec, 1994). W tych ostatnich rejestrowano mniejsze prędkości fal sprężystych w południowej obniżonej części podłoża kambryjskiego w stosunku do części północnej, w części środkowej wzgórza zaś, w strefie samej dyslokacji, prędkości te były najmniejsze.

Nad utworami kambryjskim na terenie samego wzgórza sandomierskiego występują bezpośrednio utwory czwartorzędowe. Ich profil oraz stosunki miąższościowe na terenie wzgórza są zmienne. W syntetycznym profilu czwartorzędowym, idąc od dołu, występują wydzielone przez Bielecką (1967), a potwierdzone głównie własnymi obserwacjami następujące serie:

— nieciągłe pokrywy deluwiió wietrzeli podczwartorzędowego podłoża, wykształcone jako półzwarte ility i gliny, przewarstwiane piaskami gliniastymi z domieszką frakcji kamienistych i fragmentami łupków kambryjskich. Ich miąższość wynosi 1–3 m,

— glina zwałowa dolna z okruchami północnych skał krystalicznych, najczęściej zredukowana do residuów żwirowo-piaszczysto-kamienistych o miąższości 2–10 m,

— gliny staropleistoceniowe, jasnożółte w części górnej i szarozółte w części dolnej, wykształcone jako pyły i gliny pylaste, pozostające w przewodzie w stanie twaroplastycznym. W ich obrębie występują sporadycznie soczewki piasków i żwirów. Miąższość glin waha się od 2–16 m i jest największa w zagłębieniu stropu łupków kambryjskich w środkowej części wzgórza,

— seria piasków średnich, pospółek i żwirów. Jej miąższość dochodzi do około 11 m,

— seria mułków zastoiskowych o miąższości 2–10 m wykształconych głównie jako pyły i gliny pylaste, głównie twaroplastyczne i plastyczne, barwy jasnobrazowej i ceglastej o cechach lessów. W dolnej strefie tej serii, lecz tylko w części północnej wzgórza sandomierskiego występuje ciągła warstwa typowych iłów warwowych ciemnobrazowych o miąższości 1–4 m, pozostających w twaroplastycznym stanie konsystencji. Stanowi ona warstwę nieprzepuszczalną dla wód

opadowych, przenikających przez wyżejległe mułki i lessy i skutkiem tego na wychodniach tych iłów obserwuje się w skarpach wycieki i sączenia wód, zwłaszcza po stronie wschodniej wzgórza,

— seria utworów lessowych miąższości 5–20 m, którą według schematu stratygraficznego Maruszczaka (1976) można zaliczyć do lessów młodszych. Seria ta jest wyraźnie dwudzielna. U góry są to lessy jasnożółte z zawartością węgla wapnia 2–13%, najczęściej 5–10%. Pod względem granulometrycznym są to prawie wyłącznie pyły. Pozostają one głównie w stanie półzwartym. Dolna część serii utworów lessowych posiada barwę ciemnożółtą, niekiedy z odcieniem ceglastym. Lessy te są bardziej zaglinione i pod względem granulometrycznym, obok dominujących wciąż pyłów występują często gliny pylaste. Stan konsystencji lessów dolnych pozostaje najczęściej twaroplastyczny i plastyczny.

Na terenie samego wzgórza sandomierskiego profil utworów czwartorzędowych różni się częściowo od profilu tych utworów poza jego terenem, a opisywanym np. przez Grabowską-Olszewską (1963).

W najwyższej, przypowierzchniowej części terenu wzgórza sandomierskiego, występują nasypy. Są to głównie lessy ze zmiennymi ilościowo domieszkami gruzu, fragmentów organicznych, gleby, substancji węglowych itp. Ich miąższość, większa od strony zachodniej wzgórza wynosi 0,5–10 m, a najczęściej 2–4 m. W pakiecie lessów (wraz z nasypami), są zlokalizowane wspomniane

wcześniej liczne i nie do końca rozpoznane puste lub częściowo podsadzone lochy, piwnice, korytarze oraz stare doły kloacznicze i resztki fundamentów (część zabezpieczonych podziemnych korytarzy udostępniona jest turystycznie). Ich obecność w podłożu znacznie komplikuje warunki geologiczno-inżynierskie terenu wzgórza. Uproszczony przekrój geologiczny przez wzgórze sandomierskie przedstawiono na ryc. 2.

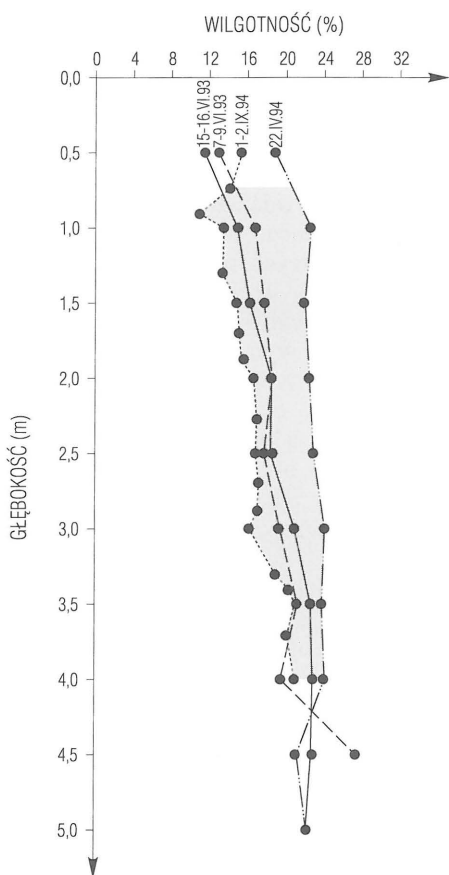
W utworach czwartorzędowych występują dwa poziomy wód podziemnych. Pierwszy jest nieciągły i występuje w utworach zastoiskowych pod lessami lub w lessach dolnych. Przejawia się w postaci sączeń o zmiennej intensywności w zakresie głębokości 2,4–22 m. Jest on bardziej wyraźny w części północnej wzgórza w strefie kontaktu mułków zastoiskowych z nieprzepuszczalnymi ilami warwowymi. Drugi zasadniczy poziom wodonośny na terenie wzgórza występuje w serii piasków, pospółek i żwirów występujących pod serią utworów zastoiskowych. Nawiercany był w 1993 r. na głębokości 25,3–31 m, tj. na rzędnych +149,7 do +165 m n.p.m. Woda ma tu zwierciadło swobodne i nie sięga do stropu utworów tej serii. Dane z wierceń w 1968 r. o zwierciadle wód tego poziomu wskazują, że było ono wtedy wyżej położone o 2–4 m. Zasilanie wód tego poziomu ma miejsce po stronie północno-zachodniej wzgórza, na co wskazuje układ hydroizohips obniżających się z kierunku NW ku SE (Motyka & Wilk, 1993). Taki jest też kierunek ogólnego spływu wód tego poziomu, z odchyleniem na S, w części południowej wzgórza. Dynamika i kierunki spływu wód są tu kształtowane morfologią podłoża kambryjskiego, obecnością wklędek i przewarstwień gruntów spoiстых na drogach spływu i wahaniami zwierciadła wód, które w okresach wielolecia dochodzą jak stwierdzono do kilku metrów. Można sądzić, że wahania wód tego poziomu i związana z tym dynamika

oraz kierunki spływu odgrywają ważną rolę w procesach deformacji terenu (wymywanie i sufozja), a zwłaszcza ruchach skarpy wschodniej i południowej wzgórza. Kierunki spływu wód podziemnych są bowiem zgodne z ogólnym kierunkiem pochylenia warstw utworów serii zastoiskowej, w tym ilów warwowych oraz pochylenia spągu serii lessowej. W dwóch otworach wykonanych w 1993 r. nawiercono po stronie północnej i zachodniej wzgórza także poziom wodonośny w stropie utworów kambru. W otworze od strony północnej wzgórza miał on zwierciadło napięte, +151 m n.p.m. nawierczone i +167,6 m n.p.m. ustalone, a wielkość tego napięcia wynosiła 16,6 m. Nie można więc wykluczyć, że wody utworów czwartorzędowych niezależnie od opadów są częściowo zasilane z głębiej leżących utworów kambru.

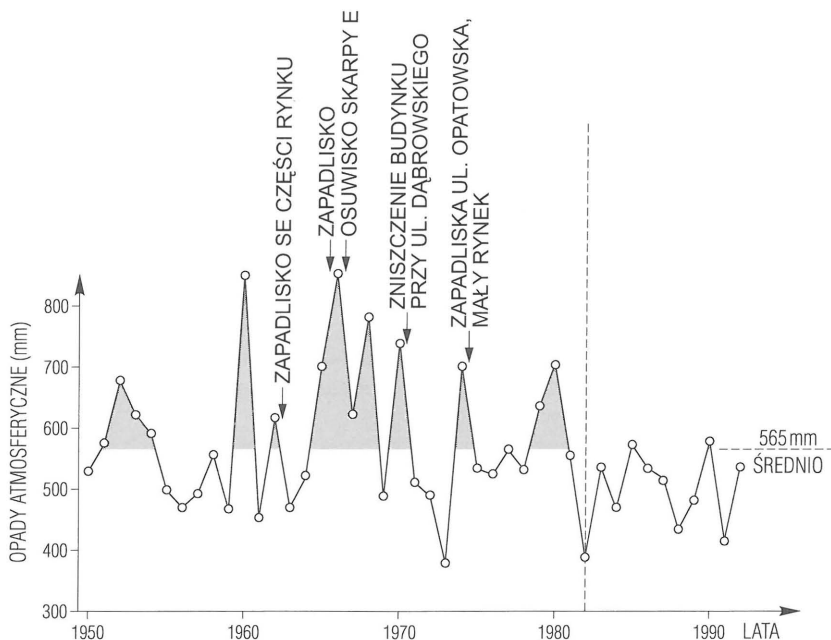
Właściwości fizyczno-mechaniczne pakietu utworów lessowych, a także utworów spoiстых serii zastoiskowej oraz serii glin staropleistoceniowych (utwory wodno-lodowcowe) określono w wyniku własnych badań próbek gruntowych z wykonanych otworów badawczych i danych z otworów archiwalnych. W przypadku lessów górnych wykorzystano także własne badania próbek pobranych z wykopów powierzchniowych (Rybicki & Lenduszek, 1994). Wartości podstawowych parametrów fizyczno-mechanicznych spoiстых typów gruntów w profilu utworów czwartorzędowych zestawiono w tab. 1.

Z zestawienia przedstawionego w tab. 1 wynika, że średnia wilgotność lessu górnego reprezentowanego pod względem granulometrycznym prawie wyłącznie przez pyły, jest wyraźnie mniejsza niżeli lessu dolnego. Ten ostatni pod względem składu granulometrycznego jest reprezentowany w większej mierze przez różne odmiany glin, a zwłaszcza gliny pylaste. Wilgotność całego pakietu lessów, jak wykazały badania w otworach, są zróżnicowane na terenie wzgórza i różnice te dochodzą do ok. 15%. Wartości innych cech fizyczno-mechanicznych serii lessów z terenu wzgórza są ogólnie podobne do podawanych w literaturze zarówno dla lessów regionu świętokrzyskiego, jak i lubelszczyzny (Grabowska-Olszewska, 1962; Borowczyk & Frankowski, 1979; Frankowski, 1979).

Powodem mniejszej wilgotności lessu górnego stanowiącego bezpośrednie podłoże wielu budowli na terenie wzgórza, w stosunku do lessu dolnego są nie tylko różnice składu granulometrycznego, lecz i sezonowe oraz jak się wydaje, długookresowe zmiany wilgotności. Jak wykazały bowiem badania w płytkich otworach penetracyjnych odwiercanych w tych samych miejscach w okresie 1993 i 1994 r., sezonowe zmiany wilgotności lessu wahały się w granicach 2–12 % (ryc. 3) i sięgały na głębokość około 4 m (Rybicki & Lenduszek, 1994). Podobny głębokościowy zasięg sezonowych zmian wilgotności lessów podają też inni autorzy (Denisov, 1951; Borowczyk & Frankowski, 1979). W latach 1968–1994, kiedy to wykonano liczniejsze badania wilgotności w całym profilu pakietu lessowego, jego przeciętna wilgotność jak się wydaje, nieco się zmniejszyła (o ok. 1,5 %). Można to wiązać z wyraźnym obniżeniem się przeciętnej wysokości opadów atmosferycznych w okresie dziesięciolecia 1982–1992 (ryc. 4). Te sezonowe i długookresowe wahanila zawilgocenia podłoża lessowego (mające zapewne charakter wielkoobszarowy), a także i wahanila lokalne zawilgocenia (w miejscach bezodpływowych, przy budynkach z niesprawnym odprowadzeniem wód opadowych, w



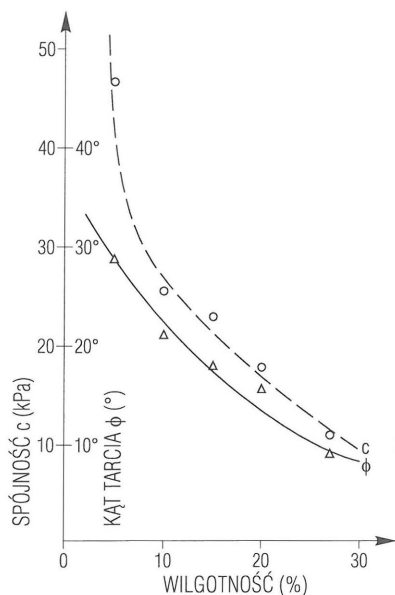
Ryc. 3. Wykresy zmian wilgotności utworów lessowych z głębokością w różnych okresach pomiarowych
Fig. 3. Charts of dependence between moisture content of loess and depth in different periods



Ryc. 4. Wykres zmian średniorocznych wysokości opadów deszczu dla terenu Sandomierza z zaznaczeniem dat niektórych awarii budowlanych

Fig. 4. Chart of annual changes of average rain fall in Sandomierz and dates of some damages of buildings, landslides, collaps sinks

miejscach nieszczelności kanalizacji itp.), wpływają na zmiany cech wytrzymałościowo-deformacyjnych lessu i z tego względu są zapewne odpowiedzialne za część awarii i uszkodzeń obiektów na terenie wzgórza. Dla oceny zakresu zmian właściwości wytrzymałościowo-deformacyjnych lessu o różnym zawilgoceniu, przeprowadzono kontrolne badania zmian wytrzymałości na ściskanie, modułu ściśliwości edometrycznej oraz spójności i kąta tarcia wewnętrznego lessu w warunkach jego sztucznie różnicowanego zawilgocenia. Badaniom poddano próbki monolityczne lessu górnego pobrane z odkrywki na zachodniej skarpie wzgórza. Wyniki badań przedstawiono na ryc. 5, 6, 7. Z przeprowadzonych badań wynika, że less górny z terenu wzgórza sandomierskiego, stanowiący bezpośrednie podłoże budowli, mając częściowo nietrwałą strukturę, silnie reaguje na zmiany zawilgocenia



Ryc. 5. Zmiany spójności (c) i kąta tarcia wewnętrznego (ϕ) utworów lessowych z terenu wzgórza sandomierskiego wraz ze zmianami wilgotności

Fig. 5. Relation between moisture content, cohesion (c) and angle of internal friction (ϕ) of loess from the sandomierski hill

zmniejszając swoje parametry wytrzymałościowe, a zwłaszcza znacznie zwiększając podatność na deformacje (spadek wartości modułu ściśliwości). Jest to powszechnie znana właściwość gruntów pylastych a w tym i lessów, na którą ma zwłaszcza wpływ zmiana stopnia wilgotności gruntu pylastego (Wróblewski, 1992). W sytuacji więc, kiedy w strefie głębokościowej do ok. 4 m, a zwłaszcza na głębokości ok. 1 m (ryc. 3), sezonowe różnice wilgotności mogą dochodzić do 2–12 % a wilgotności lessu zwiększać się od ok. 10% nawet do ok. 23%, musi dochodzić do przejściowego zmniejszenia nośności podłoża, co zapewne skutkuje jego deformacjami i odkształceniami budowli. Niestety nie są ustalone bezpośrednie związki pomiędzy osiadaniami konkretnych reperów pomiarowych, a zmianami zawilgocenia podłoża w ich otoczeniu. Można jedynie przypuszczać, że na wartości i przebieg tych deformacji będzie wpływać nie tylko zmiana wartości lokalnego zawilgocenia, lecz i czas w jakim grunt pozostaje w stanie pod-

wyższego zawilgocenia.

Osiadania reperów geodezyjnych na terenie wzgórza sandomierskiego

Występowanie licznych uszkodzeń budowli na terenie wzgórza sandomierskiego spowodowało, że podjęto w 1977 r. bardziej systematyczne pomiary geodezyjne na sieci reperów umieszczonych głównie na budynkach i innych obiektach. Nieliczne repery ziemne były zastabilizowane głównie na skarpie wschodniej oraz w rejonie zamku.

Ogółem sieć obserwacyjną stanowiło ok. 500 reperów, na których prowadzono obserwacje przemieszczeń pionowych. Zmiany wysokości reperów określano metodą niwelacji precyzyjnej z dwukrotnym, niezależnym pomiarem ciągów, z nawiązaniem całości pomiarów do reperów odniesienia. Stałość reperów odniesienia kontrolowano przy wykonywaniu każdej serii pomiarów. Dokładność pomiarów niwelacyjnych charakteryzuje średni błąd wyznaczenia wysokości $m_{sr} = \pm 0,35$ mm. Przedmiotem interpretacji autorów były wyniki 6. serii pomiarów przemieszczeń pionowych, omawianej sieci reperów prowadzonych w latach 1977–1992. Wielu pomiarów nie można było wykorzystać z powodu niestałości i uszkodzeń reperów, ich przebudowy itp.

Z analizy dokładności wykonanych pomiarów wynika, iż błąd graniczny wyznaczenia przemieszczeń pionowych wynosi $\pm 0,90$ mm. Stąd też, zmiany wysokości zawarte w przedziale $\pm 1,0$ mm uznano za mieszczące się w granicach dokładności pomiaru. Jest zrozumiałe, że pomiary te ilustrują tylko pewną fazę czasową deformacji podłoża o nieznannej wcześniej wielkości i dynamice. Do szczegółowej analizy wytypowano tylko zespół 10. reperów, w tym 5. reperów ściennych (45, 165, 188, 189, 421) oraz 5. reperów ziemnych (441, 459, 465, 470, 440), dla których obserwacje były ciągłe i była pewność ich poprawności.

Analiza obserwacji po ich krytycznej weryfikacji wykazała, że osiadania reperów w ciągu ostatnich lat systematycznie narastały, lecz począwszy od 1982 r. można zauważyć dla większości reperów wyraźne spowolnienie tych osiadań zarówno co do bezwzględnych ich wartości, jak i prędkości osiadań (ryc. 8). Na terenie wzgórza sandomierskiego wartości i prędkości osiadań reperów są oczywiście zróżnicowane, na co mają wpływ różne lokalne czynniki geologiczne, hydrogeologiczne i morfologiczne lub czynniki związane z konstrukcją budowli. Zwłaszcza tym ostatnim wpływem należałoby tłumaczyć występowanie pewnych anomalii w przebiegu osiadań reperów ściennych, gdzie udział czynników związanych z samą konstrukcją budowli może być dominujący. Na mapce ilustrującej obszar zwiększonych osiadań na terenie wzgórza (ryc. 1) można zauważyć, że skupiają się one głównie przy skarpie od strony SE i E wzgórza oraz przebiegają też poprzecznie do dłuższej osi wzgórza, przez jego część środkową. Ta ostatnia strefa zwiększonych osiadań pokrywa się z przebiegiem obniżenia powierzchni utworów kambru (krawędzią paleosuwiska) i dużych miąższości utworów zastoiskowych oraz mułków serii glin staropleistoceniowych w obniżeniu stropu kambru. Może się to też wiązać z głębszymi ruchami masywu skalnego po powierzchni uskoku generowanych czynnikami neotektonicznymi, wahaniami poziomu wód w rzece Wiśle i jej dolinie.

Próba interpretacji deformacji terenu wzgórza

W poszukiwaniu przyczyn zmniejszania się tempa przyrostu osiadań niektórych reperów, począwszy od ok. 1982 r., odniesiono się przede wszystkim do rozkładu opadów atmosferycznych na tym terenie (ryc. 4). Diagram rozkładu średniorocznych wartości opadów wskazuje, że istotnie, począwszy od 1982 r. wysokość opadów wyraźnie zmniejszyła się, nie osiągając w wartościach maksymalnych za okres 1982–1992 nawet średniej wieloletniej. Można więc wnosić, że główną przyczyną spowolnienia osiadań (w strefach brzeżnych wzgórza zapewne powiązanych też z poziomymi przemieszczeniami skarp) był tu wieloletni spadek zawilgocenia masywu gruntowego.

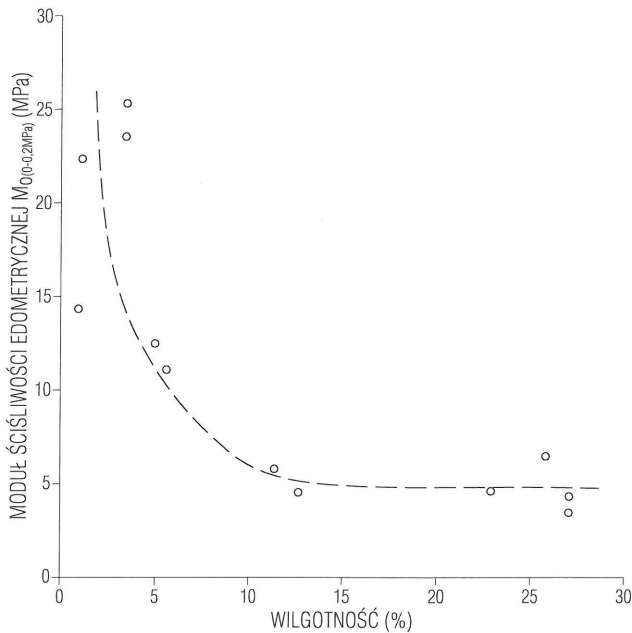
Analizując zmiany natężenia opadów atmosferycznych z wielolecia na tle dat powstania w Sandomierzu większych awarii i szkód budowlanych (w tym dużego osuwiska skarpy

wschodniej wzgórza sandomierskiego), można też zauważyć dość dobrą zgodność wystąpienia tych awarii z latami o szczególnie dużych opadach atmosferycznych lub tuż po nich (ryc. 4). Dodać należy, że omawiane tu osiadania reperów gruntowych i reperów ściennych nie odzwierciedlają możliwych i często widocznych (np. jako spękania murów) osiadań budowli lub widocznych — zwłaszcza na jezdniach — nieckowatych osiadań powierzchni terenu, nie objętych jednak pomiarami geodezyjnymi. Osiadania takie mają często charakter lokalny, nieraz znacznych rozmiarów i mogą być związane bądź to z obecnością niestabilnych pustek w podłożu, bądź znacznym zawilgoceniem gruntu infiltracją wód opadowych w miejscach utrudnionego ich odpływu lub nawilgocenia gruntu wodami w wyniku awarii sieci wodociągowo-kanalizacyjnej.

Analiza rozmieszczenia zarejestrowanych awarii sieci wodociągowo-kanalizacyjnej, szczególnie wrażliwej na pionowe i poziome deformacje terenu wskazuje, że zdecydowana większość z nich wystąpiła w brzeżnych, przyskarpowych partiach wzgórza sandomierskiego, zwłaszcza od jego wschodniej strony (ul. Browarna), ale także od strony zachodniej przy ul. Zamkowej i Podwale oraz od strony południowej przy ul. Podzamcze. Rola zawilgocenia gruntu i jego wzmożonych deformacji uwidacznia się też

Tab. 1. Wartości podstawowych parametrów fizyczno-mechanicznych spoiwystych typów gruntów w profilu utworów czwartorzędowych z terenu wzgórza sandomierskiego

Parametr	Warstwa geologiczna			
	Less górny	Less dolny	Utwory zastoiskowe	Utwory spoiwiste wodno-lodowcowe
Wilgotność naturalna [%]	11,9 6,0–25,2	15,6 6,3–24,5	20,3 8,5–32,3	28,2 5,3–48,8
Liczba badań	150	106	100	118
Gęstość objętościowa [kN/m ³]	18,8 15,1–22,6	19,4 14,0–22,3	20,0 17,2–22,0	19,6 15,8–22,0
Liczba badań	90	66	66	104
Spójność [kN/m ³]	26,3 0,0–80,0	26,7 0,0–76,0	31,9 40,0–70,0	28,3 0,0–70,0
Liczba badań	84	65	65	90
Pozorny kąt tarcia wewnętrzny [°]	25,7 7,0–36,0	23,2 6,0–35,0	18,3 5,0–33,5	15,3 2,0–45,0
Liczba badań	84	65	65	90
Moduł ścisłości edometrycznej pierwotnej w zakr. 0–0,2 MN/m ² [MN/m ²]	12,5 2,9–25,2	6,1 4,6–7,6	–	7,9 5,0–10,9
Liczba badań	24	2	–	2
Moduł ścisłości edometrycznej wtórnej [MN/m ²]	39,8 11,3–131,0	28,4 14,4–42,4	–	38,0 32,0–44,0
Liczba badań	24	2	–	2
Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie [MN/m ²]	70 40–90	–	–	–
Liczba badań	8	–	–	–
Współczynnik filtracji [m/d]	0,17 0,09–0,75	0,15 0,01–225,2	–	–
Liczba badań	8	3	–	–
Wskaźnik osiadania zapadowego przy obciążeniu 0,2 MN/m ²	0,025 0,011–0,053	0,0005 0,0002–0,0008	–	–
Liczba badań	10	3	–	–



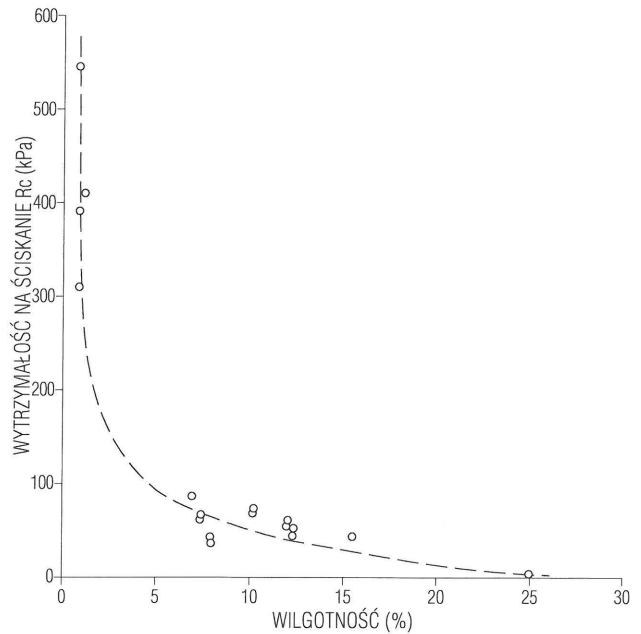
Ryc. 6. Zmiany modułu ścisłości edometrycznej utworów lessowych z terenu wzgórza sandomierskiego wraz ze zmianami wilgotności

Fig. 6. Relation between moisture content and compressibility modulus of loess from the studied hill

statystycznie biorąc częstszymi awariami sieci wodno-kanalizacyjnej na terenie wzgórza sandomierskiego w miesiącu marcu, w okresie wiosennych roztopów (Rybicki, 1995).

Większe i bardziej rozległe terytorialnie deformacje terenu w strefach przyskarpowych wzgórza, w stosunku do jego partii centralnych, znajdują też uzasadnienie w wynikach modelowania numerycznego metodą elementów skończonych odnośnie stanu naprężenia i odkształcenia skarp. Modelowanie takie przeprowadzono na przykładzie przekroju przez skarpe wschodnią, w północnej części wzgórza sandomierskiego. Analizowano wartości i kierunki przemieszczeń w modelu skarpy w wyniku zmiany zawilgocenia pakietu lessowego i związanymi z tym zmianami jego cech wytrzymałościowo-deformacyjnych oraz ciężaru objętościowego. Przyjęto parametry dla warunku „mała wilgotność” pakietu lessowego (less w półzwarłym stanie konsystencji) i „duża wilgotność” pakietu lessowego (less w twardoplastycznym stanie konsystencji). Stan konsystencji pakietu mułków zastoiskowych przyjęto zgodnie z badaniami, na pograniczu twardoplastycznego i plastycznego.

W wyniku modelowania stwierdzono, że zanik poziomych deformacji na zapleczu skarpy następuje dopiero w odległości około $1,2 H$ (H — wysokość skarpy), co oznacza w odniesieniu do warunków rzeczywistych odległość 45–55 m od górnej krawędzi, w przypadku skarpy wschodniej, a największą wartość deformacje te osiągają w odległości 15–25 m od tej krawędzi. Tę ostatnią strefę należało by zatem uznawać za najbardziej narażoną na powstawanie uszkodzeń obiektów powierzchniowych i infrastruktury podziemnej na terenie wzgórza. Wyniki modelowania, chociaż zostało ono przeprowadzone przy pewnych uproszczeniach (model sprężysty gruntu, zmiana wilgotności następuje w całym pakiecie lessów, uproszczenia w odwzorowaniu budowy geolo-



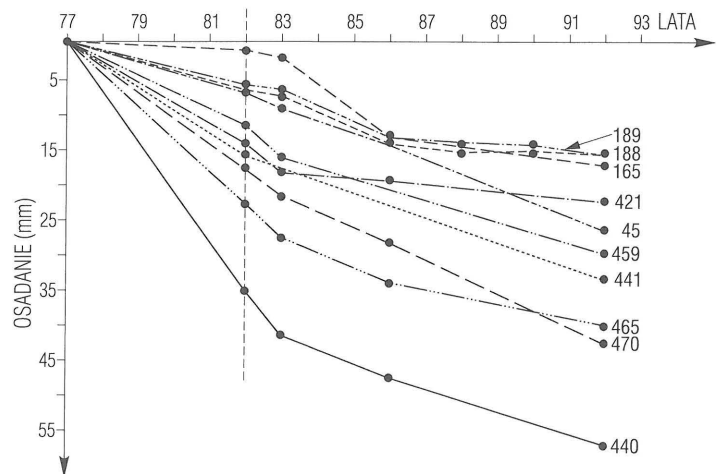
Ryc. 7. Zmiany wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie utworów lessowych z terenu wzgórza sandomierskiego wraz ze zmianami wilgotności

Fig. 7. Relation between moisture content and unconfined compressive strength of loess from the studied hill

gicznej skarpy) są generalnie potwierdzone obserwacjami uszkodzeń obiektów.

Podsumowanie i wnioski końcowe

Warunki geologiczno-inżynierskie podłoża na terenie starej części miasta w Sandomierzu są ogólnie niekorzystne dla obiektów budowlanych, czego wynikiem są ich liczne awarie i uszkodzenia. Bezpośrednie podłożę tych obiektów zbudowane jest bowiem z gruntów lessowych łatwo rozmywalnych przez wodę i wrażliwych na zmiany zawilgocenia, skutkiem czego, są znaczne zmiany ich parametrów wytrzymałościowo-deformacyjnych nawet przy niewielkim wzroście wilgotności. Ponadto, lessy z terenu



Ryc. 8. Wykresy zmian osiadań reperów geodezyjnych na terenie wzgórza sandomierskiego w latach 1977–1992

Fig. 8. Charts of benchmarks subsidence from the studied hill in years 1977–1992

wzgórza sandomierskiego charakteryzują się częściową podatnością na osiadanie zapadowe. Czynnikiem niekorzystnym jest też obecność w podłożu różnego rodzaju piwnic, lochów i korytarzy (często na kilku poziomach) nie zinwentaryzowanych w całości. Zdarzające się zawały stropu tych wyrobisk podziemnych są przyczyną szczególnie groźnych awarii budowlanych. Pod tym względem stara część Sandomierza jest podobna do innych miast położonych w pasie występowania lessów w Polsce (Lublin, Opatów, Jarosław itd.), aczkolwiek częstotliwość występowania awarii i uszkodzeń zdaje się być na jego terenie większą. Przesądza o tym położenie starej części miasta Sandomierza na wzgórzu otoczonym dość stromymi skarpami o wysokości 20–50 m i nachyleniach generalnych w granicach 15–30°.

— Skarpy okalające wzgórze sandomierskie oraz teren do nich przylegający, zwłaszcza na zapleczu skarp, podlegają deformacjom, lokalnie zróżnicowanym co do swej wartości i zapewne przebiegającym okresowo. Wskazują na to wyniki obserwacji geodezyjnych oraz fakt ten potwierdzają dane z modelowania numerycznego. Pierwotnych przyczyn deformacji należy upatrywać przede wszystkim w sezonowych i długookresowych zmianach zawilgocenia pakietu gruntów lessowych, co pociąga za sobą zmiany obciążenia nasyconego wodą masywu oraz zmiany cech wytrzymałościowo-deformacyjnych gruntu, zwłaszcza w przypowierzchniowej strefie występowania lessu górnego i w nasytach lessowo-gruzowych, mających zdolność dużej akumulacji wód opadowych. O istotnym wpływie zmian zawilgocenia lessów na deformacje terenu świadczyć mogą widoczne związki dat wystąpienia większych awarii budowlanych, a w tym zwłaszcza znacznych rozmiarów osuwiska skarpy wschodniej, z latami o wysokich opadach atmosferycznych. Także zaobserwowane zmniejszenie wartości (prędkości) osiadań niektórych reperów geodezyjnych począwszy od 1982 r., pokrywające się z początkiem wielolecia o wyraźnie mniejszej wysokości opadów atmosferycznych, wskazuje na związki deformacji terenu i stanu zawilgocenia masywu gruntowego. Potwierdzeniem tych związków są też zarejestrowane liczniejsze wystąpienia awarii i uszkodzeń sieci wodociągowo-kanalizacyjnej w miesiącu marcu, w okresie wiosennych roztopów.

— Sezonowe i długookresowe zmiany zawilgocenia masywu gruntowego mają charakter wieloobszarowy, a powodowane nimi deformacje podłoża nie są ogólnie biorąc duże. Mogą się one jednak lokalnie różnić, zależnie od miejscowych warunków akumulacji wody w masywie gruntowym (morfologia terenu i obecność stref bezodpływowych, grubość i charakter nasyków itp.). Można sądzić, że pionowe i poziome deformacje terenu związane z długookresowymi i sezonowymi zmianami zawilgocenia masywu gruntowego oraz zmianami poziomu wód podziemnych i związanych z tym wartości oraz kierunków ciśnień spływowych są pierwotnymi, inicjalnymi przyczynami awarii i uszkodzeń obiektów, a zwłaszcza awarii sieci wodociągowo-kanalizacyjnej, szczególnie wrażliwej nawet na niewielkie deformacje masywu gruntowego. Awarie tej sieci powodując nasycenie wodą lub wymycia pewnych objętości gruntów w otoczeniu miejsca awarii, są przyczyną wtórnych uszkodzeń w pobliskich obiektach budowlanych wskutek osiadania gruntu lub nawet zapadania powierzchni terenu. Zapewne część takich awarii powstaje

też z przyczyn złego lub niestarannego wykonawstwa i napraw sieci, bez inicjalnych deformacji gruntu.

— Na awarie i uszkodzenia obiektów budowlanych jest narażony głównie pas terenu przylegający do górnej krawędzi skarp okalających wzgórze sandomierskie o szerokości około 1,2 H (H — wysokość skarp), a w praktyce o szerokości 15–55 m. Wskazują na to wyniki modelowania numerycznego zasięgu deformacji skarp, przy założeniu możliwych zmian zawilgocenia lessów, a zwłaszcza obserwacje rozmieszczenia powstałych awarii i uszkodzeń oraz wyniki pomiarów geodezyjnych na sieci reperów.

— Znaczne ograniczenie powstających uszkodzeń obiektów budowlanych na obszarze starego miasta w Sandomierzu byłoby możliwe przy eliminacji powstawania awarii sieci wodociągowo-kanalizacyjnej. Sieć ta powinna być tu odporna na odkształcenia powodowane deformacjami skarp i terenu do nich przyległego. Wymaga to radykalnej przebudowy dotychczasowej sieci i przystosowania jej do przenoszenia deformacji, podobnie jak to jest zalecane na terenach poddawanych wpływowi górniczym.

Literatura

- BIELECKA M. 1967 — Tło geologiczne problemów budowlanych Sandomierza i jego okolic. *Prz. Geol.*, 15: 393–399.
- BOROWCZYK M. & FRANKOWSKI Z. 1979 — Zmienność właściwości geotechnicznych lessów w świetle współczesnych metod badań. *Kwart. Geol.*, 23: 447–461.
- DENISOV N.I. 1951 — Stroitielnyje svojstva lessov i lessovidnych suglinokov. Gosstrojizdat Moskwa.
- FAJKLEWICZ Z. & MADEJ J. 1994 — Geofizyczne rozpoznanie rejonu wzgórza sandomierskiego — badania grawimetryczne. *Spraw. z badań do projektu celowego KBN 99155 92/758. AGH Kraków (maszynopis).*
- FRANKOWSKI Z. 1979 — Wpływ litogenezy na fizyczno-mechaniczne własności lessów określane metodami polowymi. *Prz. Geol.*, 20: 31–36.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. 1963 — Własności fizyczno-mechaniczne utworów lessowych północnej i północno-wschodniej części świętokrzyskiej strefy lessowej na tle ich litologii i stratygrafii oraz warunków występowania. *Biul. Geol. UW*, 3: 68–181.
- KLICH R. & ORŁOWSKI W. 1968 — Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla projektu wstępnego uporządkowania i zabezpieczenia skarp w otoczeniu staromiejskiej dzielnicy Sandomierza. *Przeds. Geol.-Fizjogr. i Geodezyjne Budow. „Geoprojekt” O/Kraków (maszynopis).*
- MARUSZCZAK H. 1976 — Stratygrafia lessów Polski południowej. *Biul. Inst. Geol.* 297: 137–167.
- MOTYKA J. & WILK Z. 1993 — Opracowanie modelu warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych wzgórza sandomierskiego. *Spraw. z badań do projektu celowego KBN 99155 92/758. AGH Kraków (maszynopis).*
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E. 1978 — Rozwój rzeźby fluwialnej północnej części Kotliny Sandomierskiej w świetle badań sedymentacyjnych. *Rozpr. UW*, 120: 7–147.
- POŻARYSKI W. & TOMCZYK H. 1993 — Przekrój geologiczny przez Polskę południowo-wschodnią. *Prz. Geol.*, 41: 687–695.
- RYBICKI S. & LENDUSZKO P. 1994 — Opracowanie modelu warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych wzgórza sandomierskiego. *Spraw. z badań do projektu celowego KBN 99155 92/758. AGH Kraków (maszynopis).*
- RYBICKI S. 1995 — Sprawozdanie końcowe z badań do proj. celowego KBN 99155 92/758. *AGH Kraków (maszynopis).*
- STRZELECKI Z. 1965 — Założenia i realizacja robót górniczych dla zabezpieczenia zabytkowych miast. *Rocz. Stow. Miłośn. Jarosławia. Warszawa.*
- ŚLUSARCZYK R. & DEC J. 1994 — Geofizyczne rozpoznanie rejonu wzgórza sandomierskiego — badania sejsmiczne. *Spraw. z badań do projektu celowego KBN 99155 92/758. AGH Kraków (maszynopis).*
- WÓJCIK T. 1982 — Remonty zabytkowych budynków kościelnych w Sandomierzu za rządów bpa Piotra Gołębiowskiego. *Stud. Sandomier.*, 3: 174–184.
- WRÓBLEWSKI J. 1992 — Zmienność wytrzymałości na ścinanie w gruntach pylastych. *Praca doktorska Inst. Hydr. i Geol. Inż. UW (maszynopis).*